

# شبیه سازی گیرنده رادار MTI دیده بان هوایی

حمید سعیدی سورک

محمد رضا اخوان صراف

حمید میرمحمد صادقی

پژوهشکده برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی اصفهان

**چکیده:** با پیشرفت فناوری و در نتیجه پیچیده تر شدن سیستمهای رادار، امکان بررسی رادارها به صورت تحلیلی بسیار مشکل گردیده و بررسی عملکرد آنها بوسیله برنامه های شبیه ساز مفید می باشد. در این مقاله گیرنده رادار MTI دیده بان هوایی مستقر بر روی زمین در باند L شبیه سازی شده است. لذا ابتدا سیگنال رادار در باند پایه شبیه سازی شده و سپس اثر طبقات مختلف گیرنده روی سیگنال تولیدی اعمال شده است. اعمال اثر نویز فاز، استفاده از تکنیکهای Staggered PRF و فشردگی سازی پالس و استفاده از CA-CFAR از ویژگیهای این شبیه ساز می باشد.

واژه های کلیدی: شبیه سازی گیرنده رادار MTI - کلاتر - نویز فاز - فشردگی سازی پالس - CFAR.

شبیه سازی کامپیوتری آن، می توان عملکرد آن را برای شرایط مختلف محیطی بررسی کرد. در بخش دوم اصول شبیه سازی سیگنال باند پایه رادار MTI<sup>1</sup> بیان شده و اجزاء تشکیل دهنده سیگنال بازگشتی شامل کلاتر<sup>2</sup>، هدف، نویز داخلی سیستم و نویز فاز<sup>3</sup> مورد بررسی قرار می گیرند. برای بهبود تفکیک در جهت برد و افزایش سرعت کور اهداف، در فرستنده به ترتیب از تکنیک های فشردگی سازی پالس بروش مدولاسیون کد شده فاز<sup>4</sup> و Staggered PRF استفاده شده است. در بخش سوم برای شبیه سازی گیرنده، اثر اجزاء مختلف آن روی سیگنال تولیدی اعمال می گردد. نهایتاً در بخشهای چهارم و پنجم نتایج حاصل از یک شبیه سازی بررسی شده و جمع بندی نهایی از بحث صورت خواهد گرفت.

## ۲- اصول شبیه سازی سیگنال باند پایه رادار

### MTI

بطور کلی برای شبیه سازی رادار، ابتدا سیگنال رادار شبیه سازی شده و سپس تأثیر طبقات مختلف گیرنده روی سیگنال دریافتی ملحوظ گردد. جهت کاهش نرخ نمونه برداری لازم است که سیگنال در باند پایه شبیه سازی شده و همچنین برای راحتی، به جای سیگنالهای حقیقی فرم مختلط در نظر گرفته می شود [۱].

### ۱- مقدمه

امروزه رادار در زمینه های مختلف نظامی، اقتصادی و علمی دارای کاربردهای مهم و حیاتی در یک کشور می باشد. با بدست آمدن اطلاعات تجربی کاملتر از مشخصات محیطی رادارها، سیستمهای رادار روز به روز در حال تکامل و پیچیده تر شدن می باشند. این مسئله باعث می شود که بررسی سیستمهای رادار بصورت تحلیلی بسیار مشکل گردیده و لذا استفاده از برنامه های شبیه ساز می تواند برای تحلیل و بررسی عملکرد اینگونه سیستمها بسیار مفید باشد. با مدلسازی یک سیستم رادار و یا قسمتی از آن و سپس

<sup>1</sup> - Moving Target Indicator

<sup>2</sup> - Clutter

<sup>3</sup> - Phase noise

<sup>4</sup> - Phase code modulation (PCM)

با توجه به معادله رادار ، سیگنال مختلط باند پایه دریافتی برای یک هدف نقطه‌ای متحرک و رادار گردان بصورت زیر است [۱]:

$$\mu_R(t) = \mu_T(t - \tau(t)) e^{-j2\pi f_c \tau(t)} \cdot \frac{G(t)\lambda}{(4\pi)^{3/2} r^2(t)} \cdot \gamma(t) \quad (1)$$

