

Приложение на билинейно време-честотно разпределение за анализ на моделни сигнали в свръхшироколентови радар

Сашка Иванова, Марин Маринов

Application of bilinear time-frequency distribution for analyzing model signals in ultra wide-band radars: This paper considered an examination of generalized discrete time-frequency distribution. Numerical examples of Wigner-Ville and Choi-Williams distributions for model signals in ultra wide-band radar are shown and analyzed. The results show that using a Choi-Williams kernel is able to suppress cross terms while compromising time-frequency concentration and resolution of the signal components.

Key words: UWB radar, discrete time -discrete frequency- analysis, bilinear time-frequency distribution

ВЪВЕДЕНИЕ

Време-честотните разпределения (ВЧР) са мощен инструмент за анализ на нестационарни процеси и през последните две десетилетия навлизат широко във всички области на човешката дейност, където се използва обработка на сигнали. Билинейните ВЧР (БВЧР) са най използвани, тъй като при определени условия притежават свойствата на двумерна вероятностна плътност на разпределението на енергията на сигнала и съдържат информация за корелационните му свойства съвместно във времевата и в честотната области [5]. В зависимост от използваното ядро в разпределението могат да се подтиснат присъщите за БВЧР интерференционни съставящи и да се подчертаят сигналните.

Дискретните БВЧР се различават от непрекъснатите разпределения, подобно на различията между непрекъснатото и дискретно преобразуване на Фурие (ПФ). Дискретизацията на променливите поражда периодичност при прилагане Фурие преобразуването, а в случая на двумерна дискретизация периодичността е както във времевата, така и в честотната област. Особеностите на дискретизацията на двумерните БВЧР изискват апробация на използвания алгоритъм и анализ за конкретното приложение. Сравнение на различни методи за дискретизация на БВЧР са разгледани в [3]. При някои от тях се използват само четните дискрети в областта на времезакъснението, при което половината от информацията на разпределението не се използва. В [4] е предложена неравномерна решетка на дискретизация във времевата област, като БВЧР е сума от разпределенията за четните и нечетните дискрети. При метода предложен в [5] се използва децимация в честотната област, с цел постигане на изчислителна ефективност, което води до още по-слаба информационна ефективност. В настоящата работа е използван метод за изчисление на дискретно БВЧР, предложен в [1], който е с равномерна решетка на дискретизация и честота на дискретизация на сигнала два пъти по голяма от изискванията на теоремата на Найкуист-Котелников.

ВЪЗМОЖНОСТИ НА ДИСКРЕТНОТО БВЧР ЗА АНАЛИЗ НА КОМПОНЕНТИТЕ НА МОДЕЛЕН ОТРАЗЕН СИГНАЛ В СВРЪХШИРОКОЛЕНТОВ РАДАР

Типичните моделни сигнали за свръхшироколентов радар (СШР) са подробно разгледани в [2]. За ранната съставяща е избран модела на широко използвания гаусов моноимпулс:

$$x_p(t) = A_p t e^{-\pi \frac{t^2}{\tau_u^2}}, \quad (1)$$

където: A_p е амплитудата на импулса: τ_u е продължителността на импулса.

Компонентите от късната съставяща са експоненциално затихващи синусоиди и имат вида:

$$x_k(t) = A_k e^{-\alpha_k t} \sin(2\pi f_k t), \quad t \geq 0, \quad (2)$$

където A_k е амплитудата на компонентата; α_k е коефициента на затихване; f_k е собствената честота на компонентата.

Реалните сигнали са с неограничен спектър и като критерий за тяхната гранична честота е използвана ефективната ширина на енергетичния им спектър $f_{zp} = \Delta f_{ef}$. В съответствие с [1], [3] честотата на дискретизация трябва да бъде $f_d = 1/T = 4\Delta f_{ef}$.

Дискретната форма на БВЧР [2], която ще бъде използвана за анализа е:

$$T_x\left(nT, \frac{k}{TM}\right) = \sum_{m=-(N-1)}^{N-1} \sum_{l=-(N-1)}^{N-1} \Phi(m, l) e^{j\frac{\pi}{M}lm} \times \\ \times \left[\sum_{p=-(N-1)}^{N-1} z(p) z^*(p-m) e^{-j\frac{2\pi}{M}pl} \right] e^{j\frac{2\pi}{M}nl} e^{-j\frac{2\pi}{M}km} \quad (3)$$

където $z(p)$ е аналитичен сигнал, получен от дискретизирания изследван сигнал $x(nT)$ чрез преобразуване на Хилберт; $\Phi(m, l)$ е дискретизирано ядро на разпределението; p, m, l, k са съответните индекси на дискретите по променливите - време, време-закъснение, доплерово отместване и честота, N е броят на ненулевите дискрети на сигнала $x(n)$, $M=2N-1$.

