**مقدمه ای بر جنگهای الکترونیکی**

**خلاصه**

این مقاله مفهوم کلی جنگ الکترونیکی را بیان می کند و ۳ زیر مجموعه آنرا تعیین می کند: اقدامات پشتیبانی الکترونیک (ESM)، جنگهای الکترونیکی ( ECM) و اقدامات ضد ضد الکترونیکی (ECCM). نیاز به گیرنده های ESM در متن دو سناریو خاص گردآوری جاسوسی برای ارتباطات و رادار مطالعه می شود. طرحهای گیرنده ESM متفاوتی برای اندازه گیری فرکانس و تکرار سیگنالهای رادار پالسی مثل ویدئو بلور، اندازه گیری آنی فرکانس (IFM) و پویش سوپرهترودین بیان و مقایسه شده است تا قابلیتهایشان را نشان دهیم. ابزار گیرنده ESM خاصی برای شناسایی اطلاعات فرکانس و جهت برای سناریوهای رادار و ارتباطات بررسی شده است. همچنین برای مقایسه اهمیت معماریهای گیرنده جدید بر اساس موج اکوستیک سطح (SAW) مجرایی، سلولهای براگ اکوستیک نوری و فشاری بررسی شده است که قابلیت سیگنال چندتایی افزایش شان را نشان می دهد. سپس مقاله تکنیکهای EW فعال و غیر فعال مثل پارازیت و پوسته و اهمیت انتگرالگیری تابع ECM فعال و گیرنده ESM در وسیله سیگنال را بحث می کند. سرانجام مقاله استفاده تکنیکهای کدگذاری ECCM را برای حفظ استفاده از طیف وقتی پارازیت سازان در سیستمهای رادار و ارتباطات وجود داشته باشد گزارش می کند. همچنین استفاده از پردازش سیگنال تطبیقی برای از بین بردن مداخله باند باریک و وسیع بیان می شود. این مقاله اهمیت نسبی و حوزه های کاربرد برای آنتنهای تطبیقی بر اساس آرایه های کاملا فازی و فسخ کنندگان sidelobe منسجم را بطور خلاصه بیان می کند.

**۱ مقدمه**

علاقه به جنگ الکترونیکی (EW) بدلیل پیشرفتهای اساسی در تکنیکهای پردازش سیگنال و ساخت سریع سلاحها رشد یافته است. علاوه بر افزایش اخیر در مهارت سیستمهای سلاح و تجربه حاصل از موقعیتهای نبرد قبلی، قابلیت شناسایی مکان ابزارهای دشمن و گسترش اقدامات متقابل موثر در حداقل کردن تهدیدهای دشمن و به حداکثر رساندن تاثیر سلاحهای خودش خیلی موثر شناخته شده است. که تحت فشار اولیه برای رشد EW بودجه بین المللی دنیای شرقی طرح ریزی شده بیش از ۳۰۰۰ میلیون پوند در سال ۱۹۸۲ است. رشد فروش های ابزار EW ایالات متحده در سال ۱۹۸۱-۱۹۸۰، ۳۰٪ بود در حالیکه فروشهای اروپایی افزایش تناوبی ۱۲٤٪ را نشان داد.

تکنیکهای EW در طول جنگ جهانی دوم بصورت اقدامات متقابل رادیو آغاز شد. این تکنیکها در مفاد بایگانی " ابزار تاریکی" برای بریتانیا و حال در مرجع هیئت سیگنال غیر محرمانه " جنگهای الکترونیکی"برای آمریکا شرح داده شدند. آنالیز سیگنال برای تعیین فرکانسهای سیستمهای دشمن مثل ابزار هدایت ارتباط، رادار و هوابرد استفاده می شود که متعاقبا با اقدامات متقابل غیر فعال مثل CHAFF (بعدها پنجره نامیده شد) یا تکنیکهای پارازیت نویز فعال از کار انداخته می شود. سطح مهارت در آن زمان بطوری بود که کلاهبرداری های استادانه می تواند برای شبیه سازی هوابرد بزرگ یا یورشهای SHIPBORNE ایجاد شود که CHAFF DISPENSING هواپیما با پارازیت نویز هوابرد برای پوشش فرکانس های استفاده شده توسط دشمن ترکیب می شود.

تمایز کلیدی بین این تکنیکهای اخیر و وسیله امروزی برای مثال در نبرد مدرن هواپیما آشکار است. حالا وسیله EW کاملا اتوماتیک ( که قبلا در پوسته های محافظ خارجی تطبیق می شد) را بکار می گیرد که برای پاسخ به تهدیدهای از پیش تعیین شده مثل راهنما موشک و رادارهای جهت توپخانه و

شمارنده با پارازیت نویز یا بطور متناوب DISPENSE CHAFF و بطور همزمان اکوهای مخابره هدف کاذب برنامه ریزی شده تا شلیک دشمن را دور کند و بنابراین هواپیما را محافظت کند. خصوصیت کلیدی ابزار EW جاری این است که اجازه اصلاح بسته های کاما دستگاههای خودکار هواپیما را در هر سال می دهد و قابلیتها را تغییر می دهد، عمر بدنه هواپیما را زیاد می کند و مانع از طراحی های گران جدید می شود. که با اعتماد به تکنولوژی پیشرفته و پیاده سازی پروسسورهای نظارت و پاسخ مثل بسته های کم وزن با هزینه پایین حاصل می شود. میدان کل EW به ٦٥٪ هزینه ابزار هوابرد، ٢٥٪ به SHIPBORNE، و ١٠٪ به سیستمهای زمینی تقسیم می شود.

این مقاله دو سناریو متمایز تجربه شده در ارتباطات و جنگ الکترونیکی رادار را بیان می کند و تکنیکهایی که برای آنالیز گسترش یافته است را معرفی می کند و تهدیدهای دشمن پیش بینی شده ناشی از مخابره فرکانس رادیویی را می شمارد. این مقاله چشم انداز بیشتری نسبت به مطالعات منتشر شده اخیر که تنها تکنولوژیهای درگیر در ابزار ESM حال و آینده را پوشش می دهد ارائه می دهد.

## ٢ تعاریف

EW اشکال متفاوتی دارد مثل شناسایی و تنزل عملکرد رادار دشمن، قطع و مختل کردن ارتباطات دشمن، فریفتن هواپیما و فرمان دادن و علم جدید گمراه کردن ادراک دشمن منطقه تاکتیکی. که سرمایه گذاری لازم برای حفظ سکوهای جنگی را بیان می کند.

سه زیر مجموعه اساسی برای انتظام کلی EW وجود دارد: اقدامات پشتیبانی جنگی (ESM)، جنگهای الکترونیکی (ECM) و اقدامات ضد ضد الکترونیکی (ECCM). که ممکن است بصورت زیر نعریف شود:

الف) ESM اقداماتی است که بدنبال حائل، مستقر کردن و آنالیز انرژی الکترومغناطیس تابش شده به منظور بهره برداری اینها در پشتیبانی عملیات نظامی است. ESM بر پایه استفاده از گیرنده های حائل یا هشدار است و بشدت به فهرست راهنما ترجمه شده قبلی جاسوسی الکترونیکی استراتژیک و تاکتیکی (ELINT) تکیه دارد: گردآوری اطلاعات با ردیابی و راهنمایی رادارها را برای آنالیز تهدیدهای جنگی بالقوه پوشش می دهد و شامل حائل و آنالیز ترافیک ارتباطات همراه است. اکتساب جاسوسی مثل پارامترها و اهداف سیگنالها، اجازه تعریف نیازمندیها برای سیستمهای ESM مثل عرض باند را فراهم می سازد. ESM کلا غیر فعال است به شناسایی و موقعیت سیگنالهای دشمن محصور می باشد.