که  $\mu_R(t)$  سیگنال مختلط ارسالی ،  $\mu_T(t)$  سیگنال مختلط دریافتی ،  $G$  بهره جهت آنتن ،  $\lambda$  طول موج ،  $\tau$  تأخیر رفت و برگشت ،  $r$  فاصله هدف ،  $f_c$  فرکانس حامل و  $\gamma$  ضریب بازگشت مختلط است که نشان دهنده تغییرات دامنه و فاز سیگنال پس از برخورد به یک جسم است. محاسبه عبارت فوق برای تعداد بیشماری منعکس کننده<sup>۱</sup> عملاً غیر ممکن خواهد بود. لذا باید حتی الامکان با فرضهای معقول آنرا ساده نمود. اگر تعداد زیادی منعکس کننده داشته باشیم ، سیگنال دریافتی که مجموع سیگنال بازگشتی از هر کدام از منعکس کننده‌ها خواهد بود ، با استفاده از رابطه (۱) برای یک فاصله زمانی کوچک بصورت [۱]:

$$\mu_R(t) = \sum_K V_k \cdot \mu_T(t - \tau_k) \cdot e^{j2\pi v_k t} \quad (2)$$

است که  $v_k$  شیفیت دوپلر هدف و  $V_k \triangleq \frac{G_k \cdot \lambda}{(4\pi)^2 \cdot r_k^2} \cdot \gamma_k$  می

باشند. از آنجا که تعداد زیادی منعکس کننده با فواصل نامساوی داریم رابطه (۲) هنوز قابل پیاده سازی نیست ، لذا سلولهایی با فواصل مساوی در جهت  $\tau$  (تأخیر) ،  $v$  (شیفیت دوپلر) ،  $\theta$  (زاویه ارتفاع) و  $\phi$  (زاویه سمت) تشکیل داده و منعکس کننده های موجود در یک سلول را با هم جمع فازوری می کنیم تا یک فازور برای هر سلول بدست آید. اگر  $\gamma_{glmn}$  ضریب بازگشت مختلط در هر سلول  $glmn$  ،  $\alpha_m \triangleq \frac{\lambda \cdot G_D}{(4\pi)^{3/2} \cdot r_m^2}$  ، و  $u(\theta, \phi)$  شدت

تثعشع آنتن در جهت  $(\theta, \phi)$  می باشد. با تعریف :

$$\gamma_{mn}(\phi) = \sum_g \sum_L \gamma_{glmn} \cdot u(\theta_g, \phi_l - \phi) \quad (3)$$

داریم :

$$\mu_R(\phi, t) = \sum_m \sum_n \gamma_{mn}(\phi) \cdot \mu_T(t - \tau_m) \cdot e^{j2\pi v_n t} \quad (4)$$

این رابطه برای رادار دیده‌بانی با پرتو پره ای<sup>۲</sup> صحیح بوده و بیانگر وزن دهی ضریب بازگشت مختلط توسط نماد آنتن<sup>۳</sup> می باشد [۱]. سیگنالهای بازگشتی به رادار اعم از کلاتر و هدف مطابق رابطه فوق به صورت جداگانه محاسبه می گردند.

بطور کلی اجزای تشکیل دهنده سیگنال رادار شامل سیگنال بازگشتی از کلاتر ، بازگشتی از هدف ( یا اهداف ) و سیگنال ناشی از نویز داخلی سیستم هستند. برای تولید سیگنال در باند پایه ، باید هرکدام را به صورت جداگانه تولید و حاصل را با هم جمع کنیم. اگر مدت زمانی که هدف در دید رادار قرار می گیرد  $I$  پالس برگشتی از آن داشته باشیم و تعداد نمونه ها در هر فاصله تکرار پالس<sup>۴</sup>  $K$  ،  $(PRI)$  ، نمونه باشد هدف از شبیه سازی سیگنال باند پایه تولید یک ماتریس با ابعاد  $K \times I$  است که سطر ها بیانگر تعداد نمونه ها در سلول برد  $k$ ام و ستون بیانگر تعداد نمونه‌ها در  $PRI$  شماره  $k$ ام است. در ادامه اجزای سیگنال دریافتی و نحوه تشکیل این ماتریس را شرح می دهیم.

