

Optimalizace váhové funkce amplitudy WLFM radarových pulsů pomocí genetického algoritmu

M. Bartoš

Ústav radioelektroniky, VUT v Brně,

Technická 3082/12, Brno

E-mail : xbarto85@stud.feec.vutbr.cz

Anotace:

Tento článek se zabývá optimalizací váhové funkce amplitudy radarových pulsů s lineární frekvenční modulací. Účelem článku je popsat optimalizační proces využívající Genetický algoritmus. Cílem optimalizačního procesu je potlačení postranních laloků ve funkci neurčitosti. Výsledky jsou srovnány s jednou z tradičních váhovacích metod (Kaiserovo okno).

Annotation

This paper deals with optimization of amplitude weight function for linear frequency modulated radar pulses. The purpose of article is to describe optimization process using Genetic Algorithm for suppressing side-lobes of the Ambiguity function. There are also depicted properties of weighted linear frequency modulation waveform. Results are compared with Kaiser windowing technique.

ÚVOD

Jedním z nejdůležitějších parametrů v radiolokaci je rozlišovací schopnost. Rozlišovací schopnost je schopnost odděleně detekovat jednotlivé cíle ve skupinovém cíli nebo jednotlivé vlastnosti (podrobnosti) v rámci téhož cíle. Radiolokační cíl lze rozlišovat ve čtyřech dimenzích, kterými jsou délka, azimut (nebo stranová odchylka), výška (nebo výšková odchylka) a Dopplerův posuv (radiální rychlost) [1]. Rozlišení radaru je ovlivněno mnoha faktory, jakými jsou především šířka pásma signálu a šířka komprimovaného impulsu [2].

Primární úlohou radiolokátoru je schopnost detekovat a rozlišit užitečný (vyslaný) signál odražený od cíle. Přijímaný signál obsahuje užitečné a nežádoucí interferenční složky (šumy, náhodné odrazy, odrazy pozadí, atd.). Pro analýzu a vyhodnocení vhodnosti tvaru excitačního signálu se využívá funkce neurčitosti (FN).

FN popisuje vzájemné ovlivňování rozlišovací schopnosti v délce a Dopplerově kmitočtu. Šířka hlavního laloku FN představuje rozlišovací schopnost v délce (odpovídá časové šířce detekovaného pulsu bez šumu na vstupu rozhodovacího obvodu v detektoru). Velikost (výška) postranních laloků limituje schopnost detekovat cíle s malou odraznou plochou v blízkosti cíle s velkou odraznou plochou, čím je potlačení postranních laloků menší, tím je schopnost detekce slabých cílů omezenější. Blíže je FN popsána v následující kapitole.

Dále je v článku popsán jeden z nejběžnějších radiolokačních signálů, puls s vnitropulsní lineární frekvenční modulací (LFM chirp). Díky jeho rozšířenému spektru, dochází k zvýšení rozlišovací schopnosti. Cílem je optimalizovat LFM signál s

využitím genetického algoritmu (GA) tak, aby bylo dosaženo účinné potlačení postranních laloků v FN.

FUNKCE NEURČITOSTI

FN představuje časovou odezvu přizpůsobeného filtru danou konečnou energií signálu. FN je v podstatě dvojrozměrná autokorelační funkce (AF) signálu v čase (délce) a kmitočtu (radiální rychlosti). FN může být popsána v časové a/nebo v kmitočtové oblasti [2],[3]. Rovnice FN je:

$$|X(\tau, \nu)| = \left| \int_{-\infty}^{\infty} u(t)u^*(t + \tau) \exp(j2\pi\nu t) dt \right|, \quad (1)$$

kde $u(t)$ je vyslaný signál, τ je zpoždění a ν Dopplerův posuv. Na obr. 1 jsou vyobrazeny dva kvadranty normalizované FN. Osa zpoždění τ je normalizována vzhledem k době trvání impulsu T . Osa Dopplerova posuvu ν je normalizována vzhledem k $1/T$.

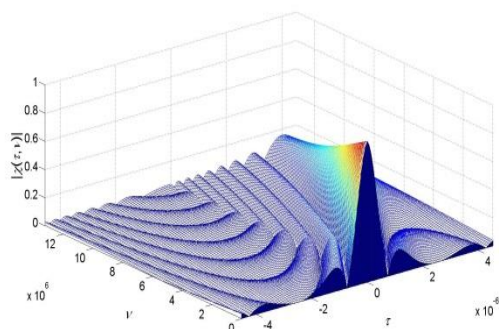
Pro naše účely byl použit signál s lineární frekvenční modulací LFM, protože má dostatečný kompresní poměr. V tomto případě se jednalo o signál s šířkou pásma $B = 100$ MHz a šířkou impulsu $T = 5$ μ s.

