



УКРАЇНА

(19) UA (11) 43676 (13) U
(51) МПК (2009)
G06F 15/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) АНАЛІЗАТОР СПЕКТРА В ОРТОГОНАЛЬНОМУ БАЗИСІ

1

2

(21) u200903245

(22) 06.04.2009

(24) 25.08.2009

(46) 25.08.2009, Бюл.№ 16, 2009 р.

(72) КОЗЛЮК ПЕТРО ВОЛОДИМИРОВИЧ

(73) ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

(57) Аналізатор спектра в ортогональному базисі, що містить генератор тактових імпульсів, вихід якого підключений до рахункового входу лічильника і тактового входу аналогово-цифрового перетворювача, інформаційний вхід якого є інформаційним входом аналізатора, інформаційний вихід лічильника підключений до входу дешифратора, перший, другий і третій регістри, віднімач, перемножувач, суматор, який **відрізняється** тим, що з метою розширення функціональних можливостей додатково містить блок пам'яті коефіцієнтів і логічний елемент АБО, причому вихід АЦП підключе-

ний до інформаційного входу першого регістра, вихід якого підключений до входу другого регістра та другого входу віднімача, керувальний вхід скиду в нуль першого регістра підключений до виходу логічного елемента АБО, перший, другий і третій входи якого підключені відповідно до першого, третього і четвертого виходів дешифратора, другий і четвертий входи якого підключені до першого і другого молодших розрядів адресного входу блока пам'яті коефіцієнтів, вихід якого підключений до другого входу перемножувача, перший вхід якого підключений до виходу віднімача, а вихід підключений до другого входу суматора, перший вхід якого підключений до виходу другого регістра, а вихід підключений до входу третього регістра, вихід якого підключений до першого входу віднімача і є виходом пристрою, входи скиду в нуль другого і третього регістрів підключені до першого виходу дешифратора.

Корисна модель відноситься до автоматики і обчислювальної техніки і може бути використана в системах передачі і обробки інформації, при побудові аналізаторів і синтезаторів сигналів.

Відомий пристрій для ортогонального перетворення цифрових сигналів по функціям Хаара (див. авторське свідоцтво ССРСР №1116435 Мкл. G06 F 15/332, 1984р.), що містить n обчислювальних блоків, блок синхронізації, n перемикачів, першу та другу групи регістрів зсуву, вузол затримки.

Недоліком відомого пристрою є обмежений набір розмірностей перетворення.

Відомий аналізатор спектра Фур'є та Хартлі (див. патент 20316U від 15.01.2007, Бюл. №1/2007), що містить аналого-цифровий перетворювач, три блоки пам'яті, блок формування вагових коефіцієнтів, два помножувачі та три віднімачі, два блоки повторення, вхід аналого-цифрового перетворювача є інформаційним входом пристрою, два суматори-віднімачі та два блоки повторення або визначення протилежного за знаком значення.

Недоліком відомого пристрою є тривалий час обчислення спектральних коефіцієнтів в залежності від розмірності перетворення.

Найбільш близьким по технічній суті до пропонуваної корисної моделі є аналізатор спектра в ортогональному базисі (див. авторське свідоцтво ССРСР №1591039 Мкл. G06 F 15/332, 1984р.), що містить перший, другий і третій комутатори, перший, другий, третій і четвертий регістри, помножувач на константу (в подальшому помножувач), перший і другий суматори, блок регістрів, блок елементів I, аналогово-цифровий перетворювач, віднімач, дешифратор, лічильник і генератор тактових імпульсів, вихід якого підключений до рахункового входу лічильника і тактового входу аналогово-цифрового перетворювача, інформаційний вхід якого є інформаційним входом аналізатора, інформаційний вихід лічильника підключений до входу дешифратора, вихід першого комутатора підключений до першого входу першого суматора, вихід якого підключений до інформаційного входу першого регістра, вихід другого комутатора підключений до першого входу другого суматора, другий вхід якого підключений до виходу блоку