Направено е изследване на дискретното БВЧР (ДБВЧР) за псевдо разпределение на Вигнер-Вейл и разпределение на Чой-Уилямс, дефинирани в областта на неопределеност – време-закъснение τ – доплерово отместване ν , както следва:

- псевдо разпределение на Вигнер-Вейл - $\Phi(\tau, \nu) = 1$.
- разпределение на Чой-Уилямс - $\Phi(\tau, \nu) = e^{-\frac{\nu^2 \tau^2}{\sigma}}$, σ - параметър на разпределението;

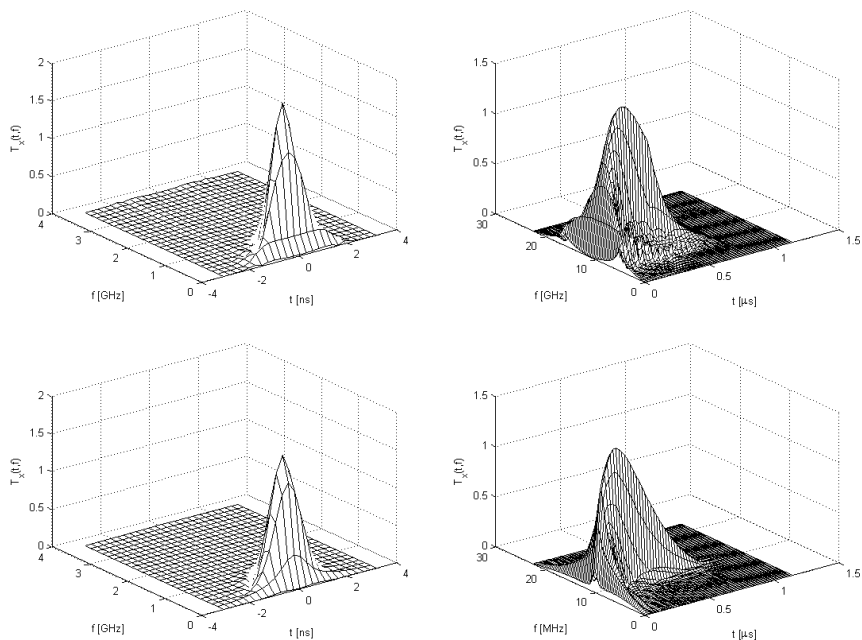
Последователността на изчисляване на дискретното БВЧР е:

- 1 Сигналът $x(n)$ се допълва с $N-1$ нулеви дискрети и се извършва преобразуване на Хилберт за получаване на аналитичния сигнал $z(p)$;
- 2 Изчислява се ФН $A(m, l) = \sum_{p=-(N-1)}^{N-1} z(p) z^*(p-m) e^{-j\frac{2\pi}{M}pl} = F \left[z(p) z^*(p-m) \right]_{p \rightarrow l}$;
- 3 Изчислява се дискретизираното ядро - $\Phi(m, l) = \Phi(mT, l/TM)$;
- 4 Умножава се дискретизираното ядро с множителя $e^{j\frac{\pi}{M}lm}$;
- 5 Изчислява се дискретното БВЧР чрез двумерното дискретно

$$\text{преобразуване на Фурие} - T_x(n, k) = F \left\{ F^{-1} \left[\Phi(m, l) e^{j\frac{\pi}{M}lm} A(m, l) \right]_{l \rightarrow n} \right\}_{m \rightarrow k}.$$

На стъпки 2 и 5 се използват алгоритми за бързо преобразуване на Фурие.

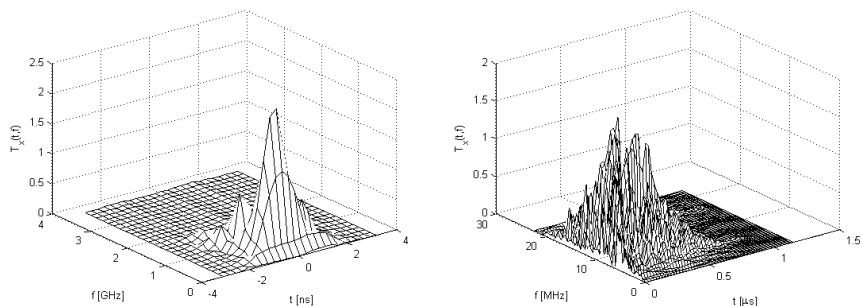
На фигура 1 са показани дискретното разпределение на Вигнер-Вейл (ДРВВ) и ДБВЧР на Чой-Уилямс (ДБВЧРЧУ) за ранната и късната компоненти на сигнала в СШР. Ранната компонента е с продължителност на импулса $\tau_0=1\text{ns}$ и е разположена от $t=-1,56\text{ns}$ до $t=1,56\text{ns}$. Късната компонента започва в момента $t=0$ и е с честота 10MHz и продължителност $0,8\mu\text{s}$.



