

УДК 621.391(045)

¹Л. В. Кольченко, канд. техн. наук,
²Р. Б. Сініцин, канд. техн. наук

НЕПАРАМЕТРИЧНА ФІЛЬТРАЦІЯ МОВНИХ СИГНАЛІВ НА ФОНІ АКУСТИЧНОГО ШУМУ

¹Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: kolchenko_lili@mail.ru

²Інститут електроніки та систем управління НАУ, e-mail: comandor@i.com.ua

Присвячено актуальній темі обробки акустичних сигналів в кабіні пілота літального апарата, в якій спостерігається великий рівень шуму. Знайдено ядерну оцінку функції розподілу. Сигнал був перетворений з використанням оцінки функції розподілу як функціональне перетворення. Запропоновано нову процедуру адаптивної фільтрації. Результати підтверджено експериментальною обробкою мовних сигналів.

Ключові слова: непараметрична фільтрація, мовні сигнали, ядерна оцінка, копула.

Вступ. Звукові сигнали широко використовують у цивільній авіації для обміну звуковою інформацією між диспетчерами та між пілотами на борту літаків. Ці сигнали записуються за допомогою різних носіїв інформації, зокрема бортовими самописцями, голосовими й радарними системами реєстрації даних (реєструвальними системами). Для запису мовної інформації в системах авіаційної диспетчерської служби використовують спеціальні документи (наприклад, документи ІСАО), які керують обміном мовної інформації й навіть постачають цивільну авіацію спеціалізованим набором слів і виразів.

Під час обміну інформацією мовні сигнали спотворюються шумами різної природи: акустичними шумами в кабіні літака, спричиненими функціонуванням двигуна і вентиляції; електричними шумами під час передачі по дротових каналах зв'язку й радіозв'язку. Натепер якість звукових сигналів підвищилася, але актуальність цієї проблеми усе ще значна, адже надзвичайно важко заглушити акустичні шуми. Тому актуальність фільтрації з метою вдосконалення мови має велике значення. Удосконалення механізмів передачі даних дозволяє розроблювачу керувати передаванням даних і організовувати обмін даними.

Постановка завдання. Мета цієї роботи – розроблення нового методу непараметричної фільтрації за допомогою оцінки інтегральної функції розподілу з подальшим використанням класичних методів фільтрації. Застосування цього алгоритму дозволяє підвищити якість мовних сигналів. Цей звуковий файл подано уривком розмови пілотів на борту літака. Під час роботи досліджується адаптивна фільтрація в комбінації з евристичним непараметричним підходом. З використанням оцінки інтегральної функції розподілу обробленого сигналу сигнал перетворюють у новий з рівномірним розподілом. Додаткове функціональне перетворення дозволяє отримати сигнал з нормальним розподілом зі стандартними параметрами.

Нелінійна фільтрація. Досліджували евристичний підхід нелінійної фільтрації акустичних сигналів. Передусім було знайдено ядерну оцінку функції розподілу [1; 2]. Ядерна оцінка одновимірної функції розподілу визначаємо виразом

$$\hat{F}_1(x) = \sum_{k=1}^N K_{1k}(x, x_k), \quad (1)$$

де $K_{1k}(x, x_k) = \frac{1}{N} F(x - x_k)$ – одновимірне ядро; $F(\cdot)$ – деяка інтегральна функція розподілу, наприклад нормальна. Приклад цієї оцінки для акустичних шумів у кабіні пілота літака показано на рис. 1.

Цей підхід тісно пов'язаний з порівняно новою функцією, яка використовується в математичній статистиці і називається копулою. Для двох змінних її можна визначити за таким алгоритмом. Можна перетворити вектор (x, y) в нову випадкову змінну (x_T, y_T) з використанням двох інтегральних функцій розподілу $x_T = F_x(x)$, $y_T = F_y(y)$ як функціональних перетворень. Можна легко довести, що вектор (x_T, y_T) має рівномірний розподіл, якщо випадкові змінні x та y незалежні. Двовимірну інтегральну функцію розподілу перетворених змінних (x_T, y_T) називають копулою цих змінних і згідно з теоремою Склара $F(x, y) = C(F_x(x), F_y(y))$, де $F(x, y)$ – двовимірна інтегральна функція розподілу (x, y) .

