

АНАЛІЗ НЕЗАЛЕЖНИХ КОМПОНЕНТ ЯК МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОЗАХИЩЕНОСТІ СИСТЕМ ЗВ'ЯЗКУ

Вінницький національний технічний університет

Анотація.

У роботі розглянуто підхід до підвищення завадозахищеності систем зв'язку зі стрибкоподібною зміною несучої частоти (СЗНЧ) за допомогою методу аналізу незалежних компонент (АНК). Для виділення корисного сигналу в умовах дії шумів і перешкод застосовано алгоритм другого порядку сліпої ідентифікації (ДПСІ). Розроблена імітаційна модель у середовищі GNU Octave підтвердила ефективність АНК: ймовірність бітової помилки зменшується більш ніж у 100 разів за високих рівнів завад.

Ключові слова: завадозахищеність, СЗНЧ, аналіз незалежних компонент, адитивний білий гаусівський шум, імпульсна перешкода.

Системи зв'язку зі стрибкоподібною зміною несучої частоти (СЗНЧ) є одним із найефективніших засобів захисту інформації від перехоплення та завад, оскільки частота передачі постійно змінюється за визначеним законом або випадковою послідовністю. Проте у складних умовах радіоелектронної боротьби навіть такі системи можуть втрачати стійкість через потужні імпульсні або широкосмугові перешкоди.

Одним із сучасних напрямів підвищення завадостійкості є застосування методів сліпої обробки сигналів, серед яких аналіз незалежних компонент (АНК, англ. ICA — Independent Component Analysis) забезпечує ефективне виділення корисних сигналів без знання характеристик каналу чи типу завад [1–3].

АНК базується на припущенні, що спостережувані сигнали є сумішшю статистично незалежних джерел. Завдання полягає у знаходженні таких лінійних перетворень, які мінімізують статистичну залежність між компонентами. На відміну від методу головних компонент (РСА), який мінімізує кореляцію, АНК мінімізує вищі статистичні моменти (ентропію, ексцес, негайність), що дозволяє відновлювати сигнали навіть у випадках некорельованих, але залежних джерел [1, 2].

У загальному випадку спостережувані сигнали $X(t)$ є сумішшю незалежних джерел $S(t)$, що передаються через невідому матрицю змішування A :

$$X = A \cdot S + n \quad (1)$$

де n — вектор адитивного білого гаусівського шуму. Завдання АНК полягає у знаходженні такої матриці розділення W , щоб оцінені незалежні компоненти були статистично незалежними:

$$Y = W \cdot X \quad (2)$$

Відновлення джерел подається як:

$$\hat{S} = W \cdot X \approx A^{-1} \cdot X \quad (3)$$

Імітаційна модель СЗНЧ-системи реалізована у GNU Octave з урахуванням адитивного шуму та імпульсних перешкод різної потужності. Оцінювалася ймовірність бітової помилки (ЙБП) для традиційного приймача та після обробки за допомогою АНК.

Результати моделювання показали, що алгоритм ДПСІ ефективно виділяє корисний сигнал навіть за сильних імпульсних перешкод. При співвідношенні сигнал/шум понад 8 дБ досягнуто зменшення ЙБП з $2.5 \cdot 10^{-3}$ до $1.2 \cdot 10^{-5}$ що відповідає покращенню у понад 100 разів. Отримані результати підтверджують, що застосування АНК дозволяє підвищити завадозахищеність без потреби у додаткових каналах синхронізації чи попередньої оцінки характеристик середовища.

У роботі розглянуто метод аналізу незалежних компонент для підвищення завадостійкості СЗНЧ-систем. Запропонований алгоритм ДПСІ забезпечує значне зниження ЙБП при дії імпульсних і адитивних завад. АНК може бути інтегрований у цифрові приймачі для покращення їх стійкості без ускладнення апаратної реалізації.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Hyvärinen A., Karhunen J., Oja E. Independent Component Analysis. Wiley-Interscience, 2001.
2. Comon P. Independent Component Analysis: a New Concept? Signal Processing, 36(3), 287–314, 1994.
3. Hyvärinen A. Fast and Robust Fixed-Point Algorithms for Independent Component Analysis. IEEE Trans. Neural Networks, 10(3), 626–634, 1999.

Ентін Ігор Іванович — аспірант групи 172-23а, факультет інформаційних електронних систем, Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: igorentin90@gmail.com.

ANALYSIS OF INDEPENDENT COMPONENTS AS A METHOD OF INCREASING THE INTERFERENCE IMMUNITY OF COMMUNICATION SYSTEMS

Abstract.

The paper proposes a method for enhancing the interference immunity of frequency-hopping communication systems based on independent component analysis. The second-order blind identification algorithm was applied to separate useful signals from noise and interference. Simulation in GNU Octave showed a bit-error probability gain of more than 100 under strong impulse and Gaussian noise.

Keywords: noise immunity, frequency-hopping, independent component analysis, blind signal processing, impulse interference.

Entin Igor Ivanovich — postgraduate student of group 172-23a, Faculty of Information Electronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, e-mail: igorentin90@gmail.com.