Vol. 2, No. 4, Sep-Nov 2022, (67-78)
Journal of New Achievements in Electrical, Computer and Technology (JNAECT)
مجله دستاوردهای نوین در برق،کامپیوتر و فناوری
دوره ۲، شماره ۴، پاییز ۱۴۰۱ (۷۸-۶۷)
journal homepage: https://jnaect.ir

ارائه الگوریتم همزمان سازی سیگنال طیف گسترده دنباله مستقیم تمام کد بلند مبتنی بر تاشدگی دوگانه در محیط داپلر بالا

دانیال رحیمی [۱] ، حامد احمدیان یزدی [۲] ، محمد پنجه علی آباد [۳]

[۱] دانشجو دکتری، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، dnl_rhm@ihu.ac.ir
[۲] استادیار، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، hamed.ahmadian@srbiau.ac.ir
[۳] پژوهشگر، دانشگاه جامع امام حسین(ع)، mohammadpajehali@yahoo.com

چکیده

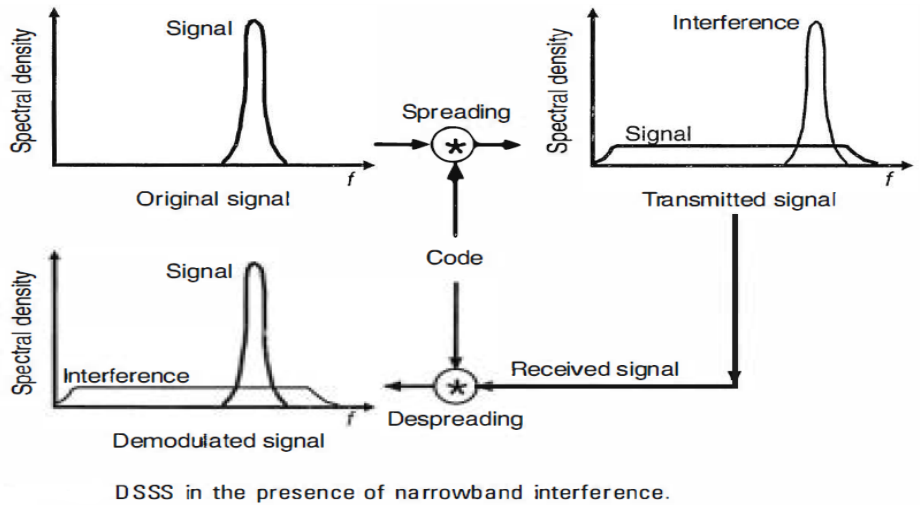
برای مقاوم‌سازی لینک‌های طیف گسترده دنباله مسقیم در برابر انواع آشکارسازی، شنود و فریب، از طراحی کد با طول تکرار بسیار بالا استفاده می‌شود. در روش های مرسوم همزمان سازی طیف گسترده کد بلند، از کد کوتاه جهت انتقال حالت مولد LFSR کد بلند در ابتدای فریم اطلاعات استفاده می‌شود. از آنجا که گیرنده مجاز، مولد LFSR کد بلند را در اختیار دارد، در صورت همزمان سازی صحیح می‌تواند اطلاعات حالت اولیه LFSR که توسط کد کوتاه منتقل‌شده را بازیابی کرده و بر روی کد بلند همزمانی را به درستی انجام دهد. بهره‌گیری از کد کوتاه در این روش، موجب افزایش احتمال آسیب‌پذیری لینک در برابر گیرنده‌های غیرمجاز می‌گردد. الگوریتم همزمان سازی در ساختار تمام کد بلند با چالش تخمین حالت اولیه سیگنال دریافتی مواجه بوده و در صورتی که از سناریوی مناسب استفاده نگردد، منجر به افزایش زمان همزمان سازی می گردد. روش تاشدگی دوگانه از مطرح ترین الگوریتم در این حوزه بوده و می تواند زمان همزمانسازی در شرایط تاخیر زمان کانال جبران کند. چالش اصلی در این الگوریتم وجود شرایط داپلری بالا بوده و در صورتی که فرکانس داپلر به درستی جبران نشود، منجر به کاهش احتمال آشکارسازی خواهد شد. در این مقاله الگوریتم همزمان سازی سیگنال طیف گسترده دنباله مستقیم تمام کد بلند مبتنی بر تاشدگی دوگانه در محیط داپلر بالا ارائه می شود. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از ساختار بانک فیلتر و افزدون صفر می تواند داپلر کانال به درستی جبران کند. نتایج شبیه سازی صحت عملکرد این روش را در شرایط داپلری بالا نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: کد بلند، طیف گسترده، تاشدگی دوگانه

.

۱- مقدمه

سیستم‌های طیف گسترده دنباله مستقیم طیف سیگنال را در یک پهنای باند وسیع پخش میکند، دلیل اینکار این است که امکان شنود توسط گیرنده غیر مجاز دشوار می‌شود و اثر تداخل روی این سیستم‌ها به مراتب کمتر از سیستم‌های مرسوم است. درواقع سیگنال طیف گسترده دنباله مستقیم از حاصل ضرب کد گسترش طیف متناوب درسیگنال داده‌ها بدست می‌آید و سبب پخش شدن انرژی سیگنال در یک محدوده فرکانسی می‌شود که این در شکل(۱) نشان داده شده است. در سیستم کد کوتاه، در هر سمبل داده یک دوره متناوب از کد گسترش طیف قرار می‌گیرد. یعنی $T_s = N_c T_c$ و در نتیجه بهره پردازش[1] چنین سیستم‌هایی معادل $PG = {}^{T_s}/_{T_c} = N_c$ خواهد بود. در نتیجه با کاهش T_c، بهره پردازش سیگنال افزایش می‌یابد و این امر موجب کاهش سطح توان مورد نیاز جهت ارسال سیگنال می‌گردد. از این جهت چنین سیستم‌هایی مناسب کاربردهای نظامی هستند[1].



شکل (۱): تکنیک طیف گسترده برای بالا بردن امنیت سیستم مخابراتی در حضور تداخل باند باریک[1].

