

فصلنامه علمی-ترویجی پدافند غیرعالم

سال، ششم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۶، (پیاپی ۳۱): صص ۸۵-۷۷

شبیه‌سازی و ارائه روش‌های بهینه جنگ الکترونیک برای رادارگریزی سامانه‌های هوای پایه با استفاده از مدولاسیون OFDM

ضرغام رستمی^{۱*}، مهرداد نجفی نوکاشتی^۲، محمدعلی خسروبابایی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۰۹/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۱۱/۲۴

چکیده

در میدان جنگ، سامانه‌های هوای پایه‌ای که برای دفاع الکترونیکی از تکنیک‌های متنوع استفاده نمی‌کنند، با تهدیدات نرم و سخت مختلفی درگیر هستند. در این مقاله، روش مدولاسیون OFDM که فنون رادارگریزی را در سامانه هوای پایه بهبود می‌بخشد، تجزیه و تحلیل و شبیه‌سازی شده است. همچنین پارامترهای اثرگذار در فنون رادارگریزی؛ مانند افزایش پهنای باند و کاهش چگالی طیف توان گلبرگ‌های جانبی (PSL) محاسبه و ارائه شده است. در ادامه، تکنیک ارسال تصادفی حامل‌های جانبی که به دلیل عدم اطلاع سامانه‌های شنود از نحوه ارسال زیرحامل‌ها و کشف و آشکارسازی این سامانه‌های هوای پایه جنگ الکترونیکی به سختی صورت گرفته و موجب فریب آن‌ها می‌شود، ارائه شده است. این نوع روش‌ها برای طراحان سامانه‌های رادارگریز با قابلیت برتر برای دفاع الکترونیکی مفید واقع خواهد شد.

کلیدواژه‌ها: سامانه‌های هوای پایه، مدولاسیون OFDM، رادارگریزی، توان گلبرگ جانبی، زیرحامل، کد بارکر، جنگ الکترونیک

۱- استادیار، دانشگاه جامع امام حسین^(ع)، (zrostami@ihu.ac.ir) - نویسنده مسئول

۲- مدرس دانشگاه افسری امام حسین^(ع)

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه جامع امام حسین^(ع)

۱- مقدمه

Kمین زیرحامل به Kمین زیرباندی که پهنای باند باریک را اشغال نموده است، اختصاص داشته و فرکانس‌های مرکزی هر زیرباند در $\Delta F = \frac{1}{T_p}$ قرار دارند. در این جا پهنای باند هر زیرباند، با عنوان ΔF تعریف می‌گردد. در این مدولاسیون زیرباندها باهم هم‌پوشانی دارند ولی به خاطر خاصیت متعامد بودن، قله هر یک از زیرباندها در نقطه‌ای که صفر زیرباندهای مجاور است قرار می‌گیرد. فاصله بین زیرحامل‌ها در این روش ارسال به میزان ΔF می‌باشد.

در ادامه، قسمت حقیقی رابطه (۲) را با در نظر گرفتن $\phi_0(t) = 0$ بازنویسی می‌کنیم:

$$S_a = \sum_{k=1}^N x(k) \cos(2\pi k \Delta f t) \quad (2)$$

رابطه (۲)، شکل موج سیگنال سامانه‌های هواپایه دفاع الکترونیکی مبتنی بر مدولاسیون OFDM را نشان می‌دهد که برپایه تجمیع تعدادی شکل موج سینوسی عمود برهم با طول استمرار زمانی دوره هر پالس به میزان T_p تولید می‌شود.

طیف سیگنال $s_a(t)$ با اعمال تبدیل فوریه بر روی سیگنال مورد نظر به دست می‌آید. رابطه (۳) بیانگر طیف سیگنال OFDM می‌باشد:

$$S(f) = \sum_{k=1}^N x(k) \int_{-\frac{T_p}{2}}^{\frac{T_p}{2}} e^{j(2\pi k \Delta f t)} e^{-j\omega t} dt \quad (3)$$

یکی از مهم‌ترین مزایای ارسال تصادفی زیرحامل‌ها در مدولاسیون OFDM، عدم شناخت الگوریتم ارسال توسط سامانه‌های شنود راداری و مخابراتی می‌باشد، لذا گیرنده شنود، مجبور به افزایش پهنای باند وسیع جهت کشف سیگنال مذکور بوده که در صورت عدم کشف یا شنود سیگنال نتیجه، ناتوانی سامانه‌های حمله الکترونیکی علیه سامانه‌های هواپایه رادار گریز و ایجاد اختلال و فریب، محرز می‌باشد.

در این تکنیک پیشنهادی، کنترل بر الگوریتم ارسال تعداد زیرحامل‌ها و همچنین پهنای باند سیگنال ارسال، قابل برنامه‌ریزی است [۵].

بدین منظور، از رابطه (۳) در فواصل زمانی Δt_s نمونه‌برداری می‌شود تا به صورت رابطه (۴) تغییر یابد.

$$S[n] = \sum_{k=1}^N x(k) \cos(2\pi k \Delta f n \Delta t_s) \quad (4)$$

$$S[n] = \sum_{k=1}^N x(k) \cos\left(\frac{2\pi k n}{N_s}\right) \quad (5)$$

امروزه، سناریوی جنگ‌های الکترونیکی، بسیار پیچیده شده است و اغلب سامانه‌های هواپایه رادار گریز برای دفاع الکترونیکی از روش‌های مختلفی جهت در امان ماندن در مقابل تهدیدات استفاده می‌نمایند [۱].

در میدان جنگ، سامانه‌های هواپایه‌ای که برای دفاع الکترونیکی از تکنیک‌های متنوع استفاده نمی‌کنند، با تهدیدات نرم و سخت مختلفی درگیر هستند. از جمله تهدیدات نرم می‌توان به فریب، اختلال، شنود، جهت‌یابی و مکان‌یابی سیگنال سامانه‌های هواپایه دفاع الکترونیکی، اشاره نمود. همچنین تهدیدات سخت را می‌توان به موشک‌های ضدتشنع که همواره آماده دریافت فرمان از سامانه‌های جاسوسی سیگنال جهت انهدام سامانه‌های هواپایه دفاع الکترونیکی هستند اشاره نمود [۲].

سامانه‌های هواپایه رادار گریز برای دفاع الکترونیکی، طوری طراحی و سامان‌دهی شده‌اند که به وسیله سامانه‌های آشکارکننده غیرفعال نظیر؛ گیرنده‌های هشداردهنده و جستجوگرهای سیگنالی به راحتی قابل کشف و شناسایی نباشند [۳].

