



УКРАЇНА

(19) UA (11) 61607 (13) U
(51) МПК (2011.01)
H03H 17/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ФІЛЬТРАЦІЇ СИГНАЛУ

1

(21) u201015617

(22) 24.12.2010

(24) 25.07.2011

(46) 25.07.2011, Бюл.№ 14, 2011 р.

(72) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(73) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(57) Спосіб фільтрації сигналу, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є функцією корисного сигналу і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті обробки вхідного сигналу отримують оцінку корисного сигналу, який **відрізняється** тим, що додатково формують два канали обробки, в першому каналі обробки приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої грані корисного сигналу і перешкоди, а в другому каналі обробки приймають вхідний сигнал, який є функцією нижньої грані корисного сигналу і перешкоди, в першому і другому каналах обробки формують сукупності затриманих

2

на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу в першому каналі обробки обчислюють нижню грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, а в другому каналі обробки обчислюють верхню грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в першому каналі обробки обчислюють позитивну частину нижньої грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, а в другому каналі обробки обчислюють негативну частину верхньої грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислюють суму позитивної і негативної частин нижньої і верхньої граней сукупностей затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого і другого каналів обробки відповідно, здійснюють згладжування отриманої суми, в результаті чого отримують оцінку корисного сигналу.

Корисна модель належить до галузі обробки сигналів, зокрема, до способів фільтрації сигналів, а саме, до способів фільтрації сигналів на фоні перешкод у просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки.

Відомий спосіб фільтрації сигналу, що реалізується за допомогою трансверсального фільтра, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є функцією корисного сигналу і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу шляхом адаптивної зміни коефіцієнтів вагової функції, в результаті обробки вхідного сигналу отримують оцінку корисного сигналу /1/.

Недоліками відомого способу фільтрації сигналу є низька швидкодія внаслідок зайвого часу, що витрачається на зміну коефіцієнтів вагової функції при зміні спектральної щільності потужності

перешкоди, а також низька перешкодостійкість в умовах впливу сильних перешкод.

Найбільш близьким технічним рішенням, вибраним за прототип, є спосіб фільтрації сигналу, що реалізується за допомогою однорідного фільтра, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є функцією корисного сигналу і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті обробки вхідного сигналу отримують оцінку корисного сигналу /2/.

Недоліками відомого способу фільтрації сигналу є низька перешкодостійкість в умовах впливу сильних перешкод та залежність перешкодостійкості фільтрації сигналу від умов априорної невизначеності.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за

(13) U

(11) 61607

(19) UA

рахунок внесення відповідних змін в алгоритм фільтрації сигналу, а саме, шляхом додаткового формування двох каналів обробки, обчислення суми позитивної і негативної частин нижньої і верхньої граней сукупностей затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого і другого каналів обробки відповідно, здійснення згладжування отриманої суми, в результаті чого отримують оцінку корисного сигналу, забезпечити підвищення перешкодостійкості фільтрації сигналу в умовах впливу сильних перешкод та виключити залежність перешкодостійкості фільтрації сигналу від умов апіорної невизначеності, що дозволяє усунути недоліки прототипу.

Суть корисної моделі в способі фільтрації сигналу, при якому задають часовий інтервал, приймають вхідний сигнал, який є функцією корисного сигналу і перешкоди, формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в результаті обробки вхідного сигналу отримують оцінку корисного сигналу, полягає в тому, що додатково формують два канали обробки, в першому каналі обробки приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої грані корисного сигналу і перешкоди, а в другому каналі обробки приймають вхідний сигнал, який є функцією нижньої грані корисного сигналу і перешкоди, в першому і другому каналах обробки формують сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу в першому каналі обробки обчислюють нижню грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, а в другому каналі обробки обчислюють верхню грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в першому каналі обробки обчислюють позитивну частину нижньої грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, а в другому каналі обробки обчислюють негативну частину верхньої грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислюють суму позитивної і негативної частин нижньої і верхньої граней сукупностей затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого і другого каналів обробки відповідно, здійснюють згладжування отриманої суми, в результаті чого отримують оцінку корисного сигналу.

