

Bearing Accuracy Improvement of the Amplitude Direction Finding Method for LFM Radar's in Multipath Environments in the ESM Systems

Ruhullah Rezaeifard¹, Pouriya Etezadifar^{2*}

1- Master Student, Department of Electrical Engineering, Imam Hussein University, Tehran, IRAN.

2*- Assistant Professor, Department of Electrical Engineering, Imam Hussein University, Tehran, IRAN.

¹Ruhi_Rezaei@yahoo.com, ^{2*}Petezadifar@ihu.ac.ir

Corresponding author's address: Pouriya Etezadifar, Department of Electrical Engineering, Imam Hussein University, Tehran, Iran.

Abstract- Electronic Warfare Support Systems (ESM/ELINT) receive, process, analyze and direction finding signals sent by radars. Direction Finding and determining the Direction of Arrival (DOA) is one of the most important radar parameters that plays an important role in the operations of processing, de-interleaving, Clustering, classification and location of radars. Various techniques are used to direction finding (DF) and estimate the angle of Arrival. Among the methods, amplitude comparison direction finding (ADF) is one of the most common techniques due to its high speed and low computational complexity. Multipath fading degrades the performance of Direction Finding systems. In hilly and suburban environments, the direction finding accuracy of ELINT systems can change under the influence of various factors. One of the factors influencing the accuracy of DF is the Multipath factor. In this paper, a new method is presented to reduce the effect of multipath on the pulses received from the LFM radars and improve DF accuracy in ESM/ELINT systems. The amplitude of the received pulses fluctuates and distorts due to the existence of multipath effects. The proposed method is to first convert the signal into a two-dimensional Short-Time Fourier Transform (STFT) and wavelet and using the SOBEL edge finding algorithm, two Time of Arrivals (TOA) are detected. The first TOA corresponds to the start of the main pulse (raise time of the pulse received from the direct path) and the second TOA is related to the reflected pulse (multi-path effect). Then the time interval between the first and second TOA is considered as a signal without a multi-path effect which this time, the pulse has not fluctuated or distorted. In other words, the main pulse is not merged with the reflected pulses. Therefore, the amplitude detecting is implemented for main pulse after eliminated the multi-path effect. The average value of the signal amplitude is measured in this time range. Then Direction finding is performed using the mono-pulse Direction finding technique for an array of 8 antennas. Therefore, the proposed method improves the Amplitude Direction Finding (ADF) accuracy in multi-path conditions.

Keywords- Multi-path, LFM, ELINT, Direction of Arrival, STFT, Image Processing.

بهبود دقت جهت‌یابی رادارهای LFM با روش مقایسه دامنه برای محیط‌های چند مسیره در سیستم‌های پشتیبانی جنگ الکترونیک

روح الله رضایی فرد^۱، پوریا اعتضادی فر^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران.

^۱ruhi_Rezaei@yahoo.com, ^{۲*}petezadifar@ihu.ac.ir

* نشانی نویسنده مسئول: پوریا اعتضادی فر، تهران، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده مهندسی برق.

چکیده - سیستم‌های پشتیبانی جنگ الکترونیک (ESM/ELINT) سیگنال‌های ارسال شده از رادارها را دریا فت، پردازش، تحلیل و جهت‌یابی می‌کنند. جهت‌یابی و تعیین زاویه ورود، یکی از مهم‌ترین پارامترهای راداری است که در عملیات پردازش، جداسازی و تفکیک، دسته‌بندی و مکان‌یابی رادارها نقش بسزایی دارد. برای جهت‌یابی^۱ (DF) و تخمین زاویه ورود از تکنیک‌های مختلفی استفاده می‌شود. در میان روش‌ها، تکنیک مقایسه دامنه (ADF^۲) به دلیل سرعت بالا و پیچیدگی محاسباتی پایین جزو متداول‌ترین تکنیک‌های جهت‌یابی می‌باشد. چند مسیریگی موجب کاهش کارایی سیستم‌های جهت‌یابی می‌شود. در محیط‌های کوهستانی و غیرشهری، دقت جهت‌یابی سیستم‌های شنود راداری (ELINT) می‌تواند تحت تأثیر عوامل مختلف تغییر نماید. یکی از عوامل تأثیرگذار بر دقت جهت‌یابی عامل چندمسیریگی است. در این مقاله روشی جدید ارائه شده است که اثر چندمسیریگی را در پالس‌های دریافتی از رادارهای LFM^۳ کاهش می‌دهد و موجب بهبود دقت جهت‌یابی در سیستم‌های ESM/ELINT می‌شود. پالس‌های دریافتی به دلیل وجود اثرات چندمسیریگی دارای نوسانات و اعوجاج دامنه هستند. روش پیشنهادی بدین صورت است که از طریق تبدیل سیگنال به تبدیلات دوبعدی فوریه زمان کوتاه (STFT^۴) و تبدیل موجک و با استفاده از الگوریتم لبه‌یابی سوبل^۵، دو زمان ورود پالس (TOA^۶) آشکارسازی می‌شوند. اولین TOA مربوط به پالس اصلی (دریافتی از مسیر مستقیم) و TOA دوم مربوط به زمان شروع پالس منعکس شده (اثر چندمسیریگی) می‌باشد. سپس بازه زمانی بین TOA پالس اصلی و TOA پالس بازگشتی به عنوان سیگنال بدون اثرات چندمسیریگی در نظر گرفته می‌شود که در این زمان، دامنه پالس دچار نوسانات و اعوجاج نشده است. به عبارت دیگر، پالس اصلی با پالس چندمسیره ادغام نشده است. بنابراین آشکارسازی دامنه پالس اصلی دریافتی، با حذف اثر چندمسیریگی اجرا می‌گردد. میانگین مقدار دامنه در همین محدوده زمانی محاسبه شده و با تکنیک جهت‌یابی مونوپالس برای یک آرایه آنتن ۸ تایی جهت‌یابی انجام می‌گیرد. بنابراین، روش پیشنهادی منجر به بهبود دقت جهت‌یابی با روش مقایسه دامنه (ADF) در شرایط وجود اثرات چندمسیریگی می‌گردد.

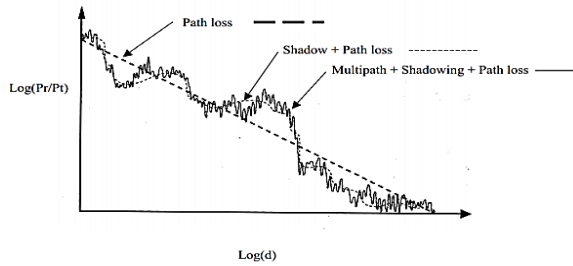
واژه‌های کلیدی: چندمسیریگی، مدولاسیون خطی فرکانس، اینت، جهت‌یابی مقایسه دامنه، تبدیل فوریه زمان-کوتاه، پردازش تصویر.

۱- مقدمه

جنگ الکترونیک شامل آشکارسازی سیگنال‌ها^۷، جهت‌یابی و اندازه‌گیری پارامترهای راداری، دسته‌بندی فرستنده‌ها^۸ و شناسایی می‌باشد. هدف اصلی این پردازش‌ها طبقه‌بندی سیگنال‌های راداری^۹ بر اساس مشخصات منحصر به فرد آنها است

در سیستم پشتیبانی جنگ الکترونیک سامانه‌های (ESM/ELIN) به عنوان یک گیرنده غیرفعال، سیگنال‌های ارسالی از فرستنده‌های راداری را دریافت و پردازش می‌نمایند پردازش در سیستم‌های

سایه^{۱۶} و افت مسیر) در شکل ۱ نشان داده شده است.

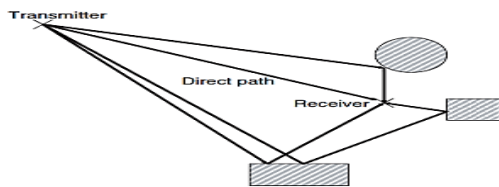


شکل ۱: اثر چند مسیریگی، سایه و افت مسیر [5]

در شکل ۱ نمودار افت مسیر در مقایسه با تغییرات توانی در اثر چندمسیریگی و اثر سایه را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین تخریب در زمان وجود اثر چندمسیریگی ایجاد گردیده است.

۲-۱- انتشار چندمسیریگی دیدمستقیم^{۱۷}

زمانی که بین فرستنده و گیرنده مانعی وجود نداشته باشد و شرایط دیدمستقیم فراهم باشد سیگنال ارسال شده در یک مسیر مستقیم^{۱۸} (DP) به گیرنده خواهد رسید. در صورتی که علاوه بر سیگنال دریافتی از مسیر مستقیم، گیرنده سیگنال‌های دیگری را که از مسیرهای مختلف (در اثر برخورد به موانع گوناگون) دریافت نماید؛ تابع توزیع مربوط به پارامتر دامنه به صورت تابع توزیع رایسین^{۱۹} رفتار می‌کند [7].



شکل ۲: نمایش چند مسیره در حالت LOS [1]

به عنوان مثال، همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود؛ سیگنال ارسالی از چهار مسیر عبور کرده و به گیرنده رسیده است. با توجه به کوتاه بودن مسیر اصلی، زمان رسیدن سیگنال در این مسیر کمترین مقدار را در مقایسه با سایر سیگنال‌های بازگشتی دارا خواهد بود. البته باید به این نکته اشاره نمود که سیگنال‌ها در مسیرهای دیگر (بازگشتی) بازمان طولانی‌تری و با تأخیرهای متفاوتی به گیرنده خواهند رسید.