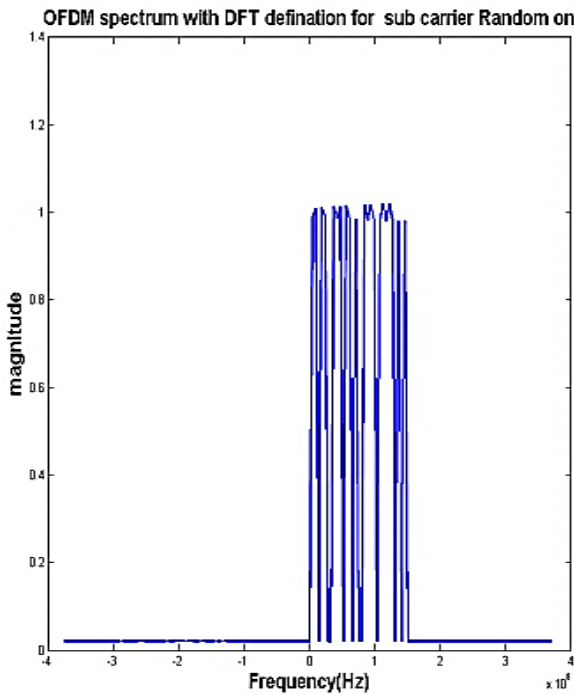
جهت عدم شناسایی سامانه‌های هواپایه رادار گریز، توسط سامانه‌های جاسوسی و برای مقابله با آن، از روش‌های مختلفی مانند کاهش سطح مقطع راداری، به کارگیری ساختار پراکنده‌ساز سیگنال‌ها و همچنین از مدولاسیون‌هایی که با روش‌های خاص، باعث کاهش سطح توان گلبرگ‌های جانبی می‌گردد، استفاده می‌شود [۲ و ۸].

۲- تکنیک ارسال تصادفی زیرحامل با مدولاسیون OFDM^۱

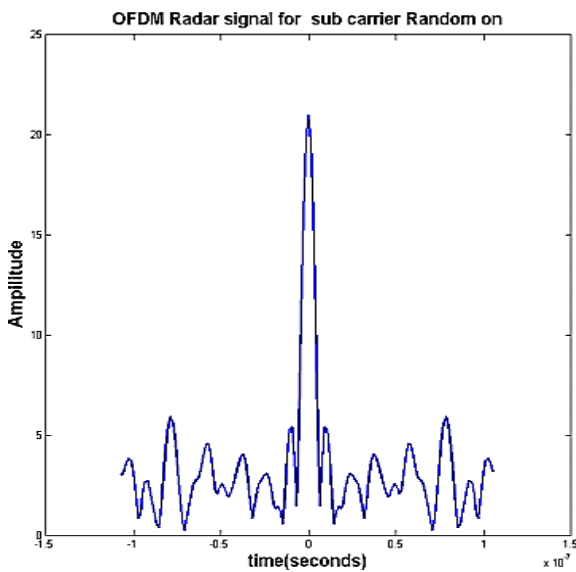
طیف سیگنال OFDM را می‌توان به صورت مجموع پالس‌هایی که در حوزه زمان و فرکانس شیف‌ت داده شده‌اند و در اطلاعات سمبل‌ها ضرب شده‌اند را می‌توان در نظر گرفت [۱ و ۷]، که در این روابط محدوده $0 < TP < t$ است.

$$S_a = \sum_{k=1}^N x(t) e^{i\left(\frac{2\pi k t}{T_p} + \phi_0(t)\right)} \quad (1)$$

که در آن، $x(t)$ اطلاعات k مین سمبل از مجموعه برداری $x = [x(1)x(2)...x(N)]$ ، تعداد زیر حامل و T_p مدت زمان استمرار پالس می‌باشد.



(الف)



(ب)

شکل (۱): الف) طیف سیگنال، ب) سیگنال OFDM با ۳۲ زیرباند تصادفی.

که در آن، $N_s, n=1,2...N_s$ تعداد نمونه‌ها و f فاصله بین زیرحامل‌ها می‌باشد.

رابطه (۴) نشان‌دهنده یک سیگنال OFDM گسسته در زمان ایده‌آل می‌باشد که در آن، تعداد زیرحامل‌ها می‌باشد و سپس تعداد نمونه‌ها را به صورت زیر می‌توان نوشت:

$$N_s = 2N_{sub} + 1 \tag{۶}$$

اکنون بردار S_ω را به صورت زیر تعریف می‌کنیم:

$$S_\omega = [X_{nf} \cdot O \cdot X_{pf}] \tag{۷}$$

عدد صفر در این رابطه نشان‌دهنده DC سیگنال OFDM می‌باشد و X_{pf} نیز بخش مثبت زیرباندهای سیگنال OFDM می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$X_{pf} = [X(1), X(2)...X_{sub}] \tag{۸}$$

بردار X_{nf} در واقع نشان‌دهنده بخش منفی زیرباندهای سیگنال OFDM و قرینه بردار X_{pf} می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$X_{nf} = (-1)[x(N_{sub}), x(N_{sub}-1), \dots, x(1)] \tag{۹}$$

سپس با گرفتن عکس تبدیل فوریه از S_ω به سیگنال گسسته در حوزه زمان ارائه‌شده در رابطه (۴) خواهیم رسید:

$$S[n] = F_\omega^{-1}[S_\omega] \tag{۱۰}$$

۲-۱- تحلیل نتایج روش ارسال تصادفی زیرحامل

اکنون نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی روش ارسال تصادفی زیرحامل‌ها را برای نمونه ۳۲ و ۱۲۸ نشان می‌دهیم که نشان‌گر تاثیر ارسال تصادفی زیرحامل‌ها و همچنین افزایش تعداد زیرحامل‌ها می‌باشد.

در این شرایط، پهنای باند سیگنال ارسالی ۱۵۰ MHz و فرکانس نرخ نمونه‌برداری، دو برابر پهنای باند در نظر گرفته می‌شود. به ترتیب، در شکل‌های (۱- الف و ب) و (۲- الف و ب) نتیجه شبیه‌سازی سیگنال طیف سیگنال OFDM با زیرباند تصادفی ۳۲ و ۱۲۸ مشاهده می‌گردد.