ب) ECM: اقداماتی است که برای پیشگیری یا کاهش استفاده دشمن از طیف الکترومغناطیس بکار می رود. ECM شامل تکنیکهای غیر فعال مثل شلیک CHAFF ، و تکنیکهای فعال مثل پارازیت و اغفال است که هر دو با دستکاری و تقلیدی است.

ج) ECCM: اقداماتی برای حفظاستفاده از طیف الکترومغناطیس بر خلاف استفاه نیروی دشمن از تکنیکهای ECM است.که شامل تکنیکهای کدگذاری است که انرژی سیگنال را روی عرض باند وسیع و پردازش رهبری پوچ در آنتن گیرنده پخش می کند تا اثر پارازیت دشمن و فضولی او را به حداقل برساند.

تکنیکهای EW در سرتاسر زمین و محیط های SHIPBORNE بکار گرفته می شود. بخش مناسب طیف الکترومغناطیس در محدوده ارتباطات و رادار از فرکانس بالا تا فرکانسهای موج میلی متری ٤٠ گیگاهرتز و بالا استفاده می شود و حال با ظهور سلاحهای کنترلی مادون قرمز فرکانسهای نوری را نیز در بر می گیرد. عمل انالیز ESM با گیرنده حائل اولین مرحله پایه ای است که در هر وسیله EW انجام می شود. بدون جاسوسی قبلی، ابتدا با استفاده از ESM حاصل می شود، ECM تا حد زیادی غیر موثر خواهد بود.

در EW همانند دیگر سیستمهای الکترونیکی،شبیهسازی نقش حیاتی در آموزش اپراتورهادارد تا در استفاده از وسیله وشناسایی تهدیدها ماهر شوند. بعلاوه شبیه سازی تا حد زیادی برای بررسی موثر بودن ابزار رایج و توسعه سیستمهای جدید استفاده می شود.

### ۳ سناریو ارتباطات EW

در میدان نبرد EW، اطلاعات جمع آوری شده در زمان جنگ اجازه تهیه پوشه که حاوی فرکانس ها، سطوح قدرت و مکان سربازان دشمن (آرایش قشون) و وسیله ها است را می دهد. فرستنده ها بر اساس اهمیت تهدید قبل از درگیر شدن در جنگ برچسب گذاری می شوند. بحرانی ترین فعالیت در ارتباطات ESM هماهنگی است بطوریکه شبکه ها روی ناحیه جغرافیایی قابل توجهی پخش می شوند.

٤ عملیات اولیه انجام شده توسط سیستم ارتباطات ESM شناسایی فرکانس در حال کار ساتع کننده های فعال، اندازه گیری جهت یا موقعیت شان، آنالیز ترافیک برای ارزیابی اهمیت تهدید اش و نگهداری و بروز رسانی پایگاه داده جاری است. اولین دو تابع پردازش ESM با آنالیز طیف و ابزار

جهت یاب (DF) حاصل می شود. تکنیکهای حائل ارتباطات مشابهی در کاربردهای غیر نظامی مثل بررسی علائم رمزی مخابراتی مجوز استفاده می شود.

به دلیل ازدیاد شبیه سازیها ی سیگنالهای ارتباط AM/ مخابره شده توسط ایستگاههای متحرک توان پایین و ثابت با قدرت بالا در مکانهای مختلف قدرت سیگنا دریافت شده در محل آنلیز بیش از 80dB< محدوده دینامیکی تغییر می کند جدول ۱ را ببینید. مسیرهای انتشار طولانی بطور استثنایی در فرکانس بالا منجر به اقدامات خاص اشغال ۱۰-٦٪ برای سیگنالهای Db ٤۰-۲۰ بالای سطح نویز گیرنده مجرا می گردد. بهرحال در پهنای باند ۱ مگاهرتز شکل اشغال تا بیش از ۷۵٪ برای سیگنالهای اندازه گیری شده 10Db بالای سطح نویز گیرنده می تواند افزایش یابد.

جدول ۱ ملزومات برای ایجاد مانع در ارتباطات

| | |
|---|---|
| محدوده فرکانس مگاهرتز | ۲-۵۰۰ |
| دقت گیرنده هرتز | ۱۰۰ |
| نوع سیگنال | ۱میلی ثانیه زمان برای تنظیم CW |
| حساسیت dBm | <-۱۰۵ |

| | |
|---|---|
| تفکیک کیلوهرتز | HF 1<br>VHF/UHF 5-25 |
| محدوده دینامیک آنی Db | >۸۰ |
| دقت دامنه Db | 1 |
| دقت جهت درجات | ۱ |
| دانسیته سیگنال | 10 – 10 ساتع کننده |
| احتمال ایجاد مانع ٪ | ۱۰۰ |

بنابراین لازم است این سناریو چگال را با پردازش DF طبقه بندی کنیم. سیگنالها بطور خاص در زمان با گیرنده ایجاد کننده مانع بر اساس سوپر هترودین پایشی که به سیستم DF گسترش یافته نزدیک به مقابل میدان نبرد متصل می باشد معین می شوند. هر ایستگاه DF یک آرایه از جهار آنتن دو قطبی یا دو قطبی زیاد را در بردارد که خروجی ها پردازش می شود و نمایش داده می شود تا سیگنال جهت ازیموت با دقت یک درجه را بدهد. آرایه های Adcock روزنه باریک در HF، VHF، UHF بکار گرفته می شود اما در HF که اغلب چند مسیر سخت برای استفاده سیستم DF روزنه وسیع وجود دارد ترجیح داده می شود. که در هندسه آرایه ثابت بزرگ که به آسانی قابل حمل نیست دقت عالی را می دهد. بنابراین جهت ها از چنین ۳ محلی مکان دقیق ساتع کننده را تعیین می کند.

گیرنده های ESM باید حساس، دقیق، غیر آسیب پذیر به سیگنالهای مزاحم بزرگ و قابل کنترل از راه دور باشند. فرکانس ها از ۲ تا ۵۰۰ مگاهرتز گسترش می یابند جدول ۱ را ببینید. HF برای ارتباطات موج هوایی محدوده بلند و موج زمینی محدوده کوتاه استفاده می شود. VHF و UHF برای

وسیله خط دید محدوده کوتاه و ارتباطات MANPACK استفاده می شود. اینجا گیرنده های حائل باید بخوبی به جلو قرار داشته باشند و باید متحرک و قوی باشند. همچنین پوشش توسعه یافته تا ۱ گیگاهرتز برای حائل اتصال داده های لازم می باشد.

