

УДК 621.391.83

РОЗРОБЛЕННЯ ІТЕРАЦІЙНОГО МЕТОДУ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПАРИ «СИГНАЛ-ФІЛЬТР»

Р. Габрук, кандидат технічних наук, докторант,
І. Горішна, аспірант,
Національний університет «Одеська морська академія»

Розв'язано варіаційну задачу оптимізації пари «сигнал-фільтр» за їх різних розмірностей сигналу шляхом розроблення нового ітераційного методу, що полягає у почерговому розв'язанні інтегральних рівнянь для фільтра і сигналу за фіксованої норми сигналу і фільтра. Практична реалізація методу дозволяє проводити виділення корисних сигналів на фоні заважаючих відбивань і шумів за обмежень на сталу розрізнення за часом.

Variation optimization problem for a «signal filter» pair in their various dimensions of the signal was solved by the development of the new iterative method, which is successively solves integral equations for the filter and signal at a fixed rate of the signal and filter. Practical method implementation allows selection of useful signal on interfering reflections and noise background considering restriction of the constant resolution in time.

Ключові слова: радіоелектроніка, фільтрація сигналу, ітераційний метод, імпульсний відгук фільтра, заважаючі відбивання.
Keywords: radio electronics, signal filtering, iterative method, filter impulse response, preventing reflection.

Для отримання інформації стосовно вимірювань координат і характеристик радіолокаційних цілей прийняті сигнали в радіолокаційних станціях (РЛС) піддаються різного роду опрацюванням. Таке опрацювання прийнятих радіолокаційних сигналів виконується у всіх ланках РЛС, включаючи антену, приймач, вимірювачі, обчислювальні пристрої, і може бути охарактеризовано сукупністю різних математичних операцій, які формують загальний алгоритм цільового опрацювання, спрямований на отримання необхідних вихідних параметрів сигналу [1]. Однак, незважаючи на математичну узагальненість усіх видів опрацювання в тракці РЛС, на кожному його етапі вирішуються свої певні завдання. У зв'язку з цим, разом із загальним завданням визначення оптимальних алгоритмів опрацювання сигналу в цілому, яке вирішується у процесі проектування РЛС, виникає завдання вибору оптимальних методів опрацювання сигналів шляхом визначення оптимального фільтра для повного або ж часткового придушення бічних пелюстків і підтримання необхідного значення відношення сигнал / шум.

Питанням, пов'язаним із методами опрацювання складних сигналів, присвячено велику кількість робіт вітчизняних і зарубіжних вчених [2—4]. Незважаючи на численні досягнення в цій сфері, залишається невирішеним ряд важливих комплексних прикладних завдань, або ж вони вирішені частково. Одне із таких завдань, пов'язано з опрацюванням сигналів для повного або ж часткового придушення бічних пелюстків, тобто виділенням сигналів на фоні заважаючих відбивань і шумів за обмежень на сталу розрізнення за часом.

Як відомо, процес опрацювання радіолокаційних сигналів і отриманих при цьому даних можна розділити на два етапи: етап вилучення первинної радіолокаційної



Р. Габрук



І. Горішна

інформації і етап опрацювання даних. Опрацювання радіолокаційних сигналів на першому етапі покладається на ряд радіотехнічних пристроїв, таких як антена, приймач, пристрої фільтрації й вимірювання параметрів сигналів. Пристрої фільтрації й вимірювання параметрів сигналів займають, як правило, значне місце у загальному комплексі радіотехнічної апаратури РЛС і визначають більшість її основних характеристик.

У роботах [2, 4], в основному, розглядалися сигнали типу М-послідовності, а також недостатньо повно досліджено ступінь впливу доплерівської зміни частоти. Кардинально новим підходом у вирішенні завдання придушення небажаних бічних пелюстків для виділення корисного сигналу є формування для подальшого розгляду сигналів, відмінних від М-послідовності, які мають кращі можливості придушення бічних пелюстків, а також використання нового ітераційного методу для оптимізації сигналу і фільтра [5, 6].