شناخت الگوریتم ارسال زیرحامل‌ها قطعاً سامانه تهدیدکننده طرف مقابل نبرد، جهت استخراج (شهود) مشخصات سیگنال دریافتی دچار مشکل و دشواری خواهد شد.

۲-۲- تابع ابهام سیگنال مدولاسیون OFDM با زیرباندهای تصادفی مختلف

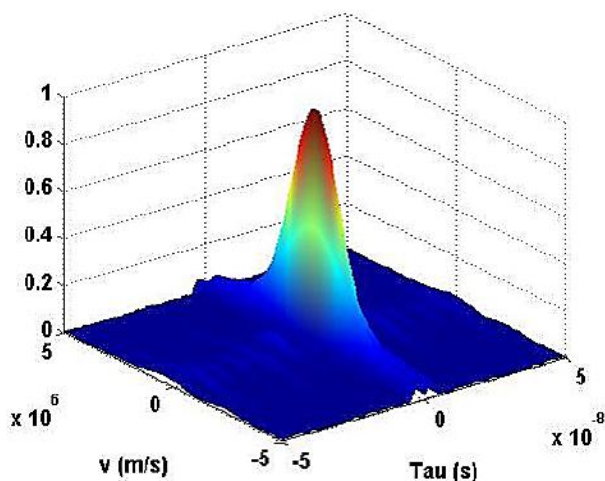
تابع ابهام یک تابع دوبعدی متقارن است که میزان عدم قطعیت بین سیگنال راداری دریافتی مورد انتظار و نمونه شیف‌یافته خودش در زمان و فرکانس داپلر را تعیین می‌کند.

گسترده‌ی تابع AF به پهنای باند B و طول مدت زمان سیگنال به T_p بستگی دارد. در مدولاسیون OFDM به دلیل وابستگی شدید مدت زمان سیگنال به تعداد زیرباندها، به نظر می‌رسد که با افزایش زیرباند ارسالی، تابع AF با گلبزرگ تیزتر و کاهش ابهام داپلر حاصل می‌شود که این موضوع در شبیه‌سازی‌های آتی اثبات شده و می‌توان رابطه تابع ابهام برای شکل موج OFDM^۱ UWB با زیرباندهای تصادفی را نمایش داد [۱-۲]. رابطه (۱۱) بیان ریاضی تابع ابهام را شرح می‌دهد:

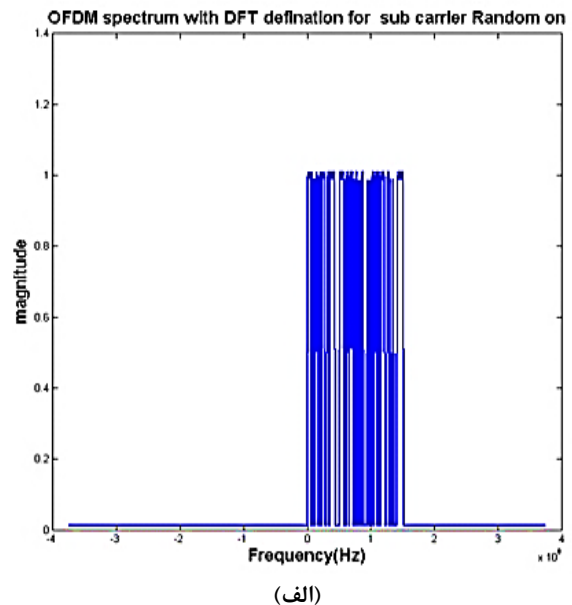
$$AF_{OFDM} = \sqrt{|a|} \int_{-\frac{T_p}{2}}^{\frac{T_p}{2}} \left(\sum_{k=1}^{N_{sub}} x(k) e^{j2\pi k \Delta f t} \right) \sum_{l=1}^{N_{sub}} x(l) e^{-j2\pi k l \Delta f \alpha(t-\tau) t} dt \quad (11)$$

۲-۲-۱- تحلیل تابع ابهام برای مدولاسیون OFDM (با زیرباندهای تصادفی)

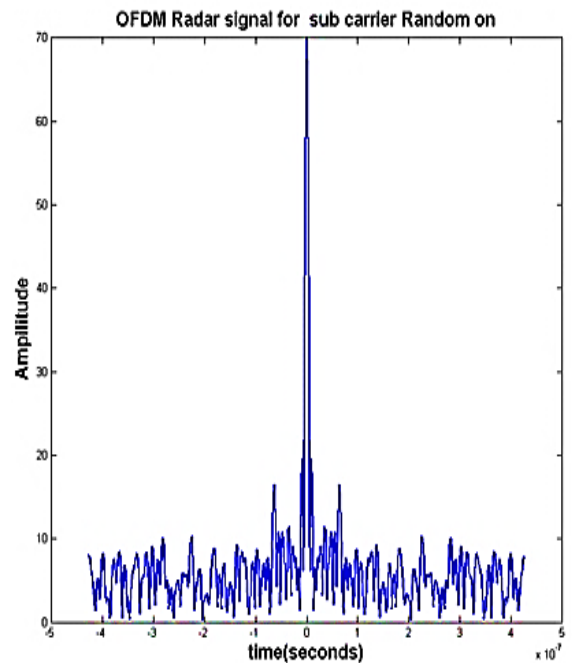
با در نظر گرفتن رابطه ریاضی (۱۱) شبیه‌سازی تابع ابهام برای سیگنال OFDM با زیرباندهای ارسالی تصادفی ۳۲ و ۱۲۸ در شکل‌های (۴-۳) ارائه می‌گردد:



شکل (۳): تابع ابهام برای حالت ۳۲ زیرباند تصادفی.



(الف)



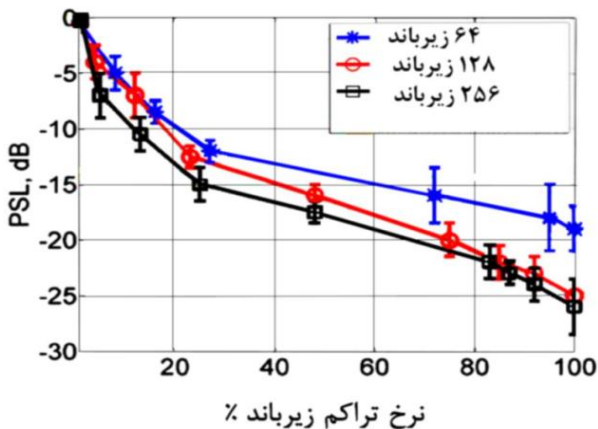
(ب)

شکل (۲): (الف) سیگنال، (ب) طیف سیگنال OFDM با ۱۲۸ زیرباند تصادفی.