۲-۲- مدل خط تأخیر^{۲۰}

برای مدل‌سازی خط تأخیر با توجه به آن که مسیرهای مختلف دارای فواصل متفاوتی هستند؛ بنابراین، زمانی که یک سیگنال ضربه از فرستنده ارسال می‌شود در گیرنده چندین کپی از سیگنال ضربه در زمان‌های مختلف دریافت خواهد شد.

و از این داده‌ها برای شناسایی رادار در یک محیط الکترومغناطیسی استفاده می‌شود پارامترهای راداری که اندازه‌گیری می‌شوند شامل فرکانس، دامنه، جهت ورود (DOA)، زمان ورود پالس (TOA)، پهنای پالس و غیره می‌باشد. جهت ورود سیگنال (DOA) بهترین پارامتر برای دسته‌بندی^{۱۰} اولیه است و تنها پارامتری است که غیرقابل استتار^{۱۱} و پنهان کردن است [1]. برخی از رادارها برای بالا بردن قابلیت^{۱۲} ECCM پارامترهایی از قبیل فرکانس، پهنای پالس، PRI را به صورت پالس به پالس تغییر می‌دهند تنها پارامتر زاویه ورود (DOA) است که نمی‌تواند توسط رادار به صورت پالس به پالس تغییر نماید. برخی از سیستم‌های ESM/ELINT از روش مقایسه دامنه برای محاسبه جهت ورود سیگنال استفاده مینمایند روش مقایسه دامنه یکی از متداولترین روشهای جهت یابی برای سیستم‌های غیر فعال می‌باشد. در این روش محاسبه دقیق دامنه پالسهای دریافتی در دقت جهت یابی تاثیر مستقیم دارد. امروزه رادارهایی با مدولاسیون‌های درون پالسی^{۱۳} LFM و دارای پهنای باند زیاد در حال افزایش می‌باشد و سیستم‌های (ESM/ELINT) امروزی در جهت یابی و محاسبه زاویه ورود این نوع رادارها با چالش روبه‌رو هستند. افزایش پهنای باند LFM در داخل پالس رادار موجب می‌شود که این نوع از پالسها با SNR کم و با تغییرات شدید دامنه دریافت شوند. نوسانات ناخواسته دامنه بدلیل وجود شرایط چند مسیریگی نیز باعث افزایش خطای جهت یابی خواهد شد. در این مقاله روشی ارائه شده است که با محاسبه دامنه قسمتی از پالس، اثرات چندمسیریگی در شرایط کوهستانی کاهش یافته و نوسانات ناخواسته در دامنه پالس حذف می‌گردد و بنابراین دقت جهت یابی بهبود می‌یابد.

۲- چندمسیریگی

چندمسیریگی پدیده‌ای است که در اثر برخورد سیگنال ارسالی به موانع مختلف و بازتاب به وجود می‌آید و در دو مقیاس بزرگ و کوچک تعریف می‌شود. در مقیاس بزرگ، سیگنال در اثر برخورد با کوه‌ها و ساختمان‌های بزرگ و آسمان‌خراش‌ها منعکس شده و به گیرنده می‌رسد و در مقیاس کوچک‌تر به دلیل برخورد با ماشین‌ها و درختان و اشیاء داخل ساختمان بازتاب می‌شوند. بنابراین گیرنده نسخه‌های مختلف از سیگنال را که از مسیرهای مختلف رسیده‌اند را دریافت خواهد کرد. با دریافت سیگنال‌های بازگشتی، تغییرات فاز و تأخیرهای زمانی مختلفی به صورت اثرات سازنده^{۱۴} و مخرب^{۱۵} با سیگنال اصلی به وقوع می‌پیوندد؛ که این اثرات سازنده و مخرب، منجر به ایجاد اختلالات زیادی روی سیگنال اصلی می‌گردد [4]. نمونه‌های این تداخلات ایجاد شده (اثر چند مسیریگی،

n ام است. البته اگر بخواهیم به صورت دقیق این پدیده را بررسی کنیم بسیار پیچیده تر از این می شود. چون موج الکترومغناطیسی در بازتاب از اجسام، ممکن است دچار تغییر فاز، تغییر پلاریزاسیون، تغییر فرکانس و یا تغییرات دیگر شود که به جسم پراکنده کننده بستگی دارد. ولی برای تحلیل ساده فقط تغییرات در دامنه و یک تأخیر زمانی در نظر گرفته شده است. به دلیل اینکه هندسه محیط متغیر با زمان است، خصوصیات کانال‌های چندمسیره معمولاً با زمان تغییر می کند. بنابراین، برای رسیدن به یک مدل واقعی از چندمسیرگی نیاز به داده‌های عملی است. به طور مثال برای به دست آوردن تأخیرهای زمانی بهتر است در محیط‌های عملیاتی اقدام به جمع‌آوری سیگنال نموده و تأخیرهای واقعی را به دست آوریم. بدین منظور، مدل‌های مختلفی برای مکان‌های مختلف شهری و غیرشهری و کوهستانی به دست آمده که در مراجع گزارش شده است. در این مقاله از تأخیرهای زمانی نشان داده شده در جدول ۱ استفاده گردیده است [۱].

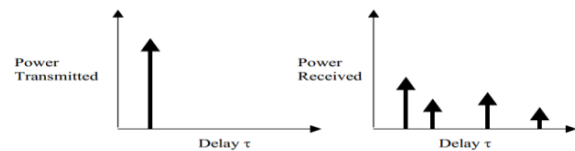
جدول ۱: تأخیر زمانی تقریبی برای محیط‌های مختلف

Environment	Approximate RMS delay spread [μs]
Indoor cells	0.01-0.05
Mobile satellite	0.04-0.05
Open area	<0.2
Suburban macrocell	<1
Urban macrocell	1-3
Hilly area macrocell	3-10

جدول بالا تقریبی از تأخیرهای زمانی متفاوت بر حسب میکروثانیه است که در شرایط مختلف اندازه‌گیری شده. شرایط داخل اتاق^{۲۵} که نمایشگر تأخیرهای زمانی در داخل ساختمان می باشد و در مخابرات سلولی (موبایل) کاربرد دارد. همانطور که مشاهده می شود، مقادیر تأخیر گزارش شده در بازه $0.01-0.05$ میکروثانیه است. به طور مثال در مناطق باز^{۲۶} مقدار تأخیر کمتر از 0.2 میکروثانیه است. مناطق حومه شهری^{۲۷} تأخیرهای زمانی کمتر از 1 میکروثانیه می باشد. مناطق شهری^{۲۸} دارای تأخیر زمانی در بازه $1-3$ میکروثانیه می باشند. در محیط‌های کوهستانی^{۲۹}، تأخیرات گزارش شده در بازه $3-10$ میکروثانیه می باشند.

بنابراین چه گفته شد، با توجه به آن که سامانه‌های ESM و $EIINT$ در محیط‌های کوهستانی و غیرشهری مورد استفاده قرار می گیرند. در این مقاله کلیه شبیه‌سازی‌ها برای کاربردهای راداری از مقادیر $1-10$ میکروثانیه در نظر گرفته شده است.

در ادامه به بررسی رفتار چندمسیرگی روی سیگنال‌های LFM برای یک سامانه $ELINT$ می پردازیم و با استفاده از بررسی سیگنال‌ها و رفتار آن‌ها به پیشنهاد روشی برای بهبود جهت‌یابی در حضور اثرات چندمسیرگی خواهیم پرداخت.



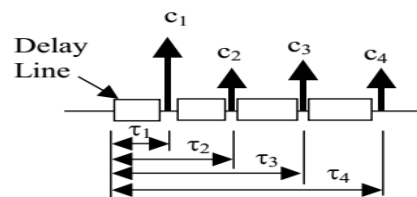
شکل ۳: مقایسه توان سیگنال ارسالی و دریافتی در گیرنده [7]

در شکل ۳ نمودار سمت چپ دامنه و توان ارسالی مشاهده می شود. در سمت راست نمودار دامنه و تأخیر زمانی‌های مختلف دیده می شود.

بیشترین تأخیر بعد از سیگنال دریافتی که بسیار ناچیز است تأخیر پخش کننده^{۳۱} نامیده و با نماد τ_{max} نشان داده می شود. τ_{max} بزرگ نشانگر یک کانال پاشنده^{۳۲} می باشد و اغلب به جای مقدار تأخیر پخش کننده τ_{max} از مقدار τ_{rms} (rms^{۳۳}) استفاده می شود. یکی از روش‌های نمایش پاسخ ضربه یک کانال چندمسیره استفاده از تعدادی ضربه گسسته^{۳۴} است که به فرم زیر فرموله می گردد.

$$h(t, \tau) = \sum_{i=1}^N C_i(t) \delta(\tau - \tau_i) \quad (1)$$

در فرمول بالا پاسخ ضربه h و ضرایب $C_i(t)$ با زمان t تغییر می کنند. همچنین باید به این نکته اشاره کرد که N معرف تعداد پالس‌های تأخیر و τ_i نشان دهنده‌ی مدت زمان تأخیر می باشد که به تعداد مسیرهای طی شده توسط سیگنال بازگشتی وابسته است.



شکل ۴: مدل خط تأخیر چهار تایی [7]

به عنوان مثال، در شکل ۴، یک خط تأخیر مدل چندمسیره در گیرنده نشان داده شده است. این خط تأخیر دارای چهار تأخیر زمانی τ_1 تا τ_4 با دامنه‌های دریافتی C_1 تا C_4 می باشند. در این مدل، سیگنال ارسالی به صورت نشان داده شده در عبارت زیر تعریف می گردد.

