

(19) A (11) 56074 (13) UA

(98) майдан Свободи, 6, м.Харків, 61043

(85) null

(74) null

(45) [2003-04-15]

(43) null

(24) 2003-04-15

(22) 2002-10-14

(12) null

(21) 2002108135

(46) 2003-04-15

(86)

(30)

(54) АДАПТИВНИЙ ПРИСТРІЙ СУПРОВОДУ МАНЕВРУЮЧИХ ЦІЛЕЙ АДАПТИВНОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ СОПРОВОЖДЕНИЯ МАНЕВРИРУЮЩИХ ЦЕЛЕЙ ADAPTIVE DEVICE FOR TRACKING MANEUVERING TARGETS

(56)

(71)

(72) UA Карлов Володимир Дмитрійович UA Карлов Володимир Дмитрійович UA Карлов Володимир Дмитрійович UA Коваль Олександр Андрійович UA Коваль Олександр Андрійович UA Коваль Олександр Андрійович UA Пашенко Руслан Едуардович UA Пашенко Руслан Едуардович UA Пашенко Руслан Едуардович UA Сірик Юрій Анатолійович UA Сірик Юрій Анатолійович UA Сірик Юрій Анатолійович UA Яровий Сергій Володимирович UA Яровий Сергій Володимирович UA Яровий Сергій Володимирович UA Челпанов Артем Володимирович UA Челпанов Артем Владимирович UA Chelpanov Artem Volodymyrovych

(73) UA ХАРКІВСЬКИЙ ВІЙСЬКОВИЙ УНІВЕРСИТЕТ UA Харьковский военный университет UA Kharkiv Military University

Предлагаемое адаптивное устройство для сопровождения маневрирующих целей содержит фильтры Калмана второго и третьего порядка, переключатель, устройство для обнаружения маневрирования цели и устройство для определения интенсивности маневрирования цели. Устройство для обнаружения маневрирования цели содержит устройство для формирования выборки сигналов, устройство для вычисления ранга, устройство для вычисления ранговой статистики и пороговое устройство. Устройство для определения интенсивности маневрирования цели содержит устройство считывания выборки сигналов, запоминающее устройство, устройство для определения погрешностей и устройство для определения ускорения цели. Предлагаемое устройство обеспечивает возможность своевременного непараметрического обнаружения цели при заданной вероятности ложной тревоги, уменьшение динамических погрешностей при фильтрации сигналов и повышение устойчивости системы сопровождения целей.

Адаптивний пристрій супроводу маневруючих цілей містить фільтри Калмана другого і третього порядку і комутатор, блок виявлення маневру в складі блоків формування вибірок, обчислення рангу, обчислення рангової статистики і порогового блока, а також блок оцінки інтенсивності маневру в складі блока знімання вибірки, запам'ятовуючого пристрою, блоків накопичення помилок і оцінки прискорення. Винахід забезпечує своєчасне непараметричне виявлення маневру цілі при забезпеченні заданої імовірності хибних тривог, зменшення динамічних помилок фільтрації, підвищення стійкості супроводу цілей.

The proposed adaptive device for tracking maneuvering targets contains 2-power and 3-power Kalman filters, a switch, a unit for detecting target maneuvering, and a unit for determining intensity of target maneuvering. The unit for detecting target maneuvering contains a unit for forming signal sample, a unit for rank calculation, a unit for calculating rank statistics, and a threshold unit. The unit for determining intensity of target maneuvering contains a signal sample reading unit, a memory unit, a unit for determining errors, and a unit for determining target acceleration. The proposed device provides for the possibility of timely nonparametric detection of a target at a specified false alarm probability, decreasing dynamic errors in signal filtration, and enhancing stability of the target tracking system.