همان‌گونه که در شبیه‌سازی فوق مشاهده می‌گردد، سیگنال ارسالی با افزایش تعداد زیرباندها بسیار تیزتر (در حوزه زمان) گردیده است، که در آن‌جا به دلیل استمرار زمانی کمتر سیگنال در فضا، کاهش احتمال شنود توسط سامانه‌های تهدیدکننده طرف مقابل نبرد را نتیجه می‌دهد. هم‌چنین در شکل‌های (۱-الف) و (۲-الف) شاهد این موضوع هستیم که با افزایش زیرباندهای تصادفی، تراکم و فشردگی سیگنال در حوزه فرکانس افزایش یافته که به دلیل عدم

اصلی از اهدافی که در دید گلبرگ فرعی قرار دارند، دشوارتر خواهد بود. جهت بررسی تاثیر تغییر تعداد زیرباندها و نرخ تراکم ارسال آن بر کاهش PSL نمودار شکل (۶) ارائه می‌گردد.

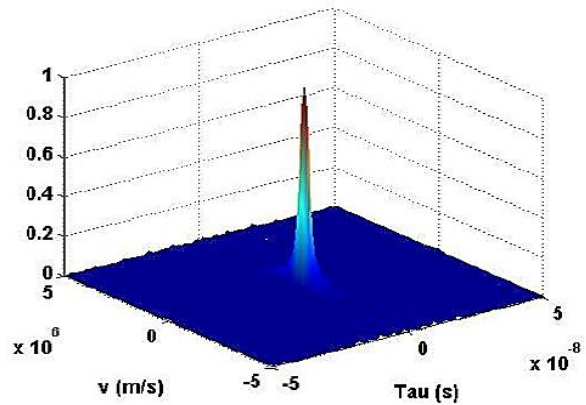
همان‌گونه‌که مشاهده می‌گردد با افزایش نرخ تراکم زیرباند و تعداد زیرباندها که به‌صورت تصادفی ارسال می‌گردند PSL نیز کاهش یافته و این به نفع سامانه‌های هوایپایه برای دفاع الکترونیکی ساطع‌کننده سیگنال می‌باشد. به‌دلیل ارسال تصادفی زیرباند و به دنبال آن، اشغال پهنای باند به‌صورت تصادفی، در محور افقی حالت‌های مختلف تراکم و اشغال پهنای باند در نظر گرفته شده است. با توجه به نمودار موجود برای داشتن PSL مناسب، می‌بایست ارسال زیرباند به تعداد حداقل ۱۲۸ و نرخ تراکم بیش از ۵۰٪ در نظر گرفته شود تا عملکرد احتمال کشف پایین سامانه‌های هوایپایه برای دفاع الکترونیکی نسبت به بکارگیری از مدولاسیون‌های رایج دیگر، بهتر ارزیابی گردد.



شکل (۶): نمودار تاثیر PSL از تعداد زیرباندها و نرخ تراکم زیرباندها [۲].

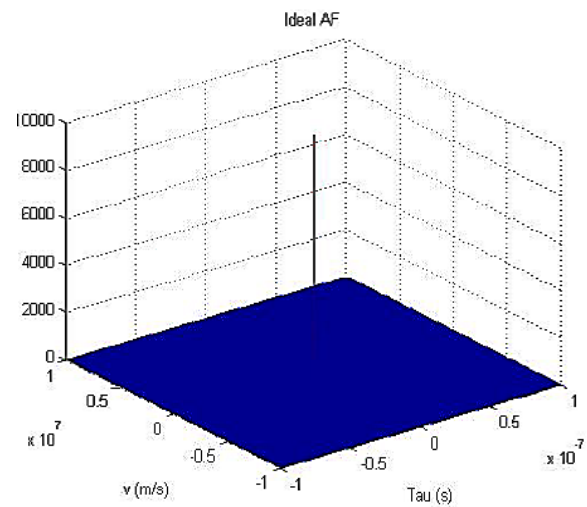
۳- تکنیک تولید سیگنال OFDM با اعمال کد باینری باکر

در شبیه‌سازی‌های زیر از سیگنالی که از مدولاسیون OFDM استفاده کرده و دارای پهنای باند ۱۵۰ MHz می‌باشد، استفاده نموده‌ایم. حالات گوناگونی (۳۲ و ۱۲۸) را از نظر تعداد زیرباند تصادفی، در نظر گرفته، طیف سیگنال را مشاهده و برای هر حالت، کدهای بارکر با طول‌های مختلف (۷ و ۱۱) بی‌تی را با سیگنال مذکور ضرب و کاهش قله توان سیگنال و افزایش پهنای باند سیگنال را با هم مقایسه می‌نماییم.



شکل (۴): تابع ابهام برای حالت ۱۲۸ زیرباند تصادفی.

با توجه به نتایج شبیه‌سازی‌ها که در شکل‌های (۱-۴) مشخص است، به این نتیجه می‌رسیم که کمترین ابهام درسیگنال OFDM با مشخصات خاص ارسالی را می‌توان در حالت ارسال بیشترین تعداد کانال (زیرباند) داشته باشیم و به شکل تابع ابهامی نزدیک به تابع ابهام متناوب ایده‌آل که در شکل (۵) نشان داده شده است، دست پیدا کنیم.



شکل (۵): تابع ابهام ایده‌آل [۶].