Порівняльний аналіз технічного рішення, яке заявляється, з прототипом дозволяє зробити висновки, що спосіб фільтрації сигналу відрізняється тим, що додатково формують два канали обробки, в першому каналі обробки приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої грані корисного сигналу і перешкоди, а в другому каналі обробки приймають вхідний сигнал, який є функцією нижньої грані корисного сигналу і перешкоди, в першому і другому каналах обробки формують сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в ході обробки сформованої сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу в першому каналі

обробки обчислюють нижню грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, а в другому каналі обробки обчислюють верхню грань сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, в першому каналі обробки обчислюють позитивну частину нижньої грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, а в другому каналі обробки обчислюють негативну частину верхньої грані сукупності затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, обчислюють суму позитивної і негативної частин нижньої і верхньої граней сукупностей затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого і другого каналів обробки відповідно, здійснюють згладжування отриманої суми, в результаті чого отримують оцінку корисного сигналу.

Суть корисної моделі пояснюється за допомогою креслень, де

на Фіг.1 представлена послідовність операцій, що пояснює суть способу фільтрації сигналу;

на Фіг.2 показана функціональна схема пристрою фільтрації сигналу, за допомогою якого реалізується зазначений спосіб;

на Фіг.3 показані реалізація $s^*(t)$ корисного сигналу $s(t)$, що діє на входах пристрою фільтрації сигналу, за допомогою якого реалізується запропонований спосіб фільтрації сигналу і відповідна реалізація $v^*(t)$ оцінки $v(t)$ корисного сигналу $s(t)$ на виході пристрою, отримані в результаті статистичного моделювання за допомогою математичного пакета MATHCAD.

Згідно із схемою на Фіг.1, суть способу фільтрації сигналу пояснюється за допомогою наступної послідовності операцій.

Задають часовий інтервал Δt , такий, що забезпечує незалежність миттєвих значень (часових відліків) $\{n(t_i)\}$ перешкоди $n(t)$, причому $\Delta t \ll 1/f_0$, де f_0 - частота сигналу $s(t)$.

Формують два канали обробки, при цьому перший канал обробки призначений для обробки вхідного сигналу $x(t)$, який є функцією верхньої грані $s(t) \vee n(t)$ корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$, а другий канал обробки призначений для обробки вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$, який є функцією нижньої грані $s(t) \wedge n(t)$ корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$.

Приймають вхідний сигнал, який є функцією корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$, при цьому в першому каналі обробки приймають вхідний сигнал $x(t)$, який є функцією верхньої грані $s(t) \vee n(t)$ корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$, а в другому каналі обробки приймають вхідний сигнал $\tilde{x}(t)$, який є функцією нижньої грані $s(t) \wedge n(t)$ корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$, оскільки взаємодія корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$ в просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки $L(\vee, \wedge)$ визначається двома бінарними операціями \vee, \wedge /3/:

$$x(t) = s(t) \vee n(t); \quad (1a)$$

$$\tilde{x}(t) = s(t) \wedge n(t), \quad (1b)$$

де $s(t) \vee n(t) = \sup_t [s(t), n(t)]$, $s(t) \wedge n(t) = \inf_t [s(t), n(t)]$ - Функції верхньої $s(t) \vee n(t)$ і нижньої $s(t) \wedge n(t)$ граней відповідно.

Імовірнісно-статистичні властивості корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$ вважаються довільними.