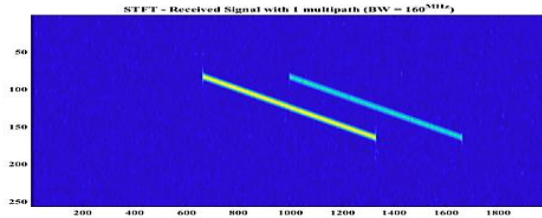
$$x_{tr}(t) = A \cos(\omega t + \phi) \quad (2)$$

در عبارت فوق، ω معرف فرکانس، A معرف دامنه سیگنال، ϕ معرف فاز و $x_t(t)$ نشان دهنده‌ی سیگنال ارسالی می باشند. سیگنال‌های بازگشتی به صورت تابعی بر حسب تأخیر با توان‌های مختلف تعریف می گردد که در عبارت زیر تعریف شده است.

$$\begin{aligned} V_{R,1} &= A_1 \cos[\omega(t - \tau_1)] \\ V_{R,2} &= A_2 \cos[\omega(t - \tau_2)] \\ V_{R,n} &= A_n \cos[\omega(t - \tau_n)] \end{aligned} \quad (3)$$

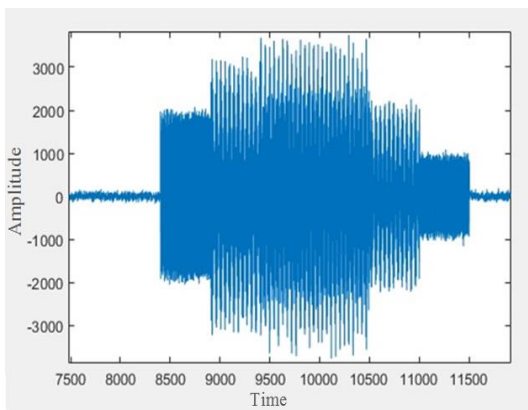
که در آن A_n یک عدد و معرف اختلاف دامنه پرتو بازتاب n ام با پرتو اصلی می باشد و τ_n نیز نشان دهنده اختلاف زمانی پرتو بازتاب

یک پالس بازگشتی (رنگ آبی) را نشان می‌دهد تأخیر زمانی در اثر چندمسیرگی و تغییرات فرکانس درون پالس‌ها موجب شده در حوزه فرکانس $STFT$ پالس‌ها قابل تفکیک باشند ولی در حوزه زمان ($Time Domain$) (شکل ۵) این دو پالس با یکدیگر ترکیب شده‌اند.



شکل ۷: نمودار $STFT$ پالس اصلی و پالس بازگشتی با پهنای باند ۱۶۰ مگاهرتز LFM

شکل ۷ یک پالس LFM با پهنای باند ۱۶۰ مگاهرتز با یک پالس بازگشتی را نشان می‌دهد تأخیر زمانی در پالس بازگشتی و افزایش پهنای باند موجب جداسازی دو پالس از نظر فرکانسی شده است. برای فهم بهتر موضوع تعداد پالس‌های بازگشتی را بیش از یک عدد در نظر می‌گیریم و با ثابت نگه داشت زمان تأخیر، پهنای باندهای LFM مختلف را با رسم نمودار $STFT$ مورد بررسی بیشتر قرار می‌دهیم. مطابق شکل زیر دو پالس بازگشتی با تأخیر زمانی ۳ μs با پالس اصلی دریافت شده‌اند که مجموع این پالس‌ها و ایجاد دنباله، موجب افزایش طول پالس (PW) و تغییرات دامنه پالس دریافتی می‌شود.

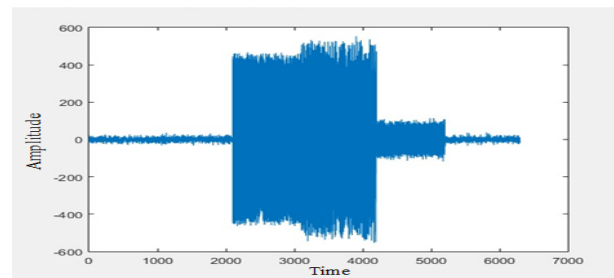


شکل ۸: شبیه سازی یک پالس اصلی با دو سیگنال بازگشتی با پهنای باند ۲۰ مگاهرتز

شکل ۸ یک پالس LFM با پهنای باند ۲۰ مگاهرتز با دو پالس بازگشتی را نشان می‌دهد دو پالس بازگشتی به دلیل ادغام با پالس اصلی، موجب ایجاد نوسان در دامنه شده و از نظر زمانی نیز موجب کشیدگی پالس شده است در شکل زیر نمودار $STFT$ پالس‌ها نشان داده شده است.

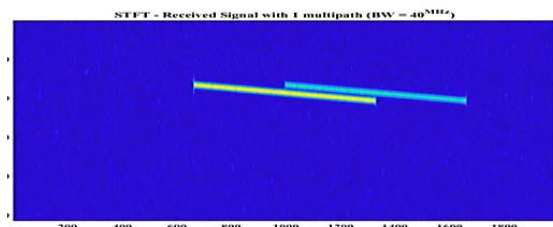
۲-۳- بررسی رفتار چندمسیرگی روی سیگنال اصلی در پهنای باندهای مختلف

همان‌طور که در بخش‌های قبلی توضیح داده شده است چندمسیرگی روی دامنه و عرض پالس تأثیر مخربی دارد در این قسمت شکل‌های خروجی $STFT$ را با تغییر پهنای باند LFM و تغییر تعداد بازگشتی‌ها نشان خواهیم داد. به‌طور مثال در شکل زیر یک سیگنال با یک بازگشتی و پهنای باند ۲۰ مگاهرتز برای LFM مشاهده می‌شود پالس بازگشتی از وسط پالس اصلی آغاز شده است. و موجب کشیدگی عرض پالس و تغییرات دامنه شده است.



شکل ۵: نمایش حوزه زمان برای یک پالس اصلی که با پالس بازگشتی جمع شده است (مدولاسیون خطی فرکانس با پهنای باند ۲۰ مگاهرتز)

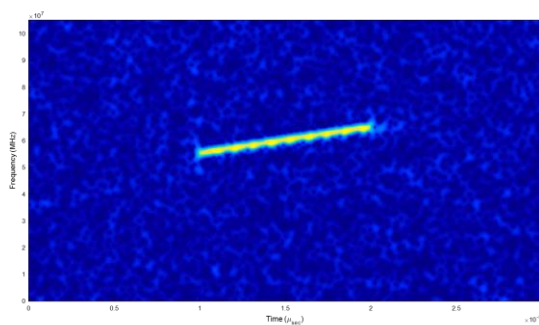
مطابق شکل ۵ نوسانات دامنه از لحظه شروع پالس بازگشتی (وسط پالس اصلی) مشاهده می‌شود. بعد از انتهای پالس اصلی، وجود پالس بازگشتی موجب ایجاد دنباله و کشیدگی پالس می‌شود. با رسم $STFT$ سیگنال، دو پالس اصلی و بازگشتی به دلیل مدولاسیون خطی فرکانس داخل پالس و تأخیر زمانی پالس بازگشتی به صورت جداگانه قابل مشاهده خواهد بود که در شکل ۶ مشخص شده است که خروجی تبدیل $STFT$ می‌باشد و در آن محور عمودی نشان دهنده فرکانس بر حسب مگاهرتز، محور افقی نشان دهنده زمان بر حسب میکروثانیه می‌باشد. سیگنال دارای بیشترین انرژی با رنگ زرد نشان داده شده است و سیگنال‌های رنگ‌های سبز و آبی به ترتیب دارای انرژی کمتری می‌باشند.



شکل ۶: نمودار $STFT$ پالس اصلی با رنگ زرد و پالس بازگشتی با پهنای باند ۴۰ مگاهرتز LFM

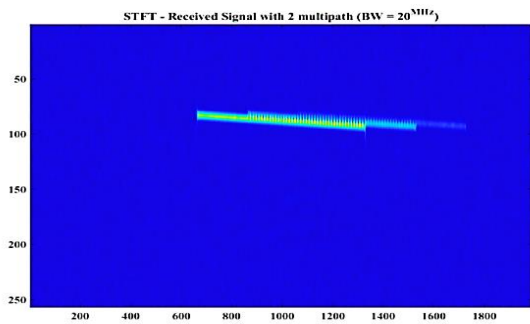
شکل ۶ یک پالس LFM با پهنای باند ۴۰ مگاهرتز (رنگ زرد)

پایان پالس‌ها به‌وضوح قابل مشاهده است. درحالی‌که در حوزه زمان به دلیل نوسانات دامنه و کشیدگی پالس امکان جداسازی و تفکیک غیرممکن است. در بالا مشاهده کردیم که خروجی نمودار *STFT* تصویری دوبعدی ارائه می‌نماید که می‌توان با تحلیل این تصاویر مقدار عرض پالس اصلی و تعداد پالس‌های بازگشتی را نیز تعیین نمود. برای جهت‌یابی با روش دامنه، ما به دامنه پالس اصلی نیاز داریم که دارای اثرات چندمسیرگی و نوسانات ناخواسته نباشد. بنابراین بهترین راه پیدا کردن پالس اصلی و محاسبه دامنه آن پالس می‌باشد بر اساس نتایج به‌دست آمده در شبیه‌سازی‌ها نتیجه گرفتیم که با افزایش *SNR* و پهنای باند *LFM* و زمان تأخیر، دقت تفکیک پالس‌ها در نمودار *STFT* افزایش می‌یابد. ضمناً با افزایش نویز و کاهش *SNR* اثر تخریبی چندمسیرگی بر روی پالس‌ها بیشتر می‌شود. همان‌طور که در شکل زیر قابل مشاهده است با کاهش *SNR* و افزایش تأثیر نویز بر روی پالس اصلی، تفکیک پالس از نویز پس‌زمینه دارای خطای زیاد است و با کاهش دامنه و تعداد پالس‌های بازگشتی دشوارتر می‌شود.