## ۲-۱ سیگنال بازگشتی از کلاتر

کلاتر ، سیگنال برگشتی از منعکس کننده هایی غیر از هدف مانند زمین ، کوه ، دریا ، جنگل ، ابر و موانع دیگر است که بازتاب از زمین ، دریا و جنگل به کلاتر سطحی<sup>۵</sup> و بازتاب از باران و دیگر پدیده‌های اتمسفر و حتی بالداران کوچک به کلاتر حجمی<sup>۶</sup> موسوم است [۲،۳]. با توجه به اینکه معمولاً توان کلاتر بیشتر از توان نویز داخلی رادار است ، اغلب مشخصات آماری تداخل (که مجموع نویز داخلی سیستم به همراه کلاتر است) تحت الشعاع مشخصات آماری کلاتر قرار می گیرد. بنابراین برای مدل سازی تداخل ، بایستی به دنبال یک مدل مناسب برای کلاتر باشیم. در این مقاله برای سادگی ، کلاتر سطحی

<sup>2</sup> - Fan beam

<sup>3</sup> - Antenna pattern

<sup>4</sup> - Pulse Repetition Interval

<sup>5</sup> - Surface clutter

<sup>6</sup> - Volumetric clutter

<sup>1</sup> - Scatterer

غالب را زمین فرض نموده و کلاتر حجمی را باران (که به علت حرکتش مهم ارزیابی می شود) در نظر می گیریم.

#### ۱-۱-۲ کلاتر زمین

از آنجا که کلاتر زمین یک فرایند تصادفی است جهت تولید نمونه های کلاتر بایستی آمارگان آنها یعنی تابع توزیع دامنه ، فاز و چگالی طیف توان یا همبستگی بین نمونه ها معلوم باشد. در خصوص توزیع آماری دامنه کلاتر زمین اطلاعات مختلفی ارائه شده است. گروهی سعی در بدست آوردن توزیع آماری نمونه ها در بعد مکانی نموده اند و توزیع های گوناگونی مانند گوسی ، ویبول<sup>۱</sup> و لوگ نرمال<sup>۲</sup> [۳] پیشنهاد نموده اند. مطالعاتی دیگر در زمینه بدست آوردن توزیع آماری مربوط به یک سلول خاص انجام گرفته است. اگر سطح سلول راداری بزرگ باشد کلاتر دریافتی مجموع بینهایت سیگنال با توزیع فاز یکنواخت بین  $(0, 2\pi)$  و توزیع دامنه دلخواه بوده و بر طبق قضیه حد مرکزی خود دارای توزیع گوسی می باشد که با فرض توزیع یکنواخت فاز ، توزیع دامنه نمونه ها رابلی است [۴].

ارتباط بین بازتابهای متوالی از یک ناحیه مجزای خاص توسط تابع همبستگی یا معادل آن در میدان فرکانس یعنی چگالی طیف توان مشخص می گردد. برای چگالی طیف توان کلاتر زمین در سلول فاصله مورد نظر فرمهای گوسی و نمایی پیشنهاد شده است. اگر چه فرم نمایی همبستگی نمونه ها را به نحو دقیقتری بیان می کند [۵] ولی برای سادگی از فرم گوسی :

$$S(f) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_v} \cdot e^{-\left(\frac{f-f_0}{2\sigma_v}\right)^2} \quad (5)$$

با انحراف معیار زیر استفاده می کنیم [۳] :

$$\sigma_v = \frac{1}{63.4\lambda} \cdot W_v^{1.261} \quad (Hz) \quad (6)$$

که  $W_v$  ، سرعت باد بر حسب  $\left(\frac{m}{s}\right)$  می باشد. در این مقاله فرکانس مرکزی چگالی طیف کلاتر زمین صفر فرض

می شود اگر چه گفته شده مقدار آن در سطح جنگل ها دقیقاً صفر نیست [۳] لیکن جزئی بوده و قابل صرف نظر کردن است.

#### ۲-۱-۲ کلاتر باران

برای یک رادار دیده بانی که در باند L کار می کند از میان عوامل موثر در تولید کلاتر حجمی باران از اهمیت بیشتری برخوردار است [۳]. در مورد کلاتر باران نیز با استفاده از قضیه حد مرکزی می توان تغییرات آماری دامنه کلاتر را با توزیع رابلی توصیف نمود [۳]. تابع چگالی طیف توان کلاتر باران معمولاً توسط فرم گوسی بیان می شود. طیف سیگنال کلاتر باران توسط چهار پدیده مجزا توصیف می شود که این پدیده ها به ترتیب تغییر در سرعت باد با تغییر ارتفاع<sup>۳</sup> ، افزایش پهنا<sup>۴</sup> باند طیف به علت محدود بودن پهنا<sup>۴</sup> باند رادار<sup>۴</sup> ، تغییرات نوسانی سرعت باد<sup>۵</sup> و تفاوت در سرعت پایین آمدن قطرات باران به علت تفاوت در اندازه آنها<sup>۶</sup> می باشند. بدین ترتیب واریانس طیف برابر است با [۳] :

$$\sigma_v^2 = \frac{2}{\lambda} (\sigma_{shear}^2 + \sigma_{beam}^2 + \sigma_{Turb}^2 + \sigma_{fall}^2) \quad (Hz) \quad (7)$$