Формують сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, причому в першому каналі обробки формують сукупність $\{x(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій $x(t_i)$ вхідного сигналу $x(t)$, а в другому каналі обробки формують сукупність $\{\tilde{x}(t_j)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій $\tilde{x}(t_j)$ вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$:

$$x(t_j) = s(t_j) \vee n(t_j); \quad (2a)$$

$$\tilde{x}(t_j) = s(t_j) \wedge n(t_j), \quad (2б)$$

де $t_j = t - j\Delta t$ - значення часового параметра затриманих на заданий часовий інтервал копій $\{x(t_i)\}$, $\{\tilde{x}(t_j)\}$ вхідних сигналів $x(t)$, $\tilde{x}(t)$ відповідно, $j=0, 1, \dots, N-1$, $t_j \in T^* \subset T_S$;

T^* - інтервал обробки: $T^* = [t - (N-1)\Delta t, t]$;

T_S - область визначення корисного сигналу $s(t)$;

$\{s(t_j)\}$, $\{n(t_j)\}$ - часові відліки корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$ відповідно, які беруться через заданий часовий інтервал Δt ;

$N \in \mathbb{N}$, N - множина натуральних чисел.

Обробляють сформовану сукупність затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу, при цьому в першому каналі обробки обчислюють нижню грань $y(t)$ сукупності $\{x(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$, а в другому каналі обробки обчислюють верхню грань $\tilde{y}(t)$ сукупності $\{\tilde{x}(t_j)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$, які визначаються формулами:

$$y(t) = \bigwedge_{j=0}^{N-1} x(t_j) = \bigwedge_{j=0}^{N-1} x(t - j\Delta t); \quad (3a)$$

$$\tilde{y}(t) = \bigvee_{j=0}^{N-1} \tilde{x}(t_j) = \bigvee_{j=0}^{N-1} \tilde{x}(t - j\Delta t). \quad (3б)$$

В першому каналі обробки обчислюють позитивну частину $y_+(t)$ нижньої грані $y(t)$ сукупності $\{x(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$, а в другому каналі обробки обчислюють негативну частину $\tilde{y}_-(t)$ верхньої грані $\tilde{y}(t)$ сукупності $\{\tilde{x}(t_j)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$, які визначаються рівняннями:

$$y_+(t) = y(t) \vee 0; \quad (4a)$$

$$\tilde{y}_-(t) = \tilde{y}(t) \wedge 0. \quad (4б)$$

Обчислюють суму $w(t)$ позитивної $y_+(t)$ і негативної $\tilde{y}_-(t)$ частин нижньої $y(t)$ і верхньої $\tilde{y}(t)$ граней сукупностей $\{x(t_i)\}$, $\{\tilde{x}(t_j)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів

першого $x(t)$ і другого $\tilde{x}(t)$ каналів обробки відповідно:

$$w(t) = y_+(t) + \tilde{y}_-(t). \quad (5)$$

Здійснюють згладжування отриманої суми $w(t)$ шляхом обчислення вибіркової медіани $\text{med}\{*\}$ сукупності $\{w(t_k)\}$ часових відліків суми $w(t)$, в результаті чого отримують оцінку $v(t)$ корисного сигналу $s(t)$:

$$v(t) = \text{med}\{w(t_k)\}, \quad (6)$$

де: $t_k = t - \frac{k}{M} \Delta t$ - значення часового параметра часових відліків $\{w(t_k)\}$ сигналу $w(t)$, $k=0, 1, \dots, M-1$; $t_k \in \tilde{T} = [t - \Delta t, t]$;

\tilde{T} - інтервал, на якому здійснюється згладжування сигналу $w(t)$;

$M \in \mathbb{N}$, N - множина натуральних чисел.

Підсумувавши, таким чином, вміст отриманих співвідношень (6), (5), (4a,б), (3a,б), (2a,б), можна зробити висновок про те, що оцінка $v(t)$ корисного сигналу $s(t)$, є результат згладжування суми $w(t)$ позитивної $y_+(t)$ і негативної $\tilde{y}_-(t)$ частин нижньої $y(t)$ і верхньої $\tilde{y}(t)$ граней сукупностей $\{x(t_i)\}$, $\{\tilde{x}(t_j)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого $x(t)$ і другого $\tilde{x}(t)$ каналів обробки відповідно.

