تحلیل و شبیه سازی نقاط میدان و اعوجاج جبهه فاز برای جمینگ چشم متعامد در منابع منسجم دوگانه

سید محمد علوی،محمد حسین امیری، فرامرز کیامقدم

دانشگاه جامع امام حسین(ع)

مسئول مکاتبات: فرامرز کیامقدم

چکیده

طبیعت ردیابی رادار مونو پالس، به موجب موجود بودن اطلاعات خطای زاویه در هر پالس رادار، باعث می شود که ذاتا جمینگ بر روی آنها دشوار شود. برخی از تکنیک های جمینگ زاویه ای مونو پالس ، مانند دامنه، جمر تصویر (image jamming) و جمر پلاریزاسیون متقاطع (cross polarization jamming)، برای بهره برداری از نقاط ضعف در اجرای رادار مونو پالس طراحی شده است. دیگر تکنیک های جمر ، مانند دوبینی (cross-eye) ، عوارض زمین و یا بازتاب از زمین ، و جمر چشمک زن و یا صورت بندی شده (blinking or formation jamming) ، برای حمله به نقاط ضعف اساسی برای تمام سیستم های ردیابی مونو پالس طراحی شده است. که در تمامی آنها ناچاریم تغییراتی در حوزه های میدانی ایجاد نمائیم، در این مقاله این عملیات را به گونه‌ای هوشمندانه تحلیل و شبیه سازی نمودیم تا بتوانیم در سیستم‌های عملیاتی آتی بصورت بهینه و هوشمندانه از مهم‌ترین و با ارزش‌ترین این تکنیک‌ها یعنی چشم متعامد که مبتنی بر تغییرات جبهه موج می‌باشد، بهره برداری عملیاتی انجام دهیم.

کلمات کلیدی: رادارهای مونوپالس ، جمینگ ، چشم متعامد ، قطبش سیگنال، جبهه موج

مقدمه

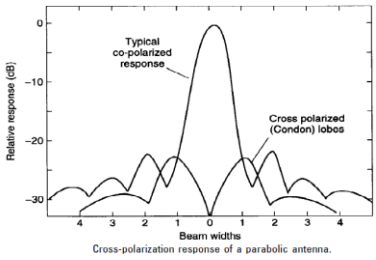
به طور کلی، حمله به نقاط ضعف اساسی به جای تکیه بر نقاط ضعف طراحی بهتر است. بهره برداری از نقاط ضعف طراحی به معنی یک دانش دقیق از طراحی رادار قربانی است و همیشه در معرض اصلاح طراحی برای اصلاح آن نقاط ضعف می‌باشیم . به عنوان مثال، جمر تصویر، یا جمر در فرکانس تصویر رادار مونو پالس ، به این واقعیت بستگی دارد که زاویه فاز در IF بین دو سیگنال از فرکانس تصویر معکوس، می تواند در IF ظاهر شود، اگر دو سیگنال در پاسخ فرکانسی نرمال از گیرنده باشد. در یک سیستم مونو پالس مقایسه- فاز(phase-comparison) ، معکوس پلاریته خطا، در صورتی که قدرت جمر بیش از قدرت سیگنال باشد، باعث می شود که آنتن به دور از هدف هدایت می شود. اگر رادار مونو پالس با یک فیلتر رد تصویر و یا میکسر مجهز شده باشد، این شکل از جمر بی اثر شده و از این رو می تواند به عنوان یک روش جمر قابل اعتماد در نظر گرفته نمی شود.

مواد و روش:

جمینگ پلاریزاسیون متقاطع (Cross-polarization jamming) سوء استفاده از این واقعیت است که برخی از رادارهای مونو پالس اطلاعات خطا-زاویه (angle-error) را اشتباه دریافت می‌کنند، زمانی که سیگنال دریافتی (جمینگ) با پلاریزاسیون متعامد با توجه به قطبش آنتن رادار دریافت می شود. در این روش به طور کلی ضعف طراحی همراه با نوع-بازتابنده (reflector-type) آنتن مورد بهره برداری قرار می‌گیرد که پاسخ به سیگنال های قطبی متقابل (cross-polarized) (به نام لوب کاندون (Condon lobes)) از پاسخ قطبش عادی به طور قابل توجهی متفاوت است. این وضعیت در مثالی که در آن نتیجه پاسخ تفکیک کننده (discriminator) زاویه-خطا، سیگنال قطبش متقابل است که در واقع معکوس پاسخ سیگنال قطبش معمولی می‌باشد نشان داده شده است. این باعث می شود که آنتن به دور از سیگنال جمر قطبش متقابل (cross-polarized) و نه از سوی یک سیگنال با قطبش نرمال هدایت می شود. مقدار پاسخ قطبش متقابل به طور قابل توجهی از پاسخ قطبش طبیعی کاهش می یابد. داده ها بر روی آنتن های سهموی نشان می دهد که پاسخ قطبش متقابل با توجه به پاسخ قطبش طبیعی ۱۵ تا ۳۰ دسی بل کاهش می یابد ، در حالی که داده های قابل مقایسه برای یک لنز هایپربولوید (hyperboloid) کاهش ۳۰ تا ۴۵ دسی بل را نشان می دهد . این نتایج در یک نیازمندی که نسبت قدرت جمر قطبش متقابل به قدرت سیگنال هدف حداقل ۲۰ دسی بل ، و ترجیحا در اندازه‌های ۳۰ تا ۴۰ دسی بل برای جمر قطبش متقابل موثر است می‌باشد.

