

УДК 621.396.967.2

І.В. Свид, І.А. Штих

Харківський національний університет радіоелектроніки, Харків

## СИНТЕЗ ВИЯВЛЮВАЧА ПОСЛІДОВНОСТЕЙ СИГНАЛІВ ЗАПИТУ НЕСИНХРОННОЇ МЕРЕЖІ СИСТЕМ ІДЕНТИФІКАЦІЇ

*Синтезовано виявлювач синхронних послідовностей сигналів запиту несинхронної мережі систем ідентифікації повітряних об'єктів, що дозволяє перейти від обслуговування в літаковому відповідачі сигналу запиту до обслуговування запитувача і, як наслідок, суттєвим чином зменшити обслуговування навмисних корельованих завад та підвищити завадостійкість як відповідачів, так і систем ідентифікації загалом.*

**Ключові слова:** сигнал запиту, система ідентифікації, навмисні корельовані завади

### Вступ

#### Постановка проблеми й аналіз літератури.

Поряд із засобами первинної радіолокації важливе місце в системі контролю повітряного простору (КПП) займають системи ідентифікації «свій-чужий» [1, 2].

Системи ідентифікації (СІ) складаються із запитувача та літакового відповідача (ЛВ). За принципами побудови відповідача та системи загалом СІ відносяться до [3]:

- систем обслуговуючих сигнал запиту (СЗ);
- одноканальних систем масового обслуговування (СМО) з відмовами;
- несинхронних мереж.

Ці принципи побудови СІ та використання відповідачем всеспрямованої антени є серйозною перешкодою для функціонування СІ при наявності внутрісистемних та навмисних корельованих завад (НКЗ), що суттєвим чином знижує завадостійкість таких систем.

Дійсно, постановка НКЗ зацікавленою стороною з потрібною інтенсивністю паралізує ЛВ, що призводить до зниження його завадостійкості.

Таким чином, пошук методів захисту СІ від НКЗ є актуальним. Серед таких методів є метод переходу від обслуговування СЗ до обслуговування запитувача, який, як відомо, формує синхронний потік СЗ. Цей потік відповідає вимогам щодо його характеристик. Дійсно, періоди повторення СЗ різних СІ відрізняються та вони відповідають умові однозначного виміру дальності до ЛВ.

Ця обставина може бути використана для виявлення синхронних послідовностей СЗ і, як наслідок, визначити кількість запитувачів, які формують сумарний потік СЗ.

Навмисні корельовані завади таким умовам не відповідають і, як наслідок, не будуть обслуговуватися ЛВ.

**Мета роботи** – синтез виявлювача синхронних послідовностей сигналів запиту систем ідентифікації.

### Основна частина

Відомо, що основою подавлення завад є розбіжності між корисним сигналом і завадою. Побудова існуючих СІ, як показано вище, виключає розбіжності між корисним сигналом і завадою ні за простором, ні за часом. Створення просторових розходжень між сигналами СІ і НКЗ, хоча й можливо, однак приводить до значних матеріальних витрат і приводить до складності функціонування таких систем. Іншим методом створення розбіжностей між корисними сигналами та НКЗ є часові розбіжності. Оцінимо можливість виділення синхронних послідовностей СЗ, що дозволить перейти від обслуговування СЗ до обслуговування запитувачі СІ.

Існуючі запитальні СІ відносяться до класу асинхронних систем передачі інформації і складаються з деякого числа передавачів і приймачів, що використовують єдиний частотний діапазон. Передавачі створюють дискретні сигнали  $s_1(t - T_{i0})$ , що належать кінцевій множині – ансамблю  $S = \{s_1(t)\}$ ;  $l = 1, 2, \dots, V$ , і передають їх в лінію зв'язку асинхронно, незалежно один від одного, в визначені ними самими моменти часу. При цьому зазвичай виконується умова  $t_1 \ll T_{i0}$ , де  $t_1$  - тривалість сигналу  $s_1(t)$ ;  $T_{i0}$  - період повторення сигналів запиту. Використання єдиного каналу передачі СЗ, а також побудова всієї системи за принципом відкритої системи масового обслуговування з відмовами ускладнюють роботу таких систем при дії сторонніх завад.