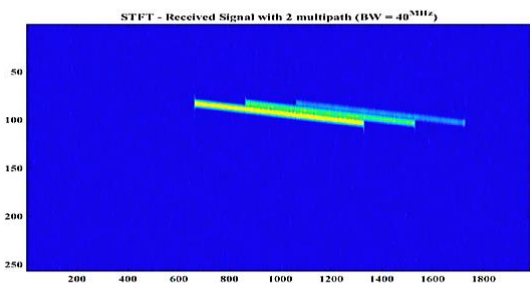
شکل ۱۲: نمودار *STFT* پالس با دو بازگشتی برای پالس دارای *SNR*=5dB و *LFM*

در شکل ۱۲ دامنه پالس اصلی دارای اعوجاج بیشتری است و دو عدد پالس بازگشتی نیز دارای دامنه ضعیف‌تری هستند. برای تشخیص پالس اصلی در میان پالس‌های بازگشتی از تبدیل موجک استفاده می‌نماییم که در ادامه توضیح داده خواهد شد. تبدیل موجک بر روی نمودار *STFT* که به‌صورت یک تصویر دوبعدی می‌باشد، اعمال می‌شود. با دقت به نمودارهای شکل ۱۳ مشاهده می‌نمایید ضرایب عمودی تبدیل موجک زمان شروع و پایان هر پالس را به‌صورت تغییر ناگهانی رنگ (خطوط عمودی) نشان می‌دهد با یافتن این تغییرات و خطوط عمودی می‌توان زمان شروع پالس‌ها را تشخیص داد.



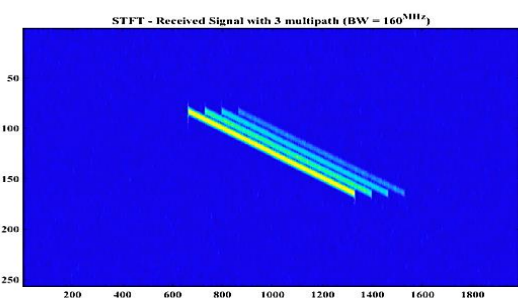
شکل ۹: نمودار *STFT* پالس با دو سیگنال بازگشتی با پهنای باند ۲۰ مگاهرتز

شکل ۹ پالس *LFM* با پهنای باند ۲۰ مگاهرتزی با دو پالس بازگشتی را نشان می‌دهد تغییرات تدریجی فرکانس و تأخیر پالس بازگشتی موجب جدا شدن پالس‌ها می‌شود برای نمایش بهتر، پهنای باند *LFM* را دو برابر می‌کنیم.



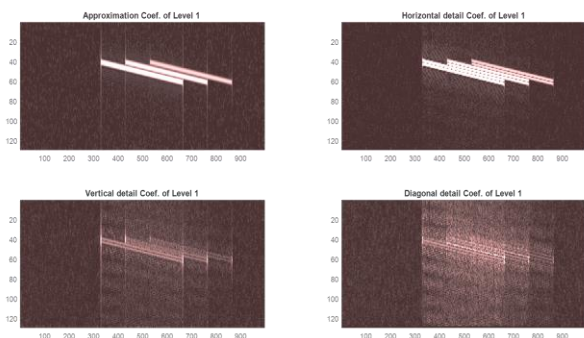
شکل ۱۰: نمودار *STFT* پالس با دو سیگنال بازگشتی با پهنای باند ۴۰ مگاهرتز

شکل ۱۰ پالس *LFM* با پهنای باند ۴۰ مگاهرتزی با دو پالس بازگشتی را نشان می‌دهد پالس بازگشتی اول انرژی کمتری نسبت به پالس اصلی دارد و پالس بازگشتی دوم انرژی کمتری نسبت به پالس بازگشتی اول دارد که در نمودار *SFFT* با تغییر رنگ و شدت روشنایی مشخص می‌باشد.



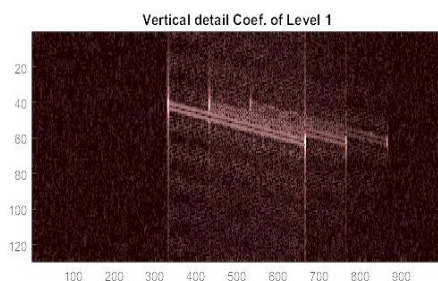
شکل ۱۱: نمودار *STFT* پالس اصلی (رنگ زرد) با سه سیگنال بازگشتی با پهنای باند ۱۶۰ مگاهرتز

شکل ۱۱ نشان می‌دهد که پالس *LFM* با پهنای باند ۱۶۰ مگاهرتزی با حضور سه پالس بازگشتی با تأخیر ۲ میکروثانیه در نمودار *STFT* قابل تفکیک است و تمامی پالس‌ها و زمان شروع و



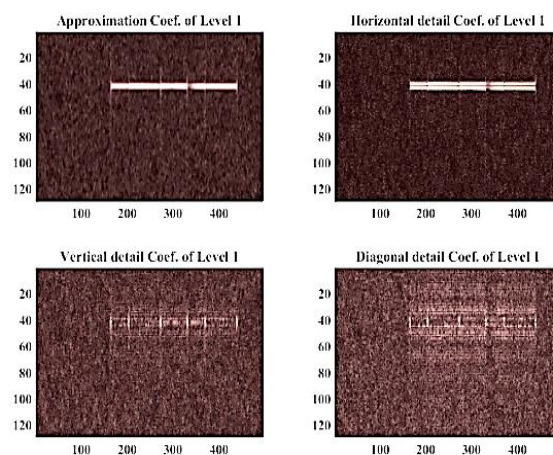
شکل ۱۴: نمایش موجک پالس‌های دریافتی و استخراج ضرایب افقی و عمودی SNR=30dB

در شکل ۱۴ خروجی تابع تبدیل موجک که از تصویر به دست آمده از $STFT$ سیگنال با دو بازگشتی محاسبه شده، نمایش داده می‌شود. در اینجا پهنای باند LFM برابر ۱۰ مگاهرتز می‌باشد و نویز $AWGN$ در نظر گرفته شده و مقدار SNR برابر $10dB$ می‌باشد برای به دست آوردن تأخیر زمانی از نمودار پایینی سمت چپ که نشان‌دهنده ضرایب عمودی موجک می‌باشد استفاده می‌کنیم. بازه زمانی اول (تغییر رنگ اول و دوم) نشان‌دهنده قسمتی از پالس است که بدون اثرات چندمسیره است و می‌توان میانگین دامنه را از این بازه زمانی استخراج نمود. با محاسبه دامنه یک کانال جهتی همین روال برای کانال‌های جهتی دیگر انجام می‌شود. بیشترین دامنه دو آنتن مجاور در نظر گرفته می‌شود بنابراین فقط دامنه قسمتی از پالس استفاده می‌شود. با به دست آوردن بخش ابتدایی هر پالس که کمترین اعوجاج را دارد دامنه پالس اصلی برای جهت‌یابی استفاده می‌شود. در شکل زیر نمودار ضرایب عمودی نمایش داده شده است. در تصویر ضرایب عمودی لبه‌ها نشان‌دهنده شروع پالس اصلی و پالس‌های بازگشتی هستند لذا توسط الگوریتم $Sobel^{31}$ لبه‌یابی [41] انجام می‌شود و زمان شروع پالس‌های استخراج می‌گردد.



شکل ۱۵: نمایش ضرایب عمودی موجک SNR=30dB

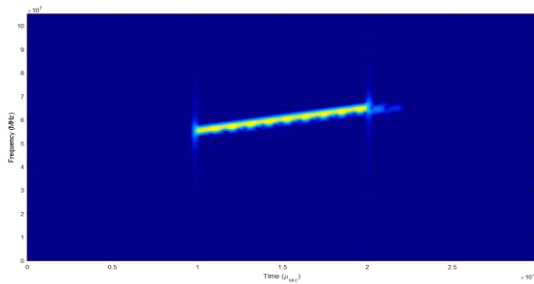
در شکل ۱۵ ضرایب عمودی نمایش داده شده است با توجه به زمان شروع پالس اول و زمان شروع پالس بازگشتی می‌توان بازه زمانی موردنیاز برای استخراج دامنه را تخمین زد. در بازه زمانی



شکل ۱۳: خروجی تبدیل موجک و نمایش ضرایب عمودی و افقی برای یک پالس با دو بازگشتی یک پالس دارای LFM و $SNR=15dB$