منحنی ارتباط خط دید میدان نبرد VHF/UHF سیستم EW (شکل ۱) ارتباط رادیویی بین اجزاء درگیر را نشان می دهد. همه اتصالات بطور همزمان داده ها و صدا را انتقال می دهند. اپراتورهای بازرسی از گیرنده ها برای ایجاد لیستهای ساتع کننده استفاده می کنند. آنالیز DF و حائلها گزارشاتی را تهیه می کنند که به مرکز کنترل EW با واحدهای ESM وابسته تغذیه می شود. کلیه اطلاعات بر در برابر لیستهای تهدیدها با کامپیوتر آنالیز می شوند. فرمانده عملیاتی ماموریت وسیله ESM خود را بر فعالیت شبکه بنیان می نهد. سرانجام وقتی ارتباطات دشمن را مختل می کند و تکنیکهای ECM را در برابر اتصالات با اولویت بالا گسترش می دهد باید تصمیم بگیرد مثل انتقال دستورات کنترل آتش دشمن.

تکنیکهای ECCM مثل مخابره های فرکانس کوتاه بازگشتی برای اتصالات ارتباط VHF در دسترس است و برای استفاده در HF و UHF تحت توسعه است. این رسانه برای آهسته کردن نرخ HOP ابزار می تواند همچنین در مد فرکانس ثابت عمل کند. دیگر تکنیکهای کدگذاری طیف انتشار ECCM با باند پهن در ارتباط میکروویو و ابزار هدایت کننده مثل ابزاری که در بازگو کننده های ماهواره بکار می رود بکار گرفته می شود.

شکل ۱ سیستم جنگ الکترونیکی خاص برای ارتباطات میدان نبرد

## ۴ رادار EW

### ۴.۱ سناریو

سیگنالهای رادار غالبا با پهناهای متغیر بین ۰.۱ میکرو ثانیه و دهها میکروثانیه پالس می شوند. پیش بینی شده است که در مشغولیت نبرد قسمت با قسمت متحرک ۱۰۰۰ کیلومتر مربع تعداد ساتع کننده های فعال در باند از ماکزیمم ٤٨٥ در باند A/B (جدول ۲) تا ٥٠–٤٠ در هر باند I و J/K و ٦ در باند C/D تغییر می کند. این مقادیر در نزدیکی مساحت بزرگ هدف تغییر خواهد کرد. بهرحال بدلیل سیکل LOW DUTY هر مخابره کننده گیرنده بطور معمول تنها یک سلسله از پالسهای کوتاه INTERLEAVED را تجربه می کند اگر چه همپوشانی های مهمی می تواند رخ دهد. بنابراین با فاصله تکرار ۱ میلی ثانیه پالس رادار خاص، دانسیته پالس در باند شلوغ ممکن است به 106*0.25 پالس در ثانیه به ازای پهنای باند اکتاو برسد. معرفی پالس میدان نبرد رادارهای Doppler با پالس تکرار با فرکانس بالا (PRF) به شدت این شکل را تغییر می دهد.

قطار پالسهای interleaved در گیرنده ESM پردازش می شود تا برای هر پالس فرکانس مرکزی، دامنه، پهنای پالس، زمان ورود (TOA) و جهت را تعیین کنیم، شکل ۲ را ببینید. سپس اطلاعات به پردازشگر نوع پالس وارد می گردد که آنرا به PRI مناسب برای هر ساتع کننده DEINTERLEAVE می کند. مقایسه بیشتر در برابر انبار انواع رادار معروف اجازه تولید لیست ساتع کننده را می دهد، که با اهمیت تهدید طبقه بندی می شود.

سیستمهای رادار که آنالیز می شود شامل آنهایی است که برای مراقبت زمینی و پدافند هوایی طراحی شدند مثل سیستمهای هشدار اولیه، سیستمهای هوابرد، وسیله میدان نبرد و وسایل جاسازی پدافند، سیستمهای هوابرد برای جستجو و ردیابی، نقشه کشی و کنترل سلاح، و آنهایی که در زمین و هوا برای عملیات کنترل توپخانه و موشک گسترش می یابند.

برای سیستمهای رادار زمینی تهدیدها عکس العمل سریع ناشی از موشکهای هوا به سطح دربانداهای I و J را نیاز دارند. ابزار SHIPBORNE باید به این تهدیدها بعلاوه موشکهای سطح به سطح در باندهای J، I و H پاسخ دهند.

سکوهای هوابرد باید عکس العمل سریع به تهدیدهای متنوع مثل موشکها، رادارهای رهگیری، و رادارهای کنترل تفنگ ضد هواپیما داشته باشند که کلیه باندهای بین C و J را پوشش می دهد؛ بنابراین نیازمندی برای حداقل پوشش ۱۸-۱ هرتز است. تهدیدهای دیگر مثل رادارهای مراقبت و سیگنالهای هدایت می تواند با زمانهای عکس العمل آهسته تر ( مثل ۱ ثانیه) آنالیز شود تا تصویر کلی بدست آید.

همراه با مثال ارتباطات، گیرنده رادار ESM برای کنترل آرایش قشون ECM استفاده می شود. اختلاف عمده در رادار عکس العمل سریع است که برای شمارش تهدیدهای موشک ضروری است و بعنوان اپراتور جداگانه EW در راه اندازی ها تهیه نمی شود، اتصال بین ESM و ECM اغلب اتوماتیک است. وسیله ECM (به بخش ٦ مراجعه کنید) برای توزیع CHAFF یا بکارگیری پارازیت فعال نویز یا دیگر تکنیک های اغفال سیگنال برنامه ریزی می شود. یک نکته مهم این است که با افزایش استفاده از توپخانه هدایت شده راداری نیاز رو به رشدی به یکپارچه کردن ارتباطات با دیگر

عملها برای تاثیر ماکزیمم وجود دارد. چنین همبستگی بلادرنگ این سیگنالهای جاسوسی غیر فعال معمولا مربوط به ذوب است. در ارتباطات تکنیکی هواپیما همچنین ESM برای کنترل پارازیت انداز های ارتباطات که دستورات رهگیری کنترل از زمین به هواپیمای دشمن را مختل می کند استفاده می شود.

تکنیک های رادار ECM بطور معمول برخی از شکلهای سریع الانتقالی سیگنال برای گیج کردن گیرنده رهگیری را استثمار می کنند. سریع الانتقالی PRI ساده ترین تکنیک است که پردازشگر نوع پالس را پیچیده می کند در حالیکه سریع الانتقالی فرکانس انتقال یافته طرحهای گیرنده رهگیری پهن باند حمله یا تکنیکهای آنالیز سیگنال خیلی پیچیده را لازم می سازد.

