



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **60813** (13) **U**  
(51) **МПК**  
**H04L 27/14 (2006.01)**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ  
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ

## ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під  
відповідальність  
власника  
патенту

### (54) СПОСІБ ДЕМОДУЛЯЦІЇ ДЕТЕРМІНОВАНИХ СИГНАЛІВ

1

(21) u201015616

(22) 24.12.2010

(24) 25.06.2011

(46) 25.06.2011, Бюл. № 12, 2011 р.

(72) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(73) ПОПОВ АНДРІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ

(57) Спосіб демодуляції детермінованих сигналів, при якому приймають вхідний сигнал, який є функцією одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, синхронно через інтервал, рівний тривалості детермінованого сигналу, формують М еталонних сигналів, кожний з яких є тотожним одному з М детермінованих сигналів, які використовуються, формують М каналів обробки, при цьому кількість каналів обробки М і кількість еталонних сигналів М визначаються кількістю детермінованих сигналів М, які використовуються, і перешкоди, кожному каналу обробки ставлять у відповідність свій еталонний сигнал, здійснюють попередню обробку вхідного сигналу, в ході якої вхідний сиг-

2

нал розгалужують на М каналів обробки, в кожному каналі обробки обчислюють кореляційну функцію між еталонним сигналом даного каналу обробки і попередньо обробленим вхідним сигналом, визначають канал обробки, у якому спостерігається максимальне значення кореляційної функції в момент часу, що визначається часом закінчення еталонного сигналу, приймають рішення щодо прийому саме того детермінованого сигналу, який відповідає тому каналу обробки, у якому у визначений момент часу спостерігається максимальне значення кореляційної функції, який **відрізняється** тим, що приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, а в ході попередньої обробки вхідного сигналу в кожному каналі обробки додатково обчислюють нижню (верхню) грань між еталонним сигналом даного каналу обробки і вхідним сигналом.

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

Відомий спосіб демодуляції цифрових сигналів, що реалізується за допомогою демодулятора цифрових сигналів, при якому приймають вхідний цифровий сигнал, який є адитивною функцією одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, синхронно через інтервал, рівний тривалості детермінованого сигналу, формують М еталонних цифрових сигналів, формують М каналів обробки, при цьому кількість каналів обробки М і кількість еталонних цифрових сигналів М визначаються кількістю детермінованих сигналів М, які використовуються, кожному каналу обробки ставлять у відповідність свій еталонний цифровий сигнал, здійснюють попередню обробку вхідного цифрового сигналу, в ході якої вхідний сигнал розгалужують на М каналів обробки, в кожному каналі обробки обчислюють кореляційну функцію між еталонним цифровим сигналом даного каналу

обробки і вхідним цифровим сигналом, визначають канал обробки, у якому спостерігається максимальне значення кореляційної функції в момент часу, що визначається часом закінчення еталонного цифрового сигналу, приймають рішення щодо прийому саме того детермінованого сигналу, який відповідає тому каналу обробки, у якому у визначений момент часу спостерігається максимальне значення кореляційної функції [1].

Недоліком відомого способу демодуляції цифрових сигналів є те, що він здійснює демодуляцію лише цифрових сигналів.

Найбільш близьким технічним рішенням, обраним за прототип, є способів демодуляції детермінованих сигналів, що реалізується за допомогою демодулятора детермінованих сигналів, при якому приймають вхідний сигнал, який є функцією одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, синхронно через інтервал, рівний тривалості детермінованого сигналу, формують М еталонних сигналів, кожний з яких є тотожним одному з М детермінованих сигналів, які використовуються, формують М каналів обробки, при цьому

(13) **U**

(11) **60813**

(19) **UA**

кількість каналів обробки  $M$  і кількість еталонних сигналів  $M$  визначаються кількістю детермінованих сигналів  $M$ , які використовуються, кожному каналу обробки ставлять у відповідність свій еталонний сигнал, здійснюють попередню обробку вхідного сигналу, в ході якої вхідний сигнал розгалужують на  $M$  каналів обробки, в кожному каналі обробки обчислюють кореляційну функцію між еталонним сигналом даного каналу обробки і попередньо обробленим вхідним сигналом, визначають канал обробки, у якому спостерігається максимальне значення кореляційної функції в момент часу, що визначається часом закінчення еталонного сигналу, приймають рішення щодо прийому саме того детермінованого сигналу, який відповідає тому каналу обробки, у якому у визначений момент часу спостерігається максимальне значення кореляційної функції [2].