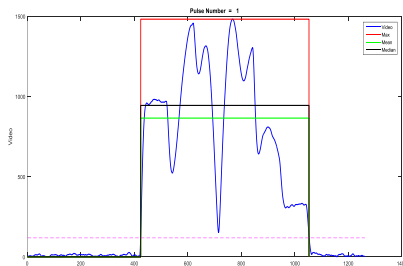
در شکل ۱۳ نمایش موجک برای یک پالس با دو بازگشتی با ضرایب عمودی و افقی و ضرایب مورب^{۳۰} را نشان می‌دهد. در اینجا پهنای باند LFM برابر ۱۰ مگاهرتز می‌باشد و مقدار SNR برابر $15dB$ در نظر گرفته شده است برای به دست آوردن اولین تأخیر زمانی از نمودار پایینی سمت چپ که نشان‌دهنده ضرایب عمودی می‌باشد استفاده می‌کنیم. این نمودار دارای ۶ تغییر رنگ عمودی می‌باشد در این نمودار زمان شروع پالس (سمت چپ) اولین تغییر رنگ و دومین تغییر رنگ، شروع پالس بازگشتی اول را نشان می‌دهد زمان بین این دو تغییر رنگ، دامنه پالس دریافتی از مسیر اصلی است و می‌توان دامنه را از این بازه زمانی استخراج نمود. همان‌طور که توضیح داده شد ابتدا از بین آنتن‌های هشت‌گانه، دو آنتنی که بالاترین انرژی را دریافت کرده باشند به عنوان آنتن‌های مرجع انتخاب می‌شوند. سپس از دو سیگنال دریافتی از این آنتن‌ها و خروجی گیرنده‌ها $STFT$ گرفته می‌شود. تصاویر به دست آمده به کمک تبدیل موجک دوبعدی به ضرایب این تصاویر در جهت‌های مختلف تجزیه می‌شوند. از روی تصاویر به دست آمده، لبه‌یابی صورت می‌گیرد. با استفاده از الگوریتم لبه‌یابی، شماره اندیس‌های شروع پالس اصلی که از مسیر مستقیم دریافت شده است و همچنین سیگنال چندمسیره دریافتی از هر یک از آنتن‌ها استخراج می‌شوند. با اعمال یک نگاهت از تصویر ورودی به سیگنال دریافتی، زمان شروع پالس و همچنین زمان شروع پالس چندمسیره تخمین زده می‌شوند. مقدار ۵۰ درصد میانی از این بازه زمانی به عنوان بهترین زمان برای بررسی وضعیت دو دامنه دریافتی است. با به دست آوردن دامنه هر کانال و با محاسبه اختلاف دامنه دو کانال در این بازه زمانی، جهت‌یابی انجام می‌شود. با استفاده از الگوهای گوسی آنتن و جدول مرجع، زاویه پالس اصلی استخراج و در خروجی اعلام می‌گردد.

دامنه پالس در کل محدوده عرض پالس اندازه‌گیری می‌شود. این مقدار دامنه به صورت بیشترین مقدار^{۳۲} و یا میانگین^{۳۳} و یا میان^{۳۴} در نظر گرفته می‌شود. استفاده از بیشترین مقدار دامنه موجب می‌شود که تمامی اثرات چندمسیرگی و نوسانات و تغییرات ناگهانی دامنه و نویزهای لحظه‌ای آشکار شده و در نتیجه باعث خطای جهت‌یابی گردد. استفاده از مقدار میانگین دامنه بهتر از مقدار بیشینه است و به مقدار واقعی دامنه پالس اصلی نزدیک‌تر می‌باشد میانگین در شرایط چندمسیرگی عملکرد بهتری دارد. مقدار میانه در وضعیت‌های مختلف نتایج متفاوتی دارد در شرایط چندمسیره و نویز زیاد، مقداری نادرست را اعلام می‌نماید ولی در برخی مواقع نیز دامنه پالس اصلی را اعلام می‌کند. بنابراین هیچ‌کدام از روش‌های محاسبه دامنه پالس نمی‌تواند در شرایط چندمسیرگی عملکرد قابل قبولی داشته باشند. برای بررسی موضوع در یک محیط چندمسیره در شکل ۱۸ یک پالس LFM در یک محیط چندمسیره با پهنای باند 10MHz شبیه‌سازی شده است و در شکل ۱۹ پوش پالس محاسبه گردیده است.



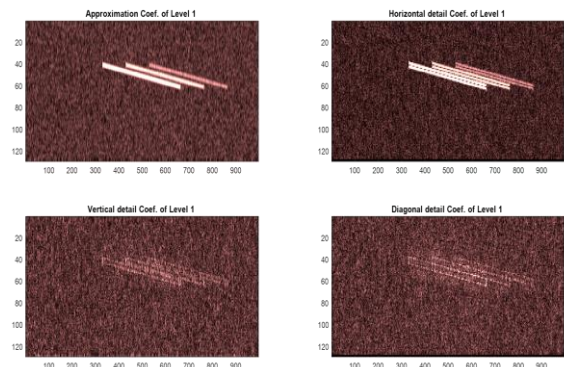
شکل ۱۸: نمودار STFT پالس با دو بازگشتی با پهنای باند LFM=10MHz

در شکل ۱۸ پالس اصلی بارنگ زرد نمایش داده شده و سیگنال‌های بازگشتی موجب ایجاد یک دنباله پالس شده است. که در انتهای پالس بارنگ آبی روشن دیده می‌شود. شکل ۱۹ پوش این پالس را نشان می‌دهد که در یک محیط چندمسیره دریافت شده است این شکل نمایانگر این موضوع است که هیچ‌کدام از مقادیر بیشترین دامنه و میانگین و میانه دامنه، نمی‌تواند دامنه پالس اصلی را در شرایط نویزی و تأخیرهای زمانی مختلف مشخص نماید.



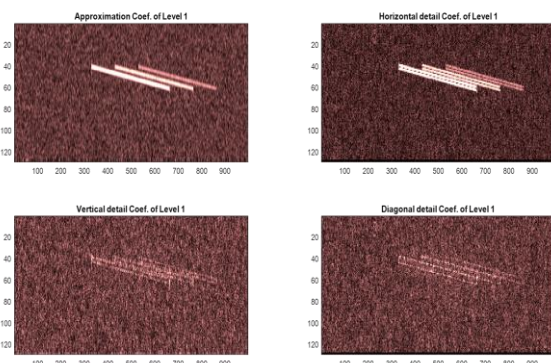
شکل ۱۹: پوش پالس با دو بازگشتی با پهنای باند LFM=10MHz

محاسبه شده پالس مسیر مستقیم دارای دامنه بدون اعوجاج است. چراکه هنوز اثر پالس دوم (چندمسیرگی) دیده نمی‌شود. بنابراین دامنه پالس اصلی به دست می‌آید.



شکل ۱۶: نمایش ضرایب عمودی در شرایط Low SNR=5dB

شکل ۱۶ نشان می‌دهد که در $SNR=5\text{ dB}$ نیز می‌توان ضرایب عمودی را پردازش نمود و زمان شروع پالس تا شروع پالس بازگشتی قابل اندازه‌گیری است. لذا تشخیص دامنه و جهت‌یابی با این روش در شرایط نویزی نیز نتایج مطلوبی دارد.



شکل ۱۷: نمایش ضرایب عمودی در شرایط Low SNR=3dB

شکل ۱۷ نشان می‌دهد که در $SNR=3\text{ dB}$ تشخیص زمان شروع پالس تا شروع پالس بازگشتی به سختی قابل تفکیک است.

۳- روش پیشنهادی

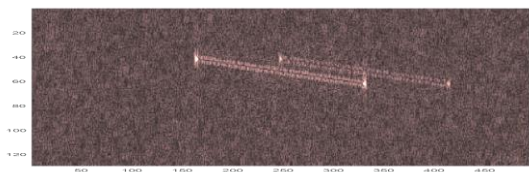
در رادارها روش حذف اثرات چندمسیرگی به دلیل داشتن پالس اصلی (مرجع) با روش‌های مورد استفاده در یک سیستم جهت‌یابی غیرفعال متفاوت است در یک جهت‌یابی غیرفعال پالس‌های دریافتی به صورت کور پردازش می‌شوند و پالس اصلی رادار در دسترس نمی‌باشد. بنابراین روش پیشنهادی بر اساس بررسی سیگنال‌های مختلف شبیه‌سازی گردید و به شرح زیر می‌باشد.

در اغلب جهت‌یاب‌ها که مبتنی بر دامنه هستند بعد از آشکارسازی پوش سیگنال و استخراج عرض پالس رادار، مقدار

دو کانال مجاور با اطلاعات موجود در یک جدول^{۳۷} چک می‌شود و به ازای هر اختلاف دامنه، یک زاویه محاسبه می‌گردد. در ادامه مراحل شبیه‌سازی و نتایج مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بلوک دیگرام روش پیشنهادی در شکل ۲۰ نشان داده شده است. مطابق شکل ۲۰ سیگنال وارد گیرنده شده و با تبدیل *STFT* سیگنال به تصویر تبدیل می‌شود با تبدیل موجک دوبعدی ضرایب عمودی اول و دوم استخراج می‌شوند. بازه زمانی بین ضرایب عمودی نشانگر پالس اصلی است. میانگین دامنه در همین محدوده محاسبه می‌شود. با استخراج دامنه‌های در کانال‌های مختلف گیرنده جهت‌یابی انجام می‌گیرد. در ادامه به بررسی بلوک‌های پردازش تصویر در الگوریتم پیشنهادی به منظور استخراج اثر چندمسیرگی و حذف آن از سیگنال اصلی می‌پردازیم.

