

ПОРІВНЯННЯ МЕТОДІВ СПЕКТРАЛЬНОЇ ФІЛЬТРАЦІЇ З РІЗНИМИ БАЗИСАМИ

В статті, на прикладі сигналу з широтно-імпульсною модуляцією, проведена оцінка оптимальності його виділення з шуму з використанням різних методів спектрального перетворення. Методи фільтрації сигналів в каналах зв'язку через відмінності у алгоритмах по різному фільтрують сигнал, а отже і сигнали на їх виході також відрізняються. Експериментально доведено та обґрунтовано доцільність застосування методів, в основі яких покладено вейвлет перетворення. Показано особливості використання деяких типів фільтрів програмного середовища MATLAB, їх основні можливості, відмінності та переваги. Опираючись на проведені порівняння слідує висновок про переваги пошуку методів оптимальної фільтрації для задач з відомою спектральною густиною корисного сигналу.

Ключові слова: імпульсно-кодова модуляція, MATLAB, узгоджений фільтр, вейвлет, відношення сигнал/шум.

D.O. LEVCHUNETS, V.V. ISKRUK, A.V. IVANOV

Khmelnitsky National University

COMPARISON OF SPECTRAL FILTERING USING DIFFERENT BASES METHODS

Abstract – The example of the signal with pulse-width modulation were assessed by optimality of its isolation out of noise using different methods of spectral transformation are given in the article. Filtering of signals in channels differently filtering signals because of differences in the algorithms, that is why their output signals are also different. Experimentally proved and grounded the feasibility of the methods which are based on wavelet transform. Using features of picked software environment filter types (such as MATLAB), their main features, differences and advantages. Based on the given comparison followed the conclusion of finding the optimal filtering methods for problems benefits with known spectral signal density.

Keywords: Pulse Code Modulation, MATLAB, matched filter, wavelet, signal / noise ratio.

Значна увага до методів локально-базисного аналізу сигналів на сьогоднішній день, може бути пояснена значним прогресом в елементній та методологічній базі методів цифрової обробки сигналів, що відкрило потенційну можливість розглядати реальні нестационарні і неергодичні реалізації сигнальних процесів без їх статистичної апроксимації. Одним із яскравих прикладів таких методів, є метод вейвлет аналізу сигналів, що завдяки розробці широкого класу базисних функцій (вейвлетів), високо локалізованих як у часовій так і частотній областях став ефективним інструментом в питаннях підвищення ефективності обробки нестационарних сигналів.

Як і будь-який інший підхід, вейвлети мають свої переваги і недоліки. Відомо, наприклад, що вейвлети можуть не відрізнити ефекти амплітудної та частотної модуляції. За наявності тільки амплітудної модуляції вейвлет-аналіз може показувати «хибні» ефекти частотної модуляції і навпаки. Таким чином, на відміну від перетворення Фур'є, вейвлет-перетворення визначено неоднозначно: кожному вейвлету відповідає своє перетворення. В якості аналізуючих вейвлетів зазвичай обираються функції, добре локалізовані також і в просторово-часовій області [4].

Розподіл енергії сигналу в коефіцієнтах спектрального представлення, відображає ефективність алгоритмів аналізу, обробки, перетворення, тощо сигналів. Великий різновид підходів, методів і функціональних базисів розроблених для вирішення задач обробки інформації, зважаючи на можливості сучасних обчислювальних систем, створили підґрунтя для використання оптимізації комбінації функціоналу та методології в кожному окремому випадку.

Залежність ефективності алгоритмів обробки сигналів від компактності множини вагомих коефіцієнтів базисного розкладання в значній мірі впливає на кінцевий результат, що визначає доцільність використання методів у кожному конкретному випадку. Використовуючи порівняльний аналіз методів спектрального перетворення, на предмет їх енергетичної ефективності в задачах виявлення складних радіосигналів можливо провести оцінку оптимальності виділення корисного сигналу з шуму.

На прикладі сигналу з ШІМ, за запропонованим критерієм енергетичної ефективності визначено оптимальний метод для заданих параметрів сигналу та лінії зв'язку.

Виклад основного матеріалу. Зважаючи на різноманіття існуючих методів спектрального перетворення та, як наслідок, великий об'єм викладеного матеріалу у статті розглянуто лише методи узгодженої та вейвлет фільтрації.

Узгоджений фільтр, що являє собою лінійний фільтр, побудований виходячи з відомих спектральних характеристик корисного сигналу і шуму, у порівнянні з іншими фільтрами що базуються на перетворенні Фур'є, дозволяє отримати оптимальний результат, оскільки критерієм оптимальності таких фільтрів є отримання на виході максимально можливого відношення амплітудного значення сигналу до діючого значенню перешкоди. В свою чергу, вейвлет фільтр з технологією трешхолдингу має в своїй основі обмеження рівня деталізуючих коефіцієнтів розкладеного сигналу на площині масштаб-зсув.