Будемо розглядати СІ з  $N$  запитувачами. В цьому випадку СЗ  $N$  запитувачів складаються адитивно в середовищі, яке використовується для передачі, без будь-якої взаємної синхронізації і на вхід приймача або відповідача на довільному інтервалі часу спостереження надходить коливання

$$r(t) = s(t) + \mu(t) + n(t), t > t_0, \quad (1)$$

де  $\mu(t)$  - внутрісистемна завада;  $n(t)$  - флуктуаційна

завада, взаємозалежна від  $s(t)$  і  $\mu(t)$ . Завада  $n(t)$  апроксимується стаціонарним білим шумом з такими статистичними характеристиками, які вважаються відомими:

$$\langle n(t) \rangle = 0; \langle n(t_1)n(t_2) \rangle = 0,5N_0\delta(t_2 - t_1). \quad (2)$$

Корисний сигнал може бути представлений в наступному виді

$$s(t) = \sum_{l=1}^V \sum_{j=1}^{n+1} s_{lj}(t) = \sum_{l=1}^V \sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^M a_{ljk} s_{ljk}(t), \quad (3)$$

де  $V$  - кількість СЗ, які використовуються в системі ідентифікації;  $s_{lj}(t)$  -  $j$ -й парціальний корисний сигнал  $l$ -ого СЗ;  $n$  - кількість імпульсів в СЗ;  $M = \lceil T_n/T_{i0} \rceil$  - ціла частина числа;  $T_n = t - t_0$  - інтервал спостереження;  $s_{jk}$  -  $k$ -й радіоімпульс  $j$ -ого парціального корисного сигналу;  $a_{jk}$  - амплітудний коефіцієнт, рівний 1 або 0, в залежності від коду СЗ.

При обчисленнях прийемо, що кожен корисний імпульс має вигляд

$$s_{jk}(t) = S_{jk}(t, \tau_{jk}, A_{jk}, \phi_{jk}) = A_{jk} f_{jk} \times \times (t - \tau_{jk}) \cos[\omega_0(t - \tau_{jk}) + \phi_{jk}], \quad (4)$$

де  $f_{jk}(t - \tau_{jk})$  - огинаюча корисного радіоімпульсу,  $A_{jk}$  - випадкова амплітуда цього радіоімпульсу,  $\tau_{jk}$  - момент появи радіоімпульсу, який визначається рівністю  $\tau_{jk} = \tau_j + kT_{i0}$ . Тут  $\tau_j$  - відомий зсув у часі радіоімпульсу  $j$ -ого парціального корисного сигналу, який визначається кодом сигналу запиту.

Як видно з вищевикладеного, кожен запитувач формує серію запитальних сигналів, що відрізняються періодом проходження. Це неодмінна умова функціонування сучасних мереж систем ідентифікації. Однак, як показано в [1], ця обставина може бути використана для зміни принципу побудови відповідачів. Дійсно, виділивши синхронну послідовність СЗ можна перейти від обслуговування першого правильно прийнятого СЗ, до обслуговування абонентів, тобто запитувачів.

Покажемо це. Будемо вважати, що інтервал спостереження обраний так, що  $M > K$ , де  $K$  - потрібне число СЗ, необхідне для виявлення синхронної послідовності. Будемо розглядати нефлюктууючу некогерентну послідовність СЗ, кожна з яких утворена некогерентними радіоімпульсами. Початкові фази всіх радіоімпульсів  $\phi_i \equiv \beta_i$ ,  $i = \overline{1, r}$ , а  $r = V(n+1)K$  - загальне число радіоімпульсів. Послідовності СЗ в цьому випадку незалежні випадкові величини, кожна з яких рівномірно розподілена на інтервалі  $[-\pi, \pi]$ . Спільна щільність ймовірності сукупності незалежних випадкових величин  $\vec{\beta} = \{\beta_1, \dots, \beta_r\}$  визначається виразом

$$W(\vec{\beta}) = \prod_{i=1}^r W(\beta_i).$$

Вираз (4) можливо записати як

$$s(t, \vec{\beta}) = \sum_{i=1}^r s_{1i}(t) \cos \beta_i + s_{2i}(t) \sin \beta_i,$$

де  $s_{1i}(t) = A_{0i}(t) \cos(\omega_0 t)$ ,  $s_{2i}(t) = -A_{0i}(t) \sin(\omega_0 t)$ .