۳-۲- تاثیر و تحلیل افزایش زیرباندها برای کاهش PSL^۱

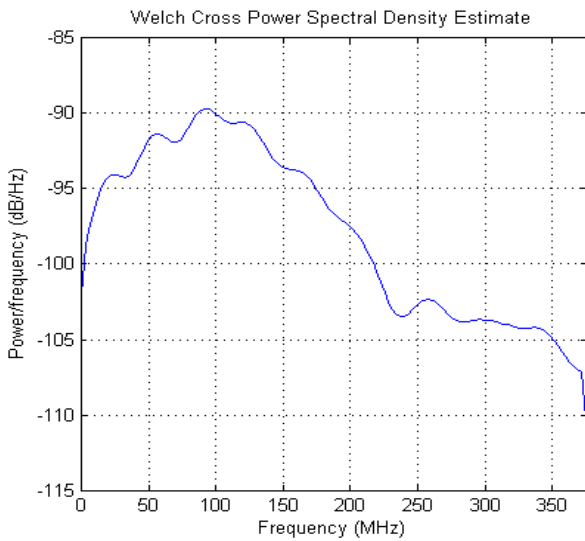
سطح توان گلبرگ جانبی سیگنال رادار (PSL) در ارزیابی عملکرد یک رادار، نقش به‌سزایی را ایفا می‌نماید. PSL نشان‌دهنده میزان تفاوت سطح گلبرگ اصلی و بلندترین قله از گلبرگ‌های فرعی می‌باشد. هر چقدر این تفاوت دارای مقدار کمی باشد تشخیص هدف

1- Power Side Lobe

۳-۱- سیگنال ۳۲ زیرحاملی با اعمال کدهای ۷ و ۱۱

بیتی

در شکل (۷) طیف سیگنال با زیرباند تصادفی ۳۲ بدون اعمال کد باینری بارکر مشاهده می‌گردد. در شکل (۸)، اعمال کد بارکر باینری با طول ۷ بیتی و در شکل (۹)، اعمال کد بارکر باینری با طول ۱۱ بیتی را مشاهده می‌کنیم که در نتیجه این شبیه‌سازی، کاهش قله توان و پخش‌شدگی سیگنال تولیدشده به‌وضوح قابل مشاهده می‌باشد.

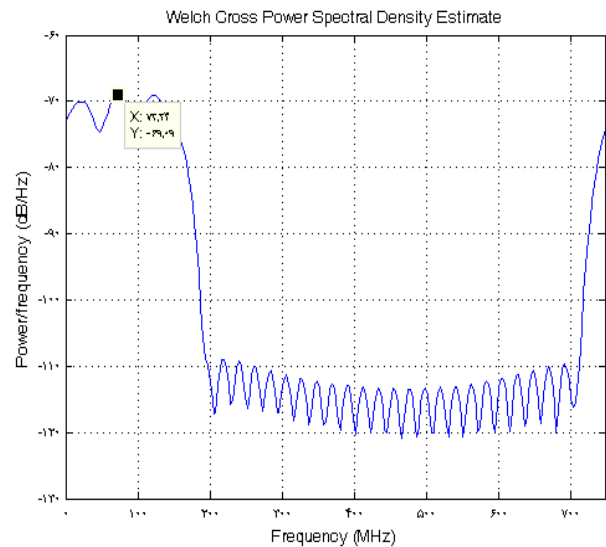


شکل (۹): طیف سیگنال OFDM ۳۲ زیرحامل تصادفی با کد باینری بارکر ۱۱ بیتی.

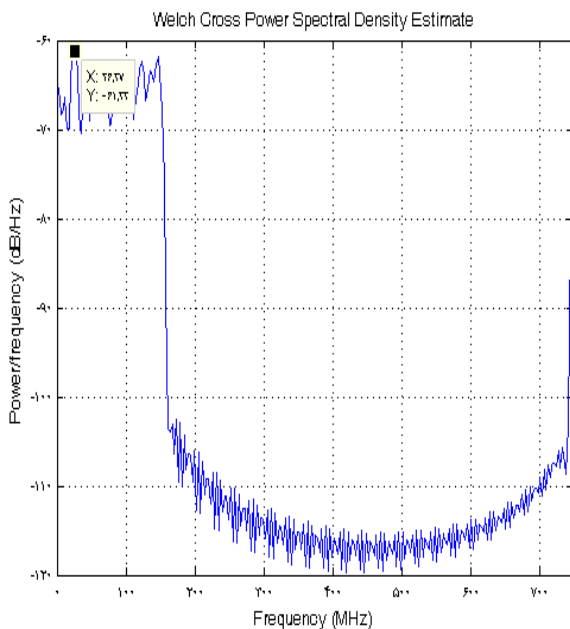
۳-۲- سیگنال ۱۲۸ زیرحاملی با اعمال کدهای ۷ و ۱۱

بیتی

در شکل (۱۰)، طیف سیگنال OFDM با زیرباند تصادفی ۱۲۸ بدون اعمال کد بارکر باینری مشاهده می‌گردد.

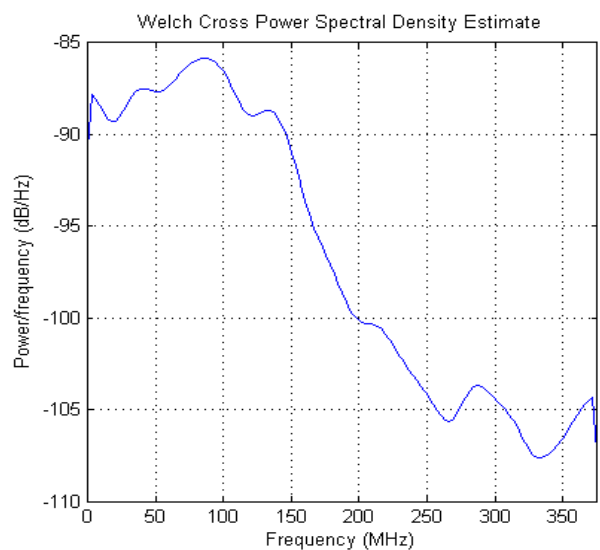


شکل (۷): طیف سیگنال OFDM ۳۲ زیرحامل تصادفی (بدون اعمال کد بارکر).



شکل (۱۰): طیف سیگنال OFDM ۱۲۸ زیرحامل تصادفی.

در شکل (۱۱) اعمال کد بارکر باینری با طول ۷ بیت و در شکل (۱۲) اعمال کد بارکر باینری با طول ۱۱ بیت مشاهده می‌گردد که موجب کاهش قله توان و پخش‌شدگی سیگنال تولیدی شده است.



شکل (۸): طیف سیگنال OFDM ۳۲ زیرحامل تصادفی با کد باینری بارکر ۷ بیتی.