شکل ۲ سیستم رادار جنگ الکترونیکی

### ۴.۲ اقدامات پشتیبانی الکترونیک

گیرنده های رادار رهگیری در سطوح پیچیدگی متفاوتی بکار گرفته می شوند. ساده ترین گیرنده رادار هشدار (RWR) است، که در اخبار راه اندازی هوابرد حضور تهدیدها مثل رادار موشک، جهت نسبی روی صفحه نمایش اتاقک خلبان را تامین می کند. که وسیله با حساسیت پایین غیر پیچیده ای است که برای پوشش پهنای باند تهدیدهای مورد انتظار از پیش تنظیم می شود، و در محدوده مناسبی بکار می افتد تا تهدید را قبل از اینکه به محدوده شلیک وارد شود شناسایی کند. سپس پیچیدگی گیرنده ها با ESM تاکتیکی با قابلیت کامل ELINT ( جمع آوری جاسوسی) افزایش یافت. مشخصات یک گیرنده ELINT ایده آل برای تهدیدهای امروزی ، پوشش فرکانس آنی ۰.۵–۴۰ هرتز

را با حساسیت بهتر از dB ٦٠- ، محدوده دینامیک بیش از dB ٥٠ و تفکیک فرکانس ٥-١ مگاهرتز را طلب می کند. تنوعی از سیگنالها مثل پالسی، فرکانس چابک CW( Doppler)، PRI چابک، فرکانس داخل پالس ( سیستم طیف جاروب فرکانسی، شیفت چند فازی کلیددار غیره)، باید همگی مجهز به رهگیری با احتمال بالا (POI) و نرخ آلارم غلط پایین (FAR) باشند. این مقاله با ابزار رادار EW در محدوده فرکانس ١٨-١ گیگاهرتز کار می کند که قابلیت ابزار موجود را دارد. حالا تکنیکهای راهنمایی موشک معرفی شده اخیر فرکانسهای بالای ١٨ گیگاهرتز را استفاده می کنند بنابراین نیاز سریع به توسعه پوشش سیستمهای ECM و ESM تا ٤٠ گیگاهرتز است.

جدول ٣ ابزار گیرنده رادار رهگیری

| | |
|---|---|
| محدوده فرکانس GHz | ٠.٥-٤٠ |
| پهنای باند گیرنده آنی GHz | ١ |
| نوع سیگنال | 100 ns پالسی برای CW |
| حساسیت dBm (CW) | <-٧٠ |
| (پالسی) | <-٦٠ |
| تفکیک MHz (پالسی) | ٥ |
| (CW) | ١ |
| محدوده دینامیک، dB ( آنی) | >٥٠ |

| | |
|---|---|
| (سوییچ شده) | ۹۰ |
| دقت دامنه dB | ۱ |
| دقت جهت درجه( RMS) | ۵ |
| تفکیک پهنای پالس ns | ۱۰۰ |
| تفکیک TOA، ns | ۵۰ |
| دانسیته سیگنال، s/بخش | $۱۰^{۶}$ |
| احتمال رهگیری ٪ | ۱۰۰ |

ابزار ESM بعنوان طرحهای حمله یا پویش کردن فرکانس و/یا جهت بکار گرفته می شوند. سیستمی که در جهت و فرکانس حمله است POI، ۱۰۰٪ را پیشنهاد می دهد اما حساسیتش پایین است و خیلی در جاسوسی دشمن یا دوستانه آسیب پذیر است.

### ۴.۳ طرحهای گیرنده رادار رهگیری جاری

سه روش پایه استفاده شده در ابزار رادار ESM بطور شماتیک در شکل ۳ نشان داده شده است. گیرنده ویدئو کریستال حمله( ۱۸-۲ گیگاهرتز) پیش تقویت کننده RF با نویز پایین (LNA)، شناساگر ویدئو ( قانون مجذور) و تقویت کننده لگاریتمی ویدئو دارد.

شکل ۳ روشهای گیرنده رادار رهگیری جاری

a ویدئو بلوری

b سنجش فرکانس آنی

c سوپرهترودین پویشی

حساس به فرکانس نیست و ابتدا برای اندازه گیری پهنای باند کمتر از پالسهای ns ۳۰ و زمان ورود (TOA) استفاده می شد. با پیچیدگی اضافی، می تواند برای اندازه گیری دامنه پالس با تفکیک dB ۱ ± توسعه داده شود. مزایا ویدئو کریستال POI بالا، سادگی و فشردگی است شکل ٤ را ببینید. معایبش ناتوانی در تمیز دادن بین فرکانسهای مختلف است مگر اینکه با یک تسهیم کننده ترکیب شود، تخریب سریع در محیط های سیگنال متراکم و حساسیت به اختلال است. اغلب RWR ها با فیلتر عبور دهنده باند میکروویو و گیرنده ویدئو کریستال بکار گرفته می شوند. حساسیت مماسی بطور خاص dBm ٤٥- است. که اجازه تشخیص فرستنده های رادار خاص تا محدوده km ۱۵۰ وابسته به حول افق رادار برای راه اندازی هوابرد را می دهد.

اطلاعات فرکانس معمولا با تسهیم کردن خروجی آنتن به باندهای فرکانس اکتاو که بر اساس پالس در گیرنده های اقدامات فرکانس آنی (IFM ) آنالیز می شود اندازه گیری می شود. اینها شامل یک مجموعه از تفکیک کننده ها یا وابسته کننده ها همانطور که در شکل 3b نشان داده شده است می باشند که حساسیت dBm ٥٥- تا ۷۰- را روی پوشش باند، محدوده دینامیک dB ۷۰، دقت تفکیکMHz ٥± و قابلیت دانسیته-پالس-متلاقی بیش از $۱۰^{٦}$ پالس بر ثانیه راتهیه می کند. مزایا حصول POI، ۱۰۰٪ و قابلیت شناسایی و نمایش چابکی فرکانس و سیگنالهای سیستم طیف جاروب

فرکانسی است. معایب ذاتی که با طرح مناسب گیرنده می تواند کاهش یابد FAR بلند در محیطهای سیگنال متراکم و عملکرد ضعیف سیگنال همزمان بطوریکه بزرگترین سیگنال همواره تعیین شود هستند. طرحهای فشرده IFM های دیجیتال (DIFM) و تشخیص دهنده های دیجیتال فرکانس (DFD) حالا در دسترس هستند که اطلاعات فرکانس خروجی روی Gray ۱۱–۸ بیتی با فرمت کلمه دیجیتال موازی کدگذاری می شود. طرحهای پیشنهادی ممکن برای IFM ها با هزینه پایین بر اساس تکنیکهای فیلتر ماده نواربارریک معلق اخیرا گزارش شده است که این تکنیکها واکنش سریعتری را با قابلیت اندازه گیری پالسهای باریکتر با حذف خط تاخیر پیشنهاد می کنند اما محدوده دینامیکی آنها از طرحهای رایج بدتر است.

متناوبا گیرنده کامل می تواند با تکنیکهای جاروب سوپر هترودین انجام شود. اینها معمولا شامل پیش انتخاب کننده آهن–ایتریم–نارسنگ (YIG) می باشند که جلوتر از گیرنده سوپرهترودین هستند شکل ۳c را ببینید. که شامل اسیلاتور موضعی جاروبی (VCO) بر اساس محاوره بسوی پایین، پهنای باند ( مثل 1GHz±250MHz) تقویت کننده IF و شناسایی است. چنین وسیله فشرده ($in^3$ ۱۰۰>) توان پایین (کمتر از ۲۰ وات) بر اساس مدار یکپارچه میکروویو (MIC) فرکانسهای سیگنال CW و پالسی را که داخل پهنای باند پویش شده قرار می گیرند را اندازه گیری می کند. طرحهای دیگری با پهناهای باند IF باریکتر (1-20 MHz ) در دسترس هستند.

