

Телекомунікації, радіолокація, радіонавігація та електроакустика

УДК 621.396.96

ПІДВИЩЕННЯ ЗАВАДОСТІЙКОСТІ ОБРОБКИ СИГНАЛІВ В НЕКОГЕРЕНТНИХ РАДІОЛОКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Чесановський І. І.¹, к.т.н., доцент; Іванов А. В.²; Гурман І. В.¹

¹ *Хмельницький національний університет, Хмельницький, Україна*

² *Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, Хмельницький, Україна*

IMPROVE NOISE IMMUNITY SIGNAL PROCESSING IN NONCOHERENT RADAR SYSTEMS

Chesanovskiy Ivan¹, PhD, Associate Professor; Ivanov Andrey²; Gurman Ivan¹

¹ *Khmelnytsky National University, Khmelnytsky, Ukraine*

² *Academy of State Border Service of Ukraine, Khmelnytsky, Ukraine*

Вступ

Тривалий час розвиток радіотехніки відбувався виходячи із останніх досягнень технологій в частині елементної бази, оскільки практична реалізованість нових методів та моделей перебувала на першому місці. Проте, в останній час ця тенденція змінилась, через великі досягнення в галузі обчислювальної техніки, яка за своїми можливостями дає змогу реалізувати практично будь-які теоретичні підходи, при чому навіть за необхідності (при відповідних затратах) в реальному часі. Не є виключенням в цьому і радіолокаційні системи, яким присвячена дана робота.

Постановка задачі

До сьогоденішнього часу, в активній радіолокації існує певний аксіоматичний підхід, відповідно якого якісні характеристики системи за основними показниками визначаються, в першу чергу, властивостями переносників інформації, якими при реалізації активних методів радіолокації є зондуючі радіосигнали. Таким чином, обмеження на значення основних показників системи накладаються виключно можливостями передавачів, або зокрема генераторів НВЧ діапазону, що використовуються в їх складі. Виключенням можуть бути лише радіосистеми із цифровим синтезом апертури, де за рахунок просторової обробки сигналів досягається значне підвищення потенційно можливих значень характеристик системи. Проте, такі підходи обумовлюють введення значних обмежень до процесу ведення радіолокаційного спостереження, що в переважній більшості випадків не можуть бути задоволеними, а отже потребує пошуку нових підходів.

Основна частина

Одним із таких підходів, може бути метод обробки сигналів, що запропонований в роботах [1, 2], а саме метод підвищення когерентності обробки радіолокаційних сигналів в некогерентних радіолокаційних системах на

основі компенсації і використання амплітудної та кутової нестабільності передавача при формуванні зондуючого радіосигналу. Реалізація такого методу стає можливою за рахунок введення додаткової гілки між передавачем і приймачем, що виконує функцію узгодження алгоритму оптимальної обробки ехо-сигналів з зондуючим за його комплексною обвідною (рис. 1).

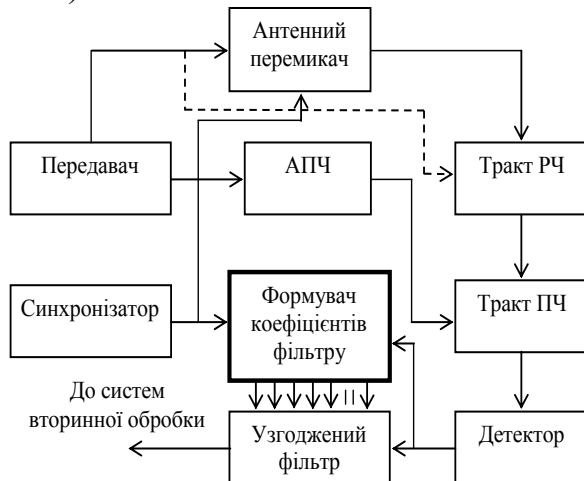


Рис.1. Структурна схема прийомо-передавача імпульсної радіолокаційної станції при реалізації додаткового узгодження сигналів

В структурній схемі, що приведена на рис.1, для узгодження фільтру в приймачі пропонується додатково ввести формувач коефіцієнтів фільтру, який формує вектор вагових коефіцієнтів фільтру $\{H'\}$, виходячи із форми комплексної обвідної зондуючого радіосигналу, що випромінений в поточному періоді зондування. Слід зазначити, що формування $\{H'\}$ відбувається безпосередньо під час ви-

промінювання зондуючого сигналу, таким чином, що до моменту переключення антенного перемикача, узгоджений фільтр вже має бути сформований.