Фиг. 1. ДБВЧР на ранната и късна компонента на сигнал в СШР
а) ДРВВ за ранната компонента; б) ДБВЧР на Чой-Уилямс за ранната компонента
в) ДРВВ за късната компонента; г) ДБВЧР на Чой-Уилямс за късната компонента.

От фигура 1 се вижда, че при ДБВЧР на Чой-Уилямс интерференционните съставящи са значително по-малки от ДРВВ.

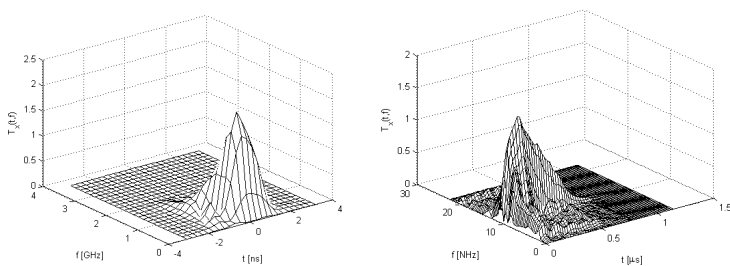
На фигура 2 е показано ДРВВ при наличие на адитивен бял гаусов шум (БГШ) за отношение сигнал/шум $q=3$.



Фиг. 2. ДРВВ при отношение сигнал-шум $q=3$
а) ДРВВ за ранната компонента; б) ДРВВ за късната компонента.

От фигура 2 се вижда, че при адитивен шум в ДРВВ се наблюдават допълнителни интерференционни компоненти, които затрудняват анализа на

разпределението. На фигура 3 е показано ДБВЧР на Чой-Уилямс със стойност на параметъра на ядрото $\sigma = 0,5$ при наличие на БГШ за отношение сигнал/шум 3.



Фиг. 3. ДБВЧР на Чой-Уилямс при отношение сигнал-шум $q=3$.

а) ДБВЧР на Чой-Уилямс за ранната компонента; б) ДБВЧР на Чой-Уилямс за късната компонента

От фигура 3 се вижда, че използването на ядро на Чой-Уилямс значително снижава шумовите интерференционни компоненти в сравнение с ДРВВ.

За оценки $\hat{t}$ и $\hat{f}$ на положението на компонентите на отразения сигнал съответно по време и честота са използвани изразите:

$$\hat{t} = T \frac{\sum_{n=-(N-1)}^{N-1} n \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} T_x^2(n, k)}{\sum_{n=-(N-1)}^{N-1} \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} T_x^2(n, k)}, \quad \hat{f} = \frac{1}{TM} \frac{\sum_{k=-(N-1)}^{N-1} k \sum_{n=-(N-1)}^{N-1} T_x^2(n, k)}{\sum_{n=-(N-1)}^{N-1} \sum_{k=-(N-1)}^{N-1} T_x^2(n, k)}. \quad (4)$$

В таблици от 1 до 4 са показани резултатите от изследвания на средно-квадратичната грешка (СКГ) на оценките при осредняване по 1000 реализации.

Таблица 1. СКГ на оценката по време за ранната съставяща по ДРВВ в ns.

q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0,22	0,15	0,13	0,1	0,092	0,083	0,078	0,071	0,066	0,062	0,058	0,056	0,052	0,051	0,05

Таблица 2. Относителна СКГ на оценката по честота за късната съставяща по ДРВВ.

q	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
	0,13	0,087	0,067	0,054	0,047	0,04	0,034	0,032	0,027	0,027	0,024	0,021	0,02	0,019	0,018

Таблица 3. СКГ на оценката по време за ранната съставяща по ДБВЧРЧУ в ns.

q \ σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,1	0,23	0,16	0,13	0,11	0,1	0,089	0,079	0,078	0,072	0,066	0,061	0,06	0,062	0,057	0,057
0,4	0,23	0,16	0,13	0,11	0,092	0,085	0,08	0,073	0,07	0,065	0,062	0,059	0,06	0,056	0,055
1	0,24	0,15	0,12	0,11	0,094	0,085	0,075	0,073	0,066	0,065	0,064	0,059	0,056	0,056	0,052
3	0,22	0,16	0,12	0,1	0,095	0,079	0,078	0,068	0,066	0,064	0,06	0,057	0,055	0,054	0,052
7	0,21	0,15	0,13	0,11	0,089	0,085	0,079	0,07	0,068	0,063	0,06	0,058	0,055	0,051	0,052
15	0,22	0,16	0,13	0,11	0,09	0,083	0,072	0,069	0,069	0,063	0,059	0,055	0,054	0,051	0,053

Таблица 4. Относителна СКГ на оценката по честота за късната съставяща по ДБВЧРЧУ.