مزایای گیرنده سوپرهترودین بیشترین حساسیت به سه روش ( رقم نویزdB ۲۰>)، FAR پایین و انعطاف پذیری برای مقابله با تهدیدهای جدید است. معایب آن POI ضعیف به پالسهای سیگنال، بی توجهی به سیگنالهای چابک فرکانس، مصونیت ضعیف پارازیت و تنها دقت متوسط فرکانس (٪۰.۵±)

است. سرعت پویش با عکس العمل فیلتر IF و VCO و نرخهای جاروب پیش انتخاب کننده محدود می شود. برای پیش انتخاب کننده YIG نرخهای پویش خاص 100MHz/ms است و برای VCO که واراکتور تنظیم می باشد 100MHz/100ns است.

به استثنای گیرنده ویدئو کریستال این تکنیکهای رایج بطور کل پوشش 1-18GHz را در یک واحد پیشنهاد نمی کنند. قدیمی ترین IFM ها پوشش 6-18 GHz و 2-6 GHz را در دو باند می دهند و ۱۰۰٪ POI تهیه می کنند. POI بدتر گیرنده سوپرهترودین پویش شده می تواند با تبدیل رو به پایین با یک مجموعه از گیرنده های سوپرهترودین بهبود یابد، که می تواند جاروب شود یا روی فرکانسهای خاصی تنظیم شود. چنین معماریهای کانالی( میکروویو) پهن باند که بطور معمول کانالهای گیرنده IF یکسانی را استفاده می کنند اسیلاتورهای قفل شده فازی با نویز پایین خیلی دقیق را در تبدیل کننده رو به پایین نیاز دارند تا دقت و حساسیت گیرنده را حفظ کند. که بهبودی در کارایی در سناریوهای متراکم را جایی که پالس های مشابهی می تواند بین باندهای مختلف رادار رخ دهد را پیشنهاد می کنند به شرطی که در کانالهای جدا پردازش شوند. اگر دانسیته پالس کم است پس ورودی کل 2-18 GHz می تواند با ٤ تبدیل کننده رو به پایین کانالی شود و به صورت یک تک مدول با پهنای باند 4GHz در هم بپیچد. فعالیت سیگنال درون تبدیل کننده رو به پایین می تواند اندازه گیری شود تا باند فعال شناسایی گردد. متناوبا اتیکت می تواند برای فعال کردن سوییچ تماس استفاده شود اینکه کدام زمان خروجی های تبدیل شده رو به پایین را بواسطه تک کانال سخت افزار گیرنده تسهیم می کند. که مانع از تا شدن نویز و افت حساسیت روش اولیه می شود که کل سیگنالها بطور اتوماتیک به واسطه تک مدول پهنای باند 4GHz تا می خورند.

شکل ٤ تصویر گیرنده ESM شامل یک تسهیم کننده یکپارچه ترکیب شده با ۳ گیرنده ویدئو کریستال موازی

### ۴.۴ سیستمهای آنتن برای تمایز دادن جهت

تمایز جهت/زاویه یا سیستمهای DF از اهمیت افزایشی در ابزار ESM برخوردار می شوند. بطوریکه سناریوهای واقعی EW شامل رادارهای ECCM با فرکانس چابک تر و PRF چابکتر هستند و قابلیت مرتب کردن سیگنالها را برای پردازش دارند و ECM بعدی سرانجام باید به پارامتری که رادار دشمن نمی تواند تغییر یابد با اسم جهت پالس به پالس وابسته باشد. التزامات امروز به چنین تمایز کننده های جهت، خیلی مصر هستند. اغلب آنها باید با چندین اکتاو پهنای باند کار کنند و هنوز دقتهای جهت RMS رو به پایین ۲ درجه با POI بالا و زمان عکس العمل سریع در محیط متراکم سیگنال تهیه می کنند. این توسعه های اخیر اساسا سبب تاکید بیشتری بر هندسه های آنتن و یکپارچگی عملیاتی شان در ابزار ESM و اختلال موثر ECM می شود.

یک مثال جالب طرح نیروی دریایی آمریکا برای قیمت گذاری سیستم جنگ الکترونیکی (DPEWS) است که حفاظت در مقابل تهدیدهای موشکی دریایی را فراهم می آورد و سیستم آنتن چند پرتویی لنز–روتمن–دی الکتریک را مستقر می کند. شکل ٥ یک مثال از طرح عملی نوار میکرو لنز روتمن را برای پوشش 6-11 GHz را نشان می دهد که ٤ پرتو از آرایه هشت عضوی را ایجاد می کند.

تفکیک کننده های جهت در طبقات ۳ سیستم اصلی: تکنیکهای پرتو پویشی، چند پرتو همزمان و اندازه گیری پارازیت قرار دارد. سیستم پرتو پویشی تنها یک گیرنده نیاز دارد اما عکس العمل آهسته

و POI ضعیف دارد. سیستم چند پرتو همزمان سهم زیادی را حفظ می کند بلکه همچنین مزیت عکس العمل سریع را دارد. بهرحال به تعدادی کانال موازی گیرنده نیاز دارد. سیستمهای سنجش پارازیت که تکنیکهای مقایسه فاز را استفاده می کنند مزیت عکس العمل سریع بدون تاوان سهم کاهشی مثل حساسیت  را دارند. بعلاوه مدارات میکروویو پیچیده مقدم بر تعداد نسبتا کم گیرنده را نیاز دارند.

سیستمهای مقایسه دامنه همچنین برای تمایز جهت ساخته می شوند بطوریکه بکارگیریشان ساده تر از پارازیت سنج ها است. برای مثال چنین سیستم چهار پرتویی با گیرنده های ویدئو کریستال سبب خطا جهت RMS حدود ۱۰ درجه می گردد. با سیستم قابل مقایسه ٦ پرتویی خطا به تقریبا ٥ درجه کاهش می یابد.

ساده ترین سیستم سنجش پارازیت آنتن آرایه خطی برای اطلاعات ازیموت است. ساتع کننده تهدید دشمن در زاویه $\Theta$ به هدف سوراخ سبب اختلاف فاز $\Phi$ در عرض آنتن می گردد

$$\emptyset = \frac{2}{\lambda}(n-1)\sin$$

که n تعداد عناصر، l فضای یکنواخت عنصر و $\lambda$ طول موج بدون فاصله زمانی است. بنابراین با اندازه گیری اختلاف فاز $\Phi$ می توان $\Theta$ را به روش غیر خطی تعیین کرد. بهرحال، برای پوشش ۳٦۰ درجه حداقل ۳ آرایه خطی با سوراخ بزرگ در این کنفیگوراسیون فاز تک پالسی لازم می باشد.