Щільність розподілу ймовірності відповідно до копули $C(x_T, y_T)$ – це $c(x_T, y_T) = \frac{\partial C(x_T, y_T)}{\partial x_T \partial y_T}$.

Припустимо, що результат дискретизації сигналу в часі $x(t)$ акустичного сигналу в зоні шуму можна подати у формі вектора

$$\mathbf{x} = (x_1, x_2, \dots, x_N),$$

де елементи x_i статистично незалежні один від одного.

Подібним способом можна побудувати інший вектор, $\mathbf{z}$, що буде складатися із вибірових значень корисного акустичного сигналу

$$\mathbf{z} = (z_1, z_2, \dots, z_M), \quad (2)$$

для отримання інваріантної статистики вектор (2) буде перетворений за формулою (1) до вектора

$$\mathbf{y} = \hat{F}(x_1, \dots, x_N, \mathbf{z}).$$

Щільність розподілу вектора вихідної статистики можна подати у вигляді

$$f_{xz}(x_1, \dots, x_N, \mathbf{z}) = f(x_1) \cdot \dots \cdot f(x_N) f_z(z_1) \cdot \dots \cdot f_z(z_M).$$

Щільність розподілу координат y_i вектора $\mathbf{y}$ набуде вигляду

$$f_y(y_i) = \int_{-\infty}^{\infty} \dots \int_{-\infty}^{\infty} \prod_{j=1}^N f(x_j) f_N(\hat{F}^{-1}(y_i; x_1, \dots, x_N)) \frac{1}{\hat{f}(\hat{F}^{-1}(y_i; x_1, \dots, x_N))} dx_1 \dots dx_N,$$

де функція $\hat{F}^{-1}(y)$ обернена до $\hat{F}(x)$; $\hat{f}(x)$ – похідна від $\hat{F}(x)$.

Якщо $N \rightarrow \infty$, оцінка $\hat{F}(x) \rightarrow F(x)$:

$$f_y(y_i) = \frac{f_z\{F^{-1}(y_i)\}}{f\{F^{-1}(y_i)\}} = f_z\{F^{-1}(y_i)\}.$$

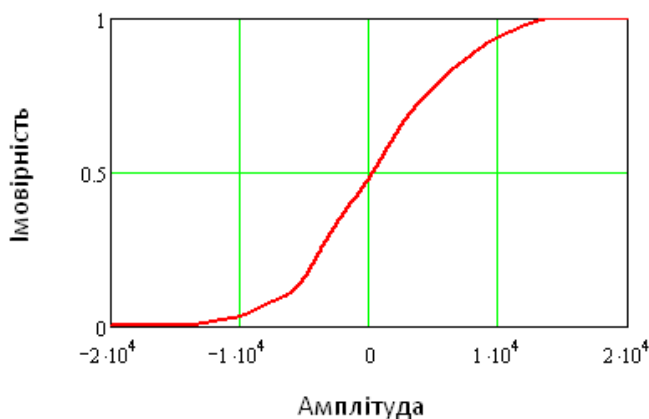


Рис. 1. Ядерна оцінка інтегральної функції розподілу (амплітуда $1,526 \cdot 10^{-5}$ В)

Таким чином, використаємо багатовимірну копулу як нелінійне перетворення вхідного сигналу. Після перетворення функція щільності ймовірності перетвореного сигналу асимптотично однорідна. Це корисно для виявлення інтервалів сигналу та шуму. Але це не добре для правильного функціонування вінерівського фільтра [3]. Вінерівський фільтр є оптимальним для нормального розподілу сигналу. Використовуючи додаткове функціональне перетворення за допомогою функції, оберненої до інтегральної функції розподілу нормального розподілу ймовірності з математичним сподіванням, що дорівнює нулю, і дисперсією, що дорівнює одиниці, отримуємо нормальний сигнал зі стандартними параметрами. Після перетворення фільтруємо сигнал за допомогою адаптивного фільтра, що ґрунтується на вінерівському підході [4]. Спочатку визначаємо звичайну спектральну щільність за відомою формулою