۴- پردازش تصویر

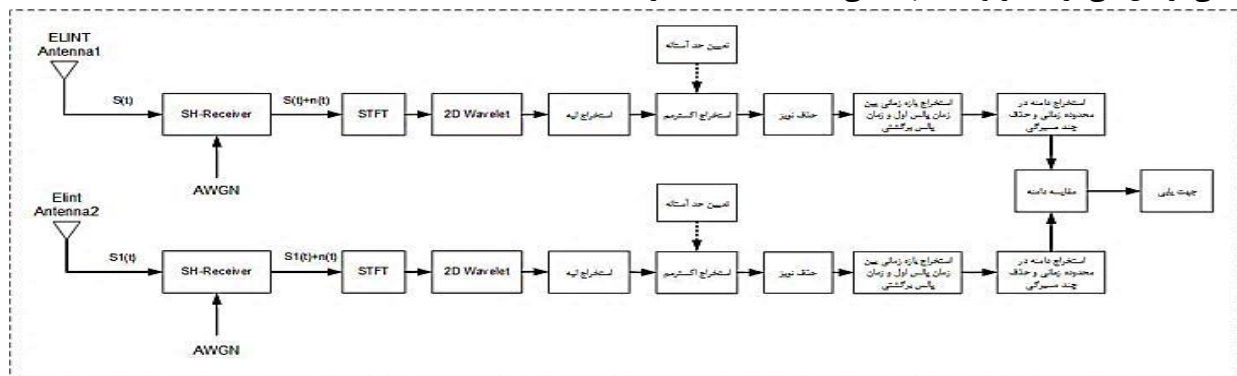
برای پردازش تصویر و لبه‌یابی روش‌های مختلفی وجود دارد روش‌های لبه‌یابی شامل سوبل^{۳۸}، پرویت^{۳۹}، روبرت^{۴۰}، لاپلاسن^{۴۱}، روش عبور از صفر^{۴۲} و روش کنی^{۴۳} می‌باشد [۱۱] که هر روش دارای مزیت‌ها و معایب می‌باشند ما در این مقاله از الگوریتم لبه‌یابی سوبل برای یافتن زمان شروع پالس‌ها استفاده می‌کنیم ضرایب عمودی تبدیل موجک با روش لبه‌یابی سوبل استخراج می‌شود. با پردازش تصویر و یافتن تغییرات ناگهانی روشنایی که نشانگر افزایش انرژی سیگنال است می‌توان بازه زمانی مورد نظر را به دست آورد. مطابق شکل ۲۱ ضرایب عمودی تبدیل موجک در شرایط نویزی^{۴۴} نشان داده شده است.



شکل ۲۱: شکل بزرگنمایی شده‌ی تصویر موجک عمودی

پس از اعمال فیلتر سوبل روی تصویر اصلی (به دست آمده از تبدیل

در شکل ۱۹ خطوط آبی‌رنگ نشانگر پوش پالس و خط قرمز نمایشگر بیشترین مقدار دامنه و خط مشکی بیانگر مقدار میانه می‌باشد خط سبز مقدار میانگین دامنه را نشان می‌دهد. مطابق شکل بالا مقدار میانه و میانگین به مقدار واقعی دامنه نزدیک‌تر هستند. بر اساس شبیه‌سازی‌های مختلف به این نتیجه رسیدیم که در صورت انتخاب هر کدام از این مقادیر برای جهت‌یابی دقت گزارش زاویه دارای خطا خواهد بود. بنابراین در این مقاله روشی پیشنهاد گردیده است که دامنه بخشی از پالس اصلی را انتخاب نماییم که دارای کمترین اعوجاج در روش پیشنهادی دامنه پالس اصلی در تمام محدوده زمانی عرض پالس اندازه‌گیری نخواهد شد. ابتدای پالس هم به دلیل وجود اعوجاج‌های^{۳۵} ناخواسته در نظر گرفته نمی‌شود بنابراین محدوده‌ای مابین لبه بالارونده (زمان شروع پالس) و قبل از شروع پالس بازگشتی جداسازی شده و دامنه آن محاسبه می‌گردد. روش بدین شکل است که ابتدا باید زمان ورود پالس اصلی^{۳۶} و سپس زمان ورود پالس بازگشتی اول را محاسبه نماییم سپس با محاسبه اختلاف زمانی، بازه زمانی حضور پالس اصلی را به دست آوریم. برای یافتن بازه زمانی (تأخیر زمانی) دقیق نخست سیگنال دریافتی در کانال ۱ (آنتن جهتی و گیرنده سوپرهتروداین) وارد بلوک *STFT* می‌نماییم. با *STFT* گرفتن از سیگنال به یک تصویر دوبعدی می‌رسیم که این تصویر حاوی تغییرات فرکانس و زمان تأخیر و مشخصه‌های دیگر مانند پهنای باند *LFM* و ... است می‌توان از این تصویر مشخصه مورد نظر که تأخیر زمانی است را استخراج نمود. با استفاده از تبدیل موجک و استفاده از ضرایب عمودی آن، زمان شروع پالس و زمان شروع پالس بازگشتی به دست می‌آید. سپس زمان شروع پالس دریافتی تا اولین تأخیر زمانی را محاسبه می‌نماییم. پالس اصلی (پالس مسیر مستقیم) در همین بازه زمانی قرار دارد و کافی است میانگین دامنه در همین محدوده زمانی محاسبه شود با این روش اثر چندمسیرگی حذف شده و دامنه پالس مسیر مستقیم استخراج می‌شود. این روش برای هر کانال انجام می‌شود و دامنه‌ها به واحد جهت‌یابی ارسال می‌گردد. در واحد جهت‌یابی اختلاف دامنه‌ها در



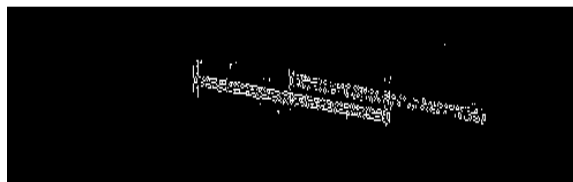
شکل ۲۰: بلوک دیگرام روش پیشنهادی

الگوریتم گسترش و فرسایش به استخراج دو خط اصلی سیگنال LFM می‌پردازیم که خروجی آن در شکل زیر دیده می‌شود [12]. همان‌طور که در شکل ۲۵ مشاهده می‌شود، بخشی که مربوط به پالس‌های LFM می‌باشد گسترش یافته است. همچنین، علاوه بر آن‌ها نویزهای ضربه نیز پهن‌تر شده‌اند. در ادامه با استفاده از عملیات *Open*، نویزها که دارای سطوح کوچکی بوده‌اند حذف شده‌اند. شکل به دست آمده پس از اجرای عملیات *Open* در شکل زیر نشان داده شده است.



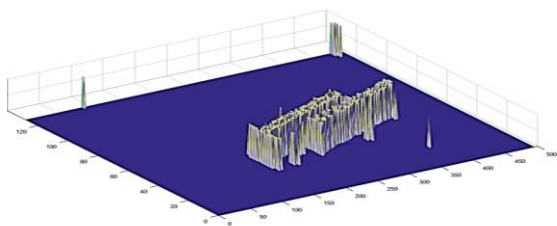
شکل ۲۶: خروجی الگوریتم مورفولوژیک OPEN به منظور حذف نویز

پس از اجرای عملیات *Open*، مطابق شکل ۲۶ نویزهای ضربه از تصویر حذف شده است. بنابراین، با استفاده از ضرب کردن تصویر فوق در تصویر اصلی (خروجی آستانه گذاری) مقادیر نویز را حذف کرده و تنها دو پالس مورد نظر استخراج شده است. خروجی نهایی در شکل زیر قابل مشاهده می‌باشد. باید به این نکته اشاره نمود که پس از اجرای عملیات آستانه گذاری، تصویر مورد نظر را به باینری نگاشت داده و برای کاهش زمان اجرا از عملگر *AND* منطقی برای ضرب دو تصویر استفاده گردیده است.



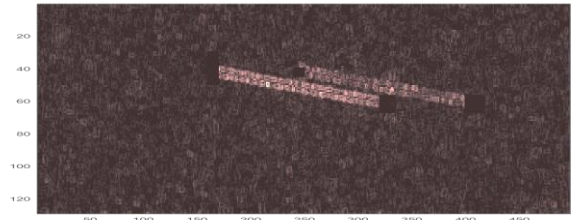
شکل ۲۷: حذف نویز از تصویر اصلی با استفاده از عملگر AND بین تصویر مورفولوژیک و تصویر بدست آمده از خروجی آستانه‌گذاری شده

به منظور درک بهتر، نمایش سه بعدی شکل موج مورد نظر پس از حذف نویز در شکل ۲۸ نشان داده شده است. مطابق شکل زیر، اثر نویز تا حد زیادی کاهش یافته است.



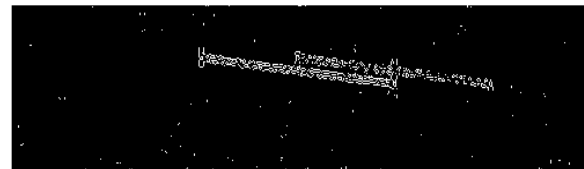
شکل ۲۸: نمایش سه بعدی خروجی تصویر آستانه گذاری شده پس از حذف نویز

موجک) خروجی به فرم نشان داده شده در شکل ۲۲ خواهد بود.



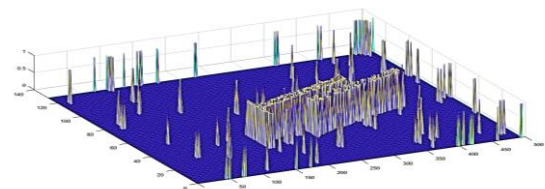
شکل ۲۲: خروجی به دست آمده پس از اعمال فیلتر سوبل

پس از اعمال فیلتر سوبل، با استفاده از الگوریتم تعیین آستانه، استخراج نقاط پرانرژی و لبه‌ها انجام گردید. این الگوریتم از مقادیر میانه به عنوان سطح آستانه استفاده می‌نماید و بدین ترتیب نقاط پرانرژی را استخراج می‌کند. خروجی به دست آمده پس از اعمال حد آستانه در شکل ۲۳ نشان داده شده است.