شکل ٥ جزییات لنز روتمن نوار میکرو 6-11GHz که ٤ پرتو از یک آرایه ۸ عنصری را نشان می دهد

شکل ٦ تفکیک کننده جهت دیجیتالی ۱٦ عنصری باند S ( 2-4GHz) آرایه آنتن و شبکه تغذیه را نشان می دهد

اخیرا سیستمهای مقایسه فاز آرایه دایره ای ماتریس تغذیه برای اندازه گیری جهت ازیموت حمله ساخته شده است. اینها ارتباط دهنده های مشابه آنچه در IFM ها توضیح داده شده است را بکار می گیرند شکل 3b را ببینید( به استثنای اینکه تاخیر با فضا عنصر آنتن جایگزین شود) و به جای فرکانس، جهت را تولید می کنند. شکل ٦ ، ١٦عنصر مشابه سیستم باند S را نشان می دهد که دقت آزیموت ادعا شده ١.٧ درجه RMS با ١٤٠ درجه از زاویه ارتفاع دارد. اساس آرایه دایره ای قابلیت حمایت یک مجموعه از مدها با الگو میدان دور مد ازیموتی m امین درجه متناسب با ( )exp —— است که تابع بسل نوع اول با درجه m و r شعاع آرایه، m عدد صحیح است که بین ٠ و N/2± قرار دارد که N تعداد عناصر در آرایه است. بنابراین اگر این سیستم آنتن مد m ام را دریافت کند ( که شبکه تغذیه ماتریس پیچیده مناسب را لازم می سازد) سپس اختلاف فاز Φ بین پورت مرجع و پورت mام mΘ است و زاویه جهت را به روش خطی ارائه می دهد. برای رفع ابهامات، اندزاه گیریهای فاز ظریف و ضخیم لازم می باشد. در عمل آرایه عنصر N=16 به ترتیب به مدهای m=1 و m=2 ارتباط دارد.

سیستم تفکیک کننده جهت آرایه دایره ای که در فرکانسهای میکروویو برای پالس DF رادار کار می کند معایب ذاتی دارد که به انتشار تهدید همزمان در چندین فرکانس آسیب پذیر است. پیشنهاد شده است که بر این ناکارایی می توان با قربانی پهنای باند در حال کار غلبه کرد یعنی با قرار دادن یک جفت موج اکوستیک سطح (SAW) گیرنده های پویشی میکرو در امتداد مدارات تفکیک کننده بطوری که فرکانسهای منتشر کننده های مختلف می تواند قبل از محاسبه جهت شناسایی شود. جاسوسی

CW در این آرایه های دایره ای می تواند با استفاده از تکنیکهای پردازش انطباقی بیان شده در بخش ۷.۲ حداقل شود.

همچنین آرایه دایره ای در ارتباطات ESM برای آنالیز DF استفاده می شود. خروجی ها از یک آرایه پهن باند ( 200-400MHz) می تواند پردازش شود تا فرکانسها و جهتهای پارازیت انداز را شناسایی کند. این اطلاعات سپس می تواند برای کنترل تشکیل دهنده های پرتو تکی و شبکه های هدایت نول همراه با چندین گیرنده باریک باند که می تواند بطور موازی کار کند استفاده شود، خروجی های آرایه تکی دایره ای را به اشتراک می گذارد.

در صورت نیاز، موقعیت ساطع کننده دشمن با سه گوش سازی بین چندین تفکیک کننده جهت مجزای فضایی می تواند ایجاد شود اما اطلاعات ارتفاع نمی تواند به دقت تعیین شود. متناوبا، اگر ایستگاههای ESM تکی با سیستم موقعیت یاب جهانی ماهواره ای تطابق زمانی دارند تکنیکهای هدایت هذلولی بر اساس اندازه گیریهای تفاضلی TOA می توانند برای تعیین موقعیت ساطع کننده سه بعدی دقیق انجام شوند. که نیاز به پردازش DF در ایستگاههای ESM را از بین می برد اما برای انطباق زمانی با دقت کمتر از ۱۰۰ نانو ثانیه ضوورت دارد.

### ۴.۵ مثالهایی از ابزار رادار EW

رشد اخیر بی سابقه سیستمهای سلاحهای دریایی پیچیده مثل موشکهای هدایت شونده نشان داده است که قابلیت بقاء کشتی های سطحی هم اکنون مورد سوال است. سیستمهای ESM مثل

Mullard Equipment Ltd. (MEL) Susie, MEL/Thorn EMI UAA Equipments و سیستم Racal Decca Cutlass همگی برای کار در پوشش 1-18GHz برای سناریو EW دریایی سیگنال متراکم گزارش شدند. Cutlass از ساختار مدولار است و قابلیت آنالیز ESM پیشرفته را همراه با شلیک chaff برای ESM غیر فعال کامل می کند. Susie می تواند با chaff dispensing غیر فعال سیستم پرتاب نارنجک MEL Protean یا مختل کننده های فعال مثل سیستم Hollandse Signaalapparaten Scimitar ترکیب شود. قابلیتهای این سیستمها و دیگر سیستمهای EW سالانه در لغتنامه موجود در مرجع ۱ و جلدهای قبلی خلاصه شد.

Cutlass در شکل ۷ روش طرح حمله دو کانالی را بکار می گیرد. برطرف کننده جهت، جهت دیجیتالی، دامنه و پهنای پالس را تهیه می کند. فرکانس سیگنالهای وارد شونده در دومین پروسسور موازی با IFM های تسهیم شده دیجیتال با استفاده از واحد آنتن گیرنده یا فرستنده امواج در جهت مناسب بالایی جدا اندازه گیری می شود شکل ۷ را ببینید.

اولین مرحله deinterleaving سیگنال با استفاده از پارامترهای فرکانس، جهت و پهنای پالس انجام می شود. جایی که این پارامترها به اندازه کافی خوب تعیین نشدند پالسهای عبوری سعی به تجمع روی پایه TOA ساده می کنند. TOA هر پالس با کل پالسهای بعدی مقایسه می شود تا شماره تسلسل یا قطارهای پالس فواصل ثابت پالس را ایجاد و معین کنیم. پالسهای باقیمانده برای هر خصوصیات دایره ای ناشی از رادارهای ECCM با استفاده از PRI متناوبی یا بی ثبات یا چابکی فرکانس بررسی می شود.

بازار Thorn EMI انتخابی از وسیله شناسایی رادار اتوماتیک انتخابی (SARIE) است (شکل ۸) که روی بازگشتهای ویدئو از یک گیرنده رادار یا ESM کار می کند پهناهای باند تکی و PRF ها را قبل از مقایسه آنها در مقابل یک مجموعه از رادارهای ذخیره شده اندازه گیری می کند.

علاوه بر سناریو دریایی نیروی هوایی و ارتش هر دو نیازهای ESM یکسانی دارند. نیروی زمینی ارتش مثل سیستم آنالیز و طبقه بندی رهگیری جهت رادار اتوماتیک میدان نبرد (BARBICAN) با پوشش فرکانس مشابه Cutlass و Susie طراحی شده است و داخل یک مجموعه از کانتینرهای یک تنی مجهز به وسیله وفق پیدا می کند. با محاسبه سه گوش سازی بین ۳ ایستگاه ESM در کامپیوتر Ferran F1600D کار می کند که ترافیک غیر ارتباطات دشمن را آنالیز و مکان یابی می کند. ابزار هوابرد ESM که باید طرح های خیلی فشرده در محدوده RWR های ساده در هلیکوپترها تا ابزار خیلی پیچیده برای هواپیما نبرد را بکار گیرند.