در سیستم کد بلند، در هر دوره از کد گسترش طیف تعداد زیادی سمبل داده قرار می‌گیرد. یعنی $N_c T_c >> T_s$. اگر فرض کنیم $N_c T_c = N T_s$ که در آن N عددی نسبتاً بزرگ می‌باشد، بهره پردازش این سیستم با ضریب 1/N نسبت به قبل کاهش می‌یابد، یعنی $T_s / T_c = N_c / N$. یکی از مهم‌ترین علل معرفی شدن سیستم‌های کد بلند، افزایش نرخ ارسال داده می‌باشد و همانطور که مشاهده شد، این کار با هزینه کاهش بهره پردازش توأم خواهد بود. به طور کلی در این سیستم بین نرخ ارسال اطلاعات و بهره پردازش سیستم ارتباط معکوس وجود دارد. همچنین همان‌طور که می‌دانیم به منظور حفظ توان آشکارسازی داده‌ها درگیرنده، متناسب باکاهش بهره پردازش، باید توان سیگنال ارسالی افزایش یابد.

به طور کلی مودم‌های طیف گسترده عموماً از دو تکنیک کد کوتاه و کد بلند استفاده می‌کنند. استفاده از کدهای بلند در مودم‌ها دارای دو عیب ذاتی است.

۱- افزایش پیچیدگی الگوریتم سنکرون سازی گیرنده

۲- افزایش زمان سنکرون سازی

با وجود این عیب‌ها در صورت طراحی حساب شده، استفاده از کدهای بلند منجر به ویژگی‌های منحصر بفردی در مودم‌های موجود می‌گردد که عبارتند از:

- از بین رفتن خاصیت ایستان چرخشی (دوره‌ای) با طول سمبل

[1] Processing Gain

- مقاومت بسیار بالا نسبت به تکنیک‌های تداخل هوشمند
- افزایش امنیت اطلاعات در لایه فیزیکی

هر یک از ویژگی‌های فوق دارای آثار مثبتی در یک ارتباط نظامی موفق هستند، لذا استفاده از کدهای بلند را در این سیستم ها جذاب می‌کند.

روش تاشدگی دوگانه از مطرح ترین الگوریتم در این حوزه بوده و می تواند زمان همزمانسازی در شرایط تاخیر زمان کانال جبران کند. چالش اصلی در این الگوریتم وجود شرایط داپلری بالا بوده و در صورتی که فرکانس داپلر به درستی جبران نشود، منجر به کاهش احتمال آشکارسازی خواهد شد[2].

۱-۱- مروری بر روش‌های همزمانسازی طیف گسترده دنباله مستقیم تمام کد بلند

برای رهگیری مستقیم کد بلند یک تکنیک به نام XFAST[2] ارائه‌شده است [۳]. این تکنیک از مکانیزم جستجوی دو سطحی استفاده می‌کند. در سطح اول، یک بخش کد ورودی به طور همزمان با چندین بخش کد محلی مقایسه می‌شود تا مطابقت پیدا شود. استفاده از همبستگی چرخشی از طریق تبدیل فوریه برای تعیین تطابق استفاده می‌شود. شایان ذکر است با توجه به تاشدگی امکان جستجو در فاز تمام بلوک‌های تاشده کد محلی را فراهم می‌کند. هنگامی‌که یک مکان آن در هر بخش مرجع تطابق تأیید شد، سپس در سطح دوم با رهگیری نرم بر اساس بلوک به بلوک تعیین می‌شود. ازآنجایی‌که تاشدگی برای کاهش مستقیم فازهای کد مورد جستجو مؤثر است، تکنیک جستجوی رهگیری XFAST یک رویکرد معتبر برای تسریع فرآیند جستجو ارائه می‌کند. با تاشدگی سیگنال محلی، فازهای کدی که باید جستجو شوند به‌طور مستقیم متناسب با عدد تاشدگی محلی کاهش می‌یابند. به‌عنوان‌مثال، مشروط به عدد تاشدگی محلی ۲۰، فاز کد مورد جستجو به ۱/۲۰ کاهش می‌یابد. با عدد تاشدگی کد محلی ۵۰، فازهای کد به ۱/۵۰ کاهش می‌یابد. با این وجود، تاشدگی کد محلی به تنهایی سبب تخریب خواص همبستگی می‌شود که این تخریب در نسبت سیگنال به نویز های پایین قابل توجه تر و سبب تخریب در عملکرد آشکارسازی و حتی ممکن است زمان بیشتری را نسبت به روش‌هایی مانند نگاشت صفر (ZP) صرف کند [4]. اما در نسبت سیگنال به نویز های بالا ناچیز می‌باشد وXFAST قادر به سرعت جستجوی بالایی است.

یکی دیگر از روش‌های رهگیری کد بلند، روش تاشدگی دوگانه[۳] (DF) می‌باشد. در این روش با تا کردن سیگنال ورودی و سیگنال محلی، منجر به افزایش زمان جمع همدوس در نتیجه بهبود عملکرد آشکارسازی و کاهش میانگین زمان رهگیری می‌شود. در این روش ابتدا سیگنال دریافتی به طول KN و سیگنال محلی به طول MN به ترتیب به K و M بلوک تقسیم می‌شوند و سپس K و M بلوک سیگنال دریافتی و محلی به صورت ترم به ترم با هم جمع و تشکیل یک بلوک سیگنال ورودی و یک بلوک سیگنال محلی به طول N می‌دهد. در نتیجه می‌توان با در نظر گرفتن اعداد تاشدگی بزرگتر برای سیگنال ورودی (K) زمان جمع همدوس را افزایش داد[5]. در واقع در این روش با تاشدگی کد محلی و کد ورودی می‌توان علاوه بر بهبود متوسط زمان رهگیری نسبت به روش XFAST با توجه به افزایش زمان جمع همدوس مقدار پیک همبستگی را هم افزایش داد. در واقع با نگاشت چند چیپ به یک چیپ، فضای جستجو کاهش یافته و روند جستجو سرعت بیشتری می‌گیرد و متوسط زمان رهگیری را کاهش می دهد. روش DF به منظور بهبود عملکرد آشکارسازی و برطرف کردن نقص روش XFAST ارائه شده است. این روش مزیت XFAST را داراست، یعنی با تاشدگی، فاز کدهایی را که باید جستجو شوند به طور مستقیم کاهش می‌یابد و متوسط زمان رهگیری را کاهش می‌دهد. برای غلبه بر نقطه ضعف XFAST در تخریب خصوصیات همبستگی کد PN، هر دو سیگنال ورودی و سیگنال محلی در DF تا می‌شوند. در واقع در روش DF علاوه بر کاهش فاز کدهای جستجو شده نسبت به روش XFAST، زمان جمع همدوس را تا حد خوبی افزایش می‌دهد که منجر به بهبود عملکرد آشکارسازی می‌شود. به خوبی ایده روش DF را نشان می‌دهد. البته شایان ذکر است که کد ورودی و کد محلی را در حالتی

[2] Enhanced dual folding
[3] Dual folding

که غیر تاشده باشند نشان می‌دهد و صرفاً جهت بیان ایده و مفاهیم جمع ادغام همدوس و فاز جستجو شده به صورت موازی است، در صورتی که الگوریتم DF بر کد ورودی و کد محلی تاشده پیاده سازی شده است[6].