Тоді умовне значення кореляційного інтеграла можна записати як

$$z(r(t)|\vec{\beta}) = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) s(t, \vec{\beta}) dt = \sum_{i=1}^r (z_{1i} \cos \beta_i + z_{2i} \sin \beta_i), \quad (5)$$

де  $z_{ji} = \int_{-\infty}^{\infty} r(t) s_{ji}(t) dt$ ,  $j = 1, 2$ ;  $i = \overline{1, r}$ .

Якщо ввести позначення  $Z_i = \sqrt{z_{1i}^2 + z_{2i}^2}$ , то вираз (5) можна записати як

$$z(r(t)|\vec{\beta}) = \sum_{i=1}^r Z_i \cos(\beta_i - \theta_i), \quad (6)$$

де  $\cos \theta = z_1/Z$ ;  $\sin \theta = z_2/Z$ .

Так як в нашому випадку послідовність складається з імпульсів, що не перекриваються, то енергія пачки визначається сумою енергій окремих імпульсів. При малій зміні амплітуди в межах імпульсу за період коливань високої частоти можна записати

$$E(\beta) = \sum_{i=1}^r E_i(\beta_i) \approx \sum_{i=1}^r \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} A_{0i}^2(t) dt = \sum_{i=1}^r E_i, \quad (7)$$

де енергія  $i$ -го імпульсу не залежить від випадкової величини.

Відношення правдоподібності (ВП) при довільній щільності ймовірності випадкових параметрів, як відомо [3], визначається як

$$l(r(t)) = \int_{-\infty}^{\infty} W(\vec{\beta}) \exp\left(-\frac{E(\vec{\beta})}{N_0}\right) \exp\left(\frac{2}{N_0} z(r(t)|\vec{\beta})\right) d\vec{\beta}. \quad (8)$$

Підставляючи в (8) вирази (6) і (7), після інтегрування і використання модифікованої функції Бесселя нульового порядку можна записати

$$l(r(t)) = \prod_{i=1}^r \exp\left(-\frac{E_i}{N_0}\right) I_0\left(\frac{2Z_i}{N_0}\right).$$

Логарифм ВП в цьому випадку визначається як

$$\ln l(r(t)) = \sum_{i=1}^r \ln I_0\left(\frac{2Z_i}{N_0}\right) - \sum_{i=1}^r \frac{E_i}{N_0}. \quad (9)$$

Як впливає з виразу (9), оптимальне вирішальне правило виявлення послідовностей СЗ зводиться до порівняння з порогом такої величини:

$$\Lambda = \sum_{i=1}^r \ln I_0(2Z_i/N_0).$$

Враховуючи те, що СІ, як правило, працюють при великих амплітудах СЗ вирішальне правило може бути спрощено

$$\Lambda = \sum_{i=1}^r \ln I_0(2Z_i/N_0) \approx \sum_{i=1}^r (2Z_i/N_0). \quad (10)$$

Таким чином, в оптимальному виявлювачі синхронних послідовностей необхідно обчислити модуль кореляційного інтеграла відповідно до виразу (10) і порівняти цю величину з порогом.

В випадку  $q_0 \gg 1$ , що характерно для систем ідентифікації, необхідні значення F і D можна забезпечити, обробляючи лише один імпульс синхронної послідовності. При цьому втрати за рахунок

незнання його фази невеликі. Таким чином, реалізація детектора синхронних послідовностей СЗ може бути здійснена за різними схемами. Зокрема, на рис. 1 представлена одна з можливих схем виявлювача синхронної послідовності. На виході фільтра, узгодженого з поодиноким радіоімпульсом (УФПР) обчислюється кореляційний інтеграл, що дозволяє на виході детектора (Д) отримати модуль кореляційного інтеграла. Пороговий пристрій (ПП) порівнює модуль кореляційного інтеграла з пороговим рівнем, при перевищенні якого приймається рішення про виявлення одиночного сигналу з необхідними показниками якості.