همچنین طیف توان کلاتر باران به علت حرکتش دارای فرکانس مرکزی غیر صفر بوده و برابر است با [۳] :

$$f_0 = 3.43 \cdot W_v \cdot f_c \quad (Hz) \quad (8)$$

#### ۲-۱-۳ افزایش پهنا<sup>۴</sup> باند کلاتر

پهنا<sup>۴</sup> باند طیف کلاتر بدلیل چرخش آنتن افزایش می یابد لذا واریانس طیف توان کلاتر با فرض چرخش آنتن بصورت [۳] :

$$\sigma_c^2 = \sigma_v^2 + \sigma_r^2 \quad (9)$$

است که  $\sigma_v$  ناشی از حرکت کلاتر به تنهایی و  $\sigma_r$  ناشی از چرخش آنتن بوده و برابر است با [۳] :

$$\sigma_r = 0.1 \frac{2 \cdot \phi^{\circ}}{\phi_{3dB}} \quad (Hz) \quad (10)$$

<sup>3</sup> - Wind shear

<sup>4</sup> - Beam broadening

<sup>5</sup> - Turbulence

<sup>6</sup> - Fall velocity distribution

<sup>1</sup> - Weibull

<sup>2</sup> - Log-Normal

که  $\phi^{\circ}$  سرعت چرخش آنتن برحسب درجه بر ثانیه و  $\phi_{3dB}$  ، پهناى بیم نماد آنتن در جهت سمت<sup>۱</sup> می‌باشد. در نتیجه برای کلاترهای سطحی و حجمی واریانس طیف مطابق رابطه (۹) اصلاح می‌شود.

از آنجا که فرکانس نوسان سازهای موجود در رادار همواره ثابت نیست ، لذا تغییرات ناخواسته‌ای به صورت پیوسته در این فرکانس وجود دارد. این تغییرات فرکانس در نمونه پالسهای متوالی دریافتی از یک سلول فاصله به صورت تغییر فاز تصادفی ظاهر شده (نویز فاز) و باعث افزایش پهناى طیف کلاتر خواهد شد. از آنجا که نویز فاز به فاز سیگنال برگشتی اضافه می‌شود می‌توان آن را تولید کرده و به فاز نمونه های کلاتر و هدف اضافه نمود. اگر فاز نوسان ساز را  $\phi(t)$  در نظر بگیریم ،  $\phi(t)$  یک فرایند تصادفی با توزیع گوسی با و میانگین صفر طیف گوسی است [۶]. نویز فاز ، تفاوت فاز نوسان ساز میان لحظه ارسال و دریافت می‌باشد یعنی :

$$\Delta\phi(t) = \phi(t) - \phi(t - t_d) \quad (11)$$

در نتیجه [۷] :

$$S_{\Delta\phi}(f) = S_{\phi}(f) \cdot [4 \sin^2 \frac{2\pi R f}{c}] \quad (12)$$

ذکر این نکته ضروری است که با فرض استفاده از تقویت کننده کلاستر<sup>۲</sup> در فرستنده میزان نویز فاز بسیار ناچیز است.

## ۲-۲ سیگنال بازگشتی از هدف ( یا اهداف )

اهداف مورد نظر جهت آشکار سازی در رادارهای MTI دیده بانی مستقر بر روی زمین ، هواپیما های جنگی می‌باشند. در این مقاله اهداف مورد نظر نقطه‌ای فرض می‌شوند ( یعنی ابعاد آنها در مقایسه با اندازه سلول کوچک است ). با توجه به اینکه هدف تنها یک نقطه از نماد سمت و ارتفاع را روشن می‌کند رابطه (۳) را می‌توان به صورت زیر نوشت

$$\gamma_{mn}(\phi) = \gamma_{Tmn} \cdot u_e(\theta) \cdot u_a(\phi_T - \phi) \quad (13)$$

که  $\theta_T, \phi_T$  به ترتیب زوایای هدف در جهت سمت و ارتفاع می‌باشند. اگر هدف در سلول  $m$  ام برد باشد توان متوسط  $\gamma_{Tmn}$  برابر سطح مقطع متوسط راداری هدف بوده و در غیر اینصورت برابر صفر است.