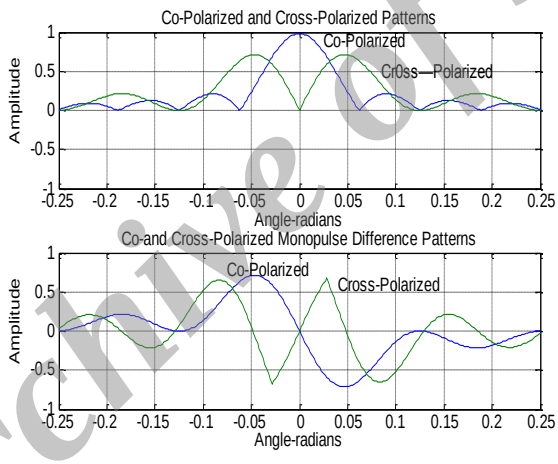
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱: پاسخ قطبش متقابل آنتن سهموی

علاوه بر این، هر گونه انحراف در قطبش سیگنال جمینگ که دقیقا سیگنال قطبش متقاطع در یک جزء با قطبش نرمال است را نتیجه می‌دهد. این جزء قطبش نرمال در اندازه‌های -dB۴۱.۲ برای چرخش ۰.۵ درجه قطبش، -dB۳۵.۲ برای چرخش ۱ درجه، و -29.1 dBبرای ۲ درجه انحراف از تعامد می-باشد. اگر اجزاء قطبش نرمال (که پاسخ کامل دریافت می کند) بیشتر از پاسخ قطبش متقاطع (که بسیار ضعیف شده است) باشد، سپس سیگنال جمینگ به عنوان یک فانوس دریایی به جای جمر عمل می کند و هیچ نتیجه ای از این عملیات عاید ما نخواهد شد. بنابراین، تعامد مورد نیاز بطور سختگیرانه‌ای برای سیگنال های جمینگ قطبش متقاطع با الزامات عمومی مثلا ۵ ± درجه، که به طور معمول با -dB۲۱.۲ پاسخ قطبش نرمال مطابقت دارد را تعیین کرد.
به عنوان مثال استفاده از این واقعیت که الگوی آنتن قطبش متقاطع با ۴۵ درجه آزادی از الگوی هم پلاریزاسیون (copolarized) ، برای سیگنال های هم پلاریزاسیون شده و قطبش متقاطع را شبیه سازی می‌کنیم.



شکل ۲: قطبش متقاطع سیگنال های هم پلاریزاسیون شده

جمینگ قطبش متقاطع را می توان با به کارگیری یک آنتن رادار که حساس به سیگنال های جمینگ قطبش متقاطع نیست، شکست داد. نمونه هایی از این نوع آنتن، آنتن‌های آرایه‌ای مسطح صفحه تخت و آنتن های معمولی که از یک صفحه قطبش برای جلوگیری از ورود مولفه قطبش متقاطع استفاده می کنند، می‌باشد. از سوی دیگر ، بسیاری از رادارها، از ریدوم‌ها استفاده می‌کنند، که تمایل به تولید اجزای قطبش متقاطع بالا ، ساخت آنها نیز به جمینگ قطبش متقاطع حساس است . یک رویکرد اساسی تر به جمینگ رادار مونو پالس ، یا به طور کلی ، هر رادار ردیابی زاویه‌ای از جمله انواع لوبینگ متوالی، در استفاده از منابع جمینگ فضایی توزیعی[1] است. از جمله ویژگی های مراحل جمینگ فضایی توزیعی این است که می تواند به نحوی کوهرنت یا غیرکوهرنت باشد. منابع جمینگ کوهرنت این مفهوم را می‌رسانند که رابطه قطعی یا هماهنگ بین مراحل جمرهای متعدد وجود د ارد، در حالی که منابع جمینگ نامنسجم این مفهوم را می‌رسانند که یک رابطه تصادفی است. جمرهای منسجم ویژگی غیر معمول است، که تمرکز توان ظاهری جمرها در یک جهت می تواند کذب باشد که در خارج از زاویه فضایی حاوی جمر ، در حالی که تمرکز توان برای جمرهای نامنسجم همیشه باید در این زاویه فضایی کاذب باشد. هنگامی که منابع جمینگ به یک پلت فرم واحد (مثل هواپیما یا کشتی) محدود است، زاویه های فضایی لزوما کوچک توسط جمر بسط یافته است و جمینگ منسجم برای تولید یک خطای بزرگ زاویه ای لازم است. از سوی دیگر ، اگر منابع جمینگ بر روی چندین پلت فرم فضایی پراکنده واقع شوند، و سپس زاویه فضایی

1 - spatially dispersed jamming

Archive of SID
www.SID.ir

حاوی جمرهای بزرگ و جمینگ های نامنسجم بسط یافته باشد، می تواند برای تولید خطاهای بزرگ زاویه ای مورد استفاده قرار گیرد. وقتی جمرهای فضایی توزیعی استفاده می شوند، فقط برای رهگیری پرتو اصلی از رادار ردیابی موثر هستند.