Адаптивний пристрій супроводу маневруючих цілей, що містить послідовно з'єднані блоки фільтра Калмана другого порядку, фільтра Калмана третього порядку і комутатор, який **відрізняється** тим, що додатково введені блок виявлення маневру і блок оцінки інтенсивності маневру, причому блок виявлення маневру складається із послідовно з'єднаних блока формування вибірок, блока обчислення рангу, блока обчислення рангової статистики і порогового блока, а блок оцінки інтенсивності маневру складається з послідовно з'єднаних блока знімання вибірки, запам'ятовуючого пристрою, блока накопичення помилок і блока оцінки прискорення, при цьому входом пристрою є вхід блока фільтра Калмана другого порядку, другий вихід блока фільтра Калмана другого порядку з'єднаний із входом блока формування вибірок і з другим входом блока обчислення рангу, перший вихід блока фільтра Калмана другого порядку додатково з'єднаний із другим входом комутатора, вихід порогового блока з'єднаний із третім входом блока комутатора і другим входом блока знімання вибірки, другий вихід блока формування вибірок з'єднаний із першим входом блока знімання вибірки, вихід блока оцінки прискорення з'єднаний із другим входом блока фільтра Калмана третього порядку, а виходом пристрою є вихід комутатора.

Запропонований винахід відноситься до області радіолокації і може бути використаний для оцінки параметрів траєкторії маневруючої цілі.

Відомий пристрій супроводу й оцінки параметрів траєкторії цілі [1], в якому оцінка здійснюється за рекурентною схемою лінійного фільтра Калмана. Структурна схема даного пристрою складається з m паралельно включених фільтрів Калмана, кожен з них настроєний на визначене значення збуджуючого параметра (прискорення) у діапазоні можливих прискорень маневруючих цілей. Результируюча оцінка фільтруючих параметрів утворюється як зважена сума умовних оцінок на виходах фільтрів.

Недоліком відомого пристрою є складність і громіздкість схеми, а також те, що одержувані оцінки мають недостатню точність за рахунок впливу фільтрів, розстроєних відносно значення прискорення цілі.

Найбільш близьким до запропонованого по технічним рішенням, обраним ж прототип, є пристрій супроводу маневруючих цілей, [2], що включає у свій склад фільтри Калмана другого і третього порядків із схемою комутації їх на виході, а також m паралельно включених фільтрів, настроєних на різний час появи маневру цілі, блок вибору максимальної оцінки і блок порівняння з порогом.

Робота пристрою полягає в наступному. Аналізується квадратична складова рівняння руху цілі, обумовлена її маневром. Критерієм виявлення маневру є перевищення розміром параметра деякого граничного, збуджуючого рівня. При перевищенні порога робиться переключення фільтра Калмана другого порядку на фільтр Калмана третього порядку.

Недоліком даного пристрою є те, що при виявленні маневру цілі не враховується можливість зміни закону розподілу помилок супроводу через вплив різних чинників-помилки виміру, пасивних і активних перешкод, при цьому можуть бути не забезпечені задані рівні імовірності правильного виявлення маневру і помилкових тривог. Крім того, виявлення маневру цілі робиться з дуже великою затримкою, що приводить до появи значних динамічних помилок супроводу. При оцінці інтенсивності маневру використовується громіздка схема з ні фільтрами.

В основу винаходу поставлена задача створити такий адаптивний пристрій супроводу маневруючих цілей, в якому введення нових блоків, як-от блоку непараметричного виявлення маневру цілі і блоку оцінки інтенсивності маневру дозволить забезпечити своєчасне виявлення маневру при різних законах розподілу збуджуючого параметра і крім того, дозволить оцінити характеристики маневру. Тим самим забезпечуються задані імовірності правильного виявлення і помилкової тривоги і зменшуються динамічні помилки супроводу.