Мета цієї статті — розроблення методу розв'язання обчислювальної задачі за допомогою почергового розв'язання інтегральних рівнянь для фільтра і сигналу за фіксованої норми сигналу і фільтра.

ВИКЛАД МАТЕРІАЛУ ДОСЛІДЖЕННЯ З ПОВНИМ ОБҐРУНТУВАННЯМ ОТРИМАНИХ НАУКОВИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Виділення радіолокаційної інформації забезпечується шляхом вимірювання різних параметрів відбитого від цілі сигналу. Для визначення напрямку приходу сигналу (кутових координат цілі) може використовуватися вимірювання різниці фаз, амплітуд або часу запізнювання між сигналами, прийнятими різними антенними приймачами. Дистанція і швидкість переміщення цілі визначаються шляхом вимірювання відповідно часу запізнювання і зсуву частоти між відбитим і зондувальним сигналами. Протяжність і характер руху цілі оцінюються за результатами аналізу фазо-частотної характеристики віддзеркалених сигналів.

У РЛС можна, як правило, виділити кілька функціонально закінчених систем, у кожній з яких прийняті радіолокаційні сигнали піддаються опрацюванню за тим чи іншим параметром. Так, наприклад, в антенних і приймальних системах сигнали селектуються у напрямку приходу і виду поляризації, а в системах фільтрації й вимірювання опрацювання сигналу виконується за такими параметрами, як амплітуда, час запізнювання, частота і фаза.

Питання, пов'язані з вимірюванням напрямку приходу сигналів, можуть бути розглянуті окре-

мо, тому для систем фільтрації й вимірювання можна сформулювати обмежені вимоги, що стосуються опрацювання сигналу лише в одному антенному приймальному каналі. Основними завданнями системи опрацювання сигналів у цьому випадку стануть:

- виявлення на вході приймальних каналів корисних ехо-сигналів, що має виконуватися з високим ступенем надійності за наявності на вході приймального каналу інших сигналів і різного роду завад;
- вимірювання параметрів відбитих сигналів для визначення поточних координат цілей, яке повинно виконуватися з високою точністю за наявності на вході приймального каналу інших сигналів і завад;
- виділення первинної радіолокаційної інформації, яка визначає форму цілі, характер її руху шляхом аналізу тонкої структури відбитого сигналу;
- очищення первинної радіолокаційної інформації від несправжніх даних, спричинених завадами, з метою виключення переважання систем, вторинного опрацювання радіолокаційної інформації;
- перетворення на стандартні повідомлення і кодування даних, отриманих у результаті первинного опрацювання сигналів, для введення цих даних до систем вторинного опрацювання радіолокаційної інформації.

Вимірювати параметри можна лише після впевненого виявлення сигналу. Процес виявлення зводиться до оптимального опрацювання сигналу узгодженим і неузгодженим фільтром або корелятором. Для отримання корисної інформації може використовуватися лише напруга на виході узгодженого або неузгодженого фільтра, оскільки, лише пройшовши через фільтр, сигнал значною мірою звільняється від завад. Тому, з точки зору вимірювання корисних параметрів сигналу, в першу чергу цікавить аналіз взаємної функції невизначеності (ВФН) сигналу і фільтра (відгуку фільтра).

Основною операцією за оптимального виявлення є обчислення функції взаємної кореляції між прийнятими коливанням і очікуваним сигналом. Тобто задача оптимального виявлення точкової цілі на фоні суміші завад і шумів, зводиться у загальному випадку до такого вибору сигналу $S(t)$ і фільтра $W(t)$, які доставляють максимум відношення сигнал / (завада + шум).

Визначення сигналу і фільтра, що доставляють максимум відношення сигнал / (завада + шум), пов'язано з розв'язанням варіаційної задачі, яка призводить до системи інтегральних рівнянь. Для розв'язання рівнянь пропонується використовувати

ітераційні методи. Ітераційний метод оптимізації пари «сигнал-фільтр» полягає в почерговому розв'язанні інтегральних рівнянь для фільтра і сигналу за фіксованої норми сигналу і фільтра.