q \ σ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,1	0,067	0,029	0,021	0,015	0,013	0,011	0,016	0,009	0,008	0,007	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005
0,4	0,068	0,03	0,021	0,015	0,013	0,011	0,011	0,019	0,011	0,01	0,009	0,008	0,009	0,008	0,009
1	0,079	0,036	0,022	0,019	0,014	0,012	0,013	0,011	0,011	0,01	0,01	0,011	0,009	0,01	0,009
3	0,086	0,043	0,029	0,022	0,018	0,015	0,013	0,012	0,012	0,011	0,01	0,011	0,01	0,011	0,011
7	0,092	0,047	0,033	0,026	0,021	0,018	0,016	0,015	0,013	0,012	0,011	0,011	0,011	0,011	0,011
15	0,093	0,053	0,038	0,031	0,025	0,022	0,019	0,017	0,015	0,014	0,013	0,012	0,012	0,012	0,011

Относителната СКГ по честота е нормирана спрямо собствената честота на късната съставляща $f_k=10\text{MHz}$. Анализът на резултатите показва, че СКГ за ранната компонента по време са по-малки от интервала на дискретизация, който е $T=0,26\text{ns}$, а за късната компонента относителните СКГ по честота са под 13% за ДРВВ и под 9,3% за ДБВЧРЧУ. При оценка по време на ранната компонента на сигнала чрез ДБВЧРЧУ оптималната стойност на параметъра е $\sigma=3$, при оценка по честота на късната компонента е $\sigma=0,1$. Това показва, че при обработката на двете компоненти на сигнала е необходимо да се използват ядра с различни параметри.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Резултатите от изследванията показват, че използването на дискретни БВЧР за анализ на сигналните компоненти на отразените сигнали в СШР позволяват съвместно да се определят съществените особености на сигналите във времевата и честотната област и при наличие на шум. Използването на ядро на Чой-Уилямс дава по-добри резултати, отколкото прилагането на РВВ. Получените резултати показват, че оптималната стойност на параметъра на ядрото е различна за различните компоненти на сигнала.

Определянето на най-подходящо ядро и оптималните му параметри е строго специфично за всяко конкретно приложение. За разгледаните сигнали е перспективно да се изследват разделни ядра, които позволяват отделно оптимизиране на параметрите им във времевата и в честотната област.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Маринов М., Иванова С., Обобщено дискретно билинейно време-честотно разпределение, Научни трудове на русенския университет, 2011.
- [2] Astanin L. Y, Kostylev, A.A., Ultra-wideband radar measurements: Analysis and processing, Institution of Electrical Engineers, London, UK, 1997.
- [3] Costa A. H., G. F. Boudreaux-Bartels, An overview of aliasing errors in discrete-time formulations of time-frequency representations., IEEE Trans. Signal Processing, vol. 47, no. 5, pp. 1463.1474, May 1999
- [4] Jeong J., Williams W., Alias-free generalized discrete-time time-frequency distributions, IEEE Trans. Signal Processing, vol. 40, no. 11, 1992
- [5] O' Toole J. M., M. Mesbah, and B. Boashash, "Improved discrete definition of quadratic time-frequency distributions," IEEE Trans. Signal Processing, vol. submitted for publication, 2009.

За контакти:

Гл. ас. инж. Сашка Иванова, Катедра "Електроника, комуникационна и навигационна техника в авиацията", Национален военен университет „В. Левски“ факултет "Авиационен", e-mail: sivanova@aff.nvu.bg.

Доц. д-р инж. Марин Маринов, Катедра "Електроника, комуникационна и навигационна техника в авиацията", Национален военен университет „В. Левски“ факултет "Авиационен", e-mail: mmarinov@aff.nvu.bg.

Докладът е рецензиран.



РУСЕНСКИ УНИВЕРСИТЕТ „АНГЕЛ КЪНЧЕВ”
UNIVERSITY OF RUSE „ANGEL KANCHEV“

ДИПЛОМА

Програмният комитет на
Научната конференция RU&SU'11
награждава с КРИСТАЛЕН ПРИЗ
“THE BEST PAPER”

гл. ас. инж. САШКА ИВАНОВА и
доц. д-р инж. МАРИН МАРИНОВ
автори на доклада

“Приложение на билинейно време-честотно
разпределение за анализ на моделни
сигнали в свръхшироколентови радары ”

DIPLOMA

The Programme Committee of
the Scientific Conference RU&SU'11
Awards the Crystal Prize
"THE BEST PAPER"

to Assistant Professor SASHKA IVANOVA and
Associate Professor MARIN MARINOV, PhD
authors of the paper

“Application of bilinear time-frequency distribution
for analyzing model signals in ultra wide-band radars ”

РЕКТОР
RECTOR

доц. д-р Христо Белоев
Prof. DSc Hristo Beloev

29.10.2011