Для рішення поставленої задачі в пристрій, що містить послідовно з'єднані блоки фільтрів Калмана другого і третього порядку, і блок комутатора, додатково включений блок виявлення маневру і блок оцінки інтенсивності маневру, при цьому блок виявлення маневру складається з послідовно з'єднаних: блоку формування вибірок, блоку обчислення рангу, блоку обчислення рангової статистики і порогового блоку, а блок оцінки інтенсивності маневру складається з послідовно з'єднаних: блоку знімання вибірки, запам'ятовуючого пристрою, блоку накопичення помилок і блоку оцінки прискорення, при цьому входом пристрою є вхід фільтра Калмана другого порядку, другий вхід фільтра Калмана другого порядку, з'єднаний із входом блоку формування вибірок і з другим входом блоку обчислення рангу, перший вихід фільтра Калмана другого порядку додатково з'єднаний з другим входом комутатора, вхід порогового блоку з'єднаний з третім входом комутатора і другого входу блока знімання вибірки, другий вихід блоку формування вибірок з'єднаний із першим входом блоку знімання вибірки, вихід блоку оцінки прискорення з'єднаний з другим входом фільтра Калмана третього порядку, виходом пристрою є вихід комутатора.

Введені блоки дозволяють виявити маневр цілі й оцінити його інтенсивність за значеннями вибірки помилок супроводу. Застосування непараметричного виявлювача більш ефективно в умовах, коли закон розподілу помилок невідомий.

По тій же вибірці робиться оцінка значення прискорення, яке використовується для корекції параметрів фільтра, при цьому значно зменшуються динамічні помилки фільтрації, і підвищується стійкість супроводу.

На фіг.1 приведена структурна схема запропонованого пристрою.

На фіг.2 приведені залежності розміру динамічної помилки Δ_n супроводу траєкторії маневруючої цілі без обліку прискорення на виході фільтра Калмана другого порядку (крива 1), на виході фільтра Калмана третього порядку, з обліком прискорення, при затримці у виявленні маневру цілі (крива 2), при неточності в оцінці інтенсивності маневру (крива 3) і при мінімальній затримці у виявленні маневру й обліку прискорення цілі (крива 4).

Тут t_m , t_o , t_k - відповідно час початку маневру, виявлення маневру і кінця маневру цілі.

Графічні залежності показують, що своєчасне виявлення маневру цілі і облік оцінки прискорення, реалізовані в запропонованому пристрої, зменшують значення динамічних помилок фільтрації і, тим самим, підвищують стійкість супроводу цілі.

Запропонований пристрій містить послідовно з'єднані: блок фільтра Калмана другого порядку 1, блок фільтри Калмана третього порядку 2, комутатор 3, а також блок виявлення маневру 4 і блок оцінки інтенсивності маневру 9, при цьому блок виявлення маневру 4 складається з послідовно з'єднаних: блоку формування вибірок 5, блоку обчислення рангу 6, блоку обчислення рангової статистики 7 і порогового блоку 8. Блок оцінки інтенсивності маневру 9 складається з послідовно з'єднаних: блоку знімання вибірки 10, запам'ятовуючого пристрою 11, блоку накопичення помилок 12 і блоку оцінки прискорення 13, при цьому входом пристрою є вхід блоку фільтра Калмана другого порядку 1, другий вихід блоку фільтра Калмана другого порядку 1 з'єднаний з входом блоку формування вибірок 5 і з другим входом блоку обчислення рангу 6, перший вихід блоку фільтра Калмана другого порядку 1 додатково з'єднаний із другим входом комутатора 3, вихід порогового блоку 8 з'єднаний з третім входом комутатора 3 і другим входом блоку знімання вибірки 10, другий вихід блоку формування вибірок 5 з'єднаний із першим входом блоку знімання вибірок 10, вихід блоку оцінки прискорення 13 з'єднаний з другим входом блоку фільтра Калмана третього порядку 2, виходом пристрою є вихід комутатора 3.

Робота запропонованого пристрою полягає в наступному.

На вхід пристрою в кожному n -ому огляді РЛС надходять значення параметрів оперних точок супроводу y_n .

На детермінованій ділянці траєкторії цілі працює фільтр Калмана другого порядку, що формує і видає через

комутатор вектор оцінок параметрів лінійної траєкторії цілі X_u і кореляційної матриці помилок вимірів Ψ_n .