(13) U

(11) 43676

(19) UA

елементів І, вихід аналогово-цифрового перетворювача підключений до інформаційного входу блоку регістрів, перший вихід якого підключений до інформаційного входу помножувача на константу, вихід якого підключений до перших інформаційних входів першого і другого комутаторів, другі інформаційні входи яких підключені до виходів відповідно першого і другого регістрів, другий вихід блоку регістрів підключений до інформаційного входу другого регістра, другого входу першого суматора і першого входу віднімача, вихід якого підключений до першого інформаційного входу третього комутатора, вихід якого підключений до інформаційного входу третього регістра, вихід якого є інформаційним виходом аналізатора, вихід другого суматора підключений до другого інформаційного входу третього комутатора і інформаційного входу четвертого регістра, вихід якого підключений до першого входу блоку елементів І, другий вхід якого сполучений з управляючими входами першого і другого комутаторів і підключений до першого виходу дешифратора, другий вихід якого підключений до управляючого входу третього комутатора, другий вихід якого підключений до входу керування третього комутатора, другий вхід віднімача підключений до виходу першого комутатора, вихід генератора тактових імпульсів підключений до тактових входів блока регістрів, першого, другого, третього і четвертого регістрів і входу синхронізації помножувача на константу.

Відомий пристрій реалізує обчислення спектральних коефіцієнтів в α -базисі, який є окремим випадком базису q -перетворення.

Недоліком відомого пристрою є обчислення спектральних коефіцієнтів тільки в α -базисі, що обмежує його функціональні можливості.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення такого пристрою, який би міг реалізувати обчислення спектральних коефіцієнтів в будь-якому базисі q -перетворення.

Поставлена задача досягається за рахунок того, що аналізатор спектра в ортогональному базисі, що містить генератор тактових імпульсів, вихід якого підключений до рахункового входу лічильника і тактового входу аналогово-цифрового перетворювача, інформаційний вхід якого є інформаційним входом аналізатора, інформаційний вихід лічильника підключений до входу дешифратора, перший, другий і третій регістри, віднімач, перемножувач, суматор, введено блок пам'яті коефіцієнтів і логічний елемент АБО, причому, вихід АЦП підключений до інформаційного входу першого регістра, вихід якого підключений до входу другого регістру та другого входу віднімача, керувальний вхід скиду в нуль першого регістра підключений до виходу логічного елемента АБО, перший, другий і третій входи якого підключені відповідно до першого, третього і четвертого виходів дешифратора, другий і четвертий виходи якого підключені до першого і другого молодших розрядів адресного входу блока пам'яті коефіцієнтів, вихід якого підключений до другого входу перемножувача, перший вхід якого підключений до виходу віднімача, а вихід підключений до другого входу суматора, пе-

рший вхід якого підключений до виходу другого регістра, а вихід підключений до входу третього регістра, вихід якого підключений до першого входу віднімача і є виходом пристрою, входи скиду в нуль другого і третього регістрів підключені до першого виходу дешифратора.

На кресленні показана структурна схема пропонуваного аналізатора спектра в ортогональному базисі, який містить генератор тактових імпульсів 1, лічильник 2, дешифратор 3, логічний елемент АБО 4, аналогово-цифровий перетворювач (АЦП) 5, тактовий вхід якого підключений до виходу генератора тактових імпульсів 1 і рахункового входу лічильника 2, інформаційний вихід якого підключений до входу дешифратора 3, перший, третій і четвертий виходи якого підключені до першого, другого і третього входів логічного елемента АБО, вихід якого підключений до управляючого входу скиду в нуль першого регістра 6, інформаційний вхід якого підключений до виходу АЦП 5, а вихід підключений до входу другого регістра 7 і до другого входу віднімача 8, вихід якого підключений до першого входу помножувача 9, вихід якого підключений до другого входу суматора 10, перший вхід якого підключений до виходу другого регістра 7, а вихід підключений до третього регістра 11, вихід якого підключений до першого входу віднімача 8, а вхід скиду в нуль підключений до входу скиду в нуль другого регістра 7 і першого виходу дешифратора 3, другий і четвертий виходи якого підключені до першого і другого молодших розрядів адресного входу блока пам'яті коефіцієнтів 12, вихід якого підключений до другого входу помножувача 9, інформаційний вхід 13 пристрою підключений до інформаційного входу АЦП 5, до старших адресних входів блока пам'яті коефіцієнтів 12 підключений адресний вхід 14 вибору коефіцієнтів пристрою, а вихід третього регістра 11 підключений до інформаційного виходу 15 пристрою.