دیگر سیستمهای رادار هشداری خیلی مهم در سیستم کنترل و هشدار هوابرد ( AWACS) Hawkeye E-2 و Hawkeye E-3 آمریکا، و ابزار Nimrod انگلیس بکار گرفته می شوند. شکل ۹ یک مثال از هشدار Hawkeye و کنترل هواپیما را نشان می دهد. همچنین AWACS سیستمهای IFF و رادار مراقبت چرخشی نصب شده در منزلگاه را بکار می گیرد که امروزه روی بدنه هواپیما بوئینگ ۷۰۷ نصب شده است. همچنین اتصال داده های کنترل جنگنده پیشرفته را داخل می کند. حالا بیش از ۲۰ تا از این هواپیماهای تحت سرویس نیروی هوایی آمریکا در آمریکا و مصر موجود است. که قصد دارند بطور صمیمانه در فضای هوائی پشت ناحیه کشمکش مستقر شوند تا کل هواپیماها را شناسایی و دنبال کنند. این اطلاعات با کامپیوتر پردازش شده و تحت ارتباط داده ها برای کنترل

رهگیریهای جنگنده انتقال داده می شوند.  استفاده از سکو رادار هوابرد بجای راه اندازی رادار زمینی بطور قابل توجهی محدوده کاری را توسعه می دهد و شناسایی و مکان یابی هواپیما سطح پایین اعتصاب را اجازه می دهد.

نسل بعدی ابزار E-3A که بعد ازامسال در اروپا و آمریکا مستقر می شود ارتباطات بهبود یافته با سیستم مشترک توزیع اطلاعات تاکتیکی (JTIDS) اتصال داده های ECCM را برای حفاظت استراق سمع و پارازیت انداز را هم خواهند آمیخت به بخش ۷.۱ مراجعه کنید. بعلاوه تدارک برای افزودن ظرفیت ESM و پوسته هایی محافظ خارجی ECM در آینده خواهند داشت. استفاده از سکو رادار هوابرد تلفیق رادار bistatic را اجازه می دهد جایی که هواپیما تاکتیکی نبرد با گیرنده های غیر فعال مجهز می شوند که نمی تواند با ESM دشمن شناسایی شود.

وسیله معادل هشدار هوابرد انگلیس (AEW) راه اندازی  Nimord Comet 4 است که رادارهای پیشرفته در ورم های دم و بینی با سنسورهای ESM غیر فعال در پوسته محافظ نوک کفش دارای قوس ترکیب می شود. طرح Nimrod AEW توسعه جدیدی است که کاملا از راه اندازی مراقبت دریایی  Nimrod موجود متمایز است.

## ۵ تکنیکهای جدید برای گیرنده های ESM

در ارتباطات، گیرنده سوپرهترودین جاروب آهسته عکس العمل سریعی که برای رهگیری و کشف رمزی از مخابرات رادیویی مطالب پراش فرکانس یا مخابره های کد گذاری شده دیجیتالی کوتاه پشت سر هم لازم می باشد را تهیه نمی کند. در رادار نیاز در حال رشدی به بدست آوردن عملکرد پالس همزمان در ابزار ESM موجود است که باید در سناریوهای سیگنال متراکم با رادارهای کدگذاری شده ECCM عمل کند. هر دوی این فاکتورها اعتماد به مطالعه روشهای گیرنده ESM جدید بر اساس اکوستیک، تکنیکهای دیجیتالی و نوری را تهیه می کند.

ابزار موج اکوستیک سطحی (SAW) مزایای قطعی در فهم گیرنده های ESM آینده را قول می دهد. اندازه فیزیکی کوچک فیلترهای گذراننده باند عکس العمل محدود تپش نوسنجی SAW و انعطاف پذیری عکس العمل فرکانس در دسترس مثل فیلتر شکل باند، مدولهای کانالی باریک پهن فشرده (IF) طراحی شده با استفاده از مجموعه های فیلتر متصل را اجازه می دهد که عکس العمل به سیگنالهای پالسی ورودی مافوق طرحهای فیلتر LC فاز می نیمم معمول است. همچنین تکنیکهای SAW گیرنده سوپرهترودین پویشی به گیرنده فشرده یا ریز پویشی توسعه می یابد. برای ELINT پهنای باند مورد نیاز گیرنده بیشتر از قابلیتهای کانالی کننده تکی SAW یا مدولهای فشرده گیرنده است تسهیم کردن ورودی به بانک موازی از مدولهای پردازشی معمولی را ضروری می سازد. همچنین تکنیکهای نوری و دیجیتالی برای طرحهای جدید گیرنده ESM مناسب است.

شکل 7a قایق گشت سریع منطبق بر وسیله Racal Decca Cutlass EW

شکل b ۷ جزییات آنتن هوایی بکار گرفته شده در سیستم ESM عکس العمل اتوماتیک Racal Decca Cutlass

جزء بالا در ارتباط با آنالیز فرکانس است در حالیکه کنفیگوراسیون کیک جهت را اندازه گیری می کند

شکل ۸ رابط اپراتور برای وسیله شناسایی اتوماتیک رادار SARIE

شکل ۹ رادار (Hawkeye) E2 هشدار و کنترل هواپیما که می تواند بطور اتوماتیک هدفهای ۶۰۰ بالای زمین و آب را شناسایی و دنبال کند

جدول ٤ خلاصه قابلیتهای بالقوه برای گیرنده های رادار ESM بر اساس تکنیکهای جدید

| | اکوستیک نوری | SAW فشرده | SAW کانالی |
|---|---|---|---|
| نوع | یکپارچه | فیلترهای IDT | فیلترهای IDT |
| | | | IFMهای پالس |
| طرح | عادی | عادی | عادی |
| پهنای باند مگاهرتز | ۱۰۰۰ | ۲۵۰ | ۲۵۰ |
| تفکیک وزن زیاد مگاهرتز | ۱.٤ | ۱ | ۱ |
| محصول موثر زمانی پهن باند | ۷۰۰ | ۲۵۰ | ۲۵۰ |
| محدوده دینامیک dB | ۳۰–۲۵ | ۲۵–۲۰ | ۵۰ |
| اتلاف برق وات | ۵ | ۲۰ | ۵۰ |

| | | | |
|---|---|---|---|
| هزینه تخمین زده جزء | ۱۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ | ۱۰۰۰۰ |