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} x(t) e^{-j\omega t} dt .$$

Розрахунки виконуємо за допомогою алгоритму швидкого перетворення Фур'є. Оцінки спектральної щільності були отримані у формі $S = FFT(x)FFT^*(x)$, де x – оброблений сигнал; FFT – алгоритм швидкого перетворення Фур'є; $FFT^*(x)$ – комплексне спряжене до перетворення Фур'є вхідного сигналу. Для отримання кращих результатів для оцінювання енергетичного спектра використали різні вікна. Результати оцінювання енергетичного спектра були підставлені у вираз вінерівського фільтра.

Оброблений сигнал показано на рис. 2. Частота вибірки – 44100 Гц. Дискретність сигналу становить 16 біт. Упродовж перших шести секунд спостерігається тільки акустичний шум. Корисний сигнал наявний протягом часового інтервалу 6 – 8 с.

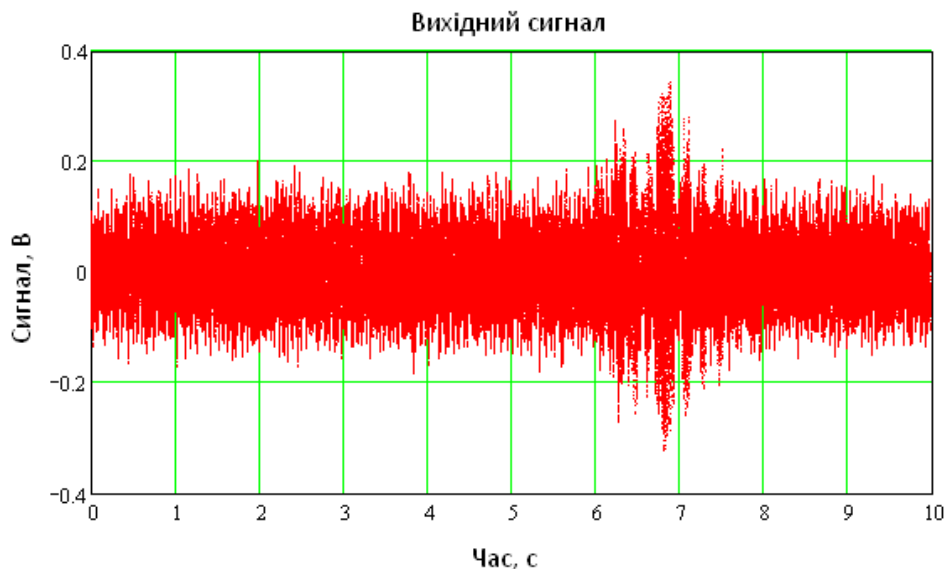


Рис. 2. Вхідний акустичний сигнал

Для спрощення підрахунків і пришвидшення обробки сигналу ділимо сигнал на фрейми. Кожний фрейм складається з 4096 вибірок. Для того щоб отримати необхідну інформацію для подальшої обробки сигналу, обчислюємо параметри та особливості сигналу в кожному фреймі.

Обчислені енергетичні спектри зображено на рис. 3. Суцільна лінія показує спектр шуму, точки описують спектр суми шуму та корисного сигналу. Ці оцінки використовуються для адаптації фільтра.

Оброблений сигнал показано на рис. 4. Рівень шуму зменшився порівняно з вхідним сигналом.