Аналізатор спектру реалізує ортогональне дискретне перетворення (q -перетворення), орієнтоване на обробку сигналів з експоненційною швидкістю росту з можливістю зміни параметрів базисних функцій. Матриця q -перетворення розмірності N має такий вигляд:

$$Q_N = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & 0 & 0 & \dots & 0 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{N-1,1} & a_{N-1,2} & a_{N-1,3} & a_{N-1,4} & a_{N-1,5} & \dots & a_{N-1,N-1} & a_{N-1,N} \\ a_{N,1} & a_{N,2} & a_{N,3} & a_{N,4} & a_{N,5} & \dots & a_{N,N-1} & a_{N,N} \end{pmatrix},$$

де

$$a_{ij} = \begin{cases} m_j \cdot q^{n_i - (i-1)}, & j = i; \\ m_j \cdot q^{2n_i - (i-j)}, & 1 < j \leq i, 1 < j \leq N; \\ -q^{-1}, & j = i+1, 1 \leq i \leq N-1; \\ 0, & j > i+1; \end{cases}$$

$$m_i = \begin{cases} 1, & i < N; \\ q^{-n_i}, & i = N. \end{cases} \text{ — нормовочний коефіцієнт.}$$

Наприклад, для $N=6$ матриця q -перетворення має наступний вигляд:

$$Q_6 = \begin{pmatrix} q^{n1} & -q^{-1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ q^{n1-1} & q^{2n1} & -q^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ q^{n1-2} & q^{2n1-1} & q^{2n1} & -q^{-1} & 0 & 0 \\ q^{n1-3} & q^{2n1-2} & q^{2n1-1} & q^{2n1} & -q^{-1} & 0 \\ q^{n1-4} & q^{2n1-3} & q^{2n1-2} & q^{2n1-1} & q^{2n1} & -q^{-1} \\ q^{-5} & q^{n1-4} & q^{n1-3} & q^{n1-2} & q^{n1-1} & q^{n1} \end{pmatrix};$$

Генерацію базисних послідовностей виконують задаючи параметр q та визначаючи відповідний параметр n_1 із рівняння:

$$q^{2(n_1+1)-q^2+1} = 0$$

Для прикладу, нижче в таблиці наведені параметри деяких базисів q -перетворення.

Таблиця

Параметри матриці q -перетворення

	q	n_1	$q^{2(n_1+1)-q^2+1}$
1	$e^{j\frac{\pi}{6}}$	1	$q^4 - q^2 + 1$
2	3	-0,053	$q^{1,894} - q^2 + 1$
3	e	-0,072	$q^{1,856} - q^2 + 1$
4	2	-0,207	$q^{1,856} - q^2 + 1$
5	$\alpha = \frac{1+\sqrt{5}}{2}$	-0,5	$q^2 - q - 1$
6	$\pm\sqrt{2}$	-1	$q^2 - 2$
7	1,325	-1,5	$q^3 - q - 1$
8	$\pm\sqrt{\alpha}$	-2	$q^4 - q^2 - 1$
	1.2365	-2.5	$q^5 - q^3 - 1$

Вирази для швидкого алгоритму обчислення спектральних коефіцієнтів в q -базисі мають вигляд:

$$y_i = \begin{cases} q^{n1} \cdot x_1 - q^{-1} \cdot x_2, \text{ при } i = 1; \\ (q^{-1} \cdot (y_{i-1} - x_{i+1}) + x_i) \cdot m_i, \text{ при } i = 2, \dots, N. \end{cases} \quad (1)$$

Основні властивості q -перетворення:

- ефективний алгоритм швидкого перетворення (рекурентний характер обчислення вимагає тільки два множення і три додавання на один спектральний коефіцієнт незалежно від розмірності N);

- довільна розмірність N швидкого перетворення;

- можливість адаптації до сигналу форм базисних послідовностей шляхом зміни параметра q .

Пристрій працює наступним чином. На початку роботи вихід лічильника 2 має нульове значення, тому перший вихід дешифратора 3 має одиничне значення, яке скидає в нуль другий 7 і третій 11 регістри і через логічний елемент АБО 4 - перший регістр 5. Вхідні дані з інформаційного входу 13 пристрою поступають на інформаційний вхід АЦП 5. При появі першого тактового імпульсу з виходу генератора 1 на виході АЦП 5 з'являється перший вхідний відлік x_1 , який записується в перший регістр 6 і поступає на другий вхід віднімача 8, а на другому і четвертому виходах дешифратора 3

встановлюється код "10" адреси коефіцієнта k_1 ($q^{n1}-q$). На виході перемножувача 9 встановлюється результат множення $x_1 \cdot (q^{n1}-q)$, який складається з нульовим значенням виходу другого регістра 7 в суматорі 10 і записується в третій регістр 11.