При цьому використовуються співвідношення лінійного фільтра Калмана. Наприклад, при оцінці дальності на момент часу t_n :

$$\hat{r}_n = \hat{r}_{n\bar{n}} + A_n(r_n - \hat{r}_{n\bar{n}}), \quad (1)$$

де r_n , $\hat{r}_{n\bar{n}}$, $\hat{r}_n$ - відповідно обмірюванням, екстрапольоване значення дальності і її оцінки;

A_n - коефіцієнт згладжування, обумовлений значеннями помилок екстраполяції і помилок виміру параметра;

$r_n - \hat{r}_{n\bar{n}} = \Delta_n$ - неузгодженість між обмірювальним і екстрапольованим значеннями (нев'язка).

При відсутності маневру помилка оцінки параметра являє собою білий гаусовський шум із нульовим середнім і дисперсією:

$$D_n = H\Psi_{n\bar{n}}^{-1}H^T + R, \quad (2)$$

де $\Psi_{n\bar{n}}$ - кореляційна матриця помилок екстраполяції;

H - лінійний оператор відповідності оцінюваних параметрів і вимірюємих координат;

R - кореляційна матриця помилок виміру.

Маневр цілі, виникаючий в момент часу t_m обумовлює стрибок прискорення q , що приводить до появи складової помилки супроводу, середнє значення якої буде змінюватися в часу:

$$M[\Delta x] = F(j, m) \cdot q, \quad (3)$$

де q - значення прискорення;

$F(j, m)$ - перехідна матриця обурень системи.

Задовільну апроксимацію величини $F(j, m)$ можна одержати, якщо обмежитися складовою прискорення:

$$F(j, m) = \frac{1}{2}(j - m)^2 T^2, \quad (4)$$

де j , m - відповідають сучасного моменту часу t_j і моменту початку маневру цілі t_m ;

T - період відновлення інформації (період огляду РЛС).

Тоді значення збуджуючого параметра у даному випадку - помилки екстраполяції параметра на j - кроку буде дорівнюватися:

$$Z_j = F(j, m) \cdot q = \frac{1}{2}q(j - m)^2 T^2, \quad j \geq m \quad (5)$$

Квадратична форма помилки супроводу Q_j підпорядкована нецентральному χ^2 розподілу з параметром нецентральності [1]:

$$\alpha_h = \frac{M^2[\Delta n]}{A_n}. \quad (6)$$

Виявлення маневру цілі робиться в блоці 4 по вибірці з $j = 1, 2, \dots, M$ значень помилок супроводу Z_j в "ковзному вікні" розміром M .

При виявленні маневру робиться переключення комутатора і на вихід, надходять оцінка параметрів $\hat{X}_n$, Ψ_n , формовані у фільтрі Калмана третього порядку.

При оцінці параметрів використовується значення прискорення, формовані в блоці 9 по вибірці Z_j , по якій відбулося виявлення маневру.

Розглянемо більш докладно роботу блоку виявлення маневру 4 і блоку оцінки інтенсивності маневру 9. Виявлення маневру цілі здійснюється шляхом аналізу вибірки Z_j , де $j = 1, 2, \dots, M$ шляхом порівняння її з опорною вибіркою $Z(j-m)$.

Опорна вибірка $Z(j-m)$ передуює аналізованій вибірці Z_j і попередньо записується в блок формування вибірок 5.

Для виявлення маневру використовується непараметричний ранговий виявлювач, реалізований у блоці 4.

У блоці 6 визначаються ранги значень аналізованої вибірки Z_j в порівнянні зі значеннями помилок опорної вибірки $Z(j-m)$: $R_1, R_2, \dots, R_m$. Аналізована вибірка Z_j також записується в регістр блока формування вибірок 5.

Далі в блоці 7 обчислюється значення рангової статистики S .

Враховуючи характер зміни помилок супроводу при маневрі цілі, коли спостерігається зсув (тренд) розміри невід'язки Δ_n , найбільше ефективна рангова кореляція [3]:

$$S = \sum_{j=1}^M j \cdot R_j \quad (7)$$

Значення S далі дорівнюється з пороговим рівнем $S_{\text{пор}}$ і при $S > S_{\text{пор}}$ приймається рішення про наявність маневру цілі.