Недоліками відомого способу демодуляції детермінованих сигналів є низька перешкодостійкість демодуляції сигналів в умовах впливу сильних перешкод та залежність перешкодостійкості демодуляції сигналів від умов апіорної невизначеності.

В основу корисної моделі поставлено задачу шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення відповідних змін в алгоритм демодуляції детермінованих сигналів, а саме, шляхом прийому вхідного сигналу, який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, а також обчислення нижньої (верхньої) грані між еталонним сигналом даного каналу обробки і вхідним сигналом, забезпечити підвищення перешкодостійкості демодуляції сигналів в умовах впливу сильних перешкод та виключити залежність перешкодостійкості демодуляції сигналів від умов апіорної невизначеності, що дозволяє усунути недоліки прототипу.

Суть корисної моделі в способі демодуляції детермінованих сигналів, при якому приймають вхідний сигнал, який є функцією одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, синхронно через інтервал, рівний тривалості детермінованого сигналу, формують  $M$  еталонних сигналів, кожний з яких є тотожним одному з  $M$  детермінованих сигналів, які використовуються, формують  $M$  каналів обробки, при цьому кількість каналів обробки  $M$  і кількість еталонних сигналів  $M$  визначаються кількістю детермінованих сигналів  $M$ , які використовуються, кожному каналу обробки ставлять у відповідність свій еталонний сигнал, здійснюють попередню обробку вхідного сигналу, в ході якої вхідний сигнал розгалужують на  $M$  каналів обробки, в кожному каналі обробки обчислюють кореляційну функцію між еталонним сигналом даного каналу обробки і попередньо обробленим вхідним сигналом, визначають канал обробки, у якому спостерігається максимальне значення кореляційної функції в момент часу, що визначається часом закінчення еталонного сигналу, приймають рішення щодо прийому саме того детермінованого сигналу, який відповідає тому каналу обробки, у якому у визначений момент часу

спостерігається максимальне значення кореляційної функції, полягає в тому, що приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, а в ході попередньої обробки вхідного сигналу в кожному каналі обробки додатково обчислюють нижню (верхню) грань між еталонним сигналом даного каналу обробки і вхідним сигналом.

Порівняльний аналіз технічного рішення, яке заявляється, з прототипом дозволяє зробити висновок, що спосіб демодуляції детермінованих сигналів відрізняється тим, що приймають вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, а в ході попередньої обробки вхідного сигналу в кожному каналі обробки додатково обчислюють нижню (верхню) грань між еталонним сигналом даного каналу обробки і вхідним сигналом.

Загальна ідея запропонованого способу демодуляції детермінованих сигналів полягає в наступному.

При демодуляції детермінованих сигналів ставиться завдання визначити, який з  $M$  детермінованих сигналів з множини  $S = \{s_i(t)\}$ ,  $i=1, \dots, M$  у визначений момент часу приймається пристроєм демодуляції детермінованих сигналів, за умов одночасного впливу перешкоди  $n(t)$  на вхід цього пристрою. Взаємодія одного з детермінованих сигналів  $s_i(t)$ , які використовуються з множини детермінованих сигналів  $S=\{s_i(t)\}$ ,  $i=1, \dots, M$ , і перешкоди  $n(t)$  в просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки  $L(\wedge, \vee)$  може здійснюватись подвійним чином: у вигляді функцій верхньої  $s_i(t) \vee n(t)$  або нижньої  $s_i(t) \wedge n(t)$  граней відповідно [3]. Отже при демодуляції детермінованих сигналів в просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки  $L(\wedge, \vee)$ , здійснюється прийом вхідного сигналу  $x(t)$ , який є функцією верхньої грані  $s_i(t) \vee n(t)$  одного з детермінованих сигналів  $s_i(t)$ , які використовуються, і перешкоди  $n(t)$ :

$$x(t) = s_i(t) \vee n(t), \quad t \in T_s, \quad i = 1, \dots, M, \quad (1a)$$

або функцією нижньої грані  $s_i(t) \wedge n(t)$  одного з детермінованих сигналів  $s_i(t)$ , які використовуються, і перешкоди  $n(t)$ :

$$x(t) = s_i(t) \wedge n(t), \quad t \in T_s, \quad i = 1, \dots, M, \quad (16)$$