^۱PAPR، توان سیگنال OFDM افزایش یافته و با اعمال کد باینری بارکر با طول‌های افزایشی سطح توان کاهش می‌یابد:

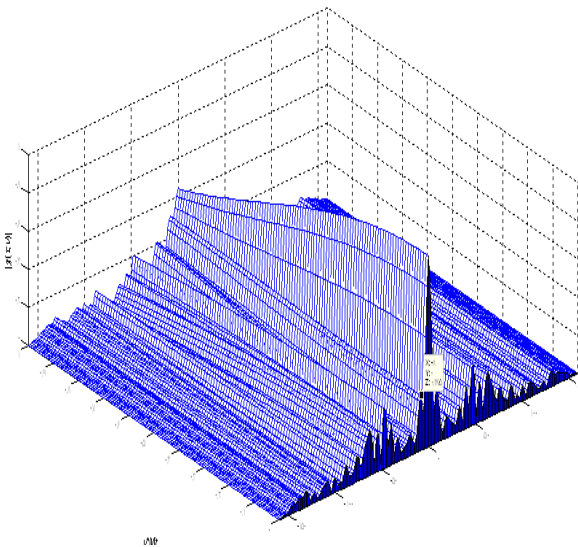
جدول (۱): مقایسه عددی تاثیر کد باینری بارکر بر قله توان سیگنال OFDM (PSD) با زیرباند تصادفی.

سیگنال OFDM با ۱۲۸ زیرباند تصادفی			سیگنال OFDM با ۳۲ زیرباند تصادفی			سیگنال OFDM با زیرباندهای تصادفی مختلف
بدون اعمال کد	بارکر ۷ بیتی	بارکر ۱۱ بیتی	بدون اعمال کد	بارکر ۷ بیتی	بارکر ۱۱ بیتی	طول کد باینری بارکر اعمال شده به سیگنال
-۶۱/۳۲	-۸۱/۸	-۸۲/۶۵	-۹۰	-۸۶	-۶۹/۹	حداکثر توان طیف (dB)

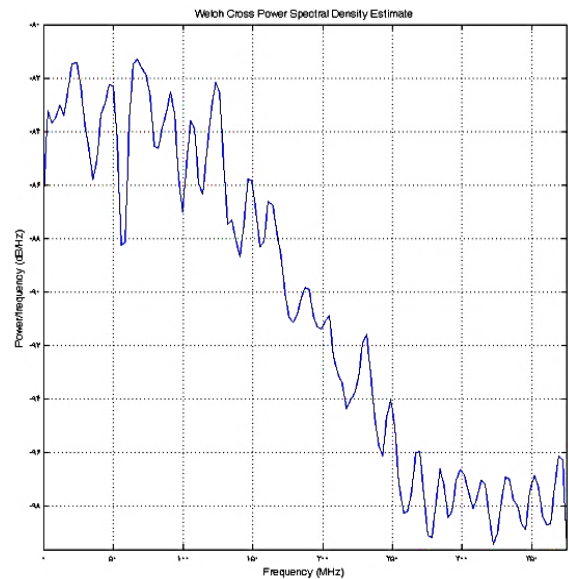
۳-۴- تاثیر و تحلیل تابع ابهام سیگنال OFDM با اعمال کد بارکر و ۳۲ زیرحامل تصادفی

تابع ابهام متناوب برای سیگنال OFDM با زیرباندهای متغیر ۳۲ و ۱۲۸ که با استفاده از کد باینری بارکر با طول‌های ۷ و ۱۱ فشرده شده‌اند، با هدف تعیین مقدار PSL و میزان ابهام در سرعت و تاخیر برای هر حالت، شبیه‌سازی گردیده‌اند.

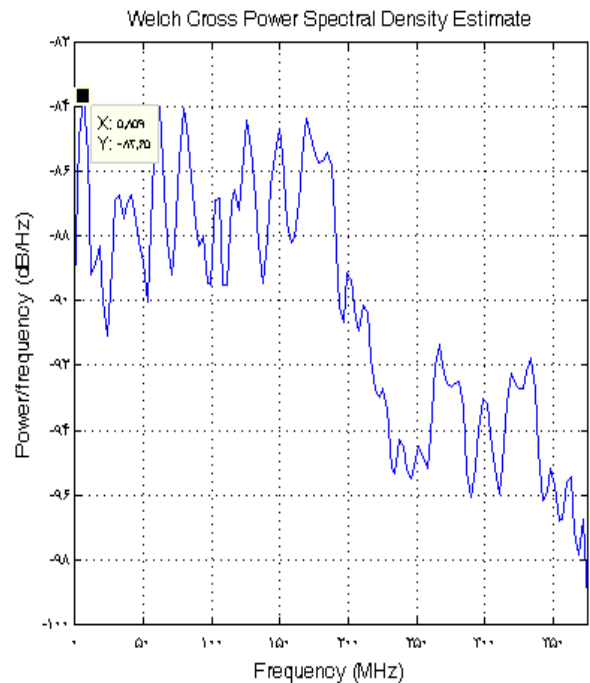
در شکل (۱۳)، تابع ابهام برای سیگنال با ۳۲ زیرباند تصادفی بدون اعمال کد بارکر باینری، در شکل (۱۴)، سیگنال با کد بارکر باینری ۷ بیتی و در شکل (۱۵)، سیگنال با کد بارکر باینری ۱۱ بیتی شبیه‌سازی شده است.



شکل (۱۳): تابع ابهام سیگنال OFDM با ۳۲ زیرباند تصادفی.



شکل (۱۱): طیف سیگنال OFDM ۱۲۸ زیرحامل تصادفی با کد باینری بارکر ۷ بیتی.



شکل (۱۲): طیف سیگنال OFDM ۱۲۸ زیرحامل تصادفی با کد باینری بارکر ۱۱ بیتی.

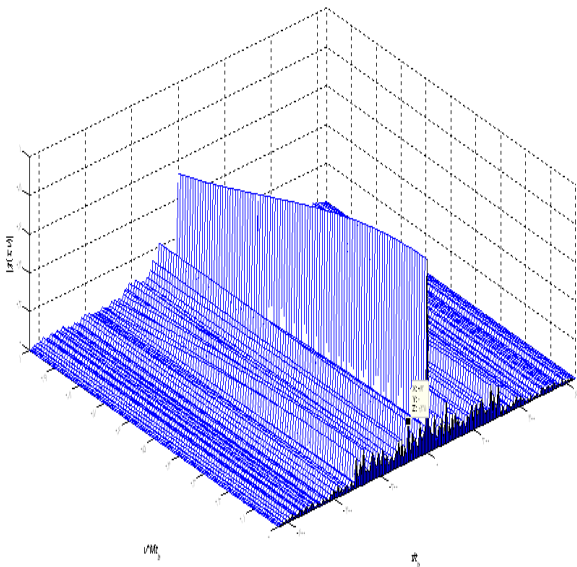
۳-۳- مقایسه عددی اثر افزایش طول کد بارکر بر احتمال شنود سیگنال OFDM