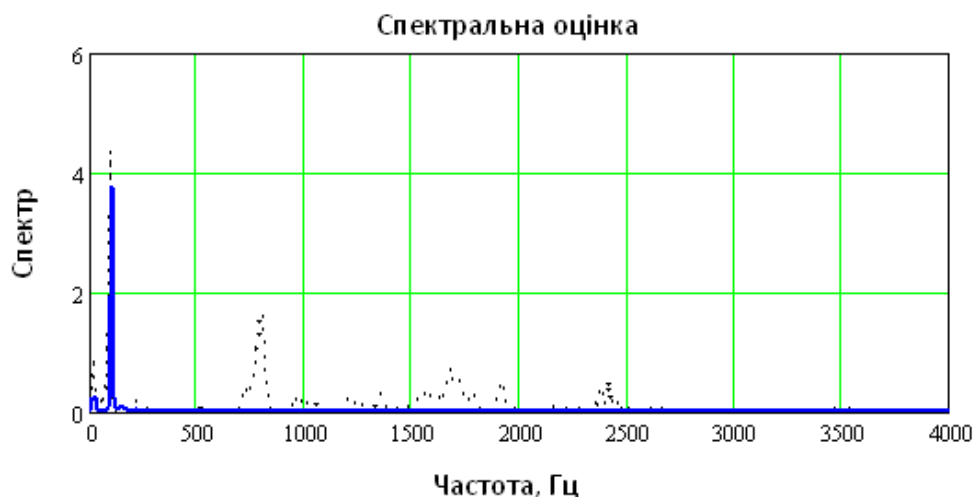


Рис. 3. Спектри акустичних сигналів. Шум (суцільна лінія) і сума шуму та корисного сигналу (точки)

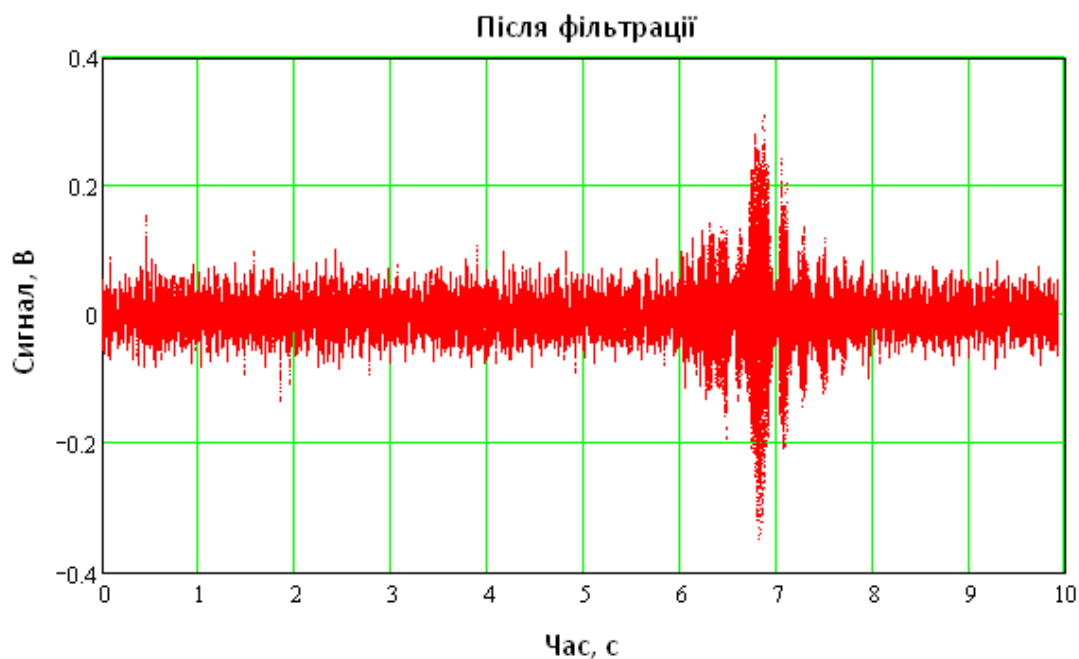


Рис. 4. Вихідний акустичний сигнал

Після обробки сигналу дисперсія для фрейму, що містить корисну інформацію, дорівнює $0,015 V^2$, дисперсія для акустичного шуму – $0,000546 V^2$. Відношення сигнал до шуму для вихідного сигналу становить 27,997. Це набагато кращі результати порівняно з 5,8 для вхідного сигналу. Можна легко помітити, що якість результуючого сигналу підвищилась.