де  $T_s = [t_0, t_0 + T]$  - область визначення сигналу  $s_i(t)$ ;

$t_0$  - відомий час приходу сигналу  $s_i(t)$ ;

$T$  - тривалість сигналу  $s_i(t)$ ;

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

При цьому детерміновані сигнали з множини  $S=\{s_i(t)\}$ ,  $i = 1, \dots, M$ , характеризуються однаковою

енергією  $E_i = \int_{t \in T_s} s_i^2(t) dt = E$  і коефіцієнтами взаєм-

ної кореляції  $r_{ik} = \int_{t \in T_s} s_i(t) s_k(t) dt / E < 1$ . Будемо та-

кож припускати, що перешкода  $n(t)$  характеризується довільними ймовірно-статистичними властивостями.

Рішення завдання демодуляції детермінованих сигналів з множини  $S=\{s_i(t)\}$ ,  $i=1, \dots, M$  слідує

безпосередньо з аксіом поглинання решітки  $L(\wedge, \vee)$  [3]:

$$s_k(t) \wedge x(t) = s_k(t) \wedge [s_k(t) \vee n(t)] = s_k(t) \quad (2a)$$

$$s_k(t) \vee x(t) = s_k(t) \vee [s_k(t) \wedge n(t)] = s_k(t), \quad (2б)$$

де  $x(t)$  - вхідний сигнал, який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів  $s_k(t)$ , які використовуються, і перешкоди  $n(t)$  відповідно.

Таким чином, незалежно від умов параметричної і непараметричної апріорної невизначеності, і, відповідно, імовірісно-статистичних властивостей перешкоди і співвідношення сигнал-перешкода, демодуляція детермінованих сигналів із заданої множини  $S=\{s_i(t)\}$ ,  $i = 1, \dots, M$  у просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки здійснюється безпомилково.

Відповідно до співвідношень (2a), (2б) для демодуляції детермінованих сигналів у просторі сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, в разі прийому вхідного сигналу  $x(t)$ , який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів  $s_k(t)$ , які використовуються, і перешкоди  $n(t)$ , в кожному з  $M$  каналів обробки необхідно формувати оцінку  $\hat{s}_i(t)$  еталонного сигналу  $s_i(t)$ , рівну нижньої (верхньої) грані  $y_i(t)$  між вхідним сигналом  $x(t)$  і еталонним сигналом  $s_i(t)$  каналу обробки відповідно:

$$y_i(t) = \hat{s}_i(t) = s_i(t) \wedge x(t) = s_i(t) \wedge [s_k(t) \vee n(t)] = \begin{cases} s_k(t), & i = k; \\ s_i(t) \wedge [s_k(t) \vee n(t)], & i \neq k. \end{cases}, \quad (3a)$$

або:

$$y_i(t) = \hat{s}_i(t) = s_i(t) \vee x(t) = s_i(t) \vee [s_k(t) \wedge n(t)] = \begin{cases} s_k(t), & i = k; \\ s_i(t) \vee [s_k(t) \wedge n(t)], & i \neq k. \end{cases}, \quad (3б)$$

Зі співвідношень (3a), (3б) випливає, що в кожному каналі обробки необхідно обчислювати кореляційну функцію  $R_i(t)$ :

$$R_i(t) = \int_{t \in T_s} y_i(t) s_i(t) dt, \quad (4)$$

між отриманим результатом попередньої обробки вхідного сигналу  $x(t)$  у вигляді нижньої (верхньої) грані  $y_i(t)$  і еталонним сигналом  $s_i(t)$  каналу обробки і приймати рішення щодо того, що у вхідному сигналі  $x(t)$  присутній саме той сигнал  $s_k(t)$ , у каналі якого в момент часу  $t=t_0+T$  фіксується максимальне значення кореляційної функції

$$R_k(t) = \int_{t \in T_s} y_k(t) s_k(t) dt:$$

$$\operatorname{argmax}_{i \in I; s_i(t) \in S} \left[ \int_{t \in T_s} y_i(t) s_i(t) dt \right] = k, \quad (5)$$