Спосіб фільтрації сигналу, який заявляється, реалізується за допомогою пристрою фільтрації сигналу, який конструктивно містить (див. Фіг.2): перший канал обробки - 1; другий канал обробки - 2; суматор - 3; фільтр - 4; перший канал обробки 1 конструктивно містить: блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 5; елементи затримки вхідного сигналу - 6; блок обчислення нижньої грані - 7; блок обчислення позитивної частини - 8; другий канал обробки 2 конструктивно містить: блок послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу - 9; елементи затримки вхідного сигналу - 10; блок обчислення верхньої грані - 11; блок обчислення негативної частини - 12.

Сукупність структурних елементів і зв'язків між ними пристрою фільтрації сигналу дозволяє реалізувати послідовність дій даного способу.

Реалізація способу фільтрації сигналу за допомогою вищезазначеного пристрою здійснюється таким чином (див. Фіг.2).

За допомогою елементів затримки вхідного сигналу 6 блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 5 та елементів затримки вхідного сигналу 10 блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 9 задають часовий інтервал Δt . Формують два канали обробки шляхом включення до першого каналу обробки 1 блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 5; елементів затримки вхідного сигналу 6; блока обчислення нижньої грані 7 і блока обчислення позитивної частини 8, а також включення до другого каналу обробки 2 блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 9; елементів затримки вхідного сигналу

10; блока обчислення верхньої грані 11 і блока обчислення негативної частини 12.

В першому каналі обробки 1 за допомогою входу даного каналу обробки приймають вхідний сигнал $x(t)$, який є функцією верхньої грані $s(t) \vee n(t)$ корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$. В другому каналі обробки 2 за допомогою входу даного каналу обробки приймають вхідний сигнал $\tilde{x}(t)$ який є функцією нижньої грані $s(t) \wedge n(t)$ корисного сигналу $s(t)$ і перешкоди $n(t)$.

В першому каналі обробки 1 за допомогою елементів затримки вхідного сигналу 6 блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 5 формують сукупність $\{x(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій $x(t_i)$ вхідного сигналу $x(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (2а). В другому каналі обробки 2 за допомогою елементів затримки вхідного сигналу 10 блока послідовно з'єднаних елементів затримки вхідного сигналу 9 формують сукупності $\{\tilde{x}(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій $\tilde{x}(t_i)$ вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (2б).

В першому каналі обробки 1 за допомогою блока обчислення нижньої грані 7 обчислюють нижню грань $y(t)$ сукупності $\{x(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (3а). В другому каналі обробки 2 за допомогою блока обчислення верхньої грані 11 обчислюють верхню грань $\tilde{y}(t)$ сукупності $\{\tilde{x}(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (3б).

В першому каналі обробки 1 за допомогою блока обчислення позитивної частини 8 обчислюють позитивну частину $y_+(t)$ нижньої грані $y(t)$ сукупності $\{x(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $x(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (4а). В другому каналі обробки 2 за допомогою блока обчислення негативної частини 12 обчислюють негативну частину $\tilde{y}_-(t)$ верхньої грані $\tilde{y}(t)$ сукупності $\{\tilde{x}(t_i)\}$ затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідного сигналу $\tilde{x}(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (4б).

За допомогою суматора 3 обчислюють суму $w(t) = y_+(t) + \tilde{y}_-(t)$ позитивної $y_+(t)$ і негативної $\tilde{y}_-(t)$ частин нижньої і верхньої граней сукупностей затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого і другого каналів обробки відповідно (див. Фіг.2) згідно з формулою (5).

За допомогою фільтра 4 здійснюють згладжування отриманої суми $w(t)$ шляхом обчислення вибіркової медіани $\text{med}\{*\}$ сукупності $\{w(t_k)\}$ часових відліків суми $w(t)$ (див. Фіг.2) відповідно до формули (6), в результаті чого отримують оцінку $v(t)$ корисного сигналу $s(t)$.