Для оцінки потенційного виграшу від застосування такого підходу та його фізичної реалізує мості, необхідно сформулювати та оцінити властивості дійсного (з урахуванням всіх детермінованих і не детермінованих чинників) зондуючого радіолокаційного сигналу, що випромінюється РЛС. При реалізації методів імпульсної радіолокації, в загальному вигляді, модель радіолокаційного сигналу може бути записана як,

$$s(t) = A(t) \cos(\omega t + \varphi(t)), \quad (1)$$

де $A(t)$ і $\varphi(t)$ — амплітудна і кутова модуляція радіолокаційного сигналу.

Прийом та обробка радіолокаційного сигналу, що описується такою моделлю, як правило, здійснюється оптимальним приймачем [3], що синтезується виходячи із енергетичного спектра даного сигналу (до детекторна обробка, що максимізує відношення сигнал/шум). В іншому випадку, при застосуванні амплітудної та (або) кутової модуляції спеціальних форм, узгодження оптимального приймача (як правило узгодженого фільтру) проводиться з детермінованою формою комплексної обвідної радіолокаційного сигналу, в наслідок чого, досягається окрім енергетичного виграшу, ще й і виграш в розрізнявальній здатності. В останньому випадку системи будуються за когерентними схемами з відповідним підвищенням ви-

мог до джерела зонduючих сигналів (висока стабільність, додаткова модуляція і т.д.).

Дана робота присвячена саме некогерентним імпульсним радіолокаційним системам, а отже питання додаткової модуляції зонduючих сигналів відпадає. Як показано в ряді робіт [1,2], подолати некогерентність джерела зонduючих сигналів потенційно можливо не тільки за рахунок його стабілізації, але і в процесі прийому, шляхом додаткового узгодження приймача з формою комплексної обвідної сигналу. Таким чином, модель імпульсного радіолокаційного сигналу, що має низьку стабільність частоти, можна записати у вигляді

$$s(t) = \begin{cases} A_0 \xi_A(t) \cos(\omega t + \xi_\varphi(t)), & |t| \leq \tau_i, \\ 0, & |t| > \tau_i, \end{cases} \quad (2)$$

де $\xi_A(t)$ і $\xi_\varphi(t)$ — амплітудна і кутова модуляційна складова, що вносяться в сигнал в наслідок дії дестабілізуючих чинників на роботу передавача.

Не важко помітити, що вигляд та розмах флуктуаційних складових $\xi_A(t)$ і $\xi_\varphi(t)$ будуть в значній мірі впливати на енергетичний спектр радіосигналу, а отже його неврахування призводить до певних енергетичних втрат. Слід зазначити, що при вирішенні практичних задач по проектуванню радіолокаційних станцій, з метою урахування наявних флуктуацій, смугу пропускання приймача значно розширюють, що призводить до збільшення потужності шумів, проте, з огляду на «розкид» енергії сигналу по частотній вісі, є більш виграшним варіантом.

Для оцінки потенційних втрат енергії за рахунок паразитної модуляції, в першу чергу, необхідно визначити дійсну ширину спектра сигналів, задавши конкретними виглядами функцій $\xi_A(t)$ та $\xi_\varphi(t)$.