В рамках описаної проблематики проведено дослідження фільтруючих властивостей сигналу в залежності від обраного методу фільтрації на прикладі сигналу з ІКМ. У якості інструменту для проведення

дослідження використано середовище програмування MATLAB.

Модель сигналу та алгоритм проведення дослідження наведені у фрагменті лістингу програми на рисунку 1.

```
clear
N=rand(1,1e3); % Noise
S0=round(N(1:1e2)); % binary sequence
S=[];
j=1;
while j<=length(S0)
    i=1;
    while i<=10
        S=[S S0(j)]; % Signal (pulse-width modulation - PWM)
        i=i+1;
    end
    j=j+1;
end
SN=S+N; % mixing
%% Matched filter
Fsn=fft(SN); Fn=fft(N);
WF=abs(Fs)/max(abs(Fs)); % weight function
FsM=WF.*Fsn; FnM=WF.*Fn;
% signal and noise reconstruction
Sr=real(ifft(FsM))+imag(ifft(FsM)).*sin(imag(ifft(FsM)));
Nr=real(ifft(FnM))+imag(ifft(FnM)).*sin(imag(ifft(FnM)));
%% Wavelet
% WDEN (Automatic 1-D de-noising)
W1S = wden (SN, 'minimaxi', 's', 'one', 3, 'haar');
W1N = wden (N, 'minimaxi', 's', 'one', 3, 'haar');
% WDENCMP (De-noising or compression using wavelets)
[W2S, coeffs_p, struct_p, normrec, normcompr] =...
    wdencomp ('gbl', SN, 'haar', 10, 5, 's', 0);
[W2N, coeffs_p, struct_p, normrec, normcompr] =...
    wdencomp ('gbl', N, 'haar', 10, 5, 's', 0);
% WTHRESH (Soft or hard thresholding)
W31S = wthresh (SN, 's', .5); % soft
W31N = wthresh (N, 's', .5);
W32S = wthresh (SN, 'h', .5); % hard
W32N = wthresh (N, 'h', .5);
%% Signal / noise ratio
ANin=rms(N); ASin=rms(S); % root mean square at the input
SNRin=20*log10(ASin/ANin); % SNR at the input (dB)
ANoutM=rms(Nr); ASoutM=rms(Sr); % RMS of matched filter
SNRoutM=20*log10(ASoutM/ANoutM); % SNR of matched filter
...
```

Рис.1. Лістинг програми дослідження методів фільтрації

фільтрації має найбільший вплив на результати.

Локальність області визначення (обмежені носії), ортогональність, одинична норма, нульове середнє а також самоподібність (автомодельність) – властивості вейвлету Хаара. Втім доцільність його використання, з нині існуючого банку фільтрів, в даному випадку визначилась завдяки іншій його властивості: подібності базису до прямокутної форми імпульсів сигналу з ШІМ.

Порівняння фільтруючих властивостей приведених в лістингу типів фільтрів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

Порівняння різних типів фільтрів

Тип даних	СКЗ сигналу	СКЗ шуму	Відношення сигнал/шум (дБ)
Сигнал без шуму	0.7348	0.5649	2.2846
Узгоджений фільтр	1.0300	0.4889	6.4720
Функція шумоподавлення сигналів	1.1178	0.4999	6.9907
Шумоподавлення або стиснення даних	0.8634	0.3361	8.1956
М'який трешолдинг сигналу або зображення	0.7672	0.1941	11.9381
Жорсткий трешолдинг сигналу або зображення	1.1694	0.5262	6.9364
Сигнал без фільтрації	1.1778	0.5649	6.3824

Наведений лістинг реалізує модель сигналу з ШІМ, з додаванням шуму. Отримана суміш – піддається обробці ряду фільтрів, математичні моделі яких закладені в середовище MATLAB [2]. А саме:

- 1) Узгоджений фільтр;
- 2) WDEN – функція шумоподавлення сигналів;
- 3) WDENCMP – шумоподавлення або стиснення даних;
- 4) WTHRESH – трешолдинг сигналу або зображення.

Команди 2, 3, 4 (з пакету Wavelet Toolbox) – фільтрують сигнал за допомогою дискретного вейвлет перетворення, а також використовують базу материнських вейвлетів закладених в MATLAB [1].

Шумова складова суміші має рівномірний характер у спектральній області, тобто являє собою білий Гаусівський шум.