На Фіг.3 показані реалізація $s^*(t)$ корисного сигналу $s(t)$, що діє на входах пристрою фільтрації сигналу, за допомогою якого реалізується запро-

понований спосіб фільтрації сигналу і відповідна реалізація $v^*(t)$ оцінки $v(t)$ корисного сигналу $s(t)$ на виході пристрою, отримані в результаті статистичного моделювання за допомогою математичного пакету MATHCAD. Реалізація $s^*(t)$ корисного сигналу $s(t)$ показана на Фіг.3 суцільною лінією, а відповідна реалізація $v^*(t)$ оцінки $v(t)$ показана пунктиром. Наведений приклад відповідає наступним умовам. Корисний сигнал $s(t)$ - вузькосмуговий радіоімпульс; перешкода $n(t)$ - квазібілий гаусівський шум з відношенням максимальної частоти спектральної щільності перешкоди до частоти сигналу $f_{n,\max}/f_0=64$; співвідношення сигнал-перешкода $E_s/N_0=10^{-6}$ (де E_s - енергія сигналу, N_0 - спектральна щільність потужності перешкоди). Число затриманих на заданий часовий інтервал копій N вхідних сигналів $x(t)$ і $\tilde{x}(t)$, які використовуються при обробці, дорівнює 16. Затримка переднього фронту напівперіодів реалізації $v^*(t)$ оцінки $v(t)$ відносно реалізації $s^*(t)$ корисного сигналу $s(t)$, яка обумовлена наявністю динамічної помилки формування оцінки $v(t)$ корисного сигналу $s(t)$, дорівнює $(N-1) \cdot \Delta t$, де $\Delta t = 1/(2f_{n,\max}) \ll 1/f_0$. Імовірність помилкового формування $P_{\text{пом}}$ оцінки $v(t)$ корисного сигналу (імовірність формування перешкодового викиду) складала досить малу величину $P_{\text{пом}} \approx 2^{-16}$, тому викидів перешкоди на інтервалі моделювання ($m=2^{10}=1024$ часових відліків) не спостерігається. При зміні співвідношення сигнал-перешкода E_s/N_0 у досить широких межах: $10^{-10} \leq E_s/N_0 \leq 10$, коефіцієнт взаємної кореляції корисного сигналу $s(t)$ і його оцінки $v(t)$ приймав значення $0,97 \dots 0,98$, що свідчить про інваріантність способу фільтрації сигналу щодо умов апіорної невизначеності.

Підвищення ефективності способу фільтрації сигналу, який заявляється, у порівнянні із прототипом досягається шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення відповідних змін в алгоритм фільтрації сигналу, а саме, шляхом додаткового формування двох каналів обробки, обчислення суми позитивної і негативної частин нижньої і верхньої граней сукупностей затриманих на заданий часовий інтервал копій вхідних сигналів першого і другого каналів обробки відповідно, здійснення згладжування отриманої суми, в результаті чого отримують оцінку корисного сигналу, за рахунок чого забезпечується підвищення перешкодостійкості фільтрації сигналу в умовах впливу сильних перешкод та виключення залежності перешкодостійкості фільтрації сигналу від умов апіорної невизначеності.

Джерела інформації:

1. Petrus C.W. Sommen., Christinus J. Van Valburg. Adaptive discrete-time transversal filter // US Patent 5581494, Int.Cl. G06F15/31, 1990, p. 2, fig.1B - аналог.

2. Гольденберг Л.М., Матюшин Б.Д., Поляк М.Н. Цифровая обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1990, стр.78, рис.3.3.а. - прототип.

3. Попов А.А. Характеристики обработки гармонических сигналов на фоне помех (шумов) в условиях их взаимодействия в К-пространстве // Известия вузов. Радиоэлектроника.-2008, № 10. - С.69-80.