جدول (۱)، مقایسه‌ای در خصوص اثر اعمال کدهای باینری بارکر را بر سیگنال OFDM با پهنای باند ۱۵۰ MHz و زیرباندهای تصادفی مختلف نشان می‌دهد. با افزایش تعداد زیرباندها به دلیل پدیده

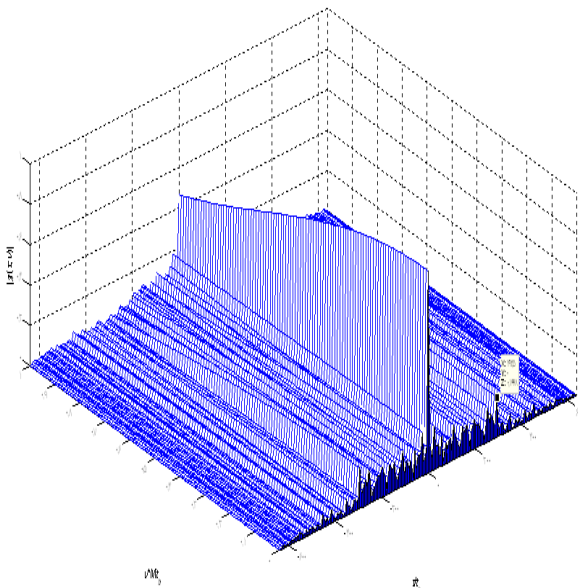
۳-۵- تاثیر و تحلیل تابع ابهام سیگنال OFDM با اعمال

کد بارکر و ۳۲ زیرحامل تصادفی

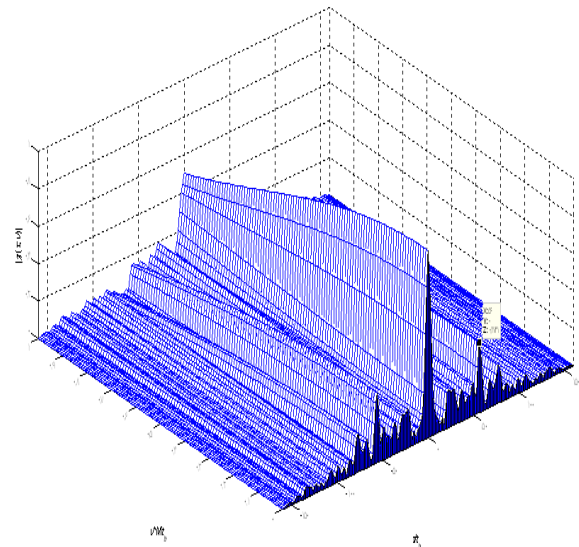
در شکل (۱۶)، تابع ابهام برای سیگنال با ۱۲۸ زیرباند تصادفی بدون اعمال کد بارکر باینری، در شکل (۱۷)، سیگنال با کد بارکر باینری ۷ بیتی و در شکل (۱۸)، سیگنال با کد بارکر باینری ۱۱ بیتی شبیه‌سازی شده است.



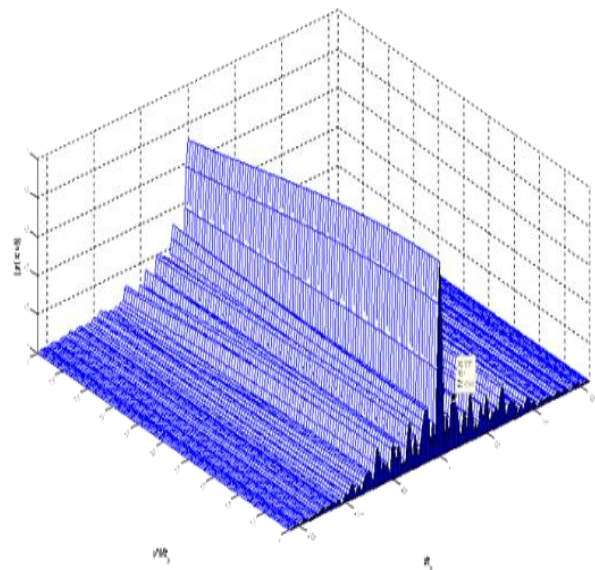
شکل (۱۶): تابع ابهام سیگنال OFDM با ۱۲۸ زیرباند تصادفی.



شکل (۱۷): تابع ابهام سیگنال OFDM با ۱۲۸ زیرباند تصادفی و کد باینری ۷ بیتی.



شکل (۱۴): تابع ابهام سیگنال OFDM با ۳۲ زیرباند تصادفی و کد باینری ۷ بیتی.



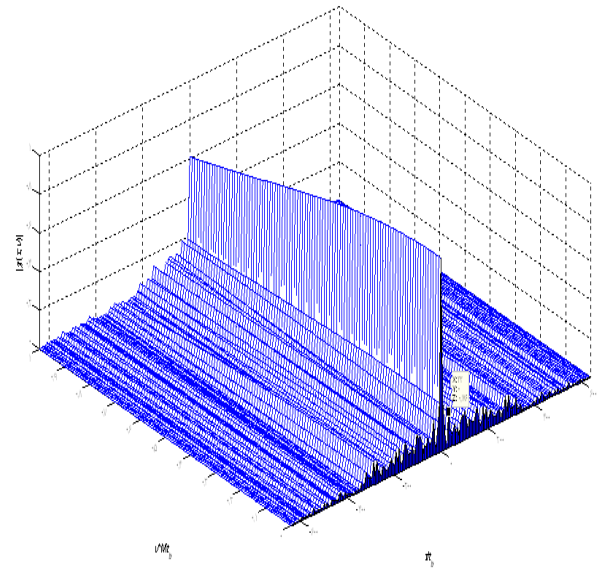
شکل (۱۵): تابع ابهام سیگنال OFDM با ۳۲ زیرباند تصادفی و کد باینری ۱۱ بیتی.

در حالت بدون اعمال کد، حداکثر فله توان گلبرگ جانبی برای سیگنال فوق‌الذکر، برابر $PSL = -10/82$ dB است و با کد باینری بارکر با طول ۷ بیت، مقدار $PSL = -11/24$ dB و با کد باینری بارکر با طول ۱۱ بیت مقدار $PSL = -11/34$ dB حاصل گردید. لذا در بهترین حالت اعمال این کد به میزان ۲ dB در کاهش توان گلبرگ جانبی بهبود ایجاد نموده است.