روش EDF[4] در واقع بهبودیافته روش DF به منظور بهبود عملکرد روش رهگیری در محیط‌های داپلری می‌باشد. در واقع در سناریوهای همراه با فرکانس داپلر در روش DF با افزایش زمان جمع همدوس سبب می‌شود که تأثیر فرکانس داپلر بر تخریب فاز کد برگشتی بیشتر شود و با کاهش زمان جمع همدوس عملکرد آشکارسازی تخریب می‌شود. بدین منظور با بکار بردن GZP بر روش DF سبب مقاوم شدن عملکرد در محیط‌های داپلری می‌شود. شایان‌ذکر است که نگاشت صفر بر سیگنال دریافتی باعث افزایش رزولوشن فرکانس بدون افزودن اطلاعات طیفی می‌شود. اما بیان این نکته ضروری است که تعداد صفرهای نگاشت شده نباید عملکرد آشکارسازی را تخریب کند و تا بتواند همچنان خروجی کرولاتور پیک داشته باشد. در نهایت با استفاده از روش EDF می‌توان به توازن خوبی بین داپلر مقاوم بودن و عملکرد آشکارسازی دست یافت[7].

یکی دیگر از روش‌های رهگیری کد که بسیار در مقالات به آن پرداخته شده است روش‌های نگاشت صفر[5] (ZP) می‌باشد[8]. در این روش با نگاشت صفر به سیگنال دریافتی می‌توان به قابلیت جستجوی موازی دست یافت. شایان ذکر است که تعداد کدهای جستجو شده به صورت موازی در روش ZP با N/2 صفر نگاشت شده برابر N/2 می‌باشد. لازم است برای توضیح بهتر بیان شود که در روش ZP همانند روش‌های تاشدگی مانند XFAST، DF و EDF مفاهیمی از قبیل زمان جمع همدوس و کدهای جستجو شده به صورت موازی ارائه شده است. در واقع در این روش با توجه به نگاشت صفر بر سیگنال ورودی زمان جمع همدوس و کدهای جستجو شده به صورت موازی مفهوم پیدا کرده است. در واقع همانطور که نشان داده شده است N/2 سیگنال ورودی با N/2 صفر نگاشت شده است تا به طول N برسد. همچنین کد محلی به طول N انتخاب شده است[9].

رهگیری کد طولانی به دلیل دوره طولانی کد، یک کار دشوار و زمان بر است. روش‌های تاشدگی XFAST و روش دو کاناله به ترتیب برای رهگیری کد طولانی ارئه شده‌اند، اما اولی به راحتی تحت تأثیر داپلر کد قرار می‌گیرد و دومی به اندازه کافی سریع نیست. شایان ذکر است که روش دوکاناله بدلیل سرعت رهگیری پایین جز روش های رهگیری کد بلند محسوب نمی‌شود، لذا در پیوست تنها اشاره ای به سازوکار کلی این روش شده است و از بیان جزئیات صرف نظر شده است[10]. همچنین روش تاشدگی XFAST با توجه به تاشدگی تنها کد محلی و زمان جمع همدوس پایین عملکرد مناسبی در نسبت سیگنال به نویز های پایین ندارند. لذا یک الگوریتم رهگیری کد طولانی جدید به نام روش رهگیری دو کاناله بر اساس الگوریتم XFAST و به نام (DC-XFAST) پیشنهاد شده است. این روش از هر دو کانال برای اعتبارسنجی[6] استفاده می‌کند. هر کانال حاوی یک بلوک سیگنال ورودی و نمونه‌های کد محلی به طول بلوک سیگنال ورودی تاشده که با صفر نگاشت می‌شوند. پس از یک عملیات همبستگی چرخشی نتایج همبستگی شامل دو قله با اندازه مشابه و موقعیت نسبی مشخص است. فرآیند آشکارسازی از طریق یافتن دو مقدار بزرگ آسان تر می‌شود. اعتبارسنجی تمام پیک‌های کامل و جزئی را در نظر می‌گیرد. در واقع مزیت این روش نسبت به روش‌های قبلی این است که احتمال هشدار غلط در این روش نسبت به سایر روش‌های اشاره شده کمتر می‌باشد، زیرا در این روش از کانال دوم برای تایید کانال اول استفاده می‌شود [11].

۱-۲- نوآوری مقاله

در این مقاله الگوریتم همزمان سازی سیگنال طیف گسترده دنباله مستقیم تمام کد بلند مبتنی بر تاشدگی دوگانه در محیط داپلر بالا ارائه می شود. برای این منظور، ابتدا بوسیله الگوریتم DF زمان جمع همدوس افزایش پیدا کرده و منجر به بهبود عملکرد آشکارسازی و کاهش میانگین زمان رهگیری می‌شود. سپس با استفاده از تکنیک بانک فیلتر و افزودن صفر داپلر کانال را به درستی جبران می‌کند. الگوریتم پیشنهادی با استفاده از ساختار بانک فیلتر و افزدون صفر می تواند داپلر کانال را به درستی جبران کند. برای این منظور در بخش ۲ الگوریتم DF ارائه می‌شود و مراحل آن توضیح داده می‌شود. در واقع در این