Використані команди пакету Wavelet Toolbox середовища MATLAB мають ряд наступних спільних ознак:

- в основу кожної з команд закладено вейвлет перетворення;
- використання в розглянутій задачі одного базису (вейвлету Хаара);
- виділення сигналу з шуму (як правило білого Гаусівського).

Разом з тим, відмінність між ними полягає у цільовому призначенні, та відповідно у наявності додаткових можливостей та налаштувань. Хоча без сумніву використанні різних функцій

В залежності від обраної методики середньоквадратичне значення (СКЗ) сигналу а також шуму буде відрізнятися. Оскільки відношення сигнал / шум формульно залежить від СКЗ сигналу та шуму – його значення також змінюється.

Для наочного представлення сигналів відфільтрованих вище згаданими методами, деякі характеристики яких наведені в таблиці 1, в середовищі моделювання MATLAB побудовано графіки представлені на рисунку 2.

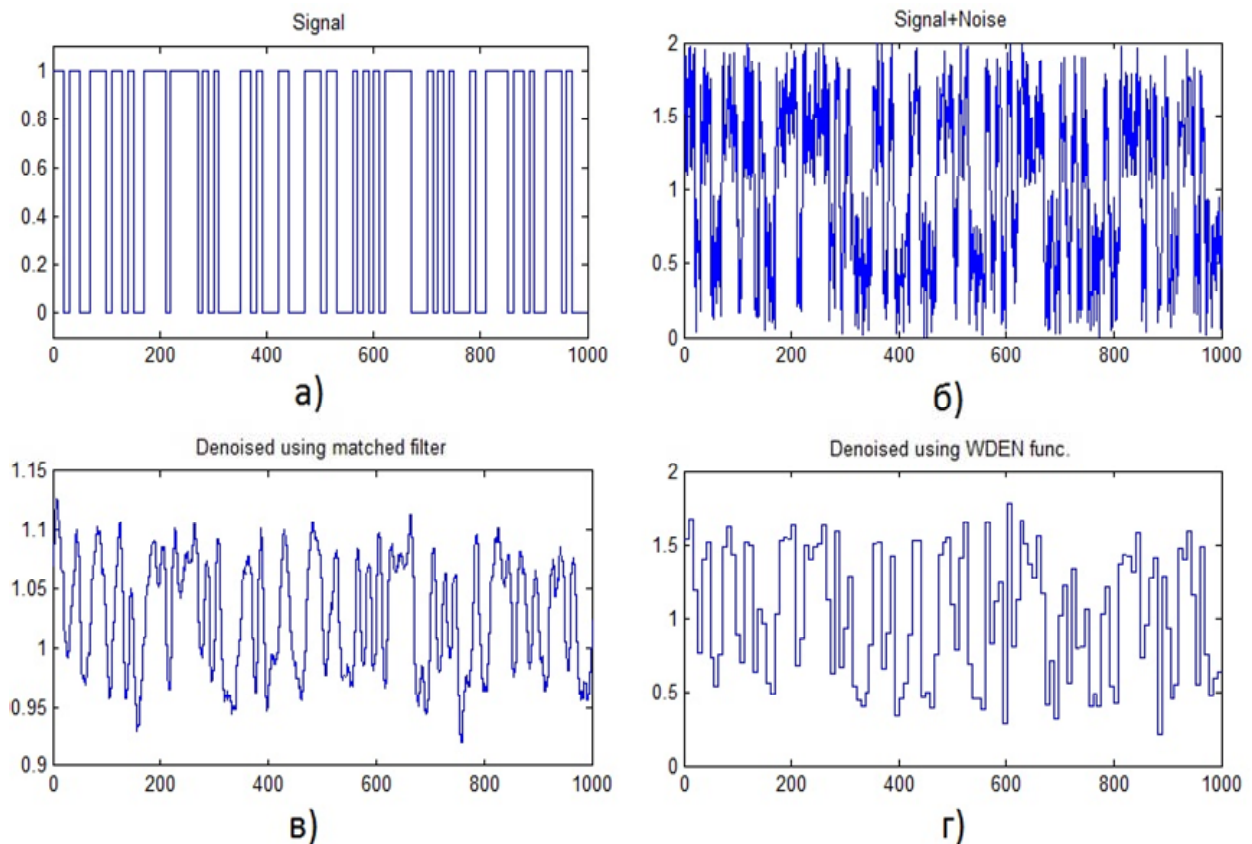


Рис.2. Графіки: а) сигналу; б) суміші; в) сигналу відфільтрованого узгодженим фільтром; г) сигналу відфільтрованого функцією WDEN

Як видно з даних приведених в таблиці:

- найгірший результат отримано при застосуванні узгодженої фільтрації (якщо не брати до уваги дані про суміш без фільтрації);
- технологія м'якого трешхолдингу показала найбільше відношення сигнал / шум за рахунок найкращого подавлення шуму, про що свідчить найменше середньоквадратичне значення шуму (0.1941);
- в цілому методи фільтрації сигналу на основі вейвлет перетворення дозволили отримати кращий результат у порівнянні з методами в основі яких лежить перетворенні Фур'є.