при цьому кореляційна функція  $R_i(t)$  в  $i$ -ому каналі обробки приймає максимальне значення при  $i=k$  в момент часу  $t=t_0+T$ , рівне енергії  $E$  сигналу  $s_i(t)$ :

$$R_{i=k}(t_0 + T) = \int_{t \in T_s} y_i(t) s_i(t) dt|_{i=k} = \int_{t \in T_s} S_k(t) S_k(t) dt = E, \quad (6)$$

а при  $i \neq k$  в момент часу  $t=t_0+T$  буде приймати значення строго менше енергії  $E$  сигналу  $s_i(t)$ :

$$R_i(t_0 + T) = \int_{t \in T_s} y_i(t) s_i(t) dt|_{i=k} < E.$$

Підсумовувавши, таким чином, зміст отриманих співвідношень (3a), (3б), (5), (6), можна зробити висновок про те, що спосіб демодуляції детермінованих сигналів у процесі обробки вхідного сигналу  $x(t)$  на інтервалі  $T_s=[t_0, t_0+T]$  повинний передбачати формування оцінки  $\hat{s}_i(t)$  сигналу  $s_i(t)$  в кожному з  $M$  каналів обробки, рівну відповідно до формул (3a), (3б) нижньої (верхньої) грані  $y_i(t)$  між вхідним сигналом  $x(t)$  і еталонним сигналом  $s_i(t)$  каналу обробки; обчислювати в кожному каналі обробки кореляційну функцію  $R_i(t) = \int_{t \in T_s} y_i(t) s_i(t) dt$

між результатом попередньої обробки вхідного сигналу  $x(t)$  у вигляді нижньої грані  $y_i(t)$  і еталонним сигналом  $s_i(t)$  каналу обробки на інтервалі  $T_s=[t_0, t_0+T]$ , і відповідно до рівняння (5) приймати рішення щодо того, що у вхідному сигналі  $x(t)$  присутній саме той сигнал  $s_k(t)$ , у каналі якого в момент часу  $t=t_0+T$  фіксується максимальне значення кореляційної функції  $R_{i=k}(t_0+T)$ , рівне енергії сигналу  $E$ .

Суть корисної моделі пояснюється за допомогою креслень, де на фіг.1 представлена послідовність операцій, що пояснює суть способу демодуляції детермінованих сигналів; на фіг.2 показана функціональна схема пристрою демодуляції детермінованих сигналів, за допомогою якого реалізується зазначений спосіб.

Згідно із схемою на фіг.1, суть способу демодуляції детермінованих сигналів пояснюється за допомогою наступної послідовності операцій.

Приймають вхідний сигнал  $x(t)$ , який є функцією верхньої  $s_k(t) \vee n(t)$  (нижньої  $s_k(t) \wedge n(t)$ ) грані  $x(t)$  одного з детермінованих сигналів  $s_k(t)$  з множини детермінованих сигналів  $S=\{s_i(t)\}$ ,  $i=1, \dots, M$ , які використовуються, і перешкоди  $n(t)$ , у відповідності до формул (1a), (1б)). Синхронно через інтервал  $T$ , рівний тривалості детермінованого сигналу  $s_i(t)$ , формують  $M$  еталонних сигналів  $s_i(t)$ ,  $i = 1, \dots, M$ , кожний з яких є тотожним одному з  $M$  детермінованих сигналів, які використовуються. Формують  $M$  каналів обробки. Кожному  $i$ -ому каналу обробки ставлять у відповідність свій еталонний сигнал  $S_i(t)$ , де  $i=1, \dots, M$ . Здійснюють попередню обробку вхідного сигналу  $x(t)$ , в ході якої вхідний сигнал  $x(t)$  розгалужують на  $M$  каналів обробки та в кожному каналі обробки обчислюють нижню  $s_i(t) \wedge x(t)$  (верхню  $s_i(t) \vee x(t)$ ) грань  $y_i(t)$  між еталонним сигналом  $s_i(t)$  даного  $i$ -ого каналу обробки і вхідним сигналом  $x(t)$  відповідно до формул (3a), (3б). В кожному каналі обробки обчислюють кореляційну функцію  $R_i(t)$  між еталонним сигналом  $s_i(t)$  даного  $i$ -ого каналу обробки і попередньо обробленим вхідним сигналом у вигляді нижньої (верхньої) грані  $y_i(t)$  згідно з формулою (4). Відповідно до формули (5), визначають канал обробки, у якому спостерігається максимальне значення кореляційної функції  $R_{i=k}(t_0+T)$  в момент часу  $t=t_0+T$ , що визначається часом закінчення еталонного сигналу  $s_i(t)$ .