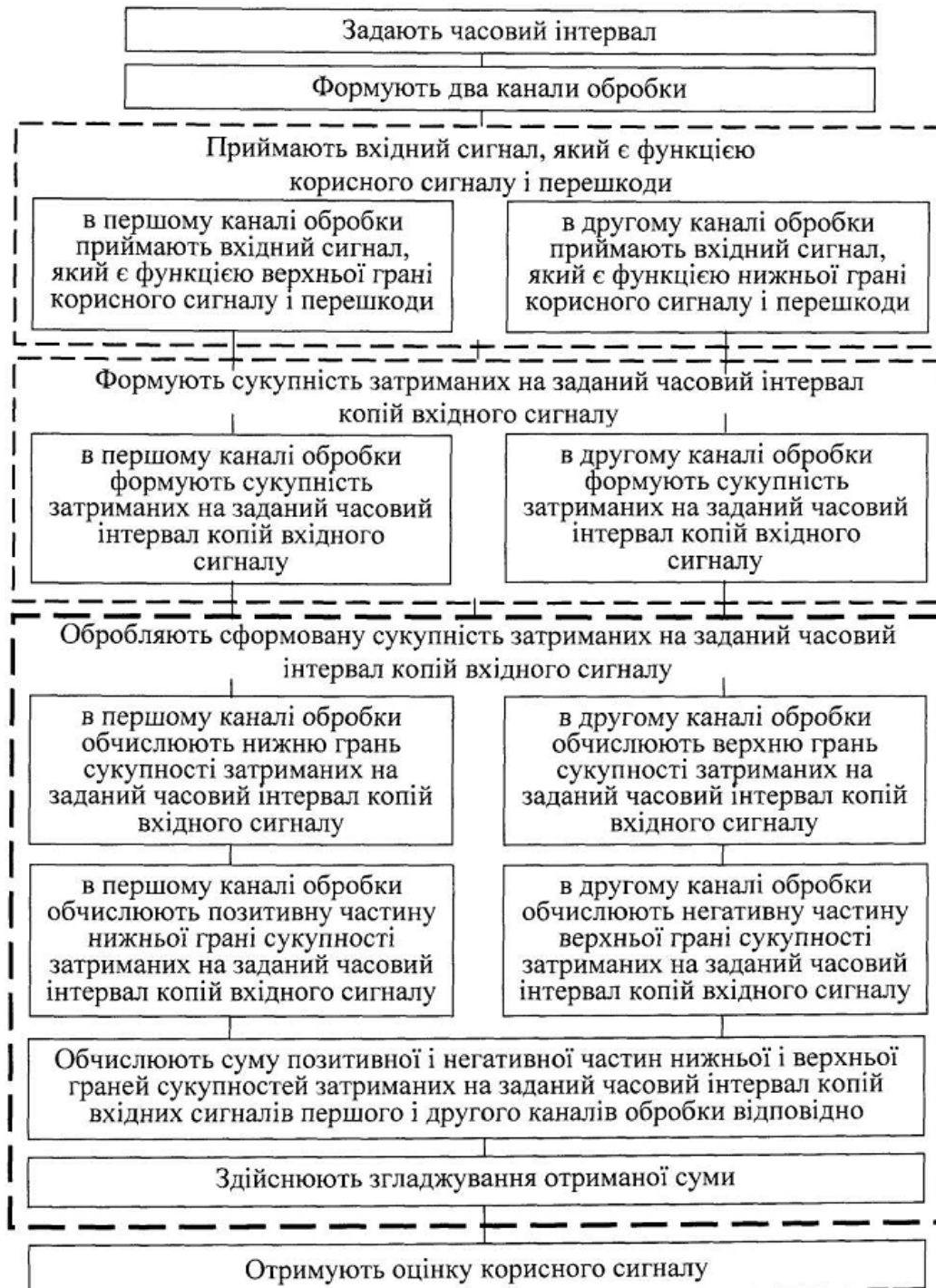
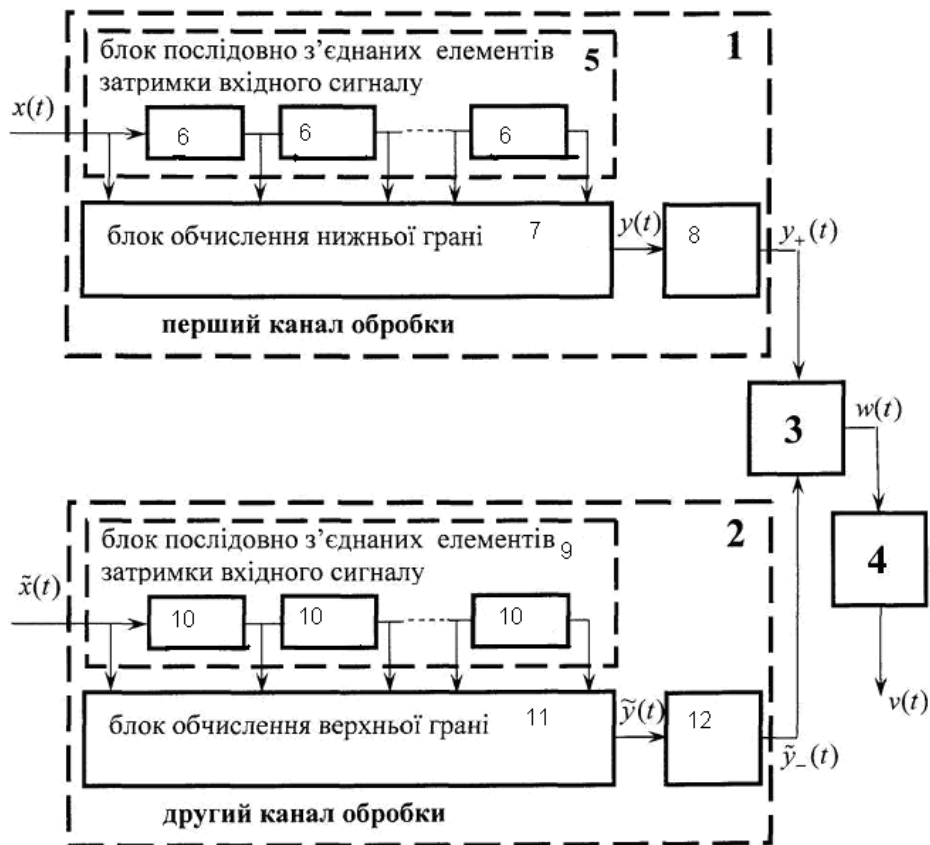