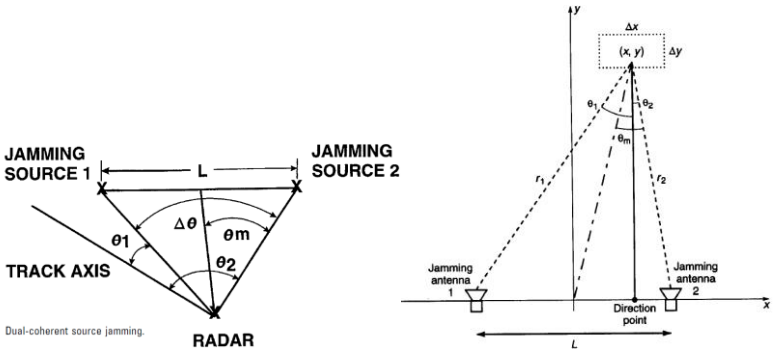
جمینگ یک رادار ردیابی بوسیله دو جمر فضایی توزیعی نامنسجم جدا از هم که در لوب اصلی پهنای بیم رادار واقع شده است را در نظر بگیرید. تحت این فرض که مجزاگر[2] زاویه-خطا رادار ردیابی یک مشخصه خطی است ، می شود نشان داد که خطا در ردیابی زاویه ای (Θe) از نقطه میانی از منابع توسط ($\Theta e = \Delta\Theta / 2(\alpha^2+1)/(\alpha^2-1)$.) داده شده است، که در آن α نسبت دامنه ولتاژ نسبی دو جمر و $\Delta\Theta = L \cos\psi / R$ با L جدایی جمر ، R محدوده بین رادار ردیابی ونقطه میانی خط بین جمرها ، و ۱ ، ۰ زاویه بین محور نقطه گذاری[3] رادار و عمود بر نقطه میانی خط بین دو جمر می‌باشد. این رابطه نشان می دهد که اگر از منابع جمینگ نامنسجم دارای ارزش برابر باشد، رادار ردیابی را در نقطه میانی بین منابع ردیابی می‌کنیم. اگر یک منبع جمینگ قوی تر از دیگری است، آنتن رادار ردیابی مایل به هدف یابی در یک جهت است که نزدیک به منبع قوی تر است. یک شکل از جمینگ نامنسجم چند منبع است که به نام جمینگ فرم داده شده[4] شناخته می‌شود. با استفاده از این نوع جمینگ، دو یا چند هواپیما یا منابع جمینگ دیگر (به عنوان مثال، دکو یا چند منعکس کننده) در داخل پرتو رادار مونو پالس ردیابی در همان سلول محدوده واقع شده است. از منظر زوایا این تغییر جمر و جمینگهای مختلف که با تغییر قدرت سیگنال همراه خواهد بود، که پس از آن جهت قابل رویت از رسیدن سیگنال مرکب به جلو و عقب بین جمرها سرگردان خواهد شد. اگر سیگنال های جمینگ مرکب که سنکرون هستند به طور همزمان برسند (داخل سلول رنج رزولوشن) در رادار ردیابی و قدرت سیگنال به اندازه کافی قوی نسبت به پوسته اهدافی که در تیر رس جمر هستند را برمی‌گرداند، و سپس اهداف واقعی از ردیابی رادار پنهان خواهد شد. هنگامی که جدایی بین اهداف بیش از پهنای بیم رادار باشد، رادار می تواند هر دو هدف و جمری که دیگر جمر نیست و باید به آن فانوس دریایی گفت را ردیابی می کند. بنابراین، هماهنگی دقیق بین جمرهای متعدد نیازمند جمینگ فرم داده شده موفق است. نوع دیگری از جمینگ چند منبعی[5] نامنسجم، جمینگ چشمک زن[6] نامیده می شود. این روش تلاش می‌کند که به ردیابی پویا رادار ردیابی-زاویه حمله کند و از این رو ممکن است در برابر برخی از انواع رادار مونو پالس و همچنین سایر رادارهای ردیابی موثر باشد .