شکل ۲۳: خروجی به دست آمده پس از آستانه گذاری

با آستانه گذاری، نویز کاهش یافته و لبه‌ها و نقاط و خطوط دارای انرژی بیشتر استخراج می‌گردند. در شکل زیر نمایش سه بعدی و خروجی این بلوک قابل مشاهده می‌باشد.



شکل ۲۴: نمایش سه بعدی خروجی آستانه گذاری

در شکل ۲۴ نمایش سه بعدی خروجی بلوک آستانه گذاری نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل فوق مشاهده می‌شود نویزهای ضربه نیز علاوه بر سیگنال اصلی وجود دارند که باید حذف شوند. برای حذف نویزها از الگوریتم مورفولوژی استفاده شده است. در گام اول با استفاده از عملیات *CLOSE* و با اجرای دو



شکل ۲۵: خروجی الگوریتم مورفولوژیک CLOSE

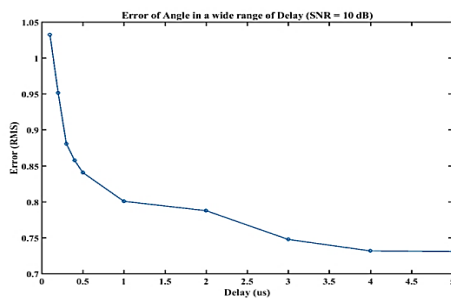
در انتها، با استفاده از الگوریتم مقایسه دامنه برای آرایه‌ی ۸ آنتن، عملیات جهت‌یابی صورت می‌پذیرد. باید به این نکته اشاره نمود که یکی از گلوگاه‌های روش جهت‌یابی، حذف سیگنال‌های بازگشتی می‌باشد که در این مقاله تا حد زیادی سیگنال‌های بازگشتی حذف شده است که منجر به بهبود دقت جهت‌یابی در محیط‌های چندمسیره (شرایط کوهستانی و غیرشهری) گردیده است. در ادامه به ارزیابی روش پیشنهادی خواهیم پرداخت.

۵- بررسی نتایج و ارزیابی روش پیشنهادی

نتایج به‌دست‌آمده از روش پیشنهادی بر روی سیگنال‌های شبیه‌سازی شده به شرح زیر می‌باشد.

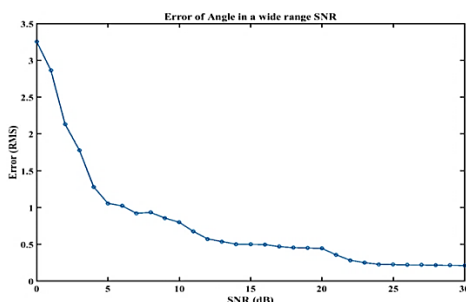
۵-۱- بررسی نتایج

در بخش قبلی مشخص گردید که اثرات چندمسیره موجب اعوجاج و نوسانات دامنه بر روی پالس می‌شوند با ارائه روش پیشنهادی توانستیم بخشی از پالس که مربوط به مسیر مستقیم است را تفکیک کنیم و دامنه قسمتی از پالس را برای جهت‌یابی استفاده کنیم که دارای کمترین نوسان و اعوجاج می‌باشد.



شکل ۳۳: خطای جهت‌یابی بر اساس تاخیر زمانی

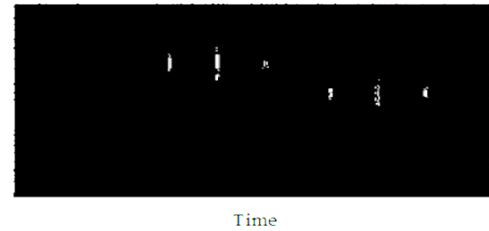
در شکل ۳۳ خطای جهت‌یابی بر اساس زمان تأخیر نمایش داده شده است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که با افزایش تأخیر زمانی دقت جهت‌یابی بهتر می‌شود. تأخیر زمانی در اینجا تأخیر زمانی از زمان شروع پالس تا اولین پالس بازگشتی می‌باشد. تمامی تأخیرهای زمانی بر اساس جدول ۱ می‌باشد.



شکل ۳۴: خطای جهت‌یابی بر اساس SNR

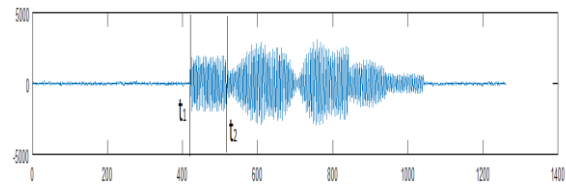
در شکل ۳۴ خطای جهت‌یابی بر اساس SNR نشان داده شده است.

در انتها با بررسی تعداد پیکسل‌های عمودی در هر ستون، لبه‌های ورودی دو پالس (اصلی و بازگشتی) استخراج شده است که در شکل ۲۹ قابل مشاهده است.



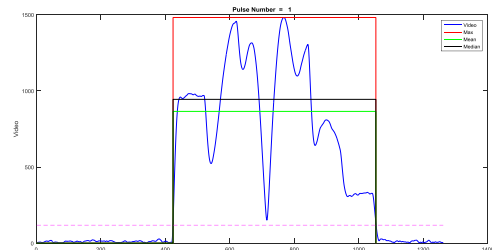
شکل ۲۹: استخراج خطوط عمودی از تصویر

پس از استخراج دو لبه (زمان‌های شروع پالس اصلی و بازگشتی)، محدوده‌ای از شکل موج اصلی (مطابق شکل ۳۰) انتخاب و استخراج می‌گردد.



شکل ۳۰: استخراج زمان پالس اول t_1 و زمان پالس بازگشتی اول t_2

به‌منظور درک بهتر، پوش شکل موج سیگنال اصلی به همراه سیگنال‌های بازگشتی در حوزه‌ی زمان در شکل ۳۱ نشان داده است.

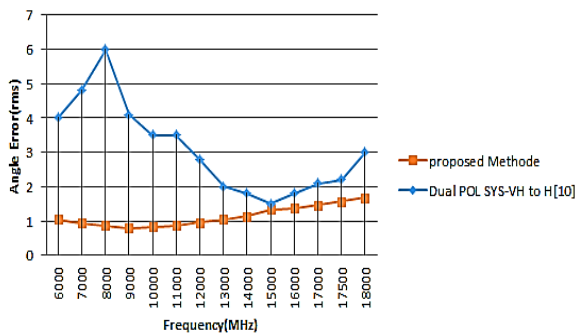


شکل ۳۱: پوش پالس با اثر چندمسیره

در انتها نیز، شکل موج موردنظر در بازه‌ی زمانی t_1 و t_2 (مطابق شکل ۳۲)، استخراج شده و مقادیر میانگین به‌عنوان دامنه‌ی پالس مسیر مستقیم به‌منظور جهت‌یابی در نظر گرفته می‌شود.

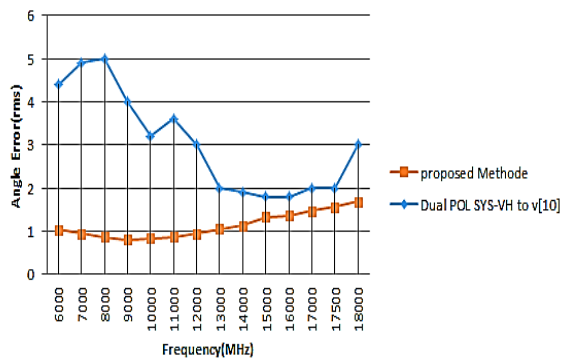


شکل ۳۲: شکل موج اصلی در بازه‌ی زمانی t_1 و t_2



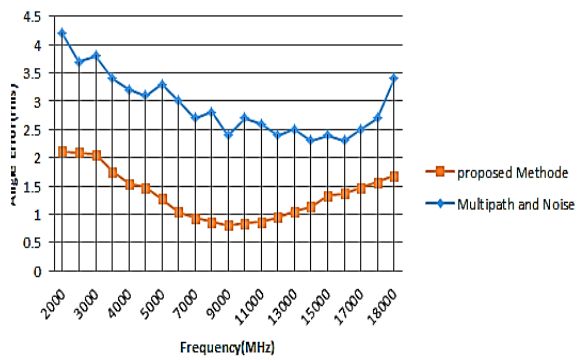
شکل ۳۷: مقایسه دقت جهت یابی با مقاله [10]

مطابق شکل ۳۷ دقت جهت یابی روش پیشنهادی در تمامی فرکانس‌ها بهتر از مقاله [10] بوده است.



شکل ۳۸: مقایسه دقت جهت یابی با مقاله [10]

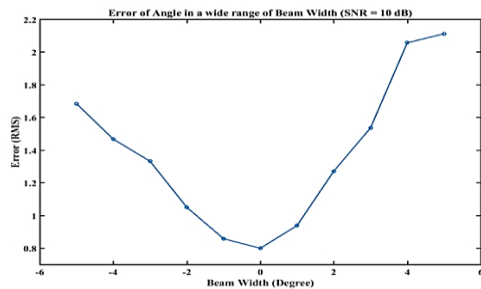
مطابق شکل ۳۸ در محیط چندمسیره و با وجود مدولاسیون درون پالسی دقت جهت یابی از نتایج مقاله [10] بهتر می‌باشد میزان بهبود دقت جهت یابی در تمامی فرکانس‌ها قابل مشاهده است. در شکل ۳۹ نتایج دقت جهت یابی در حضور اثرات چندمسیریگی با استفاده از روش پیشنهادی (حذف اثر چندمسیریگی) و نتایج دقت جهت یابی بدون استفاده از روش پیشنهادی در این مقاله به صورت مقایسه‌ای نشان داده شده‌اند.