Таким чином, у разі присутності у вхідному сигналі  $x(t)$  детермінованого сигналу  $s_i(t)$ , відповідно

до формули (5), приймають рішення щодо прийому саме того детермінованого сигналу  $s_k(t)$ , який відповідає тому каналу обробки  $k$ , у якому у визначений момент часу  $t=t_0+T$  спостерігається максимальне значення кореляційної функції.

Спосіб демодуляції детермінованих сигналів, який заявляється, реалізується за допомогою пристрою демодуляції детермінованих сигналів, що конструктивно містить (див. фіг.2):  $M$  каналів обробки - 1.1...1.М;  $M$  блоків обчислення нижньої (верхньої) грані - 2.1...2.М;  $M$  блоків обчислення кореляційної функції - 3.1...3.М; блок прийняття рішення - 4; генератор еталонних сигналів - 5.

Сукупність функціональних елементів і зв'язків між ними пристрою демодуляції детермінованих сигналів дозволяє реалізувати послідовність дій даного способу.

Реалізація способу демодуляції детермінованих сигналів за допомогою вищезазначеного пристрою здійснюється таким чином (див. фіг.2).

На вході пристрою демодуляції детермінованих сигналів приймають вхідний сигнал  $x(t)$ , який є функцією верхньої  $s_k(t) \vee n(t)$  (нижньої  $s_k(t) \wedge n(t)$ ) грані одного з детермінованих сигналів  $s_k(t)$  з множини детермінованих сигналів  $S=\{s_i(t)\}$ ,  $i=1, \dots, M$ , які використовуються, і перешкоди  $n(t)$ . Синхронно через інтервал  $T$ , рівний тривалості детермінованого сигналу  $s_i(t)$ , за допомогою генератора еталонних сигналів 5 формують  $M$  еталонних сигналів  $s_i(t)$ ,  $i=1, \dots, M$ , кожний з яких є тотожним одному з  $M$  детермінованих сигналів, які використовуються.

Формують  $M$  каналів обробки 1.1... 1.М, кожний з яких містить:  $M$  блоків обчислення нижньої (верхньої) грані 2.1...2.М та  $M$  блоків обчислення кореляційної функції 3.1...3.М. Кожному  $i$ -ому каналу обробки ставлять у відповідність свій еталонний сигнал  $s_i(t)$ ,  $i=1, \dots, M$  за допомогою зв'язків між  $i$ -им виходом еталонного генератора 5 і відповідним входом  $i$ -ого каналу обробки, де  $i=1, \dots, M$ .

Здійснюють попередню обробку вхідного сигналу  $x(t)$ , в ході якої вхідний сигнал  $x(t)$  розгалужують на  $M$  каналів обробки за допомогою паралельного з'єднання всіх каналів обробки 1.1...1.М із входом пристрою та за допомогою блоків обчислення нижньої (верхньої) грані 2.1...2.М в кожному каналі обробки обчислюють нижню  $s_i(t) \wedge x(t)$  (верхню  $s_i(t) \vee x(t)$ ) грань  $y_i(t)$  між еталонним сигналом  $s_i(t)$  даного каналу обробки і вхідним сигналом  $x(t)$  відповідно до формул (3а), (3б).