Фільтр, використовуваний під час досліджень, можна застосовувати для обробки мовних сигналів та зниження рівня шуму під час радіозв'язку. Отриманий метод фільтрації можна використовувати не тільки в цивільній авіації, але й, наприклад, в мобільному зв'язку (телефонах для поліпшення комунікації чи підвищення якості музики).

Висновки. Для фільтрації мовних сигналів використовують різні методи. Найпоширеніші з них є детермінований і статистичний. Статистичний підхід розглядає сигнали як імовірнісні процеси і ґрунтується на роботах Вінера. За допомогою оптимальної фільтрації випадковий сигнал вибирається на фоні хаотичного шуму. Незручністю цього підходу є потреба у великій кількості попередніх даних про сигнали й шуми. Адаптивна фільтрація є дуже актуальною через використання нової інформації, отриманої під час

обробки. У роботі використано адаптивне фільтрування в комбінації з евристичним непараметричним підходом. За допомогою результатів оцінювання інтегральної функції розподілу обробленого сигналу перетворили сигнал в новий з рівномірним розподілом. Додаткове функціональне перетворення дало змогу отримати сигнал з нормальним розподілом зі стандартними параметрами.

Метою було підвищення якості мовлення завдяки застосуванню до звукового файлу методів дослідження. Звуковий файл подано уривком розмови пілотів на борту. Під час роботи було досліджено адаптивні фільтри і їхні властивості. Всі експерименти виконано за допомогою звичайного комп'ютера зі звуковою картою. Якість результуючого сигналу значно підвищилась.

Фільтр, використовуваний під час дослідження, можна застосовувати для обробки мовних сигналів та зниження рівня шуму під час радіозв'язку. Розроблений метод фільтрації можна використовувати не тільки в цивільній авіації, але й у галузі мобільного зв'язку (у стільникових телефонах для вдосконалення комунікації або підвищення якості музики).

Список літератури

1. *Sinitsyn R. B.* Nonparametric method for estimating the spoken language sound multivariate probability density function / R. B. Sinitsyn, L. V. Kolchenko, J. M. Bokal, O. V. Zaets, A. A. Tkachuk // Kyiv, Proc. NAU. – 2006. – №3. – P. 17 – 20.
2. *Vapnik V. N.* Statistical Learning Theory. – Wiley, New York, 1998. – 732 p.
3. *Левин Б. Р.* Теоретическая база статистической радиотехники. – 3-е изд. – М.: Радио и связь, 1989. – 656 с.
4. *Haykin S.* Adaptive Filter Theory. – 3rd ed., Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1996. – 989 p.

Л. В. Кольченко, Р. Б. Синицин

Непараметрическая фильтрация речевых сигналов на фоне акустического шума

Посвящено актуальной теме обработки акустических сигналов в кабине пилота летательного аппарата, в которой наблюдается высокий уровень шума. Найдено ядерную оценку функции распределения. Сигнал был преобразован при использовании оценки функции распределения в качестве функционального преобразования. Предложена новая процедура адаптивной фильтрации. Результаты подтверждены экспериментальной обработкой речевых сигналов.

L. V. Kolchenko, R. B. Sinitsyn

Nonparametric filtration of the spoken language signals on the background of acoustic noise

Work is devoted to important topic of acoustic signals processing in a pilot's cabin of aircraft in which the high noise level is observed. First of all the kernel estimate of the cumulative distribution function was done. The signal was transformed using the estimate of the cumulative distribution function as a functional transform. At the second stage the new procedure of the adaptive filtration has been offered. Results are confirmed by experimental processing of spoken language signals.