Komplexní obálka LFM impulsu je dána vztahem:

$$u(t) = \frac{1}{\sqrt{T}} \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \exp(j\pi kt^2), \quad (2)$$

kde k je frekvenční zdvih:

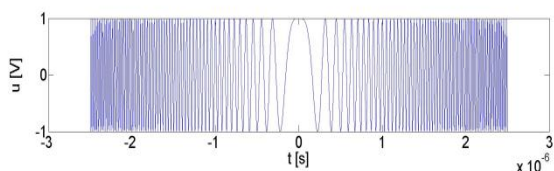
$$k = \pm \frac{B}{T}. \quad (3)$$



Obr. 1: Funkce neurčitosti LFM

Základní myšlenkou je lineárně rozmitat frekvenci B v průběhu trvání impulsu T [3]. Obdelníkovou obálku zajišťuje v rovnici (2) výraz (4) *rect*, který je definován jako:

$$\text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) = \begin{cases} 1, & \text{pro } -\frac{T}{2} \leq t \leq \frac{T}{2}, \\ 0, & \text{jinak} \end{cases} \quad (4)$$



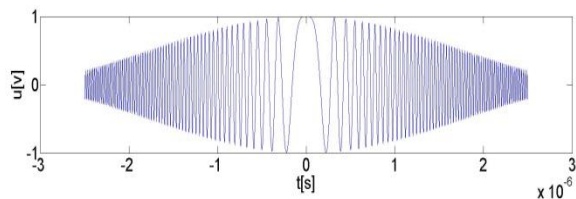
Obr. 2: Reálná část komplexní obálky LFM pulsu

POTLAČENÍ POSTRANNÍCH LALOKŮ

Zvolená LFM přispívá k zúžení hlavního laloku ve FN, resp. autokorelační funkci a tím k zvýšení rozlišovací schopnosti. Avšak postranní laloky zůstávají relativně vysoké. Postranní laloky mohou být potlačeny dvěma různými způsoby: amplitudovým nebo frekvenčním okénkováním.

Tato práce je zaměřena na první způsob – amplitudové okénkování (amplitudové váhovací funkce). Jedná se o amplitudovou obálku impulsu, jejíž tvar má za následek zlepšení parametrů signálu. Mezi nejznámější typy oken patří Hammingovo s prvním postranním lalokem -41 dB, Hanningovo -32 dB a Kaiserovo -46 dB [4]. Je zapotřebí dodat, že tyto techniky mají za následek rozšiřování hlavního laloku.

Kvůli výše uvedeným aspektům bylo rozhodnuto použít GA pro nalezení vhodného okna a porovnat je s konvenčními (Kaiser). Pro bližší představu aplikace Kaiserova okna slouží následující obrázek.



Obr. 3: Reálná část komplexní obálky LFM impulsu s Kaiserovým oknem

GENETICKÝ ALGORITMUS

GA patří mezi stochastické globální optimalizační metody. Cílem GA je nalezení přibližného globálního optima při velkém počtu vstupních parametrů, GA tedy nemusí nalézt přesné matematické minimum. Za to ale vyhledá toto řešení z celého oboru možných stavů (globálně), a kromě toho může těch přibližných řešení nalézt více. Velkou předností aplikace genetických algoritmů je skutečnost, že na kritériální funkci vyjadřující vztah mezi stavovými proměnnými optimalizovaného systému, která má mít žádaný extrém, nejsou kladeny žádné požadavky [5].

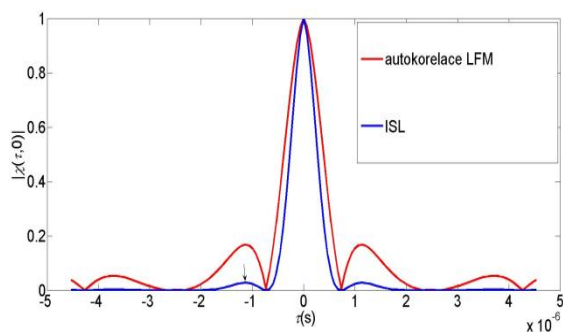
GA pracuje současně se skupinou (souborem) několika chromozomů. Tento soubor je označen jako populace a každý její prvek jako jedinec. Proces optimalizace začíná výchozí populací, která má obvykle několik desítek jedinců. Vytvoří se počítačem jako zcela náhodná kombinace nul a jedniček. V průběhu optimalizace se počet jedinců v populaci obvykle nemění, ale mění se postupně její jedinci tak, že celá populace zkvalitňuje (z hlediska maximalizace nebo minimalizace hodnotové funkce). Každá nová (obměněná) populace vytvoří novou další generaci [5]. Lépe to je zřejmé z následující aplikace.