شکل ۳۹: مقایسه نتایج دقت جهت یابی روش پیشنهادی در شرایط چندمسیریگی با نتایج بدون استفاده از روش ارائه شده

همان‌طور که در شکل ۳۹ مشاهده می‌شود، دقت جهت یابی در شرایط وجود اثرات چندمسیریگی در صورتی که از روش پیشنهادی استفاده نشود، خطای زیادی در جهت یابی ایجاد می‌نماید.

نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که با بیشتر شدن مقدار سیگنال به نویز خطا کاهش یافته و دقت جهت یابی بهتر می‌شود.

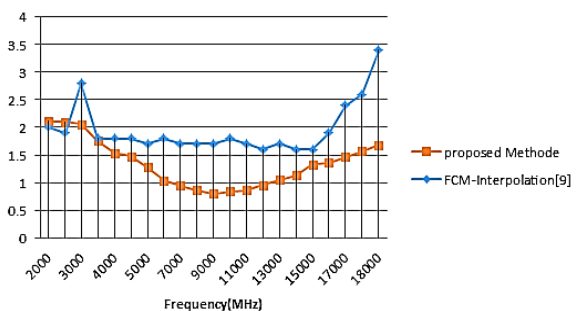


شکل ۳۵: خطای جهت یابی بر اساس پهنای بیم آنتن‌ها

در شکل ۳۵ خطای جهت یابی بر اساس پهنای باریکه آنتن‌ها محاسبه شده است. مطابق شکل محور افقی نشانگر تغییر پهنای بیم آنتن ± 5 درجه می‌باشد. مقدار صفر بیانگر پهنای بیم نصف توان 45° می‌باشد آنتن‌ها در فرکانس‌های مختلف دارای پهنای باریکه‌های متفاوتی هستند. در فرکانس‌های پایین‌تر پهنای بیم بزرگ‌تر از فرکانس‌های بالاتر است. پهنای بیم $5^\circ+$ درجه برای فرکانس ۲ گیگاهرتز لحاظ شده و $5^\circ-$ درجه برای فرکانس ۱۸ گیگاهرتز شبیه‌سازی شده است.

۲-۵- ارزیابی روش پیشنهادی

با مقایسه نتایج به دست آمده با مقالات مختلف مشخص گردید که در روش پیشنهادی، جهت یابی با روش دامنه در SNR کمتر از 15 dB و شرایط چندمسیریگی و با وجود رادارهای دارای مدولاسیون LFM با پهنای باند زیاد (۱۰ مگاهرتز تا ۱۶۰ مگاهرتز) به دقت بهتری نسبت مقالات دیگر رسیدیم. در ادامه به مقایسه نتایج با برخی از مقالات می‌پردازیم. مطابق شکل زیر نتایج به دست آمده در روش پیشنهادی دارای دقت بهتری نسبت به مقاله [1] می‌باشد.



شکل ۳۶: مقایسه نتایج جهت یابی روش پیشنهادی در شرایط چندمسیریگی و با مقاله [1]

مطابق شکل ۳۶ دقت جهت یابی روش پیشنهادی از دقت جهت یابی در مقاله [1] بهتر است. نتایج به دست آمده با مقاله شماره [10] نیز مورد بررسی قرار گرفته است که در شکل ۳۷ نمایش داده شده است.

۶- نتیجه گیری

بر اساس نتایج به دست آمده دقت جهت یابی با روش پیشنهادی برای یک سیستم جهت یاب دامنه از طریق کاهش اثرات چندمسیرگی در فرکانس های ۲ تا ۱۸ گیگاهرتز بهبود یافته است. در این تحقیق یک روش ابتکاری پیشنهاد گردید تا با تبدیل سیگنال به تصویر دوبعدی و آشکارسازی بخشی از سیگنال با پردازش تصویر و تفکیک آن از سیگنال های چندمسیرگی، اثرات مخرب سیگنال های چندمسیره در محیط های کوهستانی برای سیستم *ESM/ELINT* حذف گردید. ایده نوآورانه تبدیل سیگنال به تصویر دوبعدی موجب کاهش اثرات نویز و بهبود *SNR* گردید که نتایج آزمون های صورت گرفته با داده های شبیه سازی بسیار مطلوب ارزیابی گردیده است نتایج نشان می دهد که روش پیشنهادی را می توان برای جهت یابی مدولاسیون های *Non-LFM* نیز استفاده نمود. نتایج به دست آمده و میزان بهبود دقت جهت یابی در مقایسه با روش های مرسوم نشان دهنده ی کارایی خوب روش پیشنهادی در این مقاله بوده است.

مراجع

- [1] B. Priyanka, V. S. Rani, M. K. Das, S. Sounak, "An Improved Amplitude Comparison Based Direction of Arrival Estimation," Defence Electronics Research Laboratory (DRDO), Hyderabad, India, September 2014.
- [2] M. A. Ebrahimi-Ganjeh, M. Soltanian, M. Salarpour, and A. M. Pezeshk, "Comprehensive Study Of Non-Uniform Circular Array Interferometer In A Real Time Broadband 3-Dimensional Direction Finder (2-12 Ghz)," Progress In Electromagnetics Research C, Vol. 24, 69-81, 2011.
- [3] S. LIPSKY, "MICROWAVE PASSIVE DIRECTION FINDING," ISBN: 1-891121-23-5, SciTech Publishing, Inc, Printed in the United States of America, 2004.
- [4] K. Mella, "Theory, Simulation and Measurement of Wireless Multipath Fading Channels," Norwegian University of Science and Technology Department of Electronics and Telecommunications, thesis, May 23, 2007.
- [5] R. Jain, "Channel Models A Tutorial," (jain@acm.org), February 21, 2007
- [6] N. M. Khan, "MODELING AND CHARACTERIZATION OF MULTIPATH FADING CHANNELS IN CELLULAR MOBILE COMMUNICATION SYSTEMS," SCHOOL OF ELECTRICAL ENGINEERING AND TELECOMMUNICATIONS THE UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES, March 2006.
- [7] N. T. Awon, Md. Mizanur Rahman, "Effect of AWGN & Fading (Rayleigh & Rician) channels on BER performance of a WiMAX communication System," International Journal of Computer Science and Information Security (IJCSIS), August 2012.
- [8] J. Andrusenko, Jack Burbank, Jon Ward, "Modeling and Simulation for RF Propagation," the Johns Hopkins University, 1 December 2009.
- [9] S. R. SAUNDERS, "ANTENNAS AND PROPAGATION FOR WIRELESS COMMUNICATION SYSTEMS," Second Edition, UNIVERSITY OF SURREY, GUILDFORD, UK, ALEJANDRO ARAGON-ZAVALA, MEXICO.
- [10] H. Yang, S. Kim, and S. Chun, "Bearing Accuracy Improvement of the Amplitude Comparison Direction Finding Equipment by Analyzing the Error," International Journal of Communication Networks and Information Security (IJCNIS), Vol. 7, No. 2, August 2015.
- [11] P. P. Acharjya, A. Sinha, S. Sarkar, S. Dey, S. Ghosh, "A NEW APPROACH OF WATERSHED ALGORITHM USING

DISTANCE TRANSFORM APPLIED TO IMAGE SEGMENTATION," International Journal of Innovative Research in Computer and Communication Engineering Vol. 1, Issue 2, Santiniketan, India, April 2013.

- [12] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, "Digital Image Processing, 4th Edition", Prentice Hall, 2017.

پاورقی ها:

- ¹ Direction Finding
- ² Amplitude Comparison Direction Finding
- ³ Linear frequency modulation
- ⁴ Short-Time Fourier Transform (STFT)
- ⁵ Sobel
- ⁶ Time of Arrival (TOA)
- ⁷ signal detection
- ⁸ emitter sorting
- ⁹ classify radar signals
- ¹⁰ Best initial sorting parameter
- ¹¹ camouflage
- ¹² Electronic Counter measure
- ¹³ Linear Frequency Modulation
- ¹⁴ constructively
- ¹⁵ destructively
- ¹⁶ Shadow
- ¹⁷ Line-of-sight multipath propagation
- ¹⁸ Direct path
- ¹⁹ Rician
- ²⁰ Delay Line Model
- ²¹ Delay spread
- ²² dispersive channel
- ²³ root-mean-square
- ²⁴ discrete number of impulses
- ²⁵ indoor cells
- ²⁶ Open Area
- ²⁷ Suburban Macrocell
- ²⁸ Urban Macrocell
- ²⁹ Hilly area Macrocell
- ³⁰ Diagonal
- ³¹ Sobel operator technique
- ³² maximum
- ³³ Average
- ³⁴ median
- ³⁵ Overshoot
- ³⁶ Time of Arrival
- ³⁷ Lookup table
- ³⁸ Sobel
- ³⁹ Prewitt
- ⁴⁰ Roberts
- ⁴¹ Laplacian of Gaussian (LoG)
- ⁴² Zero crossings
- ⁴³ canny
- ⁴⁴ SNR Low
- ⁴⁵ Half power Beam width