В кожному каналі обробки за допомогою блоків обчислення кореляційної функції 3.1...3.М об-

числюють кореляційну функцію  $R_i(t)$  між еталонним сигналом  $s_i(t)$  даного  $i$ -ого каналу обробки і попередньо обробленим вхідним сигналом у вигляді нижньої (верхньої) грані  $y_i(t)$  згідно з формулою (4).

Відповідно до формули (5) за допомогою блоку прийняття рішення 4 визначають канал обробки, у якому спостерігається максимальне значення кореляційної функції  $R_{i=k}(t_0 + T)$  (див. формулу (6)) в момент часу  $t = t_0 + T$ , що визначається часом закінчення еталонного сигналу  $s_i(t)$ .

Таким чином, у разі присутності у вхідному сигналі  $x(t)$  сигналу  $s_k(t)$ , відповідно до формули (5), за допомогою блоку прийняття рішення 4 приймають рішення щодо прийому саме того детермінованого сигналу  $s_k(t)$ , який відповідає тому каналу обробки  $k$ , у якому у визначений момент часу спостерігається максимальне значення кореляційної функції.

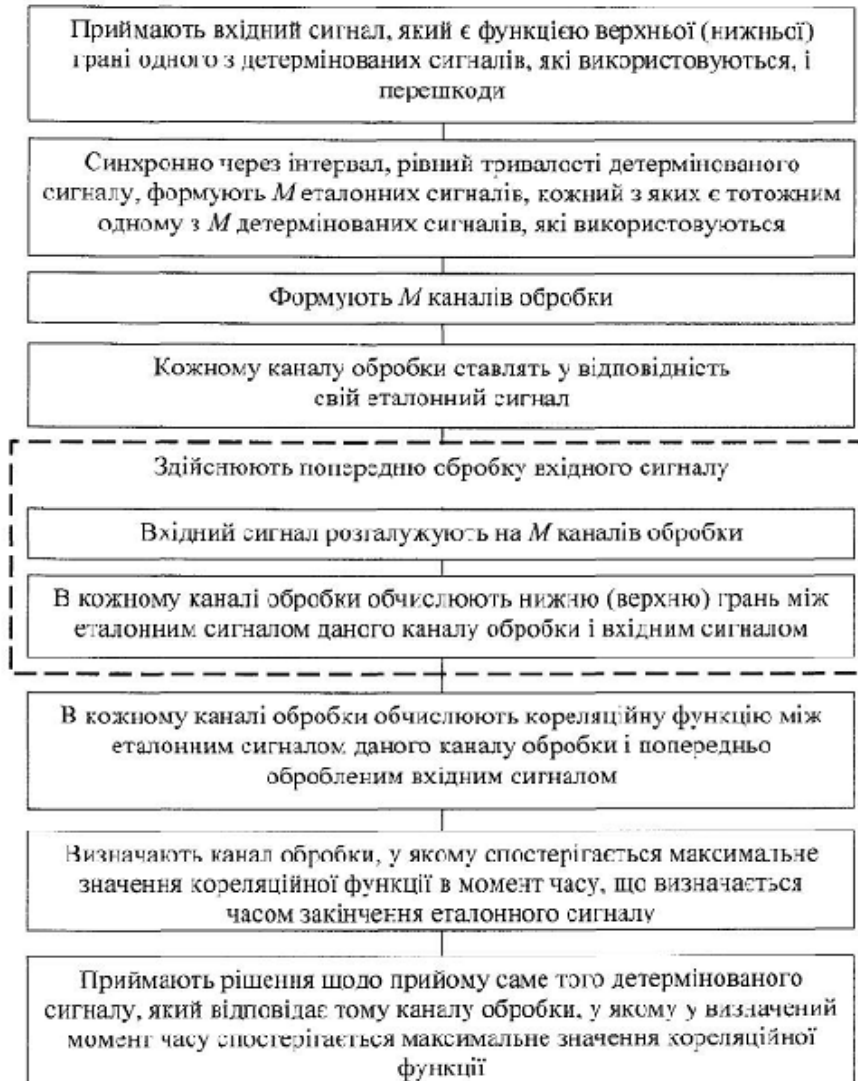
Підвищення ефективності способу демодуляції детермінованих сигналів, який заявляється, у порівнянні із прототипом досягається шляхом використання переваг простору сигналів із властивостями алгебраїчної решітки, а також за рахунок внесення відповідних змін в алгоритм демодуляції детермінованих сигналів, а саме, шляхом прийому вхідного сигналу, який є функцією верхньої (нижньої) грані одного з детермінованих сигналів, які використовуються, і перешкоди, а також обчислення нижньої (верхньої) грані між еталонним сигналом даного каналу обробки і вхідним сигналом, за рахунок чого забезпечується підвищення перешкодостійкості демодуляції сигналів в умовах впливу сильних перешкод та виключення залежності перешкодостійкості демодуляції сигналів від умов апіорної невизначеності.