APLIKACE GENETICKÉHO ALGORITMU

Jeden z nejdůležitějších kroků procesu GA je zvolení kritériálních funkcí. První kritériální funkcí byla navržena tzv. integrovaná úroveň postranních laloků ISL. ISL „vylepšuje (zmenšuje)“ postranní laloky autokorelační funkce, resp. FN při nulovém Doppleru, signálu LFM a je definovaná jako

$$\text{ISL} = 2 \sum_{k=1}^{N-1} |r(k)|^2, \quad (4)$$

kde r je autokorelační funkce. Pro kritérium bylo zvoleno maximum prvního postranního laloku ISL [6].



Obr. 4: ISL a autokorelační funkce

Na obrázku 4 červená křivka představuje autokorelační funkci LFM impulsu, modrá znázorňuje ISL dle vztahu (4) a šipka představuje maximum prvního postranního laloku. Toto kritérium pak zajišťuje potlačení (minimalizování) postranních laloků funkce neurčitosti a tím vylepšení vlastnosti detekce [7].

Druhá kritériální funkce zajišťuje dostatečné potlačení postranních spektrálních složek. Tato kritériální funkce byla zajištěna nalezením maximální hodnoty postranní spektrální složky v rozmezí od 15té postranní spektrální čáry při aplikaci FFT algoritmu s 512 vzorky (zobrazována je jen horní polovina, spektrum je symetrické).

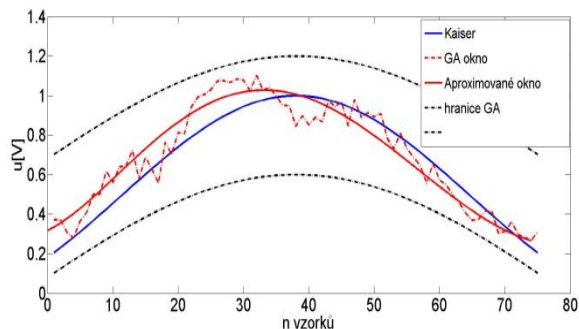
Poznamenejme, že pro zpřesnění výsledků jsme použili horní a dolní omezující hranice, které určují intervaly vah, ve kterém GA může operovat, obr. 4 čerchované čáry[7].

VÝSLEDKY GENETICKÉHO ALGORITMU

Na obr. 5 červená křivka představuje výsledek GA. Pro porovnání našeho GA okna bylo použito Kaiserovo okno (modrá křivka). Je patrné, že naše vygenerovaná okno (čárkovaná křivka) se svým tvarem vzdáleně blíží Kaiserovému oknu a proto bylo zapotřebí vygenerované okno aproximovat.

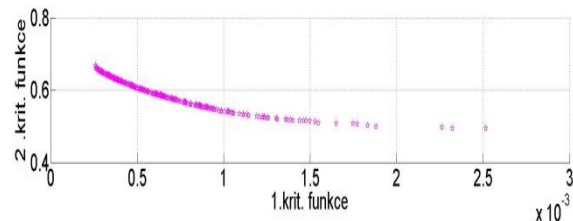
Vygenerované hodnoty byly aproximovány polynomem pátého stupně za použití metody nejmenších čtverců.

Dodejme, že GA vygeneroval 273 výsledků (generací) – možných oken a na obr. 5 je vyobrazena pouze jedna generace (iterace), která má 75 vzorků (jedinců).



Obr. 5: Výsledek GA, Kaiserovo okno, aproximované okno, hranice GA

Obr. 6. představuje Paretův diagram, který slouží k posouzení výkonu GA a hlavně nalezení kompromisu mezi dvěma kritériálními funkcemi. Každá vynesení bod (symbol hvězdy) představuje právě jednu generaci s párem $[x, y]$. Na ose x jsou hodnoty 1. kritériální funkce, tzn. vrcholové hodnoty prvního postranního laloku FN (pro nulový Dopplerův posuv). Na ose y jsou hodnoty 2. kritériální funkce, tzn. maximální hodnoty spektrálních složek v uvedeném intervalu.