Розмір порога вибирається виходу з заданої імовірності помилкових тривог, на основі аналізу розподілу помилок (2).

По імпульсу перевищення порога здійснюється переключення комутатора 3 а також керування блоком 10 знімання вибірки Z_j по якій був виявлений маневр цілі, і запис заданої вибірки в пам'ятовуючий пристрій, 11.

Оцінка інтенсивності маневру q в блоці 9 здійснюється відповідно до вираження, отриманим із співвідношень (4) і (5):

$$\hat{q} = \frac{Z_M}{P_M} = \frac{\sum_{j=1}^M F(j)Z_j}{\sum_{j=1}^M F^2(j)}, \quad (8)$$

де розмір P_M має сенс енергії сигналу обурення.

Для одержання оцінки прискорення в блоці 12 накопичення помилок робиться обчислення розміру Z_M , шляхом накопичення помилок Z_j із вагами

$$F(j) : Z_M = \sum_{j=1}^M F(j) Z_j.$$

В блоці 13 формується оцінка прискорення $\hat{q}$ шляхом нормування накопиченої суми відповідно до (8).

Отримане значення $\hat{q}$, що характеризує інтенсивність маневру цілі, надходить у блок фільтра Калмана третього порядку 2 і враховується при згладжуванні траєкторії маневруючої цілі, тим самим значно зменшуються динамічні помилки супроводу.

Оскільки маневр виявляється з деяким запізнюванням $t_1 < t_m \leq t_M$, то у фільтрі Калмана третього порядку це враховується шляхом корекції екстрапольованих значень параметрів.

При технічній реалізації запропонованого пристрою можна використовувати наступні типові вузли і блоки.

У якості оптимальних згладжуючих фільтрів детермінованої траєкторії, і траєкторії цілі на ділянці маневру використовуються відповідно фільтри Калмана другого і третього порядків (блоки 1 і 2), алгоритм роботи яких описаний в [1].

Блок формування вибірок 5 складається з двох регістрів зсуву, що послідовно запам'ятовують дві сусідні вибірки помилок супроводу $Z(j)$ і $Z(j-M)$ із «ковзного вікна» і можуть бути виконані на базі типових інтегральних мікросхем [4].

Блоки обчислення рангу 6, обчислення рангової статистики 7 і граничний блок 8 можуть бути виконані як у схемі рангового виявлювача [3, мал. 8.2] із використанням M схем порівняння, лічильника інверсій, запам'ятовуючого пристрою, множувача, накопичувального суматора і цифрового компаратора на базі типових інтегральних мікросхем [4].

Блок знімання вибірки 10 являє собою набір із M схем збігу, через які по імпульсу перевищення порога вибірки значень Z_j записуються в запам'ятовуючий пристрій 11.

Запам'ятовуючий пристрій 11, блок накопичення помилок 12 і оцінки прискорення 13 забезпечують виконання арифметичних операцій підсумовування, перемножування і розподілу і можуть бути виконані на інтегральних мікросхемах [4].