Джерела інформації

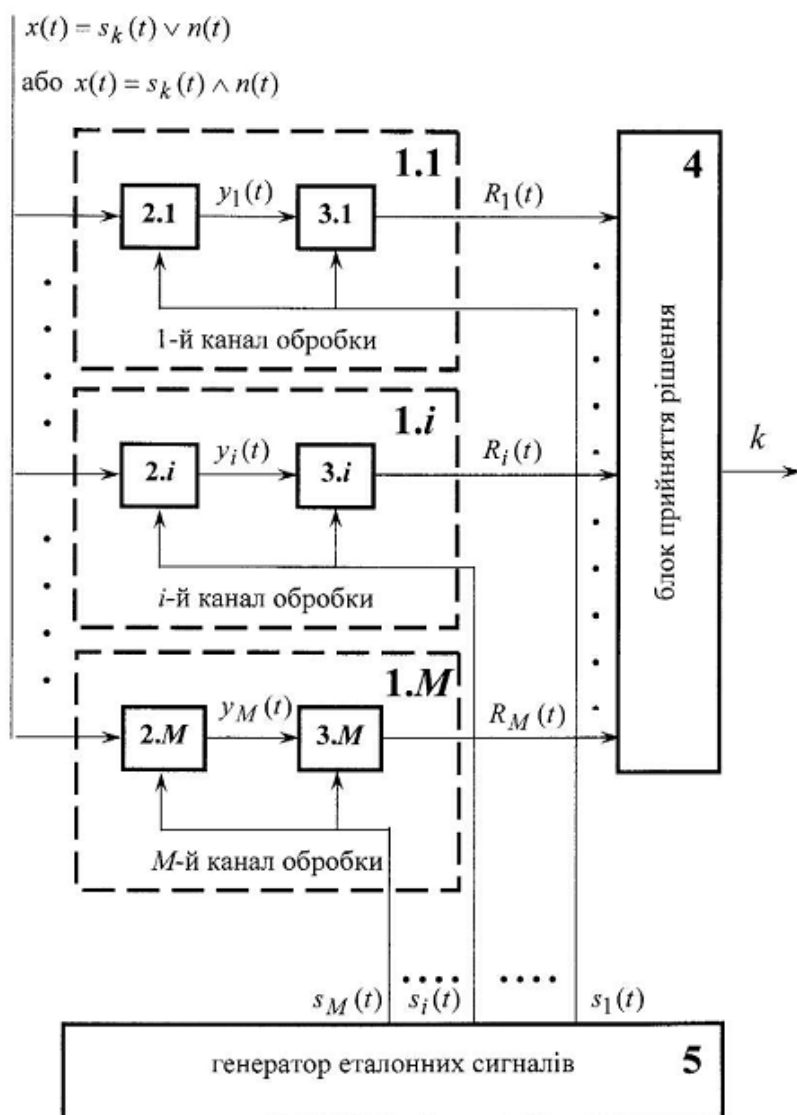
1. Cleveland J.R.. Apparatus and method for M-ary demodulation in digital communication// US patent 6925133, Int.Cl. H03D1/00, p.3. fig.3 - аналог.

2. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. - М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. - С.207, рис. 4.7.а. - прототип.

3. Попов А.А. Возможности обработки сигналов с полностью известными параметрами на фоне помех (шумов) в пространстве сигналов со свойствами алгебраической решетки// Известия вузов. Радиоэлектроника, 2008. - №8. - С.25-31.



Фіг. 1



Фіг. 2