Оскільки розглянутий ШІМ сигнал є аперіодичним, тому метод узгодженої фільтрації, в основі якого лежить перетворенні Фур'є не показав найкращих результатів, що підтверджують дані таблиці.

На рисунку 2 до сигналу з ШІМ (а) додали шум розмахом 1 Вольт, про що свідчить отриманий графік (б). Суміш корисного сигналу та білого Гаусівського шуму піддається фільтрації вище згаданими методами. В силу громіздкості отриманих результатів на рисунку 2 представлені лише графіки сигналів на виході узгодженого фільтру (в) та фільтру з використанням вейвлет функції шумоподавлення сигналів (г).

Достовірність даних наведених у таблиці 1 наочно підтверджують відфільтровані сигнали на рисунку 2. Порівнюючи відношення сигнал / шум відфільтрованих сигналів з оригіналом (2.2846 дБ), функція шумоподавлення сигналів має вище значення (6.9907 дБ) у порівнянні з використаним узгодженим фільтром (6.4720 дБ). Про це на графіках свідчить наявність низькочастотної складової у останнього (рисунк 2 в).

Для вирішення поставленого завдання фільтрації від шуму серед інших методів було застосовано методи обмеження рівня деталізуючих коефіцієнтів (трешхолдингу). Відсікання коефіцієнтів що мають значення нижче порогового рівня, дозволяє значно знизити рівень шуму а також стиснути сигнал. Про що свідчать отримані дані. Втім серед існуючих типів порогів обмеження: м'якого або жорсткого, перший показав найкращі результати за рахунок алгоритму подібного за принципом до узгодженої фільтрації, але у вейвлет площині.

Висновок. Серед розглянутих методів спектрального перетворення – методи в основі яких закладене вейвлет перетворення сигналу проявили себе найкраще, на прикладі сигналу з ШІМ, за рахунок

більшої інформативності перетворення, що і демонструють отримані результати в таблиці 1 та на рисунку 2.

Для інших сигналів, спектральний склад яких відмінний від розглянутого, доцільність використання застосованих методів фільтрації буде іншою. Тобто питання оптимальності методів спектрального представлення сигналів для поставлених задач потребує індивідуального підходу, що дозволить отримати найбільший вигравш значень значущих параметрів. Іншим важливим значенням є вибір материнського вейвлету по якому виконуються перетворення, оскільки він має прямий вплив на розподіл енергії сигналу.

Література

1. Десять лекций по вейвлетам / И.Добеши – НИЦ "Хаотическая и регулярная динамика", 2001. – 461 с.
2. Вейвлет-анализ в примерах: Учебное пособие / Нагорнов О.В., Никитаев В.Г., Простокишин В.М., Тюфлин С.А., Проничев А.Н., Бухарова Т.И., Чистов К.С., Кашафутдинов Р.З., Хоркин В.А. - М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с.
3. MATLAB. Обработка сигналов и изображений. Специальный справочник / В.Дьяконов, И.Абраменкова – СПб.: Питер, 2002. -608 с.
4. Оптимальные решения. Лекции по методам обработки измерений / Саврасов Ю.С. – Москва «Радио и связь», 2000. – 152 с.

References

1. I. Dobeshi. Desjat' lekcij po vejvletam. NIC "Haoticheskaja i reguljarnaja dinamika", 2001. 461 p. [in Russian]
2. Nagornov O.V., Nikitaev V.G., Prostokishin V.M., Tjuflin S.A., Pronichev A.N., Buharova T.I., Chistov K.S., Kashafutdinov R.Z., Horkin V.A. - Vejvlet-analiz v primerah: Uchebnoe posobie. M.: NIJaU MIFI, 2010. – 120 s. [in Russian]
3. V.D'jakonov, I.Abramenkova. MATLAB. Obrabotka signalov i izobrazhenij. Special'nyj spravocchnik. SPb.: Piter, 2002. 608 p. [in Russian]
4. Savrasov Ju.S. Optimal'nye reshenija. Lekcii po metodam obrabotki izmerenij. Moskva «Radio i svjaz'», 2000. – 152 s. [in Russian]

Рецензія/Peer review : 24.3.2014 р.

Надрукована/Printed : 18.5.2014 р.