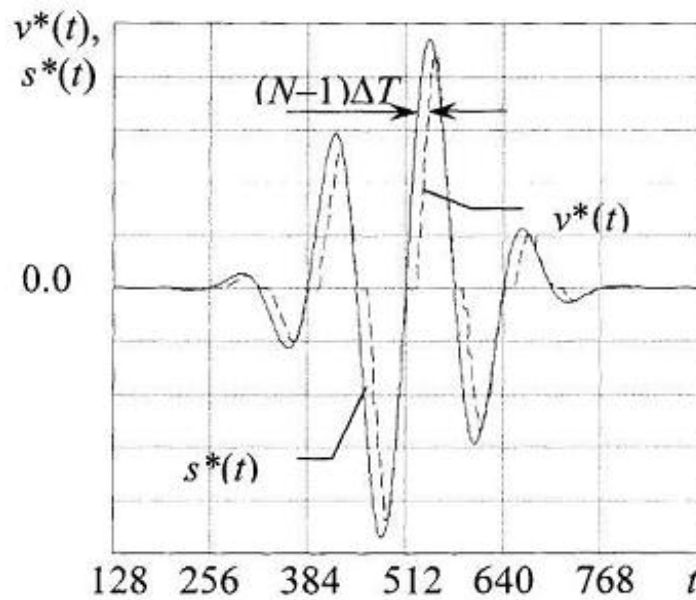


Fig. 1



Фиг. 2



Фиг. 3