اساسا، این روش، جمینگ فضایی توزیعی، متعدد(چندگانه) را ، در یک زمان و یک میزان به جریان می‌اندازد است که در باند عبور زاویه ردیابی سروو (به عنوان مثال ، ۰.۱ هرتز تا ۱۰ هرتز) می‌باشد. مانند انتقال رادار ردیابی از یک منبع جمینگ به دیگری ، واکنش مرحله ای از زاویه ردیابی سروو آن برانگیخته می‌شود. اگر سروو زاویه ردیابی برای وضعیت میرای بحرانی[7] طراحی شده باشد ، در اینصورت آنتن رادار به نرمی بین منابع مختلف جمینگ با تحلیل زمان متناسب با معکوس پهنای باند سروو حرکت می کند. با این حال ، اگر ردیاب زاویه بیش از حد بالا باشد (طراحی بر اساس میرایی) ، سپس سروو در یک نرخ نزدیک به پهنای باند خود، به اختلال روزافزون برانگیخته می‌شود، که در نهایت قفل راداری شکسته می شود. برعکس، اگر سرعت چشمک زن بسیار بالاتر از پهنای باند سروو ردگیر زاویه باشد ، پس زاویه سروو تمایل خواهد داشت از سیگنال منابع مختلف جمینگ متوسط گیری کند ، در نتیجه در آنتن رادار، یک موقعیت که مربوط به مرکز قسمت عمده زاویه تشکیل جمر درون پاسخ لوب اصلی آنتن است در نظر گرفته می‌شود. پارامتر مهم در جمینگ چشمک زن، نسبت یا نرخ آن می‌باشد که منابع جمینگ هدایت و تغییر یافته باشد. نرخ بیش از حد بالا باعث می‌شود ردیابی رادار، از دیتاها متوسط گیری شود و تمایل برای به حداقل رساندن خطا در ردیابی است. نرخ بیش از حد کم اجازه می دهد تا ترکر یا ردیاب به دقت تعیین موقعیت زاویه ای هر یک از جمرها را انجام دهد. بهترین وضعیت نرخ این است که در اندازه های پهنای باند ردیابی سروو (به عنوان مثال ، ۰.۱ هرتز تا ۱۰ هرتز) باشد. با این حال ، این امر یک مشکل ساده برای جمر به منظور رسیدن به میزان مطلوب چشمک زن نیست. یک احتمال این است که برای تغییر سرعت چشمک زن بیش از رنج وسیعی از مقادیر ممکن تا حداکثر خطای ردیابی است که در جمر مشاهده می‌شود. این نوع جمینگ مشابه که برای جمینگ های جاروب صوتی علیه رادار اسکن مخروطی است. جمینگ منسجم بهترین روش است که از دو منبع هماهنگ[8] با فاصله بین لاین L درپیکربندی اینترفرومتری جدا شده، انجام می شود. در مثال که خواهم آورد، مشخص شده است که تفاوت الگوی Δ خطی تقریبا به اندازه ۳dB را در الگوی جمع مشخص می‌نماید. با استفاده از این تقریب ، زاویه های مونو پالس ردگیر ($\Theta 1$، $\Theta 2$) با دو منبع جمینگ منسجم اندازه گیری شده که توسط رابطه فوق داده شده است.

2 - discriminator
3 - pointing axis
4 - formation
5 - multiple-source
6 - blinking
7 - critically damped
8 - synchronized sources

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳ : جمینگ منبع منسجم دوگانه

$$\Delta_1 = km\theta_1\Sigma_1 \qquad (۱)$$
$$\Delta_2 = km\theta_2\Sigma_2$$

که در آن km ضریب مقیاس است. زاویه ردیابی (θi) تعیین شده ردگیر مونو پالس برابر است با

$$\theta_i = \frac{1}{km}\frac{\Delta}{\Sigma} = \frac{\Delta_1+\Delta_2}{\Sigma_1+\Sigma_2} = \frac{\theta_1\Sigma_1+\theta_2\Sigma_2}{\Sigma_1+\Sigma_2} \qquad (۲)$$

نسبت Σ2/Σ1 را می توان در شکل مختلط به صورت زیر نوشت:

$$\frac{\Sigma_2}{\Sigma_1} = ae^{j\emptyset} \qquad (۳)$$

که در آن a نسبت دامنه است و Φ فاز بین سیگنال های جمینگ از دو منبع جمینگ منسجم است.
زاویه ردیابی تعیین شده پس از آن می تواند به صورت زیر نوشته شود.

$$\theta_i = \frac{\theta_1+ae^{j\emptyset}\theta_2}{1+ae^{j\emptyset}} \qquad (۴)$$

توجه داشته باشید که در α=0 (منبع جمینگ با دو قطع کننده (shut-off)) θi = θ1 انتظار می رود.
پیمایش چند گانه (Multi-plying) دوره دوم توسط $\frac{(1+ae^{j\emptyset})}{(1+ae^{-j\emptyset})}$ و استفاده از نتایج فرمول اویلر (Euler's formulas) در

$$\theta_i = \theta_m - \frac{\Delta\theta}{2}\frac{1-2ja\sin\emptyset-a^2}{1+2a\sin\emptyset+a^2} \qquad (۵)$$

برای زاویه نشان داد. بخش حقیقی (۵) نشان می دهد زاویه ردیابی یک رادار مونو پالس با منبع جمینگ منسجم دوگانه را نشان می‌دهد.

$$R_e(R)_e(\theta_i) = \theta_m - \frac{\Delta\theta}{2}\frac{1-a^2}{1+2a\sin\emptyset+a^2} \qquad (۶)$$

بخش دوم نشان دهنده زاویه خطا (θ_{miss}) است، به طوری که فاصله خطا توسط

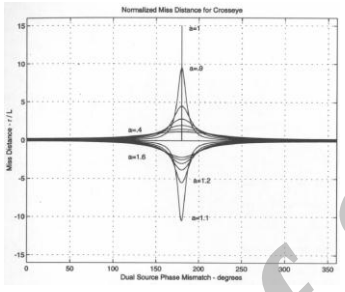
$$r_{miss} = R.\tan\left[\frac{\Delta\theta}{2}\frac{1+a^2}{1+2a\cos\emptyset+a^2}\right] \qquad (۷)$$