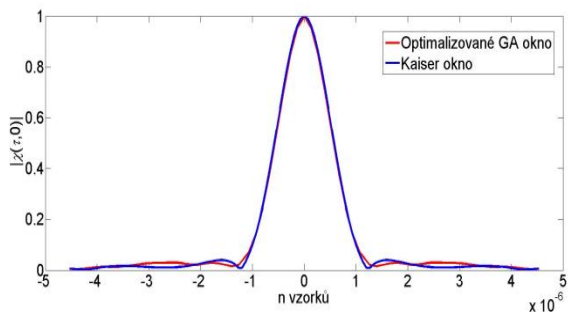
Obr. 6: Paretův diagram

Tabulka 1 specifikuje rozsahy výsledných hodnot kritériálních funkcí GA.

Tab. 1: Maximální, minimální a střední hodnoty Paretova diagramu

	1. krit. funkce	2. krit. funkce
Min	0,000367	0,564
Max	0,00235	0,6548
Střední hodnota	0,0007226	0,608

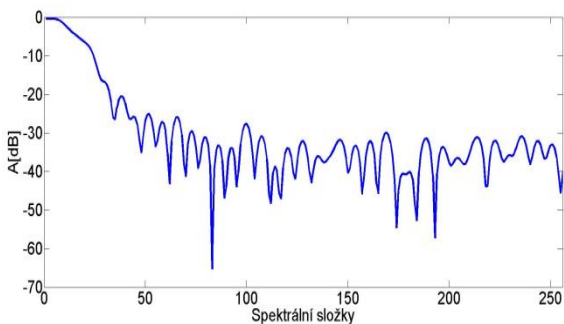
Jak již bylo zmíněno dříve, za hodnotící kritérium považujeme autokorelační funkci, resp FN, kde Dopplerova frekvence je 0.



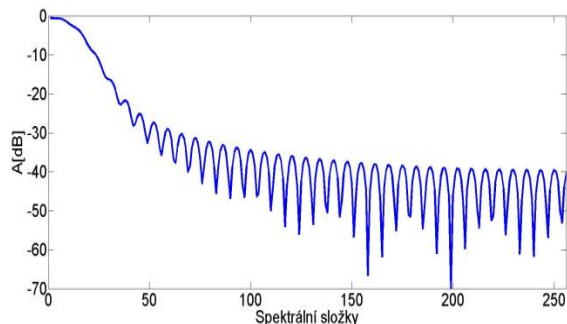
Obr. 7: Autokorelační funkce optimalizovaného okna a Kaiserova okna

Z obr. 7 je patrný první závěr. Autokorelační funkce obou obálek je prakticky totožná, tzn. šířka obou hlavních laloků je totožná a také velikost postranních laloků, což dokresluje smysl řešení.

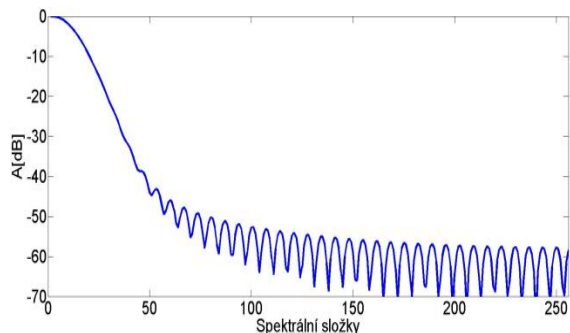
Následující trojice obrázků (8,9,10) popisuje druhé hodnotící kritérium – amplitudové spektrum. Je zřejmé, že váhová funkce mají vliv na tvar spektra. Optimalizované váhové okna má dosti nevyhovující tvar a až po aproximaci může být srovnáno se spektrem Kaiserova okna. Dále je zřejmé, že potlačení spektrálních složek optimalizovaného okna nedosahuje takových hodnot jako při použití Kaiserova okna.



Obr. 8: Amplitudové spektrum optimalizovaného okna



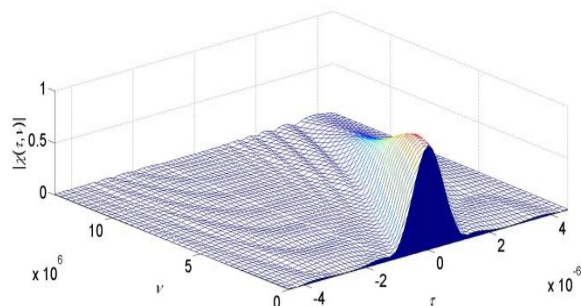
Obr. 9: Amplitudové spektrum aproximovaného okna