میزان -90 dB می‌رسد که نشان‌دهنده تاثیر این کد در احتمال کشف پایین سامانه‌های هواپایه رادارگریز برای دفاع سیگنال الکترونیکی است. همچنین در این تکنیک، بهترین حالت کاهش توان گلبرگ جانبی 2 dB (PSL) بوده و در زمان استفاده از تعداد 128 زیرحامل تصادفی، چگالی طیف توان سیگنال (PSD) در حالت بدون اعمال کد به میزان -61 dB و در زمان اعمال کد 11 بیتی به میزان -82 dB می‌رسد که نشان‌دهنده تاثیر این کد برای رادارگریزی سامانه‌های هواپایه برای دفاع الکترونیکی است. همچنین در این تکنیک، بهترین حالت، کاهش توان گلبرگ جانبی $1/1$ dB (PSL) بوده که دلیل این امر، پدیده PAPR است که از خصوصیات تکنیک مدولاسیون OFDM می‌باشد. نتیجه کلی از ارائه این تکنیک‌های بهینه، این است که طراحان رادارگریزی سامانه‌های هواپایه برای دفاع الکترونیکی علاوه‌بر استفاده از روش مدولاسیون‌های FMCW، POLY PHASE و می‌توانند از روش مدولاسیون OFDM نیز بهره‌برداری نمایند.

۵- مراجع

1. K. Zikidis, A. Skondras, and C. Tokas, "LOW Observable Principles," Stealth Aircraft and Anti-Stealth Technologis," Jornal of Computions & Modelling, vol. 4, no. 1, 2014.
2. P. E. Pace, "Detecting and Classifying low Probability of Intercept Radar," Artech House, 2009.
3. L. Anjaneyulu, N. S. Murthy, and N. V. S. N. Sarma, "A NOVEL Method for Recognition of Modulation Code Of LPI Radar Signal," International Journal of Recent Trends in Engineering, vol. 1, no. 30, May 2009.
4. R. Vellanki and K. Satish Babu, "Modeling and Analysis of LPI Radar Signal," IOSR Journal of Electronic and Communication Engineering e-ISSN: 2278-2834, P – ISSN: 2278-8735, vol. 8, ISSUE 2, pp. 19-26, Nov.- Dec. 2013.
5. J. P. Schuenger, " Ultra-Wideband OFDM radar and communication system," Miami University Oxford, Ohio, 2009.
6. R. M. Narayanan and M. Dawood, "Radar Penetration Imaging Using Ultra-Wideband Random Noise Waveform," IEEE TRANS. On Anrennas and Propagation, vol. 48, no. 6, pp. 868-878, June 2000.
7. B. wang and L. dongge, "Blind identification of OFDM signal in Rayleigh channel," 2005.
8. G. raviprakash and B. ravi, "Generation of Low Probability of Intercept signal," Dept. of ECE, SPK Institute of Technology, Vijayawada, A. P. india scientist-"D" in defense electronics research laboratory, An EW lab of DRDO, Hyderabad AP india, Sep. 2013.



شکل (۱۸): تابع ابهام سیگنال OFDM با 128 زیرباند تصادفی و کد باینری 11 بیتی.

در حالت بدون اعمال کد حداکثر قله توان گلبرگ جانبی برای سیگنال فوق‌الذکر برابر $PSL = -13/51$ dB و همچنین با استفاده از کد باینری بارکر با طول 7 بیت مقدار $PSL = -13/988$ dB و با کد باینری بارکر با طول 11 مقدار $PSL = -14/60$ حاصل گردید. لذا در بهترین حالت اعمال این کد نیز به میزان $PSL = -1/11$ dB در کاهش توان گلبرگ جانبی بهبود ایجاد نموده است.

۴- نتیجه‌گیری

برای رادارگریزی سامانه‌های هواپایه در دفاع الکترونیکی، از تکنیک‌های متنوع سخت‌افزاری، نرم‌افزاری و ساختاری استفاده می‌شود. مدولاسیون‌ها نیز در رادارگریزی سامانه‌های هواپایه برای دفاع الکترونیکی نقش مهمی را ایفا می‌کنند. مدولاسیون OFDM با خصوصیات مانده دقت، سرعت انتقال اطلاعات و کوچک‌تر بودن (سخت‌افزاری)، به دلیل افزایش بخش پردازش آن نسبت به سایر مدولاسیون‌ها جهت رادارگریزی سامانه‌های هواپایه استفاده شده است. روش‌های بهینه، نظیر روش ارسال تصادفی زیرحامل‌ها و روش اعمال کد گسترش‌دهنده بارکر در این نوع سیگنال، موجب گسترش پهنای باند سیگنال ارسالی، کاهش توان گلبرگ‌های جانبی و کاهش چگالی توان سیگنال ارسالی می‌شود که نقش به‌سزایی در رادارگریزی سامانه‌های هواپایه برای دفاع الکترونیکی دارند.

مشاهده شد که با اعمال کد بارکر با طول‌های متفاوت در حالت 32 زیرحامل تصادفی، چگالی طیف توان سیگنال (PSD) در حالت بدون اعمال کد به میزان -69 dB و در زمان اعمال کد 11 بیتی به

Simulation & Presentation of Optimized Techniques for Stealth Airborne Electronic Warfare Systems Using by OFDM Modulation

Z. Rostami*, M. Najafi Nokashti, M. A. Khosrobabaei

Abstract

On the battlefield, the basic air-defense systems do not use a variety of techniques for electronic defense, and therefore are involved in hard and soft threats. In this paper, OFDM modulation technique that improves stealth technologies in airborne system are analyzed and simulated. The parameters affecting the stealth techniques such as increased bandwidth and reduced power spectral density and power of side lobe (PSL) are calculated and presented. And also the transmitting random subcarrier technique is presented. In this technique, due to not knowing intercept systems from transmitting subcarrier and also discovery and detection of airborne systems, electronic warfare happens with difficulty that causes deception. This kind of techniques will be useful for stealth of air borne system designers with electronic defense.

Key Words: *Airborne Systems, OFDM, stealth, power side lobe, subcarrier, barker code, EW*

* Imam Hussein Comprehensive University, (zrostami@ihu.ac.ir) - Writer-in-Charge