## ۳-۲ محاسبه سیگنال دریافتی برآیند

در یک رادار پالسی می‌توان سیگنال مختلط ارسالى رادار در باند پایه به صورت [۱]:

$$m_T(t) = \sum_i A_i \cdot \Pi\left(\frac{t - T_i}{\tau}\right) \cdot e^{j\phi_i} \quad (14)$$

است که در آن  $\Pi\left(\frac{t}{\tau}\right)$  پالس مستطیلی با پهناى  $\tau$  و دامنه واحد و  $A_i, T_i, \phi_i$  به ترتیب زمان ارسال ، دامنه و فاز پالس  $i$  ام می‌باشند. با در نظر گرفتن چنین سیگنال ارسالى ، رابطه سیگنال دریافتی به ازاء پالس  $i$  ام به صورت زیر درمی‌آید [۱]:

(۱۵)

$$m_R(\phi, T_i + t_k) = \sqrt{\frac{2P}{L}} \sum_m \sum_n \alpha_m \cdot \gamma_{mn}(\phi) \cdot \Pi\left(\frac{t_k - T_i}{\tau}\right) \cdot e^{j2\pi u_i T_i}$$

$P$  توان موج ارسالى ،  $L$  ضریب تضعیف توان و  $t_k$  زمان سپری شده از ارسال پالس  $i$  ام می‌باشد. با توجه به اینکه قیدی روی جمله  $T_i$  گذاشته نمی‌شود این عبارت برای سیستمهای با PRF ثابت و یا متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.  $k, m$  به ترتیب اندیس تفکیک و نمونه برداری در جهت برد بوده و فاصله تغییرات آنها به محدوده تغییرات مورد نظر بستگی دارد. مناسب است که فاصله تفکیک و نمونه برداری در جهت برد یکسان باشند [۱]. همچنین  $n$  اندیس فرکانس بوده و محدوده تغییرات آن با توجه به طیف کلاتر و هدف مشخص می‌شود.

برای تولید ماتریس های کلاتر زمین و باران با فرض توزیع دامنه رایلی ، ابتدا یک ماتریس شامل متغیرهای مختلط گوسی مستقل تولید شده و در هر سطر و ستون با معلوم بودن چگالی طیف توان (که گوسی فرض می‌شود) قادر به شکل دهی طیف بردار کلاتر در راستای سمت و برد خواهیم بود [۸]. سپس با تولید و افزودن نویز فاز به فاز نمونه ها ، ماتریس کلاتر تولید می‌شود. سیگنال هدف نیز

<sup>1</sup> - Azimuth

<sup>2</sup> - Klystron

$$T_s = T_{antenna} + T_0(NF_r - 1) \quad (17)$$

که در آن  $T_{antenna}$  دمای نویز ورودی آنتن و  $T_0$  برابر  $290^{\circ}K$  و  $NF_r$  عدد نویز گیرنده می باشد. نویز سیستم نویز سفید گوسی فیلتر شده با پهنای باند  $B$  است که توان آن از رابطه فوق الذکر قابل محاسبه می باشد. برای شبیه سازی سیگنال در سلولهای فاصله با پریود  $T_p = \frac{1}{PRF}$  از این نویز نمونه برداری می گردد و چون  $T_p \gg 1/B$  است، بنابراین نمونه های حاصل از یکدیگر مستقل شده و فرایند گسسته زمان حاصل یک فرایند گوسی است.

### ۳-۱ اعمال اثر طبقات مختلف روی سیگنال

پس از دریافت سیگنال بازگشتی توسط آنتن، این سیگنال در بخشهای مختلف RF و IF تقویت شده که اثر این تقویت کننده ها به صورت بهره و عدد نویز تقویت کننده به سیگنال اعمال می گردند. همچنین به منظور جلوگیری از اشباع گیرنده در اثر پالسهای برگشتی مربوط به فواصل نزدیک از STC<sup>۱</sup> استفاده می شود. محدود کننده<sup>۲</sup> نیز جهت کاهش احتمال آژیر غلط و محافظت گیرنده مورد استفاده قرار می گیرد. پس باید اثر این واحدها نیز روی سیگنال دریافتی با دقت لحاظ شود. همچنین در گیرنده، بلوکهای آشکار ساز فاز،  $A/D$ ، دکودر (در صورت فشرده سازی پالس) فیلتر MTI، آشکارساز و انتگرالگیر نیز روی سیگنال دریافتی تأثیر می گذارند که دقت در اعمال اثر آنها ضروری است [۸].