На першому етапі методу для заданого початкового вектора сигналу розв'язується рівняння, що визначає імпульсний відгук фільтра. На другому етапі для отриманого у такий спосіб фільтра розв'язується рівняння, що визначає сигнал, і так далі. Отже, ітераційний метод складається із 2 етапів, при цьому кожне значення отриманого фільтра або сигналу проходить процес нормування на кожному ітераційному циклі.

Для розрахунків необхідно використовувати ітераційну процедуру максимізації відношення сигнал / завада. При цьому необхідно враховувати обмеження на втрати у відношенні сигнал / шум і на сталу розрізнення за часом. Відношення сигнал / завада має такий вид:

$$\Sigma = \frac{\left| \int_{-\infty}^{\infty} W^*(t)S(t)dt \right|^2}{\nu \int_{-\infty}^{\infty} |W(t)|^2 dt + \sigma_0 \int_{-\infty}^{\infty} \sigma_{\xi}(\tau, 0) |\chi_{sw}(\tau, 0)|^2 d\tau}, \quad (1)$$

де $\chi_{sw}(\tau, f) = \chi_p(\tau, f) \sum_{n=0}^{N-1} W_n^* S_{n+k} e^{i2\pi n\tau/T_0}$ – функція невизначеності; T_0 – тривалість елементарного імпульсу в сигналі; f – частота Доплера; N – число імпульсів у сигналі; NT_0 – період сигналу (в періодичному режимі роботи); $s_{n+k} = [s_{n+k}] e^{i\phi_{n+k}}$ – комплексна амплітуда сигналу, затриманого на k позицій; ϕ_{n+k} – фаза сигналу; w_n^* – комплексна амплітуда опорного сигналу (фільтра); σ_0 – коефіцієнт, що характеризує відбивні властивості завади; $\sigma_{\xi}(\tau, 0)$ – дальнісно-швидкісний розподіл заважаючих відбивань; ν, ξ – параметри, які визначають обмеження на втрати сигнал / шум (ν) і на сталу розрізнення за часом (ξ).

Отже, розглядається задача максимізації відношення сигнал / шум (шум зі спектральною щільністю N_0) за обмежень на сталу розрізнення за часом. На початку практичних розрахунків можуть мати місце великі втрати у відношенні сигнал / (завада + шум). Тому пропонується використовувати описані вище процедури для формування фільтрів, які дозволяють отримати мінімальні втрати у відношенні сигнал / (завада + шум). Вираз втрат у відношенні сигнал / шум має вид:

$$\rho = \frac{|W^* S|^2}{W^* W \cdot S^* S}. \quad (2)$$

Запропонований метод реалізовано у виді комп'ютерної програми, написаної у середовищі

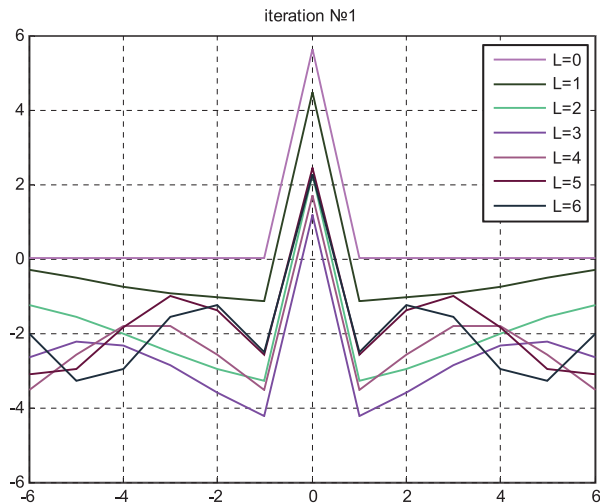


Рис. 1. Форма ВФН та її перерізів $l = 0, \dots, 6$ для періодичного сигналу

$s = [1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$ за ітерації № 1

Fig. 1. Form of the cross-ambiguity function and its cross sections for $l = 0, \dots, 6$ for periodic signal $s = [1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$ at iteration № 1

програмування *Matlab*. Ця програма реалізовує алгебраїчний ітераційний процес спільної оптимізації фільтра і сигналу. Програма представляє наочну інформацію у виді розроблених графіків перерізів ВФН за $f = \frac{l}{4NT_0}$ (рис. 1, 2).