[4] Enhanced dual folding
[5] Zero padding
[6] validation

الگوریتم در سناریوهای همراه با فرکانس داپلر در روش DF با افزایش زمان جمع همدوس سبب می‌شود که تأثیر فرکانس داپلر بر تخریب فاز کد برگشتی بیشتر شود و با کاهش زمان جمع همدوس عملکرد آشکارسازی تخریب می‌شود. برای این منظور در بخش ۳ الگوریتم تاشدگی دوگانه بهبود داده شده (EDF)[7] ارائه می‌شود و مراحل آن توضیح داده می‌شود. بدین منظور با افزودن صفر بر روش DF سبب مقاوم شدن عملکرد در محیط‌های داپلری می‌شود. شایان‌ذکر است که نگاشت صفر بر سیگنال دریافتی باعث افزایش رزولوشن فرکانس بدون افزودن اطلاعات طیفی می‌شود. اما بیان این نکته ضروری است که تعداد صفرهای نگاشت شده نباید عملکرد آشکارسازی را تخریب کند و تا بتواند همچنان خروجی کرولاتور پیک داشته باشد. شبیه سازی های اولیه نشان می‌دهد الگوریتم EDF هم در محیط های داپلری بالا نمی‌تواند فرکانس داپلر را به خوبی جبران نماید. برای این منظور در بخش ۴ الگوریتم پیشنهادی و ابتکاری یعنی استفاده از بانک فیلتر همراه با الگوریتم تاشدگی دوگانه بهبود داده شده ارائه می‌شود و مراحل آن توضیح داده می‌شود. در بخش ۵ نتایج شبیه‌سازی الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش-های مرسوم در محیط ذاپلری بالا ارائه و مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

۲- الگوریتم DF

۲-۱- مقدمه

یکی از روش‌های رهگیری کد بلند، روش تاشدگی دوگانه (DF) می‌باشد[12]. در این روش با تا کردن سیگنال ورودی و سیگنال محلی، منجر به افزایش زمان جمع همدوس (مطابق **Error! Reference source not found.**) در نتیجه بهبود عملکرد آشکارسازی و کاهش میانگین زمان رهگیری می‌شود. در این روش ابتدا سیگنال دریافتی به طول KN و سیگنال محلی به طول MN به ترتیب به K و M بلوک تقسیم می‌شوند و سپس K و M بلوک سیگنال دریافتی و محلی به صورت ترم به ترم با هم جمع و تشکیل یک بلوک سیگنال ورودی و یک بلوک سیگنال محلی به طول N می‌دهد. در نتیجه می‌توان با در نظر گرفتن اعداد تاشدگی بزرگتر برای سیگنال ورودی (K) زمان جمع همدوس را افزایش داد. در واقع در این روش با تاشدگی کد محلی و کد ورودی می‌توان علاوه بر بهبود متوسط زمان رهگیری نسبت به روش XFAST با توجه به افزایش زمان جمع همدوس مقدار پیک همبستگی را هم افزایش داد. در واقع با نگاشت چند چیپ به یک چیپ، فضای جستجو کاهش یافته و روند جستجو سرعت بیشتری می‌گیرد و متوسط زمان رهگیری را کاهش می دهد. روش DF به منظور بهبود عملکرد آشکارسازی و برطرف کردن نقص روش XFAST ارائه شده است. این روش مزیت XFAST را داراست، یعنی با تاشدگی ، فاز کدهایی را که باید جستجو شوند به طور مستقیم کاهش می‌یابد و متوسط زمان رهگیری را کاهش می‌دهد. برای غلبه بر نقطه ضعف XFAST در تخریب خصوصیات همبستگی کد PN، هر دو سیگنال ورودی و سیگنال محلی در DF تا می‌شوند. در واقع در روش DF علاوه بر کاهش فاز کدهای جستجو شده نسبت به روش XFAST، زمان جمع همدوس را تا حد خوبی افزایش می‌دهد که منجر به بهبود عملکرد آشکارسازی می‌شود.

۲-۲- اصول و مبانی الگوریتم

تاشدگی از گروه‌بندی و جمع ترم به ترم تشکیل شده است. به عنوان مثال، ۲۰۴۸۰ نمونه کد محلی را انتخاب کنید و آن‌ها را به بیست گروه تقسیم کنید که هر کدام شامل ۱۰۲۴ عنصر است. سپس با افزودن بلوک به بلوک بین بیست گروه، ۱۰۲۴ نمونه جدید تولید می‌شود. متعاقباً، فرآیند جستجو بر روی نمونه‌های جدید تا شده انجام می‌شود. بنابراین، با تا کردن، تعداد سلول‌های مورد جستجو کاهش می‌یابد و فضای جستجو کوچک می‌شود(ایده روش DF). شایان‌ذکر است که همبستگی‌سنجی با روش تبدیل فوریه و عکس تبدیل فوریه انجام می‌شود. با تا کردن کردن سیگنال ورودی و سیگنال محلی، DF زمان جمع همدوس را نسبت به روش XFAST[8] افزایش می‌دهد، که می‌تواند تأثیر تخریب در خصوصیات همبستگی کد PN در روش XFAST را کاهش دهد. فرض کنید که نمونه‌های ورودی و نمونه‌های کد محلی به بلوک‌هایی با طول N تجزیه می‌شوند و

[7] Enhanced dual folding
[8] Extended Replica Folding

اعداد تاشدگی سیگنال ورودی و سیگنال محلی به ترتیب K و M هستند. فازهای کدی که به صورت موازی جستجو می‌شوند (M - K)N + 1 هستند و زمان جمع همدوس KN/f_s است که معادل طول کد ورودی می‌باشد، و f_s فرکانس نمونه‌برداری می‌باشد. به منظور درک بهتر مفاهیم زمان جمع همدوس و کدهای جستجو شده به صورت موازی **Error! Reference source not found.** ارائه شده است [13].

در واقع ناحیه‌ای را از همبستگی که کد محلی و کد ورودی با یکدیگر تطابق پیدا می‌کنند را زمان جمع همدوس و سایر ناحیه از پنجره مشاهده را که برابر با کد محلی تانشده می‌باشد را کدهای جستجو شده به صورت موازی می‌نامند.