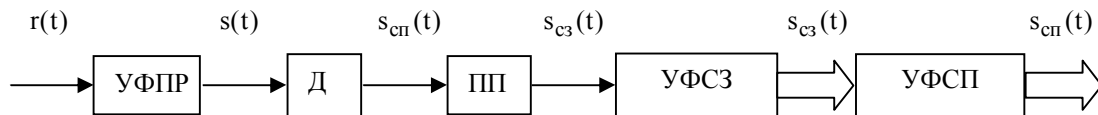


Рис. 1. Структура виявлювача синхронної послідовності системи ідентифікації

Надалі за допомогою узгодженого фільтра СЗ здійснюється виявлення конкретного СЗ. Загальна кількість УФСЗ дорівнює V. Узгоджений фільтр (УФСП) дозволяє виділити всі синхронні послідовності СЗ, тобто число запитувачів, які працюють в даний час з даним відповідачем.

## Висновки

Таким чином, запропонований метод обробки СЗ в літаковому відповідачі дозволяє виділити синхронні послідовності сигналів запиту запитувачів СІ і, як наслідок, змінити порядок обслуговування. Дійсно виділення послідовностей СЗ визначає кількість запитувачів що потрібно обслужити. Це дозволяє значно підвищити завадостійкість систем ідентифікації за рахунок:

- переходу від обслуговування першого СЗ до обслуговування абонента тобто запитувача;
- виключення з обслуговування СЗ що не мають відомої синхронної складової, тобто навмисних корельованих завад;

– можливості використання однопозиційного обчислення дальності до повітряного об'єкта супротивною стороною, за рахунок виключення можливості несанкціонованого використання літакових відповідачів.

## Список літератури

1. Теоретичні основи побудови завадозахищених систем інформаційного моніторингу повітряного простору / В.В. Ткачев, Ю.Г. Даник, С.А. Жуков та інші. – К.: МОУ, 2004. – 271 с.
2. Обод І.І. Інформаційна мережа систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, О.О. Стрельницький, В.А. Андрусевич. – Х.: ХНУРЕ, 2015. – 270 с.
3. Обод І.І. Завадозахищеність запитальних систем спостереження повітряного простору / І.І. Обод, І.В. Свид, І.А. Штых – Х.: ХНУРЕ, 2014. – 310 с.

Надійшла до редколегії 23.02.2017

Рецензент: д-р техн. наук проф. О.А. Серков, Національний технічний університет «ХП», Харків.

## СИНТЕЗ ОБНАРУЖИТЕЛЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЕЙ СИГНАЛОВ ЗАПРОСА НЕСИНХРОННОЙ СЕТИ СИСТЕМ ИДЕНТИФИКАЦИИ

И.В. Свид, И.А. Штых

Синтезирован выявлювач синхронных последовательностей сигналов запроса несинхронной сети систем идентификации воздушных объектов, что позволяет перейти от обслуживания в самолетном ответчике сигнала запроса к обслуживанию запросчика и, как следствие, существенно образом уменьшить обслуживание умышленных коррелированных помех и повысить помехоустойчивость как ответчиков, так и систем идентификации в общем.

**Ключевые слова:** сигнал запроса, система идентификации, умышленные коррелированные помехи.

## SYNTHESIS OF DETECTION OF SIGNALS OF SEQUENCES OF REQUEST FOR NON-SIGNAL NETWORK OF IDENTIFICATION SYSTEMS

I.V. Svyd, I.A. Shtykh

Synthesized wiiavlyuvach synchronous sequences of signals request a nonsynchronous network of aircraft identification systems, which allows to switch from servicing in the aircraft responder request signal to the service of the interrogator and, as a result, significantly reduce the maintenance of intentional correlated interference and improve the immunity of both respondents and identification systems in general.

**Keywords:** request signal, identification system, intentional correlated interference.