Як правило, в некогерентних радіолокаційних системах імпульсного типу, амплітудна обвідна сигналу $\xi_A(t)$ замість прямокутної має дзвоноподібну форму, при цьому в наслідок фізичних особливостей роботи генераторів НВЧ магнетронного типу (ефект електронного зміщення частоти), в сигналі присутня значна частотна модуляція. Таким чином, модель сигналу (2) в комплексній формі, з урахуванням викладеного вище, може бути записана в наступному вигляді

$$\dot{s}(t) = k_1 \exp(-\pi k_1^2 t^2) \exp(j\omega_0 t + \varphi_0), |t| \leq \tau_i, \quad (3)$$

де $k_1 \exp(-\pi k_1^2 t^2)$ — складова, що характеризує наявну амплітудну модуляцію у вигляді дзвоноподібної обвідної; $k_1 = 1/\sqrt{2\pi}\sigma$ — коефіцієнт глибини амплітудних викривлень.

Комплексна обвідна моделі сигналу (3) (без урахування початкової фази) має вигляд:

$$\dot{U}(t) = \tau_i^{-1/2} k_1 \exp(-\pi k_1^2 t^2), |t| \leq \tau_i. \quad (4)$$

Для комплексної оцінки властивостей такої моделі сигналу, доцільно розрахувати її функцію невизначеності:

$$\Psi(\tau, F) = \exp\left[-\frac{\tau^2}{4\pi\sigma_u^2} - \pi^3 \sigma_u^2 F^2\right], |t| \leq \tau_i. \quad (5)$$

В другому випадку, модель сигналу буде мати наступний вигляд:

$$\dot{s}(t) = k_1 \exp(-\pi k_1^2 t^2) \exp(jk_2 t^2) \exp(j\omega_0 t), |t| \leq \tau_i \quad (6)$$

де $k_2 = \beta t$ — складова, що характеризує наявну частотну модуляцію у вигляді ЛЧМ; β — коефіцієнт глибини кутової модуляції.

Комплексна обвідна моделі сигналу (6) має вигляд:

$$\dot{U}(t) = \frac{1}{\sqrt{\tau_i}} k_1 \exp(-\pi k_1 t) \exp(j\beta t^2) = \frac{1}{\sqrt{\tau_i} 2\pi\sigma_u} \exp\left(-\frac{t^2}{2\sigma_u^2}\right) \exp(j\beta t^2), |t| \leq \tau_i$$

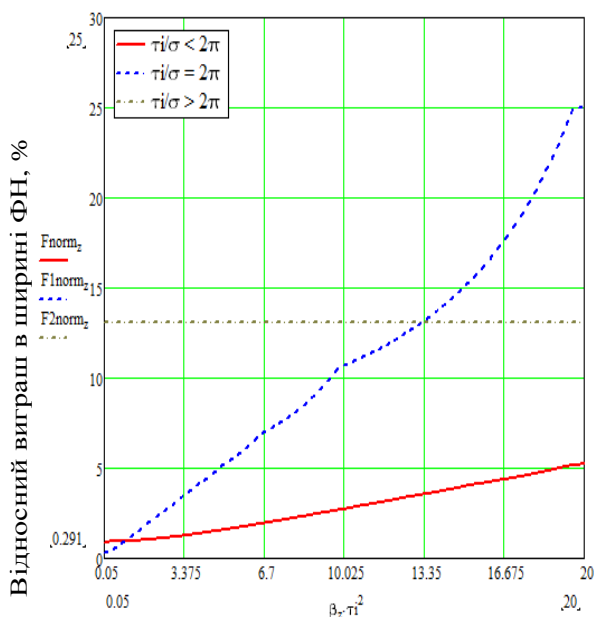
Функція невизначеності такої моделі сигналу:

$$\Psi(\tau, F) = \exp\left[-\sigma_u^2(\pi^3 F^2 + 2\pi^2 \beta t F + 4\pi\beta^2 \tau^2) - \frac{\tau^2}{4\pi\sigma_u^2}\right], |t| \leq \tau_i. \quad (7)$$