۳- الگوریتم EDF

روش EDF در واقع بهبودیافته روش DF به منظور بهبود عملکرد روش ره‌گیری در محیط‌های داپلری می‌باشد. در واقع در سناریوهای همراه با فرکانس داپلر در روش DF با افزایش زمان جمع همدوس سبب می‌شود که تأثیر فرکانس داپلر بر تخریب فاز کد برگشتی بیشتر شود و با کاهش زمان جمع همدوس عملکرد آشکارسازی تخریب می‌شود. بدین منظور با بکار بردن GZP[9] بر روش DF سبب مقاوم شدن عملکرد در محیط‌های داپلری می‌شود. شایان‌ذکر است که نگاشت صفر بر سیگنال دریافتی باعث افزایش رزولوشن فرکانس بدون افزودن اطلاعات طیفی می‌شود. اما بیان این نکته ضروری است که تعداد صفرهای نگاشت شده نباید عملکرد آشکارسازی را تخریب کند و تا بتواند همچنان خروجی کرولاتور پیک داشته باشد. در نهایت با استفاده از روش EDF می‌توان به توازن خوبی بین داپلر مقاوم بودن و عملکرد آشکارسازی دست یافت [14].

۳-۱- اصول و مبانی الگوریتم

اصول و مبانی الگوریتم EDF به شرح زیر می‌باشد:

۱- سیگنال دریافتی ابتدا تبدیل به باند پایه شده و سپس با نرخ نمونه‌برداری مناسب نمونه‌برداری می‌شود.

۲- KN نمونه از سیگنال دریافتی انتخاب و تا کردن به N نمونه

۳- N-L نمونه از سیگنال دریافتی تا شده را انتخاب و سپس L صفر پد می‌شود.

۴- FFT بگیرید و مزدوج از N نمونه گام قبلی بگیرید.

۵- ابتدا کد محلی تولید و سپس MN نمونه انتخاب و به N نمونه تا شود، سپس (M-K)N نمونه شیفت و MN نمونه بعدی را تا به N نمونه و این را تا انتها انجام دهید.

۶- از کد محلی تاشده FFT بگیرید و با نتیجه گام ۴ ضرب و از حاصل IFFT بگیرید

۷- L+1 نمونه از IFFT انتخاب به عنوان نتیجه همبستگی. اگر ماکزیمم نتیجه بیشتر از سطح آستانه شود پس ره‌گیری سخت انجام شده است و در ادامه ره‌گیری نرم انجام می‌شود.

۸- اگر همبستگی ماکزیمم از سطح آستانه عبور نکند سپس کد تاشده محلی گام ۵ به اندازه L نمونه شیفت و ره‌گیری سخت ادامه می‌یابد. شایان ذکر است که L نمونه شیفت ناشی از L صفر نگاشت شده به سیگنال دریافتی برمی‌گردد، در حالیکه در مرحله ۵ (M-K)N نمونه شیفت داده شده مربوط به تعداد فازهای طرح شده به صورت موازی می‌باشد.

۹- در ادامه ره‌گیری نرم انجام می‌شود

۱۰- کد محلی تانشده را به اندازه (اندیس ماکزیمم همبستگی $\times (M-K)N$نمونه شیفت) و N نمونه را انتخاب و سپس FFT انجام دهید. در واقع دلیل شیفت به اندازه $(M-K)N$ یافتن MN نمونه پنجره مورد نظر ناشی در کد محلی می‌باشد.

۱۱- N/2 نمونه از کد دریافتی تانشده را انتخاب و با N/2 صفر پد و مزدوج FFT انجام دهید.

[9] Generalized zero padding

۱۲- حاصل FFT مراحل ۹ و ۱۰ را ضرب و سپس IFFT بگیرید و سپس N/2 نمونه از نتیجه را انتخاب کنید. اگر ماکزیمم نتیجه از سطح استانه عبور کند، افست عبارت کد بین سیگنال دریافتی و کد گسترش را می‌دهد.

۱۳- اگر نتیجه از آستانه عبور نکند سپس کد محلی را N/2 شیفت داده و فرایند ره‌گیری نرم مجدد آغاز می‌شود.

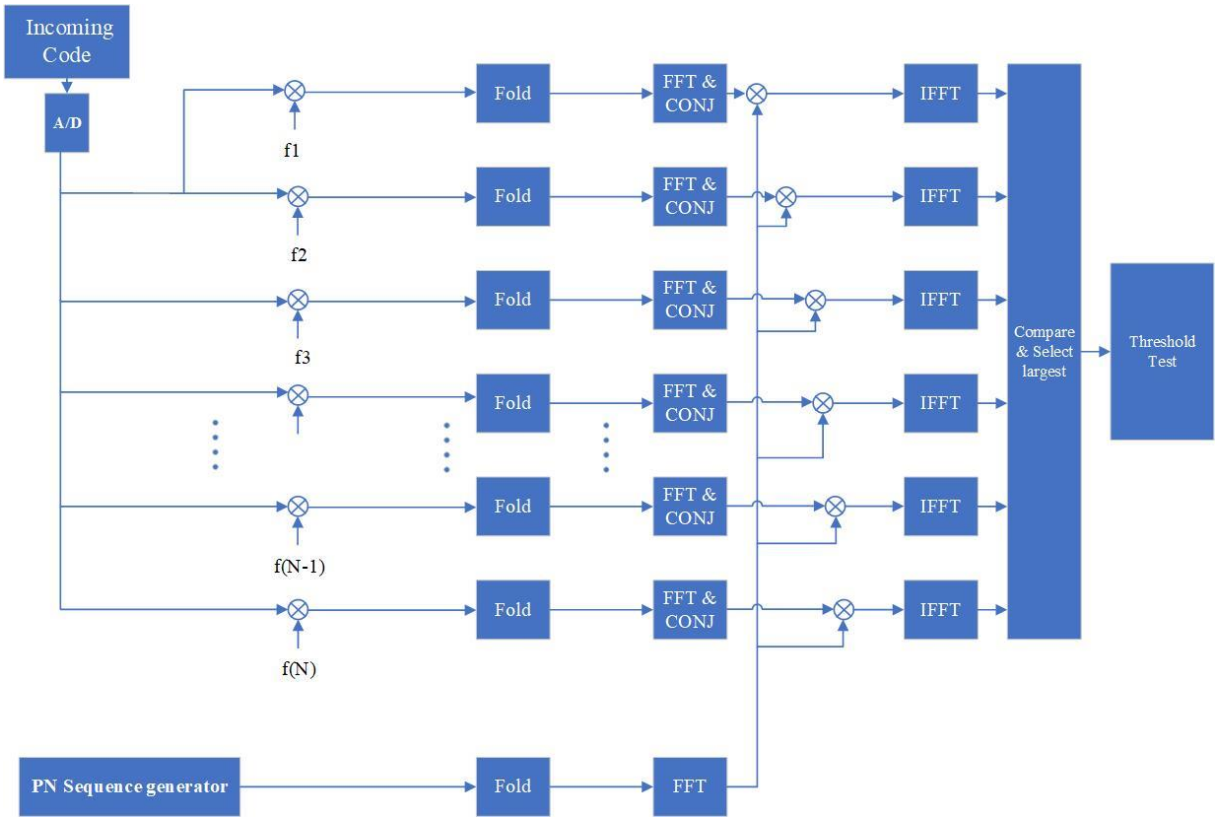
۴- الگوریتم پیشنهادی در محیط با داپلر بالا