На рисунках зображені графіки перерізів ВФН для сигналу, який задано у виді дискретної послідовності: $s = [1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$ для періодичного випадку. Отримана пара сигнал-фільтр забезпечує значення сталої розрізнення у часі $T_R = 1$

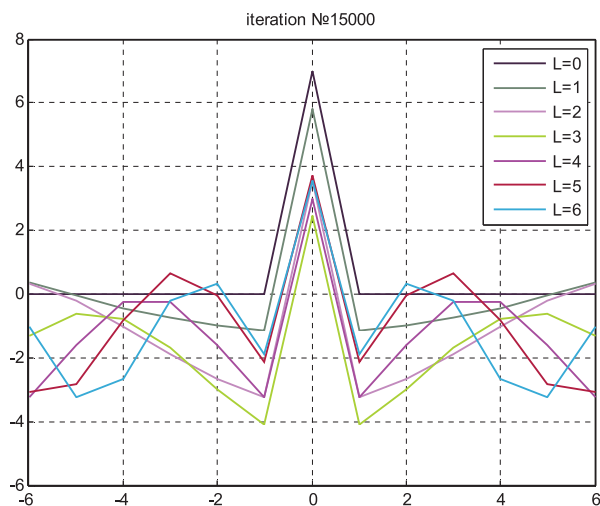


Рис. 2. Форма ВФН та її перерізів $l = 0, \dots, 6$ для періодичного сигналу

$s = [1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$ за ітерації № 15000

Fig. 2. Form of the cross-ambiguity function and its cross sections for $l = 0, \dots, 6$ for periodic signal $s = [1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$ at iteration № 15000

(тобто повне придушення бічних пелюстків за $L = 0$) і $\rho = 1$, що означає відсутність втрат у відношенні сигнал/шум (рис. 2) і повністю відповідає випадку узгодженого опрацювання. Також проведено оптимізацію для аперіодичного випадку.

На рис. 1 відображено першу ітерацію періодичного сигналу $[1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$. За $l = 0, \dots, 6$ оптимальний фільтр для зазначеного сигналу представлено так: $[2,2563; -0,5641; -0,5641; -0,5641; -0,5641; -0,5641; -0,5641]$. Оптимальний сигнал для прийнятого імпульсного відгуку має значення $[1,0003; -1,0000; -1,0000; -1,0000; -1,0000; -1,0000; -1,0000]$. Втрати у відношенні сигнал/шум дорівнюють 0.6495. На рис. 2 відображено ітерацію № 15000 періодичного сигналу $[1; -1; -1; -1; -1; -1; -1]$ за $l = 0, \dots, 6$. Отримано такі значення оптимального фільтра для цього сигналу: $[1,9029; -0,7505; -0,7505; -0,7505; -0,7505; -0,7505; -0,7505]$. Значення оптимального сигналу мають вид: $[1,8765; -0,7614; -0,7614; -0,7614; -0,7614; -0,7614; -0,7614]$. Втрати у співвідношенні сигнал / шум дорівнюють 0,9998.

ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОЇ РОБОТИ ЗА НАПРЯМКОМ

У роботі розв'язано варіаційну задачу оптимізації пари «сигнал-фільтр» за умов завад і шумів за додаткових обмежень на сталу розрізнення за часом. Результати розрахунків, проведених у середовищі програмування *Matlab*, підтвердили ефективність запропонованого ітераційного методу, який дозволяє поліпшити співвідношення сигнал / (завада + шум) шляхом придушення бічних пелюстків для отримання оптимального фільтра для сформованого сигналу, відмінного від M -последовності.