Archive of SID
www.SID.ir

با استفاده از تقریب زاویه کوچک به $\tan(0)$ و تصدیق آن با رابطه $\Delta\theta = L\ \cos\psi/R$ به یافتن فاصله خطا منتج می‌شود.

$$r_{miss} = \frac{L\cos\psi}{2}\frac{1-a^2}{1+2a\cos\emptyset+a^2} \qquad (۸)$$

که در آن L فاصله بین منابع جمینگ دوگانه منسجم است، α نسبت دامنه منابع جمینگ است، Φ اختلاف فاز بین منابع جمینگ است، و Ψ زاویه بین نقطه محوری رادار و عمود بر نقطه میانی خط بین جمرها است. به عنوان مثال با استفاده از نرم افزار متلب، (۸) را با فاز (Φ) به عنوان طول نقطه و فاصله خطا با فاصله منبع (L) به عنوان مختصاتی برای مقادیر نسبت دامنه جمینگ ۰.۴= α تا ۲.۵ نرمالیزه می‌کنیم. فرض کنید Ψ=0.باشد، مقادیری از α و Φ که در نتیجه حداکثر اثر جمینگ حاصل می‌شود را می توانید در شکل ۴ مشاهده نمائید.



شکل ۴: حداکثر اثر جمینگ برای مقادیری از α و Φ

بینش قابل توجهی برای شرایط حداکثر اثر جمینگ را می توان با بررسی رابطه داده شده توسط (۸) به دست آورد. اول صورت کسر شامل یک یکتایی صفر در ۴ = ۱، که تنها می تواند با یک یکتایی یکسان در مخرج حذف شود. این با تنظیم φ = 180 درجه، و در نتیجه Θe متناسب با انجام (۱ + α - ۱) / (α)، که به نوبه خود برای α = 1 حداکثرمی‌شود. بنابراین، شرایطی حداکثر اثربخشی جمینگ را نتیجه می‌دهند که منابع جمینگ هم دامنه (توان) و یک تفکیک فاز ۱۸۰ درجه را داشته باشند. این رابطه نشان می دهد که این شرایط خطا نامحدود بوجود می‌آورد. با این حال، معادله فقط در محدوده خطی از تفکیک کننده خطا زاویه‌ای کاربرد دارد، که به طور کلی به گسترش فقط در عرض بیم ۳ dB رادار صدق می کند. فراتر از محدوده خطی خطا زاویه‌ای، تفکیک کننده اشباع می‌شود ، که خطای زاویه ای تولید شده با این روش در رادار به عرض بیم ۳ دسی بل محدود می‌شود. حالا اجازه دهید ما عبارت اول در بیان خطای زاویه ای که درک و بینش کلی نسبت به حساسیت جمینگ زاویه منبع کوهرنت را مورد بررسی قرار می دهد را تدارک ببینیم. کسر به طور مستقیم متناسب با فضای منبع اینترفرومتر[۹](L) و کسینوس زاویه (ψ) بین خط عمود بر بیس لاین[۱۰] اینترفرومتر و محور ردیابی رادار است. صورت کسر را می توان با حرکت دادن منابع جمینگ از هم جدا افزایش داد (از این رو ، L افزایش می یابد)، به همین دلیل است که منابع جمینگ برای جمینگ زاویه کوهرنت در بالها برای نصب در هواپیما قرار گرفته است که حداکثر طول را ایجاد کند، در طول کشتی[۱۱] و سمت راست و چپ یا جلو و عقب کشتی های نیروی دریایی نیز این عمل مرسوم است. وقتی که ψ = 0 کسر به حداکثر مقدار خود می رسد ،و نشان می دهد که جمینگ زمانی موثر ترین است که رادار ردیابی در یک سمت[۱۲] بیس لاین اینترفرومتر واقع شده باشد. متناوبا، جمینگ بی اثر است که منابع جمینگ در یک خط موازی با محور رادار ردیابی باشد(ψ = 90 درجه) . مخرج متناسب با رنج (R) بین جمر و رادار ردیابی است. این نشان می دهد که جمینگ به طور فزاینده ای با کاهش رنج موثرتر می‌شود، که در تضاد با انتظار عمومی برای شرایط جمینگ بیشتر است. اگر چه بیان خطای زاویه ای به شرایط و حساسیت برای حداکثر اثربخشی جمینگ بینش می‌دهد ، ولی دید کمی به پدیده فیزیکی خاصی است که اجازه می دهد تا اشتباهات بزرگ زاویه ای توسط جمینگ منبع منسجم تولید شود می‌دهد. دلایل فیزیکی ظاهرا مربوط به اعوجاج مقابل موج شدید است که در مجاورت نقاط نال اینترفرومتری رخ می دهد. عکس‌های از این نوع اعوجاج بر روی یک کامپیوتر تولید شده است و به صورت تجربی به دست آمده است[۷] . خطای بزرگ ردیابی زاویه ای باعث می که رادار ردیابی تلاش می کند تا خود را عمود[۱۳] بر جبهه موجی که بسیار پراعوجاج شده است تطبیق دهد. جمینگ منبع منسجم، سختگیرانه هر دو تطبیق دامنه بین منابع و حفظ یک اختلاف فاز ۱۸۰ درجه را اعمال می کند. برای بررسی این حساسیت ، ما می توانیم زاویه رابطه خطا اساسی با دو عبارت از هم جدا کنیم. اولین عبارت $\Delta\Theta = L\cos(\psi)/R$ ، که