یکی دیگر از چالش‌ها و محدودیت‌هایی که در فرایند طراحی مفهومی روش پیشنهادی همزمان‌سازی طیف گسترده دنباله مستقیم کد بلند وجود دارد، مقدار آفست فرکانس حامل(CFO) می‌باشد. با توجه به اینکه در بخش قبل تکنیک فولدینگ جهت کاهش متوسط زمان رهگیری معرفی شد، اما یکی از مشکلاتی که در این تکنیک وجود دارد این است که تخریب فاز ناشی از آفست فرکانس حامل بیشتر شده است. نتایج برای روش تاشدگی دوگانه با عدد فولدینگ کد محلی K=4 و در دوفرکانس داپلر مختلف یک کیلو و یه کیلو هرتز ارائه شده است. نتایج در شکل (۴) نشان می‌دهد که با فزایش فرکانس داپلر از یک کیلو به سه کیلو هرتز عملکرد آشکارسازی به صورت کامل تخریب شده است. بنابراین ارائه یک راهکار برای مقابله با این تخریب و فرکانس داپلر الزامی می‌باشد.

در واقع میزان اختلاف فاز ایجاد شده بر سیگنال دریافتی نسبت به سیگنال ارسالی برابر با $۲\pi(CFO)KN$ می‌باشد. لازم به توضیح است که CFO آفست فرکانس حامل وKN زمان جمع همدوس می‌باشد. با افزایش هر یک از مولفه های آفست فرکانس حامل یا زمان جمع همدوس مقدار اختلاف فاز ایجاد شده بر کد ورودی بیشتر شده و در نهایت تخریب بیشتری را در عملکرد آشکارسازی به دنبال دارد.

در ادامه ارزیابی روش DF، تاثیر آفست فرکانس حامل بر معیار متوسط زمان رهگیری روش DF ارائه شده است. مشابه با ارزیابی تاثیر آفست فرکانس حامل بر عملکرد آشکارسازی ، در این قسمت متوسط زمان رهگیری مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج شکل (۵) نشان می‌دهد که با افزایش آفست فرکانس حامل درکنار تخریب در عملکرد آشکارسازی که در قبلا به آن اشاره شد، متوسط زمان رهگیری هم دچار تخریب شده است.

یکی از چالش های اساسی موجود برای مقاوم‌سازی لینک‌های طیف گسترده دنباله مسقیم کد بلند آفست فرکانس حامل می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی به منظور مقابله با آفست فرکانس حامل برابر با حدود ۲۰ کیلو هرتز رویکرد بانک فیلتر معرفی شده است. بلوک دیاگرام کلی روش استفاده از بانک فیلتر در روش سنکرون سازی کد بلند تاشدگی دوگانه در شکل (۷) ارائه شده است.



شکل(۳): الگوریتم DF همراه با بانک فیلتر

در واقع در الگوریتم پیشنهادی از N اسیلاتور که به فرکانس‌های f_1 تا f_N تنظیم شده، استفاده می‌شود. سپس در ادامه با انجام مراحل الگوریتم همزمان سازی برای شاخه‌های f_1 تا f_N مراحل سنکرون سازی ادامه پیدا کرده است. در ادامه هم بزرگترین خروجی شاخه‌های مختلف انتخاب و با سطح آستانه مقایسه شده است. شایان ذکر است که انتخاب فرکانس‌های f_1 تا f_N به صورت زیر انجام شده است.

مراحل کار الگوریتم پیشنهادی به شرح ذیل می‌باشد:

مرحله اول: تبدیل سیگنال دریافتی از آنالوگ به دیجیتال

مرحله دوم: N اسیلاتور با فرکانس‌های f_1 تا f_N تنظیم شده و در سیگنال دیجیتال ضرب می‌شوند

مرحله سوم: انجام عملیات تاشدگی در هر شاخه

مرحله چهارم: گرفتن مزدوج تبدیل فوریه در هر شاخه

مرحله پنجم: انجام عمل ضرب کد محلی تاشده تبدیل فوریه گرفته شده با سیگنال حاصله از مرحله چهارم