Практичне використання запропонованого методу дозволить вирішити для РЛС завдання оптимального виявлення точкової цілі на фоні суміші завад і шумів, що дозволить поліпшити її експлуатаційні характеристики.

Перспективою подальших наукових досліджень в цьому напрямку є розв'язання задач за допомогою розробленого методу для придушення завад типу заважаючих відбивань з довільним дальністнo-швидкісним розподілом.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. Слока В. К. Вопросы обработки радиолокационных сигналов / В. К. Слока. – М.: Советское радио (Sloka V. Questions of processing of radar signals / V. Sloka. – М.: Soviet Radio), – 1970. – 256 с/р.
2. Варакин Л. Е. Формирование и обработка сложных сигналов в радиолокационных и радиосвязанных системах / Л. Е. Варакин. – М.: ВЗЕИС (Varakin L. Shaping and processing of complex signals in radar and radio communication systems / L. Varakin. – М.: VZEIS), – 1967. – 308 с/р.
3. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. Т.1. Основные принципы и классические методы / Ж. Макс, Ж. Карре, Ф. Пельтье. – М.: Мир (Max J. Methods and signal processing equipment for physical measurements. V.1. Basic principles and methods of classical / Max J., J. Carr, F. Peltier. – М.: Mir), – 1983 – 312 с/р.
4. Варакин Л. Е. Теория систем сигналов / Л. Е. Варакин. – М.: Советское радио (Varakin L. The theory of signal systems / L. Varakin. – М.: Soviet Radio), – 1978. – 304 с/р.
5. Кошевий В.М. Дослідження ефективності синтезу пари «сигнал-фільтр» при додаткових обмеженнях / В.М. Кошевий, І.Я. Горішна // Сучасні інформаційні технології 2016 (MIT 2016) / Матеріали шостої Міжнародної конференції студентів та молодих науковців, 25-27 квітня 2016 р. / Міністерство освіти і науки України, ВНЗ «Одеський національний політехнічний університет». – Одеса, ВМВ (Koshevoy V. Research synthesis efficiency of pairs "signal-filter" with additional restrictions / V. Koshevoi, I. Gorishna // Modern information technology in 2016 (MIT 2016) / Materials of the sixth International Conference of students and young scientists, 25-27 April 2016 / Ministry of Education and Science of Ukraine, University «Odessa National Polytechnic University». – Odessa, FSV), – 2016. – С/Р. 88–89.
6. Горішна І.Я. Оптимізація способів обробки сигналів за допомогою фільтрів у класі дискретних структур / І.Я. Горішна // Сучасні інформаційні технології 2015 (MIT-2015) / Матеріали п'ятої Міжнародної конференції студентів та молодих науковців, 21-22 квітня 2015 р. / Міністерство освіти і науки України, ВНЗ «Одеський національний політехнічний університет». – Одеса, ВМВ (Gorishna I. Optimization methods of signal processing using filters in a class of discrete structures / I. Gorishna // Modern Information Technology 2015 (MIT 2015) / Materials of the fifth International Conference of students and young scientists, 21-22 April 2015 / Ministry of Education and Science of Ukraine, University «Odessa National Polytechnic University». – Odessa, FSV), – 2015. – С/Р. 127–128.
7. Кошевой В.М., К вопросу о совместной оптимизации сигнала и фильтра в задачах разделения сигнала на фоне мешающих отражений. // В.М. Кошевой, М.Б. Свердлик, – М.: Радиотехника и электроника (Koshevoy V. To the question of joint optimization of the signal and filter in the tasks of signal separation against the

backdrop of reflections. // V. Koshevoy, M. Sverdlik – M.: Technology and Electronics) – 1975. – №9 – 9 с/р.
8. Кошевой В. М., Синтез пары «сигнал-фильтр» при дополнительных ограничениях / В. М. Кошевой,

М. Б. Свездлик. – М.: Радиотехника и электроника (Koshevoy V. Synthesis of pair «signal-filter» with additional restrictions / V. Koshevoy, M. Sverdlik. – M.: Radio Engineering and Electronics), – 1976 – 9 с/р. 📄

Отримано / received: 04.07.2016.