9 - interferometer
10 - baseline
11 - fore and aft
12 - broadside
13 - perpendicular

Archive of SID

www.SID.ir

نشان دهنده زاویه پیش بینی (به رادیان) بسط یافته شده توسط منابع جمینگ که توسط رادار دیده می شود داده شده است. عبارت دوم یک عامل بزرگنمایی توسط A/(A2 + 62) داده شده است، که در آن A = 1 - α و ۶ = ۱۸۰ درجه - φ نشان دهنده انحراف از مقادیر طراحی مورد نظر است. این عبارت با صرفنظرکردن از عبارت های مرتبه بالاتر در هر دو صورت و مخرج به دست آمد. بررسی این عامل نشان می دهد که حداکثر بزرگنمایی توسط(L / 1 -) است .

در نظر بگیرید یک مثال منبع جمر منسجم هوابرد که نوک بالها نصب و راه اندازی شده ۲۰ و به فاصله فوت از هم جدا شده‌اند ، در حالی که رنج ۱۰ نانومتر است. منابع جمینگ پس از آن شامل یک زاویه ۰.۳۳ mrad هستند . اگرخطای ردیابی زاویه ای یک درجه مورد نظر باشد، سپس یک عامل بزرگنمایی از ۵۳ مورد نیاز است. این را می توان با ترکیبات مختلف a و φ به دست آورد، اما فرض کنیم که α = 0.99 مقدار عملی برای تطبیق دامنه است. حداکثر بزرگنمایی ۱۰۰ به دست آمده است زمانی که δ = 0 . سپس سیستم تطبیق فاز ۵۳ درجه را می‌یابد که به بدست آوردن بزرگنمایی مطلوب ۵۳ نیازمند می-شویم. این مثال نشان می دهد فاز بالا و ثبات دامنه برای به دست آوردن عوامل بزرگنمایی بزرگ مورد نیاز است . مانع عمده ای برای حفظ انسجام فاز در سیستم های جمینگ خروجی نهایی منبع منسجم دوگانه ، TWT توان بالا[14] است. مدولاسیون دامنه به فاز(AM / PM) مشخصه TWT است که به طور معمول ۱ تا ۳ درجه در هر دسی بل می‌باشد. بنابراین ، تا آنجا که ممکن است ۴۵ درجه تغییر فاز به دست آید اگر سیگنال ورودی بیش از یک محدود کننده دینامیکی ۱۵ دسی بل تغییر کند . این محدود کننده ذاتی TWT به طور بالقوه می تواند قبل از بلوک TWT با محدود کننده که ۱۵ دسی بل را به چند دهم دسیبل فشرده می‌کند و کاهش می دهد انجام داد. محدود کننده کننده در باند I و J است که پهنای باند آن بیش از اکتاو[15] می‌باشد و ویژگی های ضروری AM / PM در حال حاضر در دسترس نیست. به عنوان جایگزین، محدود کننده می تواند در فرکانس های پایین تر بیش از حداقل پهنای باند از چند گیگا هرتز اجرا شود و یعنی به فرکانس کاری بالاتری با استفاده از تکنیک های میکس فرکانسی (mixing) انتقال یابد. اجرای عملی از جمینگ زاویه منبع منسجم با استفاده از یک تکنیک به نام چشم متعامد[16] می‌باشد. روش چشم متعامد با استفاده از دو مسیر و ریپیتر جداگانه انجام می‌شود. هر مسیر شامل آنتن فرستنده و گیرنده ، یک خط انتقال برای اتصال آنتن وتقویت کننده برای تولید سیگنال جمینگ می‌باشد . علاوه بر این، یک مسیر شامل یک شیفت فاز ۱۸۰ درجه است که به تولید نال اینترفرومتر در جهت ورود سیگنال رادار قربانی می‌پردازد . همچنین، کنترل فاز و دامنه در یک مسیر موجود است به طوری که دو مسیر تکرارکننده را می توانیم برای فاز و دامنه منطبق تنظیم نمائیم. مزیت اجرای چشم متعامد این است که این پیکربندی تضمین می نماید که سیگنال تابیده شده که توسط دو منبع جمینگ کوهرنت که به رادار قربانی می رسند با دامنه و فاز ۱۸۰ درجه مستقل از زاویه ورود سیگنال رادار قربانی در جمر تطبیق می‌یابند. اگر پیکربندی عرضی مورد استفاده قرار نگرفت، سپس تغییر فاز تفاضلی برابر است با L sin lp/1 بین سیگنال های جمینگ رسیده به رادار قربانی وجود داشته باشد، حتی اگر سیگنال های جمینگ در دامنه و ۱۸۰ درجه مستقل از زاویه ورود سیگنال در جمر تطبیق یافته باشد. این تغییر فاز تفاضلی توسط طول مسیر اضافی (S) یک سیگنال جمینگ آزموده شده بوسیله یک سیگنال جمینگ با رعایت سیگنال های خارج از محور[17] ایجاد می شود. در مثال قبلی، اگر رادار قربانی در فرکانس کاری ۱۰ گیگاهرتز باشد، یک انحراف هواپیما از ۰.۱ درجه یک تغییر فاز تفاضلی در حدود ۲۰ درجه ایجاد می شود. اگر این قضیه جبران نشود، عامل بزرگنمایی به مقدار ناچیزی کاهش می‌یابد. با استفاده از پیکربندی چشم متعامد دیده می شود که دریافت و ارسال جبهه فاز در جمر موازی هستند، در نتیجه برای جبران تغییر فاز تفاضلی ناشی از عملیات خارج از محور ایجاد می‌شوند. بهای پرداخت شده برای این جبران زمان تاخیر اضافی (۱ns برای‌هر فوت از بیس لاین) در مسیر تکرارکننده (ریپیتر) است که افزایش این احتمال وجود دارد که رادار قادر به ردیابی لبه سیگنال هدف واقعی که قبل از سیگنال جمر می رسد باشد یعنی این امکان برایش بوجود می‌آید. عامل دیگری که جمینگ چشم متعامد را پیچیده می‌کند که عملیات موفقیت آمیز نال انترفرومتری بین سیگنال های جمینگ که در جهت رادار قربانی ایجاد می‌شود است. سیگنال های جمینگ باید با بازگشتی های هدف واقعی رقابت کنند تا خود ردگیر زاویه رادار (radar's angle tracker) را به تصرف خود درآورند. برای تحقق این امر، زاویه‌ی نویز که توسط هدف واقعی رادار ایجاد می شود باید توسط آنتن رادار خارج از محدوده نال سیگنال جمینگ ، بوسیله مقدار کافی نسبت سیگنال به جمینگ مثبت برای آشفتگی تولید شود. این نتایج در یک نسبت سیگنال به جمینگ نیازمند به حداقل ۲۰ دسی بل برای عملیات موفق چشم متعامد می‌باشد. به عنوان مثال با توجه به منابع جمینگ منسجم دوگانه از هم جدا شده به فاصله 20m، نقاط میدان و اعوجاج جبهه فاز برای جمینگ چشم متعامد را رسم می‌کنیم. از فرکانس ۱۰ گیگاهرتز و نسبت دامنه منبع نسبی ۰.۸ استفاده کرده‌ایم. توجه داشته باشید که حسگر آنتن ردیابی مونو پالس تلاش می‌کند که خود را بصورت عمود بر جبهه فاز تطبیق دهد .