مرحله ششم: انجام عملیان تبدیل فوریه معکوس در هر شاخه

مرحله هفتم: انتخاب بزرگترین خروجی بین شاخه‌ها

مرحله هشتم: نهایتا مقایسه با یک سطح آستانه

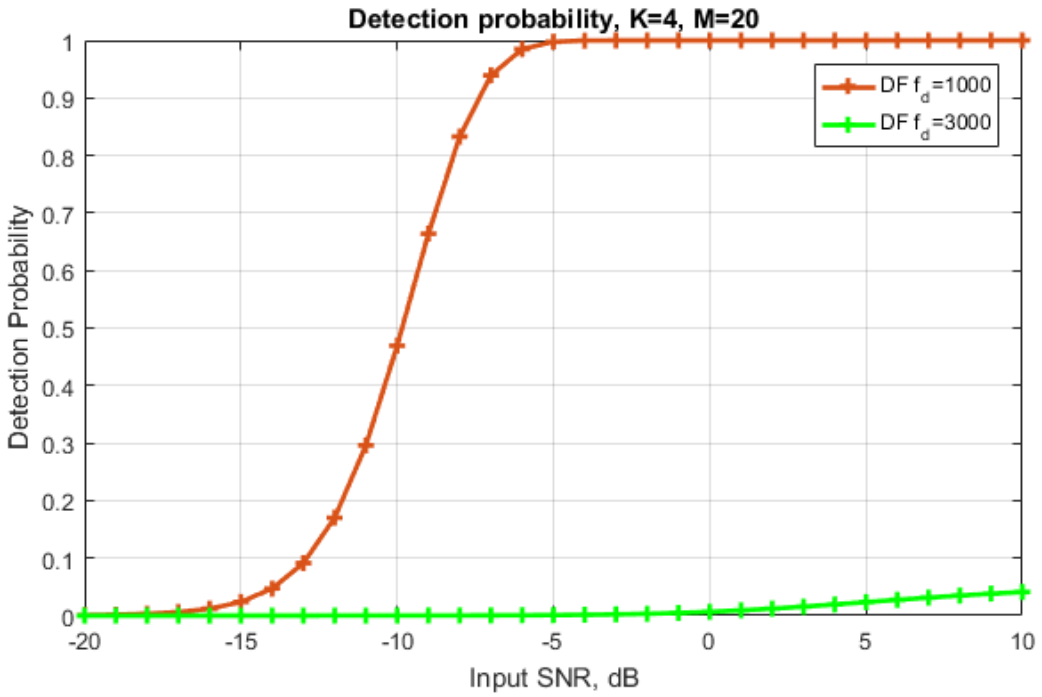
شایان ذکر است که انتخاب فرکانس‌های f_1 تا f_N به صورت زیر انجام شده است.

$$f_1 = 0, \Delta f: frequency\ Step\ length$$
$$f_i = f_1 + (i-1)\Delta f, \quad i: No.of\ Branch$$
$$\text{Osillator(i)}: \exp\left(j2\pi f_i (KN)\right) \qquad (1)$$

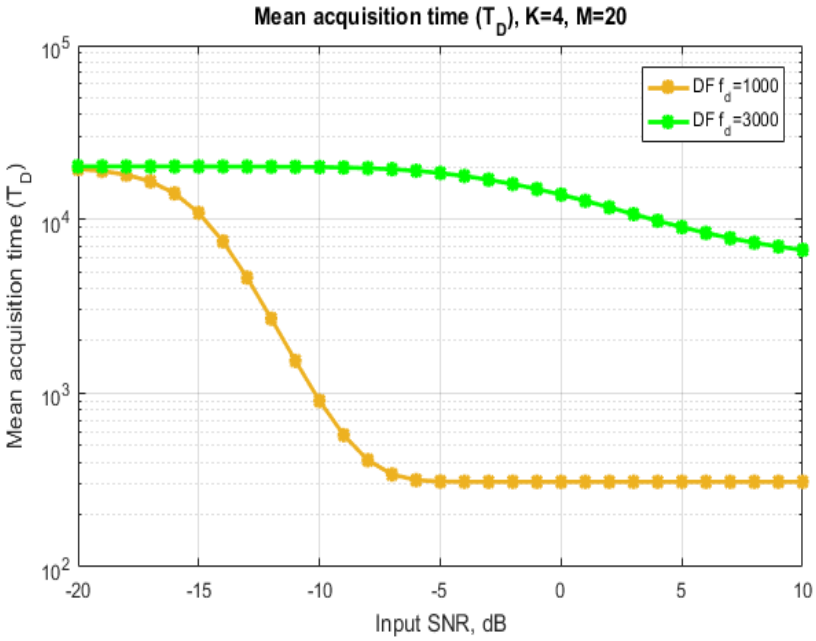
با توجه به جدول مشخصات (۱) برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی جهت همزمان سازی سیگنال طیف گسترده دنباله مستقیم تمام کد بلند مبتنی بر تاشدگی دوگانه در محیط داپلر بالا شبیه سازی احتمال آشکار سازی و حداقل زمان همزمانسازی مورد ارزیابی قرار گرفته شد. با توجه به نتایج به دست آمده در شکل (۶) احتمال آشکارسازی الگوریتم پیشنهادی به مراتب عملکرد مطلوب‌تری نسبت به الگوریتم مرسوم دارد.

جدول (۱): مشخصات سیستمی طراحی الگوریتم پیشنهادی

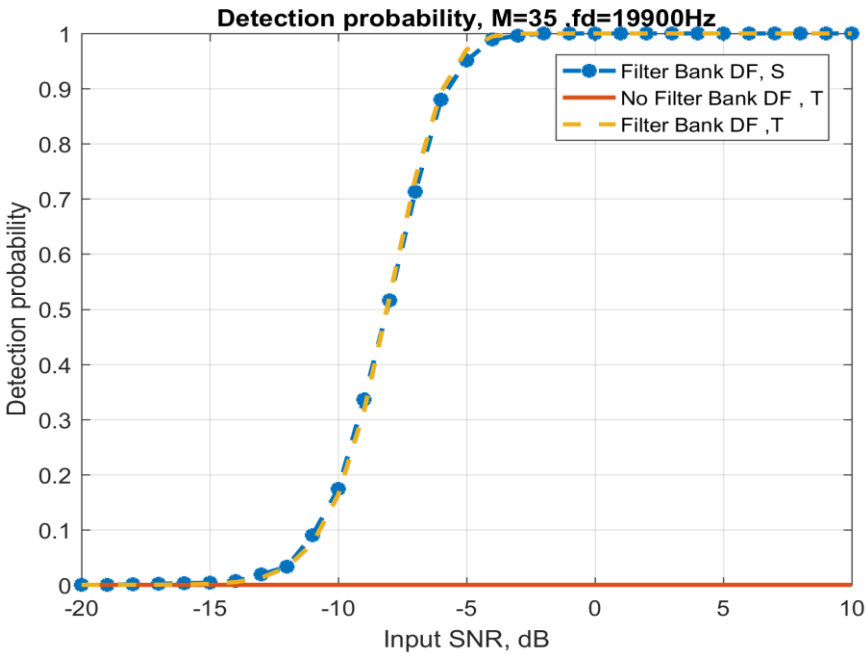
ردیف	مشخصه	مقدار
۱	نرخ داده	10Kbps
۲	پهنای باند	10MHz
۳	دوره کد	$۱۰^۴$
۴	نرخ کد	۱۰۲۳
۵	فرکانس داپلر	20KHz
۶	تاشدگی ورودی(k)	۱۶
۷	تاشدگی کد(M)	۳۵
۸	مقدار هشدار اشتباه	10^{-6}
۹	مدولاسیون	BPSK