Стаття рекомендована до публікації д.т.н., проф. Г. Л. Барановим (Україна).
Prof. G. L. Baranov, D. Sc. (Techn.), Ukraine, recommended this article to be published.

РЕФОРМА МЕТРОЛОГІЇ: ЗАТВЕРДЖЕНО 22 УРЯДОВІ ПОСТАНОВИ І 14 НАКАЗІВ МІНЕКОНОМРОЗВИТКУ

Протягом 2015-2016 років Міністерство економічного розвитку і торгівлі забезпечило практичну реалізацію нового Закону України «Про метрологію та метрологічну діяльність».

З цією метою розроблено і затверджено 22 постанови Кабінету Міністрів України та видано 14 наказів Мінекономрозвитку. Ці документи не лише допомагають привести діяльність у сфері метрології у відповідність до стандартів ЄС, а ще й мають значний дерегуляційний вплив, у тому числі значно пом'якшують вимоги щодо контролю обладнання.

Новий Закон України «Про метрологію та метрологічну діяльність» набрав чинності 1 січня 2016 року, але його імплементація стала неабияким викликом. «За рік у сфері метрології відбулася справжня реформа. Адже мало було просто затвердити нову версію базового закону, важливо було забезпечити його практичну реалізацію. Команда Департаменту технічного регулювання провела справді масштабну роботу для того, щоби закон почав працювати», — зазначив перший заступник Міністра економічного розвитку і торгівлі України Максим Нефьодов.

Ключові завдання у сфері метрології залишилися незмінними: єдність та точність вимірювань, дотримання прав споживачів, підвищення конкурентоспроможності українських компаній, у тому числі виробників вимірювальної техніки, розповів директор Департаменту технічного регулювання Леонід Віткін. Проте закон містить також низку прогресивних змін, які вже встиг відчути на собі ринок.

Наприклад, закон розмежовує регуляторну та наглядову діяльність у сфері метрології, що дозволяє уникнути конфлікту інтересів. Якщо раніше і надавати метрологічні послуги, і здійснювати нагляд у цій

сфері могли одні й ті ж самі держпідприємства, які належать до сфери управління Мінекономрозвитку, то відтепер метрологічний нагляд покладено виключно на Держпродспоживслужбу. При цьому формування державної політики у цій сфері залишається за міністерством. Такий підхід сприяє більшій прозорості метрологічного нагляду і знижує корупційні ризики.

Також новий закон запроваджує процедури оцінки відповідності засобів вимірювальної техніки вимогам технічних регламентів. З цією метою протягом року прийнято та впроваджено 3 технічні регламенти і 270 стандартів, які є доказовою базою відповідності вимірювальної техніки вимогам зазначених регламентів. Ці регламенти розроблені на основі директив ЄС, що значно спрощує експорт засобів вимірювальної техніки на ринки ЄС.

При цьому кількість категорій законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки, що підлягають періодичній повірці, зменшено вдвічі, зі 160 до 80. Засоби, які не ввійшли до переліку, можуть проходити повірку за бажанням власника. Наприклад, повірці більше не підлягають вимірювальні засоби, які підприємство застосовує під час виготовлення продукції, бо він несе відповідальність за якість та безпечність кінцевого продукту. І це значно зменшує його адміністративні витрати.

При цьому значно прозорішою стала процедура визначення суб'єктів, які уповноважені проводити таку повірку. Відтепер не має значення форма їхньої власності (державна або недержавна), важливою є лише професійна придатність та технічна компетентність.

(За матеріалами Мінекономрозвитку України)