14 - high-powered TWT

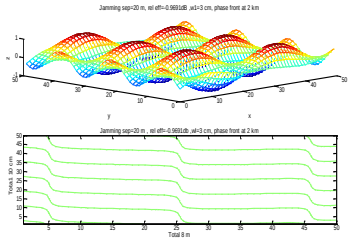
15 - octave

16 - cross-eye

17 - off-axis

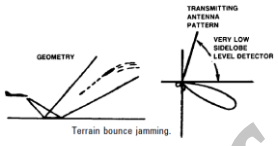
Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۶: منابع جمینگ منسجم دوگانه از هم جدا شده به فاصله 20m

زمین و یا جستن از زمین یکی دیگر از روش جمینگ مونو پالس نامیده می شود. مفهوم اساسی از این روش در شکل زیر برای درگیری جمر هواپیما و موشک نیمه فعال نشان داده شده است. جستن از زمین در صفحه ارتفاع برای روشن کردن سطح زمینی که در جلو و زیر جمر هواپیما به طوری که زاویه موشک نیمه فعال در حال تعقیب و ردگیر هدفی که فرستنده فعال دارد به جایی برخورد می‌کند که امواج رادار از آنجا ساطع شده است یعنی جمر هواپیما را نمی‌بیند و در عوض فقط امواج ساطع شده از زمین را می‌بیند.



شکل ۷: جمینگ جستن از زمین

الزامات مورد نیاز برای جمینگ جستن از زمین[۱۸] شامل ارتفاع هواپیما عرض پرتو های باریک، عرض پرتو قوس افقی در جهت گردش عقربه ساعت واقع بین نقطه ثابتی گسترده ای برای گسترش بخش پوشش جمینگ، قدرت RF بالا برای غلبه بر تلفات مرتبط با مسیر انتشار زمین، و لوب جانبی بسیار کم در افق و بالاتر برای جلوگیری از دید موشک، که جمر به جای این که جمر باشد یهو تبدیل به یک بیکن یا فانوس نشود که موشک با خیال راحت و بدون هیچ خطایی و دغدغه‌ای هواپیمای ما را از پا دربیاورد. علاوه بر این به عملیات جستن از زمین نشان داده شده در شکل ۷ دقت کنید، این امکان برای هواپیما با سطح پرواز پائین وجود دارد که توسط رادار زمینی با استفاده از بازتاب های چندگانه از زمین مورد جمینگ واقع شود. یکی از روش های انجام این نوع عمل به شکل یک نال تداخلی در رادار زمینی در صفحه ارتفاع به شیوه ای مشابه با روش چشم متعامد استفاده می شود. یعنی دو جبهه موج به هم برخورد کنند و جهت امواج بجای اینکه از زمین ساطع شود از جای دیگری از فضا و در جهت دیگری انتشار یابد که این امر هم قاعدتا به نفع ما خواهد بود، زیرا هدف ما فریب موشک در جهتی دیگر می‌باشد تا مانع از برخورد آن به پرنده شود. این مانع هم برای پرنده به نوعی جمر جستن از زمین فراهم می‌کند و هم ترکر رادار را بهم خواهد ریخت.