شکل (۴) : احتمال آشکارسازی روش DF به ازای طول بلوک ۱۰۲۴، عدد فولدینگ کد ورودی K=4، عدد فولدینگ کد ورودی M=20 و مقادیر مختلف فرکانس داپلر



شکل (۵) : متوسط زمان رهگیریDF به ازای طول بلوک ۱۰۲۴، عدد فولدینگ کد ورودی K=4، M=20 و مقادیر مختلف فرکانس داپلر



شکل (۶): عملکرد آشکارسازی روش DF با $f_d = 19900$ به صورت تئوری و شبیه سازی در حضور و عدم حضور بانک فیلتر

نتیجه گیری:

برای مقاوم‌سازی لینک‌های طیف گسترده دنباله مستقیم در برابر انواع آشکارسازی، شنود و فریب، از طراحی کد با طول تکرار بسیار بالا استفاده می‌شود. روش تاشدگی دوگانه از مطرح ترین الگوریتم در این حوزه بوده و می تواند زمان همزمانسازی در

شرایط تاخیر زمان کانال جبران کند. چالش اصلی در این الگوریتم وجود شرایط داپلری بالا بوده و در صورتی که فرکانس داپلر به درستی جبران نشود، منجر به کاهش احتمال آشکارسازی خواهد شد. نتایج تحقیق در این طرح نشان داد با استفاده از ساختار بانک فیلتر و افزدون صفر می تواند داپلر کانال به درستی جبران کند.

مراجع:

[1] Z. T. Huang, J. H. Liang and X. Wang, "Estimating Symbol Duration of Long-code Direct Sequence Spread Spectrum Signals at a Low Signal-to-noise Ratio", Wireless Personal Communications, vol. 114, no. 3, pp. 1887-1904, October 2020.S. Cao, Q.

[2] Shao, Qiang, Lijiang Yang, and Weiliang Zhu. "Selective enhanced sampling in dihedral energy facilitates overcoming the dihedral energy increase in protein folding and accelerates the searching for protein native structure, Esevier, Aug. 2020 (doi: 10.1016/j.adhoc.2020.102168).

[3] Ping, Jun, et al. "Modified zero-padding method for fast long PN-code acquisition." Esevier, vol. 78, pp.32-41, Sep. 2018

[4] Ningyuan, Wang, et al. "A self-adaptive fast direct acquisition approach for long PN code in the high dynamic circumstance." Proceedings of the 29th International Technical Meeting of The Satellite Division of the Institute of Navigation (ION GNSS+ 2016). 2016.

[5] Wang, Jiawei, Chunxiao Jiang, and Linling Kuang. "Turbo iterative DSSS acquisition in satellite high-mobility communications." IEEE Transactions on Vehicular Technology 70.12 (2021): 12998-13009.

[6] Yang, Yanjiao, et al. "Design and Implementation of a Multi-mode P Code Direct Acquisition Module." China Satellite Navigation Conference. Springer, Singapore, 2022.

[7] Chao, W. U., Liu Erxiao, and Jian Zhihua. "Two-step compressed acquisition method for Doppler frequency and Doppler rate estimation in high-dynamic and weak signal environments." Journal of Systems Engineering and Electronics 32.4 (2021): 831-840.

[8] برنا, and مدنی. "A Unified Analysis and Comparison of Long PN-Code Acquisition Techniques for AWGN and Multipath Fading Channels." صنایع الکترونیک**10.3 (2019): 91-103.**

[9] Hongbo Zhao, Yuying Chen, Wenquan Feng and Chen Zhuang, "A Dual-Channel Acquisition Method Based on Extended Replica Folding Algorithm for Long Pseudo-Noise Code in Inter-Satellite Links," Sensors 2018, vol. 18, no. 6, 2018.

[10] Bouhanna, Z., and C. P. Bridges. "Cooperative inter-satellite ranging using custom code division multiple access frame for space traffic management." Acta Astronautica 181 (2021): 217-234.

[11] Li, Hong, et al. "Dual-folding based rapid search method for long PN-code acquisition." IEEE transactions on wireless communications 7.12 (2008): 5286-5296.

[12] Chae, Keunhong, and Seokho Yoon. "Design of a novel PN code based on genetic algorithm for rapid GNSS signal acquisition." 2019 European Navigation Conference (ENC). IEEE, 2019.

[13] Borna, Maryam, and Mohammad Hossein Madani. "New methods for enhancing fine acquisition in dual folding algorithm of long pseudo noise codes." International Journal of Communication Systems 31.1 (2018).

A novel Long-code spread spectrum synchronization algorithm code based on dual folding in a high Doppler environment

Danial Rahimi[1], Hamed Ahmadian Yazdi[2], Mohammad Panjehali Abad[3]
[1]Ph.D. Student, Imam Hussein Comprehensive University, dnl_rhm@ihu.ac.ir
[2]Professor, Imam Hussein Comprehensive University, hamed.ahmadian@srbiau.ac.ir
[3]Researcher, Imam Hussein Comprehensive University, Panjehali@ihu.ac.ir

Abstract

Long code direct sequence spread spectrum used to robustly communicate against detections, deceptions, and spoofing. In conventional Long-code spread spectrum synchronization methods, short-codes used to transmit the Long code LFSR generator mode at the beginning of the information frame. Since the authorized receiver has the LFSR generator of the long-code, in case of correct synchronization, it can recover the information of the initial state of the LFSR transmitted by the short code and perform the synchronization correctly on the long-code. Using the short code in this method increases the vulnerability of the link to unauthorized receivers. The synchronization algorithm in the structure of the long-code faces the challenge of estimating the initial state of the received signal, and appropriate scenario is not used, it leads to an increase in the synchronization time. The dual folding method is one of the most prominent algorithms in this field and can compensate for synchronization time in the condition of channel time delay. The main challenge is the existence of high Doppler, which cannot be properly compensated and leads to a decrease in the probability of detection. In this paper, direct sequence spread spectrum signal synchronization algorithm of long-code based on dual folding in a high Doppler environment is presented. The proposed algorithm can correctly compensate for channel Doppler using filter bank structure and zero padding. The simulation results show the correct performance of this method in high Doppler conditions.

Keywords: Long Code, Spread Spectrum, Dual Folding