### ۴- نتایج شبیه سازی

هدف از شبیه سازی در این مقاله مشاهده سیگنال خروجی هر یک از بلوکها برای یک رادار دور برد است که در باند  $L$  کار می کند (شکل (۱)). علاوه بر این برنامه دارای خروجیهای دیگری نظیر متوسط سطح مقطع رادیویی کلاتر سطحی وزن داده شده توسط نماد آنتن برحسب برد، مشخصات طیف فرکانس کلاتر سطحی و حجمی، دامنه سیگنال ورودی و خروجی هر یک از طبقات مختلف

با توجه به فاصله، سرعت و ارتفاع هدف تولید شده و به سطرهای خاص ماتریس کلاتر با توجه به فاصله هدف اضافه می شوند.

### ۲-۴ استفاده از تکنیک Staggered PRF [۲]

یکی از مسائل مهم در رادار مقابله با سرعت کور می باشد. ابتدائی ترین روش برای افزایش سرعت کور افزایش PRF است اما این عمل باعث کاهش برد رادار خواهد شد. اگر در یک رادار، خواسته ما سرعت کور زیاد به همراه برد بلند می باشد با PRF ثابت به مشکل برمی خوریم. یکی از روشهای حل این مسئله استفاده از تکنیک Staggered PRF می باشد. برای مثال فرض کنید از دو تا PRF استفاده کنیم. در این حالت سرعت کور زمانی اتفاق می افتد که ضریب صحیحی از PRF اول با ضریب صحیحی از PRF دوم برابر گردد یعنی  $n_1.PRF_1 = n_2.PRF_2$ .

### ۲-۵ فشرده سازی پالس [۲]

از مزایای داشتن عرض پالس کوتاه، دقت تفکیک در جهت برد و کاهش کلاتر و از مهمترین عیبهای آن توان پیک بالا جهت ارسال می باشد. فشرده سازی پالس روشی برای استفاده از مزایای پالس کوتاه و در عین حال نداشتن عیوب آن است. یکی از روشهای فشرده سازی پالس، مدولاسیون کد شده فاز است که کل عرض پالس به  $N$  زیرپالس با عرض  $\tau$  تقسیم شده و فاز هر زیرپالس  $0$  یا  $\pi$  انتخاب می گردد. [۲].

### ۲-۶ سیگنال ناشی از نویز سیستم

اکنون مسئله بدست آوردن سیگنال دریافتی رادار منهای نویز پایان یافته و برای تکمیل آن باید صرفاً نمونه های نویز را به آن اضافه کرد. توان نویز را می توان از رابطه زیر محاسبه نمود [۹]:

$$P_n = KT_s B \quad (16)$$

که در آن  $K$  ثابت بولتزمن،  $B$  پهنای باند گیرنده رادار و  $T_s$  دمای معادل کل نویز می باشد. از رابطه زیر

محاسبه می شود:

<sup>1</sup> - Sensitivity Time Control

<sup>2</sup> - Limiter

گیرنده برحسب برد می‌باشد. شکل (۲) نماد سه بعدی آنتن را نشان می‌دهد که پهنای بزم در جهت سمت و ارتفاع به ترتیب ۲ و ۱۷ درجه است. پوش سیگنال شبیه‌سازی شده در باند پایه برای یک رادار MTI دیده‌بانی با PRF متوسط  $408.2 \text{ Hz}$  و پهنای پالس  $6.5 \mu\text{sec}$  (که برد می‌نیم و ماکزیمم آن به ترتیب  $15 \text{ km}$  و  $300 \text{ km}$  است و پهنای باند کلاتر سطحی و حجمی نسبت به PRF به ترتیب  $0.03$  ،  $0.3$  و فرکانس مرکزی آنها به ترتیب  $0$  ،  $0.2$  است) را در یک PRF نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۳) ، پوش سیگنال دریافتی با فاصله نسبت عکس دارد به عبارتی ، بازگشت از اجسام نزدیک ، قویتر از بازتاب اجسام دور است لذا با استفاده از STC این اثر نامطلوب را حذف می‌کنیم. در شکل (۴) ، خروجی آشکارساز پوش قبل از مقایسه با سطح آستانه ثابت بین فاصله  $50 \text{ km}$  تا  $150 \text{ km}$  رسم شده که حضور یک هدف با فرکانس دوپلر  $2300 \text{ Hz}$  و سطح مقطع راداری  $5 \text{ m}^2$  در فاصله  $112 \text{ km}$  کاملاً مشخص است.