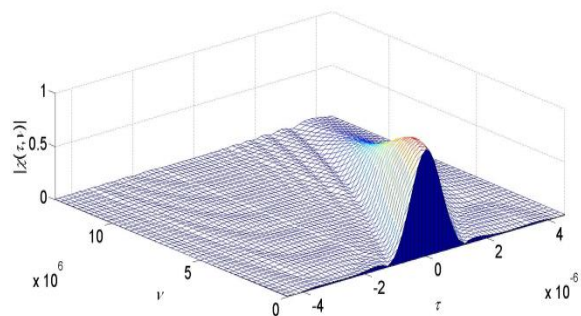
Obr. 10: Amplitudové Kaiserova okna

Na poslední dvojici obrázků je vyobrazen konečný výsledek. Na obr. 11 je funkce neurčitosti optimalizovaného signálu, na obr. 12 je FN s Kaiserovou váhovou funkcí. Je zřejmé, že postranní FN jsou prakticky totožné.

Celá simulace byla provedena v programu MATLAB na počítači s pamětí 4 GB. Vzhledem k časové náročnosti výpočtu FN a zejména GA, bylo zapotřebí nalézt dostatečný počet vzorků signálu a počtu generací, které by zajistili kompromis mezi časem výpočtu celého algoritmu (desítky minut) a nejlepším výsledkem.



Obr. 11: Funkce neurčitosti optimalizovaného signálu



Obr. 12: Funkce neurčitosti signálu s Kaiserovou váhovou funkcí

ZÁVĚR

Výsledky prokazují, že optimalizace signálu za použití Genetického algoritmu mělo za následek vylepšení tížených parametrů radarového signálu, které byly následně porovnány s parametry signálu s Kaiserovým oknem.

V prvních dvou kapitolách byla stručně popsána FN a signál LFM, který byl analyzován a následně optimalizován. Taktéž byla popsána jedna z metod zajišťující potlačení postranních laloků – váhová (časová) okna. Tato konvenční metoda (Kaiserovo okno) byla využita pro srovnání s optimalizovaným signálem. Za použití GA bylo vygenerováno váhové okno, které značně vylepšilo parametry LFM impulsu, avšak tvar optimalizovaného okna a jeho spektrum nebylo optimální. Signál by se mohl jevit jako náhodný šum a mohl by být použit pouze pro radiolokátory s malými výkony. Z toho důvodu bylo zapotřebí GA váhové okno aproximovat. Díky aproximaci bylo dosaženo jednak vyhlazení váhového okna (obr. 5) a vylepšení tvaru amplitudového spektra (obr. 8, 9). Použitím GA a následné aproximace bylo dosaženo srovnatelných (takřka shodných) parametrů signálu jako signálu s Kaiserovým oknem (obr. 11, 12).

Ačkoli GA vyžaduje náročnější výpočetní operace, byla prokázána jeho využitelnost pro daný problém, tedy nalezení váhového okna, které zlepšilo parametry signálu (obr. 1, 11). Díky možnosti zadat libovolné kritériální funkce, může GA být využit pro nalezení optimálních parametrů v této či jiné oblasti.

LITERATURA

- [1] DRAŽAN Libor. *Základy radiolokace*. 1. díl. Základní principy radiolokace. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2002. 73 s. ISBN 978-80-7231-217-1.
- [2] HOŠKO, Eduard a NOVOTNÝ, Stanislav. *Základy radiolokace*. 7. díl., Radiolokátory s vysokou rozlišovací schopností. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2007. 73 s. ISBN 978-80-7231-217-7.
- [3] LEVANON, Nadav a MOZESON Eli. *Radar signals*. Hoboken: Wiley, 2004, xiv, 411 s. ISBN 0-471-47378-2.
- [4] MAHAFZA, Bassem R. *Radar systems analysis and design using MATLAB*. Vyd. 2. Boca Raton: Chapman, 2005, 638 s. ISBN 15-848-8532-7
- [5] RAIDA, Zbyněk. Optimalizace v elektrotechnice. Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, VUT v Brně. [online]. [cit. 2015-03-03]. Dostupné z: <http://www.urel.feec.vutbr.cz/~raida/optimalizace/index.htm>
- [6] CAPRARO, Christopher T., BRADARIC Ivan, CAPRARO Gerard T., a TSU Kong Lue, Using genetic algorithms for radar waveform selection. *2008 IEEE Radar Conference*. IEEE, 2008, s. 1-6 [cit. 2015-03-03]. DOI: 10.1109/RADAR.2008.4720947
- [7] BARTOŠ, Martin. *WLFM RADAR SIGNAL AMBIGUITY FUNCTION OPTIMALIZATION USING GENETIC ALGORITHM*. Brno: VUT, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2015. 1. ISBN 978 - 80 - 214 - 214 - 5148 - 3