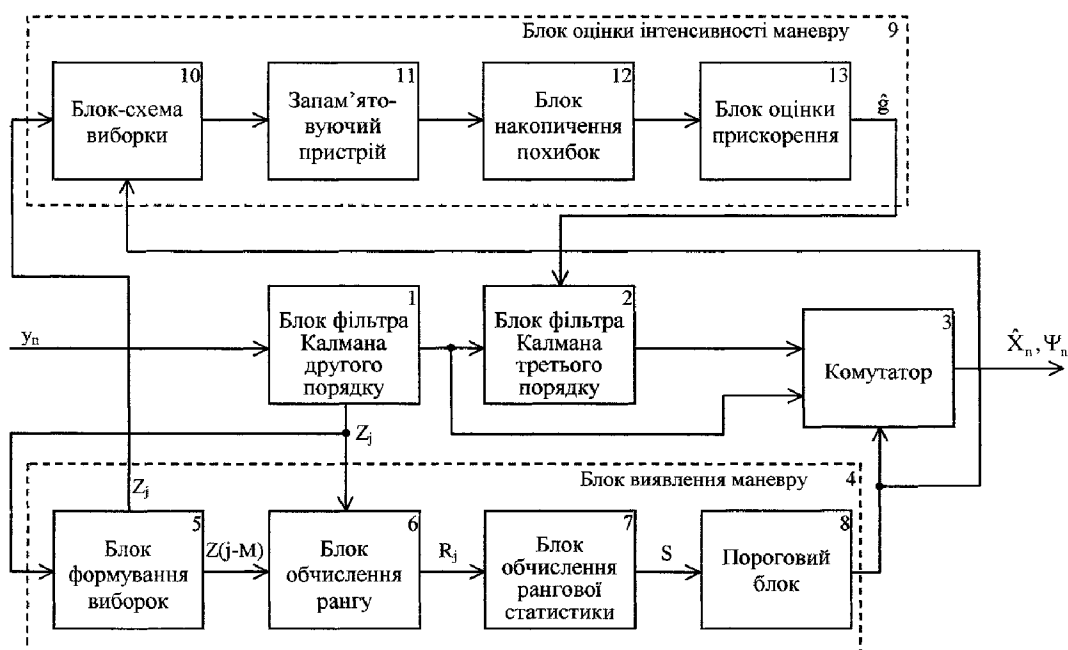
Технічний результат, який може бути отриманий при здійсненні винаходу полягає в наступному.

Застосування при виявленні маневру цілі непараметричного тесту рангової кореляції більш ефективно в порівнянні з параметричними методами при змінюючому або невідомому апіорному законі розподілу помилок, тому що забезпечує стабільну імовірність помилкових тривог [3]. У той же час враховується характер зсуву параметра нецентральної $\alpha_n(6)$, що підвищує імовірність виявлення маневру.

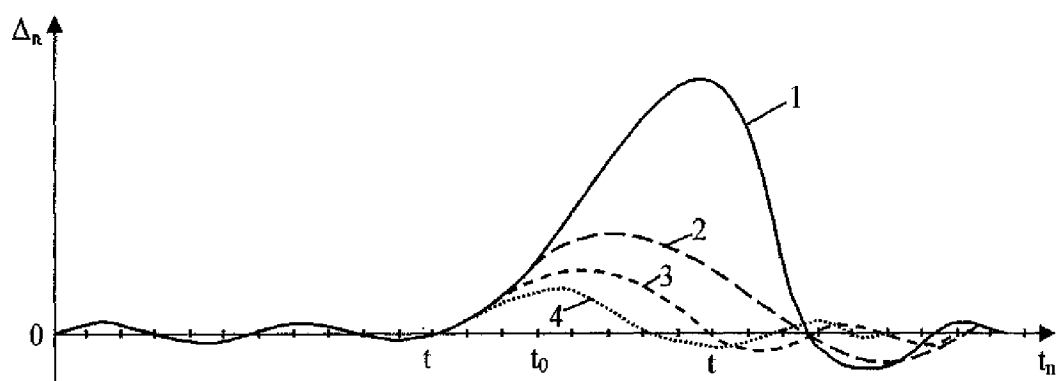
Зміна і облік інтенсивності маневру (прискорення цілі) дозволяють зменшити динамічні помилки супроводу, що можна оцінити по співвідношенню (5).

ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Кузьмин С.З. Основы проектирования систем цифровой обработки радиолокационной информации. - М: Радио и связь, 1986. - с. 181.
2. Гришин Ю.П., Казаринов ЮМ. Динамические системы, устойчивые к отказам. - М.: Радио и связь, 1985. - с. 163.
3. Обнаружение радиосигналов / Под ред. А.А. Колосова, - М: Радио и связь, 1989. - с. 165.
4. Цифровые и аналоговые интегральные микросхемы. Справочник / Под ред. С.В. Якубовского. - М: Радио и связь, 1989.



Фіг. 1



Фиг. 2