برای افزایش سرعت کور از تکنیک Staggered PRF استفاده می‌کنیم. در این حالت با استفاده از دو فرکانس  $400 \text{ Hz}$  و  $416.7 \text{ Hz}$  اولین سرعت کور معادل با فرکانس دوپلر  $10 \text{ KHz}$  خواهد بود. شکل (۵) خروجی آشکارساز پوش را برای یک هدف در فرکانس دوپلر معادل با  $2041 \text{ Hz}$  (که در حالت  $408.2 \text{ Hz}$  حذف می‌شد) در همان مکان قبلی نشان می‌دهد.

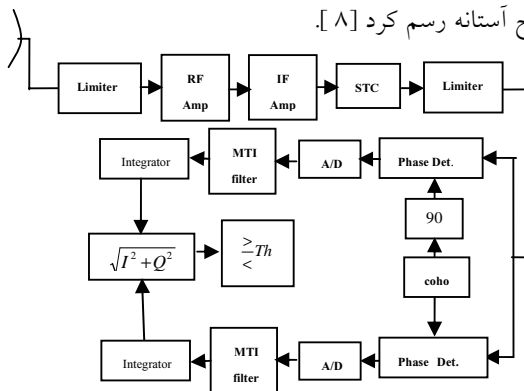
برای افزایش تفکیک در جهت برد از روش مدولاسیون کد شده فاز استفاده می‌کنیم. در این حالت از کد بارکر ۱۳ تایی استفاده نموده و لذا عرض پالس از  $6.5 \mu\text{sec}$  به  $0.5 \mu\text{sec}$  کاهش می‌یابد. در نتیجه تفکیک در جهت برد به  $75$  متر می‌رسد. شکل (۶) خروجی آشکارساز پوش را برای  $2$  هدف کنار هم با  $300$  متر فاصله نشان می‌دهد.

تثبیت نرخ آژیر غلط<sup>۱</sup> (CFAR) در رادار و ارائه یک احتمال آژیر غلط خوب که با تغییر در توان کلاتر تغییر نکند از مهمترین اهداف پردازشگر رادار است. یکی از

پردازشگرهای مناسب جهت CA-CAFR<sup>۲</sup> است که برای محیط همگن (که سلولهای کناری دارای توزیع یکسان و مستقل باشند) بهینه است [۱۰]. این پردازشگر با تخمین توان نویز از روی سلولهای کناری ، سطح آستانه را ، مطابق شکل (۷) ، به طور وقتی تغییر می‌دهد. در شکل (۸) ، خروجی این پردازشگر را با فرض ورودی مطابق شکل (۵) نشان می‌دهد.

## ۵- نتیجه گیری

با پیشرفت رادارها ، شبیه سازی این سیستمها جهت تحلیل آنها ضروری به نظر می‌رسد. در این مقاله شبیه سازی یک رادار MTI دیده بان هوایی مستقر بر روی زمین مورد بررسی قرار گرفت. هدف از شبیه سازی ، مشاهده سیگنالهای خروجی هر یک از بلوکها در شرایط مختلف محیط بوده و در ادامه جهت تثبیت نرخ آژیر غلط از پردازشگر CA-CAFR استفاده شد. جهت مقابله با جمرهای فریبنده<sup>۳</sup> و افزایش سرعت کور ، شبیه ساز قادر به استفاده از تکنیک Staggered PRF بوده ، همچنین برای افزایش تفکیک در جهت برد ، شبیه ساز می‌تواند از تکنیک فشرده سازی پالس به روش مدولاسیون کد شده فاز استفاده کند. لازم به ذکر است که جهت بررسی کارایی رادار می‌توان احتمال آشکارسازی و آژیر غلط را بر حسب سطح آستانه رسم کرد [۸].