نتایج و بحث:

اول به طور کلی، برای اختلال رادارهای مونوپالس از هر دو روش فریب دامنه و زاویه استفاده می‌شود. تکنیک های فریب محدوده تا حدودی از پیاده سازی رادار در مقایسه با تکنیک های فریب زاویه مستقل هستند، که باید برای یک پیاده سازی راداری خاص به گونه ای شایسته طراحی شوند. به همین دلیل، فریب محدوده تقریبا بصورت فراگیر در جمرهای فریب استفاده می‌شود، اما تاثیر آن در درجه اول به تولید محدوده اطلاعات نادرست به رادار قربانی محدود می‌شود. در حالی که اطلاعات طیف نادرست توسط رادار جذب می شود، هنوز هم اطلاعات دقیق زاویه را فراهم می کند. زمانی که از رنج گیت رادار گرفته شده است و جمر خاموش است اطلاعات زاویه، رادار قربانی نابود شده است. هدف یابی مجدد در بعد محدوده ممکن است سریع انجام شود (به عنوان مثال، در اندازه های میلی ثانیه) اگر رادار در جهت هدف قرار گیرد. به همین دلیل، نشان دادن اطلاعات زاویه نادرست در رادار در همان زمانی که RGPO در حال تلاش است، مقتضی است. اگر رادار مجبور به جستجو در هر دو مورد زاویه و رنج در کسب دوباره هدف باشد، در نتیجه این چرخه خیلی طولانی ارزیابی می-شود و عملکرد رادار در رندر کردن اهداف در این چرخه یا دوره بی اثر می‌شود. رادارهای مدرن و سیکرهای موشک به طور کلی از سیستم های ردیابی مونو پالس استفاده می‌کنند. سیستم های ردیابی مونوپالس (گاهی اوقات لوبینگ همزمان نامیده می شود) بر اساس تشکیل تخمین خطا زاویه ای در هر پالس بازگشتی می‌باشد، در نتیجه، تعبیر سیستم نسبت به نوسانات دامنه) بر روی داده ها غیر حساس خواهد شد . این بهبود عملکرد رادار، امکان جمینگ مدولاسیون دامنه (به عنوان مثال، گین معکوس) که در برابر رادار اسکن مخروطی موثر است را از بین می برد. علاوه بر این، این ویژگی باعث می شود حسگر رادارهای مونو پالس در ردیابی سیگنال های جمینگ نویز، در برابر سیکرهای موشکی با داشتن حالت "جمینگ در خانه" موثر واقع شوند. که در تمام این

18 -terrain bounce jamming

Archive of SID
www.SID.ir

موارد تغییر جبهه موج در روش جمینگ چشم متعامد مفید ترین روش ارزیابی می‌شودکه در صورت رسیدن کشور به سخت افزاری بهینه برای اجرای این روش که با مشکلات فنی عدیده‌ای مواجه است، با نتایج حاصل از شبیه سازی نقاط میدان و اعوجاج جبهه فاز برای جمینگ چشم متعامد در منابع منسجم دوگانه که در این مقاله بررسی شده است گام بلندی رو جلو برداشت.

سپاسگذاری:

سپاسگذاری از کارشناسان نیروی هوافضای سپاه و اساتید دانشگاه صنعتی امیر کبیر و دانشگاه امام حسین(ع) که در به ثمر رسیدن این مقاله از هیچ تلاشی دریغ ننموده‌اند و کمک شایانی به تیم نگارش مقاله نموده‌اند.

منابع مورد استفاده:

[1]Electronic Warfare in the information age- D. Curtis Schleher-2010

[2] Van Brunt, L., Applied ECM Volume 2, Dunn Loring, VA: EW Engi- neering, 1982.

[3] Howard, D.D., Sherman, S.M., Thomson, D.N., and Campbell,J.J. Experimental results of the complex indicated angle technique for multipath correction. IEEE Trans., vol. AES-10 (1974), no. 6, pp. 779-787.

[4] Howard, J.E. A low angle tracking system for fire control radars (Rec. IEEE Internat. Radar Conf., Arlington, .J., 1975), pp. 412-417.

[5] Van Brundt, L.B. International Countermeasures Handbook, 7th ed., EW Communications, Dunn Loring, VA., 981-1982, pp. 344-347.

[6] Interavia Air Letter, vol. 20111 (1960), pp. 14-16.

[7] Jones, E.M.T. Paraboloid reflector and hyperboloid lens antenna. IRE Trans., vol. AP-2 (1954), pp. 119-127.

[8] Johnson, G.R. Jamming passive lobing radars. Electronic Warfare, vol. 9 (1977), no. 2, pp. 75-85.

[9] Johnson, M.A. and Stoner, D. ECCM from the radar designer's view-point. Microwave J., vol. 21 (1978), no. 3, pp. 59-63.

Archive of SID

www.SID.ir