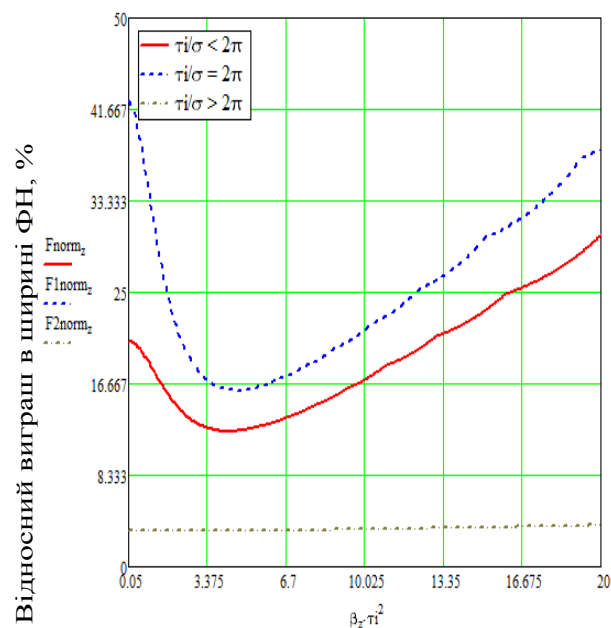
Як видно із отриманих виразів, коефіцієнти, що характеризують амплітудну і частотну модуляції, вносять нелінійні трансформації в функцію невизначеності, оскільки присутні в квадратній степені, що свідчить про наявність певних оптимальних їх співвідношень.

Як показує аналіз даних виразів, гаусівська амплітудна обвідна сприяє підвищенню частотного (доплерівського) розрізнення, що є логічним з огляду на трансформування амплітудно-частотного спектра сигналу в цілому. Проте, існують співвідношення $\frac{\tau_i}{\sigma_u}$, коли виграш в розрізненні спостерігається в напрямку роздільної здатності по дальності.

Слід зазначити, що за наявності обох модуляційних складових, існують такі їх співвідношення, при яких досягаються або виграш або втрата в ефективності розрізнення не зважаючи на амплітуду цих нестабільностей. Це наочно можна побачити із графіків залежності відносного виграшу в ширині основної пелюстки функції невизначеності сигналу від значень коефіцієнту частотної модуляції при різних значеннях коефіцієнтів трансформування гаусівської амплітудної обвідної рис. 1 та рис.2. Як видно з цих графіків, при певному співвідношенні нестабільностей і за наявності доплерівського зсуву спостерігається значне зниження відносного виграшу.



Відносне значення частотної нестабільності $\beta \cdot \tau_i^2$



Відносне значення частотної нестабільності $\beta \cdot \tau_i^2$

Рис.1. Залежність відносного виграшу в ширині основної пелюстки ФН імпульсного радіосигналу з урахуванням гаусівської форми амплітудної обвідної та ЛЧМ від кутової нестабільності в частотному перетині $F = 0$

Рис.2. Залежність відносного виграшу в ширині основної пелюстки ФН імпульсного радіосигналу з урахуванням гаусівської форми амплітудної обвідної та ЛЧМ від кутової нестабільності в частотному перетині $F = \Delta F/2$

Висновки

Таким чином, з огляду на сучасні досягнення в області елементної бази цифрових систем, нехтувати а тим більше компенсувати наявні засоби підвищення інформативності радіолокаційних систем, через те що вони мають флуктуаційну (не детерміновану) природу недоцільно. При цьому, застосовуючи двох етапну обробку радіолокаційних сигналів в активних радіолокаційних системах, можна досягти значного виграшу в їх основних показниках, таких як роздільна здатність або завадостійкість, оскільки додаткова модуляція, незалежно від її походження, є найефективнішим інструментом в даній задачі. Додатковим плюсом в запропонованому підході, можна виділити зниження вимог до передавачів радіолокаційних засобів, оскільки трансформування форми і спектра сигналів стає детермінованим і однозначно може бути враховане і використане на різних етапах прийому і обробки сигналів.

Література

1. Обробка радіолокаційних сигналів з урахуванням внутрішньоімпульсних фазочастотних нестабільностей/ О. М. Шинкарук, І. І. Чесановський // Зб. наук. пр. Військ. ін-ту Київського нац. ун-ту ім. Тараса Шевченка — Вип. № 17. — К. : ВІКНУ, — 2009. — с. 89–92.