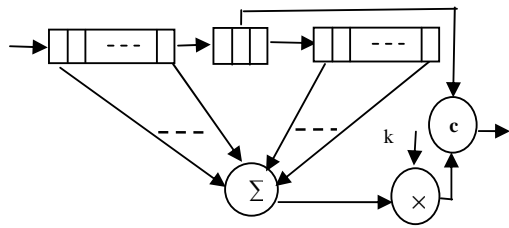


شکل (۱) بلوک دیاگرام سیستم شبیه سازی شده

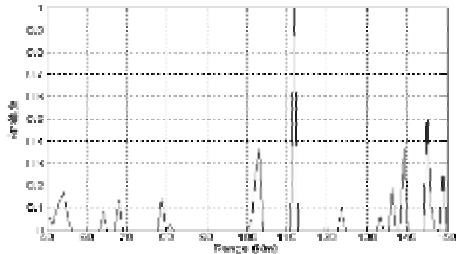
<sup>۲</sup> - Cell-Averaging CFAR

<sup>۳</sup> - Deception jammer

<sup>۱</sup> - Constant false alarm rate



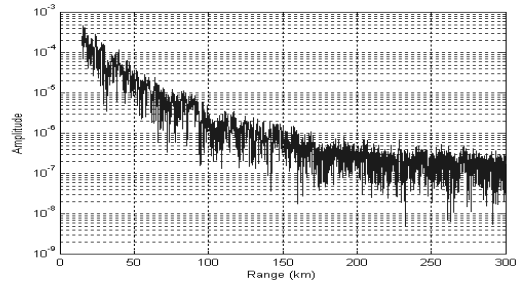
شکل (۷) تثبیت نرخ آژیر غلط بروش CA-CAFR



شکل (۸) سیگنال خروجی CA-CFAR



شکل (۲) نماد سه بعدی آنتن



شکل (۳) سیگنال شبیه سازی شده در باند پایه

## ۶-مراجع

[۱]-Mitchel R.I. , Radar Signal Simulation , Artech House , 1976.

[۲]-Skolnik M.I. , Introduction to Radar Systems , New York , McGraw-Hill, 2001.

[۳]-scheleher D.C. , MTI and Pulsed Doppler Radar, Artech House , 1991.

[۴]-تابان ، محمد رضا ، آشکارسازی سیگنالهای راداری در حالت غیر گوسی ، رساله دکترای مهندسی برق ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، آبانماه ۱۳۷۷.

[۵]- Sarno G.C. , " Modeling of radar clutter " , IEEE , 6/1-6/9.

[۶]-Jonggil L. , Ernest G.B. , "Phase noise effects on turbulent weather radar spectrum " , IEEE , pp.345-348 , 1990.

[۷]-Mervin C.B. , Mickie P.B. , "Range correlation effects in radars" , IEEE , pp.212-216 , 1993.

[۸]-چینی ، احمد شبیه سازی سیستم رادار ، پایان نامه کارشناسی

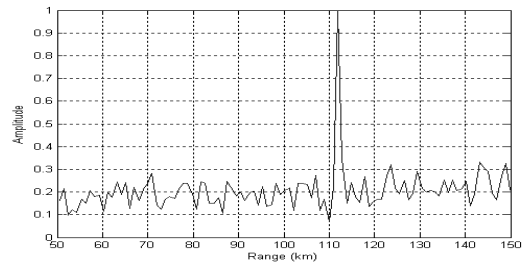
ارشد مهندسی برق ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، فروردین ۱۳۶۸.

[۹] شیخی ، ع. ، زمانی ، ع. "شبیه سازی سیگنال باند پایه رادارهای

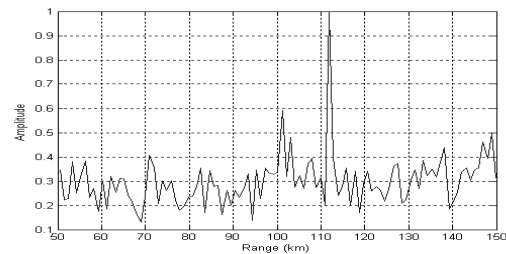
مراقبت زمینی " ، دهمین کنفرانس مهندسی برق ایران ، دانشگاه تبریز ، جلد دوم ، ۱۳۸۱.

[۱۰]-ابراهیمیان ، زیبا ، پیاده سازی و بررسی چند زوش مدرن برای

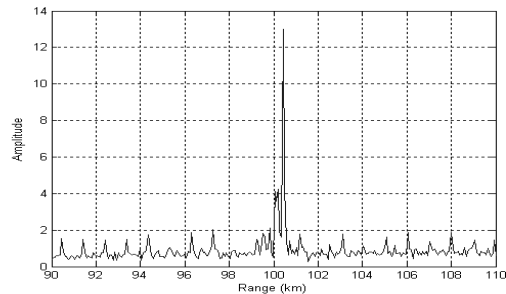
حصول CAFR در رادار ، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق ، دانشگاه صنعتی اصفهان ، ۱۳۷۸.



شکل (۴) سیگنال خروجی آشکارساز پوش



شکل (۵) سیگنال خروجی آشکارساز در حالت Staggered PRF



شکل (۶) سیگنال خروجی آشکارساز پوش در حالت PCM