На другому такті другий вхідний відлік x_2 з виходу АЦП 5 записується в перший регістр 6, з виходу якого поступає на другий вхід віднімача 8, на перший вхід якого з виходу третього регістра 11 поступає значення $x_1 \cdot (q^{n1+1}-q)$. В результаті на виході віднімача 8 утворюється різниця $x_1 \cdot (q^{n1+1}-q) - x_2$, яка поступає на перший вхід помножувача 9, на другий вхід якого поступає другий коефіцієнт $k_2 = q^{-1}$ з виходу блока 12 пам'яті коефіцієнтів, на адресні входи якого з другого та четвертого виходів дешифратора 3 поступає код "00" адреси другого коефіцієнта k_2 , який залишається незмінним до $(N+2)$ -го такту.

В другому регістрі 7 знаходиться значення першого відліку x_1 , яке додається до отриманого добутку $(x_1 \cdot (q^{n1+1}-q) - x_2) \cdot q^{-1}$ в суматорі 10:

$$x_1 + (x_1 \cdot (q^{n1+1}-q) - x_2) \cdot q^{-1},$$

$$\text{або}$$

$$x_1 + x_1 \cdot q^{n1} - x_1 - x_2 \cdot q^{-1}.$$

Виконавши скорочення отримуємо значення

першого спектрального коефіцієнта y_1 :

$$y_1 = q^{n1} \cdot x_1 - q^{-1} \cdot x_2,$$

яке заявляється на другому такті на виході 15 пристрою.

На третьому такті в регістр 11 і, відповідно, на виході 15 пристрою отримуємо наступне значення:

$$y_2 = (y_1 - x_3) \cdot q^{-1} + x_2 = q^{n1-1} \cdot x_1 - q^{-2} \cdot x_2 - q^{-1} \cdot x_3 + x_2 = q^{n1-1} \cdot x_1 + (1 - q^{-2}) \cdot x_2 - q^{-1} \cdot x_3,$$

яке, враховуючи умову ортонормованості першого рядка матриці q -перетворення $q^{2n1} + q^{-2} = 1$, відповідає виразу обчислення для другого спектрального коефіцієнта:

$$y_2 = q^{n1-1} \cdot x_1 + q^{2n1} \cdot x_2 - q^{-1} \cdot x_3.$$

Аналогічним чином доводиться справедливості виразу швидкого алгоритму обчислення спектральних коефіцієнтів y_3, y_4, \dots, y_{N-1} . На $(N+1)$ -му такті встановлюється в одиницю третій вихід дешифратора 3, який через логічний елемент АБО 4 скидає в нуль перший регістр 6, тому в третій регістр 11 записується наступне значення:

$$q^{-1} \cdot (y_{N-1} - 0) + x_N = q^{n1-(N-1)} \cdot x_1 + \sum_{i=2}^{N-1} q^{2n1-(N-i)} \cdot x_i + q^{2n1} \cdot x_N.$$

На $(N+2)$ -му такті приймає одиничне значення четвертий вихід дешифратора 3, який підтримує одиничне значення виходу логічного елемента АБО 4, а на другому і четвертому виходах дешифратора 3 встановлюється код "01" адреси нормовочного коефіцієнта $m_N = q^{-n1}$. Перший 6 і другий 7 регістри приймають нульове значення. На виході третього регістра 11 отримуємо значення спектрального коефіцієнта y_N :

$$y_N = (q^{n1-(N-1)} \cdot x_1 + \sum_{i=2}^{N-1} q^{2n1-(N-i)} \cdot x_i + q^{2n1} \cdot x_N - 0) \cdot q^{-n1} + 0 = q^{(N-1)} \cdot x_1 + \sum_{i=2}^N q^{n1-(N-i)} \cdot x_i.$$

Зміна параметра q базисних послідовностей матриці q -перетворення відбувається шляхом змі-

ни адреси наборів коефіцієнтів k_1 , k_2 та m_N в блоці 12 пам'яті коефіцієнтів за рахунок вибору відповідного зміщення по старшим адресним розрядам зі входу 14 аналізатора.

На обчислення N спектральних коефіцієнтів q -перетворення необхідно затратити час, що відповідає $(N+2)$ тактам роботи АЦП, а всі спектральні коефіцієнти отримуються через два такти після надходження останнього вхідного відліку.

Зміна розмірності перетворення відбувається за рахунок відповідної зміни коефіцієнта перерахунку (модуля) лічильника 2.

Пропонована структура аналізатора спектру в ортогональному базисі допускає ефективну реалізацію на мікропроцесорі, програмованих логічних інтегральних схемах або інтегральних елементах середнього ступеня інтеграції.

Найбільш ефективними галузями застосування q -перетворення є ущільнення та розпізнавання сигналів з експоненційним зростанням, а також в системах стеганографічного захисту інформації.