2. A Problem Of Providing Of Coherent Treatment Of Signals Is During Realization Of Non-Coherent Methods Of Radio-Location/ Oleg Shyncaruk, Ivan Chesanovskiy // "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science". Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. (February 21–24, 2012. Lviv – Slavske, Ukraine): conference materials — Lviv, 2012. — P. 73

3. Баскаков С. И. Радиотехнические цепи и сигналы: Учебник. / С. И. Баскаков — М. : Высш. школа., 1983. — 536 с.

References

1. Obrobka radiolokatsiinykh signaliv z urahuvanniam vnutrishnoimpulsnykh fazochastotnykh nestabilnostey / O. Shynkaruk I. Chesanovskiy // Zbirnyk naukovykh prays Viyskovoho instytutu Kyivskoho Universitetu imeni Tarasa Shevchenka - Nomer 17. - K. VIKNU, 2009 s. 89-92.

2. A Problem Of Providing Of Coherent Treatment Of Signals Is During Realization Of Non-Coherent Methods Of Radio-Location/ Oleg Shyncaruk, Ivan Chesanovskiy // "Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications, and Computer Science". Proceedings of the XIth International Conference TCSET'2012. Dedicated to the 60th anniversary of the Radio Department at the Lviv Polytechnic National University. (February 21–24, 2012. Lviv – Slavske, Ukraine): conference materials - Lviv, 2012. P. 73

3. Baskakov S. Radiotekhnicheskie tsepi i signaly: Uchebnik. - M.: Vyssh. shkola, 1983. - 536 p.

Чесановський І. І., Іванов А. В., Гурман І. В. Підвищення завадостійкості обробки сигналів в некогерентних радіолокаційних системах. У роботі запропоновано новий підхід в побудові прийомопередавачів активних радіолокаційних систем, що передбачає використання паразитної модуляції радіолокаційних сигналів для підвищення когерентності та завадостійкості їх обробки за рахунок двох етапної обробки. Проведена аналітична оцінка потенційного виграшу в роздільній здатності імпульсних радіолокаційних систем з використанням даного методу. Приведено результати моделювання та дослідження отриманих виразів функцій невизначеності, які свідчать, що використання нестабільності передавача в якості додаткової модуляції дає змогу значно покращити роздільну здатність та завадостійкість радіолокаційної системи.

Ключові слова: радіолокація, сигнал, когерентність, завадостійкість, узгоджений фільтр, приймач, надвисока частота, нестабільність.

Чесановський И. И., Иванов А. В., Гурман И. В. Повышение помехоустойчивости обработки сигналов в некогерентных радиолокационных системах. В работе предложен новый подход в построении приемопередатчиков активных радиолокационных систем, предусматривающий использование паразитной модуляции радиолокационных сигналов для повышения когерентности и помехоустойчивости их обработки, за счет двухэтапной обработки. Проведена аналитическая оценка потенциального выигрыша в разрешении импульсных радиолокационных систем с использованием данного метода. Приведены результаты моделирования и исследования полученных выражений функций неопределенности, которые свидетельствуют, что использование нестабильности передатчика в качестве дополнительной модуляции позволяет значительно улучшить разрешение и помехоустойчивость радиолокационной системы.

Ключевые слова: радиолокация, сигнал, когерентность, помехоустойчивость, согласованный фильтр, приемник, сверхвысокая частота, нестабильность.

Chesnovskiy I., Ivanov A., Gurman I. Improve noise immunity signal processing in noncoherent radar systems.

Introduction. The work is devoted to the method of increasing coherence and noise immunity pulse radar systems with incoherent sources probing signals.

Problem. Incongruities between a resolution and a range of pulsed radar systems can not be resolved within the classical approaches of building incoherent radar systems, requiring new approaches in their construction.

The main part. The paper presents a method of two-stage processing incoherent pulsed radar signals, allowing to compensate and to use the information available to them and the angular amplitude of spurious modulation.

Conclusions. Simulation results and research functions of these expressions of uncertainty indicate that use volatility as an additional transmitter modulation allows to improve significantly the resolution and robustness of the radar system.

Keywords: *radar, signal, coherence, interference immunity, the matched filter, receiver, ultra-high frequency instability*