---

### ۵.۱ گیرنده کانالی

در گیرنده کانالی سیگنال به یک بانکی از فیلترهای عبور دهنده باند پیوسته تغذیه می شود هر یک طوری طراحی شده است تا در فرکانس متفاوت مرکز کار کنند شکل 10a را ببینید. نمونه گیری خروجی های فیلتر با نرخ قابل مقایسه با معکوس پهناهای باند فیلتر اندازه گیری مستقیمی از فرکانس های ورودی را فراهم می سازد. کانال ساز بارک باند SAW قابلیت آنالیز سیگنالهای همزمان برای ساطع کننده هایی کهجداسازی فرکانس از فضای کانال تجاوز می کند را پیشنهاد می دهد. فیلترهای SAW UHF بطور معمول برای بکارگیری یک کانال ساز ضخیم IF با قدرت تفکیک مناسب برای پهنای باند فرستنده مورد انتظار (مثل 10MHz) طراحی شده است تا از شناسایی سیگنالهای باند پهن در تعدادی از کانالها جلوگیری کنیم، و تکنیکهای SAW IFM درون بانک فیلتر برای اندازه گیری دقیق سیگنالهای باریک باند پالسی و CW قرار گرفتند. فعالیت سیگنال ابتدا د رخروجی کانال ساز ضخیم SAW اندازه گیری می شود. تعداد کوچکتری از SAW IFM ها یا دیگر تکنیکهای پردازش اندازه گیریهای فرکانس روی پاسخهای تاخیری خروجی های کانال ساز ضخیم فعال را ایجاد می کنند. که اجازه می دهد پالسهایی با عرض ۱۰۰ نانوثانیه با دقت ۱ مگاهرتز اندازه گیری شود.

همچنین دیگر کانالسازهای بارک باند مینیاتوری میکروویو بر اساس تکنولوژی موج مگنت استاتیک (MSW) گزارش شده است که در ۹ گیگاهرتز با ۱۰کانال پیوسته هر یک ۵۰ مگاهرتز و پهنای باند 3 dBکار می کنند. درج افت به یک کانال 14dB است و پایداری می تواند تا ۱±مگاهرتز در محدوده دمایی ۶۰–۱۰ درجه سانتی گراد حفظ شود.

شکل ۱۰ روشهای طرح گیرنده رهگیری آینده

a SAW کانالی

b SAW فشرده

c سل براگ اکوستیک–نوری

**۵.۲ گیرنده ریز پویشی**

گیرنده ریز پویشی یا فشرده آنالیز طیف را با ضرب کردن نمونه گسسته از زمان سیگنال خروجی در یک سیستم طیف جاروب فرکانس( chrip) موج مانند و تاب دادن عبارت حاصل در فیلتر chrip پراکنده یکی دیگر انجام می دهد شکل b ۱۰ را ببینید. مزیت کلیدی گیرنده های فشرده SAW سادگی نسبی شان است بطوریکی معادل با 1000<-30 بانکهای فیلتر کانال هستند که پهناهای باند 250<-1 مگاهرتز ب قدرت تفکیک 20KHz-2MHz را پوشش می دهند. بکار گیری هر SAW پارامترهای محدودی درون این مرزها با پارامترهای دقیق فیلتر chrip خواهد داشت.

برای سناریو رادار پالسی ساطع کننده کنفیگوراسیون افزاینده کوتاه تحقق ساده تر سخت افزار را پیشنهاد می دهد. بهرحال پیاده سازی عملی با توزین زمانی برای بدست آوردن محدوده دینامیک رضایت بخش مشکلات اساسی را بیان می کند. جدول ٤ را ببینید. همچنین خواندن سریع تک سریال فرکانس تقاضاهای زیادی به سرعت، هزینه و قدرت مدارهای رابط دیجیتال در پردازشگر نوع پالس را ایجاد می کند که مدولها را به پهناهای باند 250 مگاهرتز که کمتر از ظرفیت های وسیله نهایی SAW است محدود می کند.

برای ارتباطات VHF/UHF که سیگنالها شامل AM، FM یا اشکال موج پرش فرکانس هستند و قدرت تفکیک نزدیک به فضای کانال ۲۵ یا ۱۲.۵ کیلوهرتز مطلوب است روش افزاینده بلند مطلوب می باشد. که قدرت تفکیک عالی را می دهد و به آسانی برای جلوگیری sidelobe می تواند توزین شود. مبدل دیجیتالی SAW (IDT) پهن باند جدید (٥ مگاهرتز)، کمپرسور انعکاسی آرایه (RAC) و گیرنده های فشرده پراکنده IMCON نوار استیل همگی محدوده دینامیک با نویز محدود 60-80 dB را پیشنهاد می دهند اما sidelobes فشرده پالس محدوده دینامیک را به 40-50 dB در کانالهای نزدیک به سیگنال شناسایی شده کاهش می دهد جدول ٥ را ببینید. طرحهای IDT محدوده دینامیکی بیش از 40dB را در نزدیکی sidelobes ارائه می دهند در حالیکه ابزار RAC و IMCON، sidelobes بالاتری بدلیل پایداری دمایی بدشان در بر دارند.

جدول ٥: خلاصه ای از ظرفیتهای بالقوه برای گیرنده های ارتباط ESM بر اساس تکنیکهای جدید

| | اکوستیک نوری | SAW فشرده | FFT دیجیتال |
|---|---|---|---|
| نوع | بالک | فیلترهای IDT | مبنا ٤ تسهیم |

| طرح | معمولی | معمولی | بخشهای |
|---|---|---|---|
| پهنای باند مگاهرتز | ۳۰ | ۱۰(۱۰) | ۵ |
| قدرت تفکیک کیلوهرتز | ٤۰ | ۲۵ (۷) | ۵ |
| حاصل پهنای باند موثر زمانی | ۷۵۰ | ٤۰۰ (۱٦۰۰) | ۱۰۰۰ |
| محدوده دینامیک منحصر | ۳۰-۲۵ | ٤۰ (۳۰) | ۷۲ |
| اتلاف برق وات | ۳۰ | ۲۰ (٤۰) | ۱۲۰ |
| هزینه جزء تخمین زده شده پوند | ۲۰۰۰۰ | ۵۰۰۰ (۵۰۰۰) | ۵۰۰۰ |

### ۵.۳ سلهای براگ اکوستیک نوری

یک تکنیک مهم در طراحی گیرنده های ESM نسل آینده سل براگ نوری اکوستیک (AO) است که موج اکوستیک انتشاری با پرتو نور تعامل می کند تا خروجی دیفراکته متناسب با سیگنالهای موجود در موج اکوستیک را بدهد. قدرت تفکیک فرکانس تقریبا مساوی عکس زمان عبور اکوستیک از میان کریستال است. شناسایی با تمرکز پرتو نور دیفراکته بر فتودیود یا آرایه شناساگر وسیله مزدوج بار (CCD) انجام می شود شکل 10c را ببینید. طراحی سل توسط تقاضاهای ضد و نقیض بر پارامترهایی مثل پهنای باند اکوستیک محدود می شود. کارایی سل مستقیما متناسب با پهنای پرتو است در حالیکه پهنای باند بطور معکوس با پهنای پرتو ارتباط دارد.

دو بکارگیری متفاوت آنالیزور طیف سل براگ AO ممکن است: بالک و مجتمع که اولی امروز در

وسیله تجاری در دسترس است. این آنالیزورهای AO بطور خاص پهنای باند ۱۰۰۰-۳۰ مگاهرتز را در پروسسور تنها استفاده می کنند که معادل ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ نقطه انتقال است و تفکیکهایی در محدوده ۳۰ کیلوهرتز تا ۱ مگاهرتز را می دهد. قدرت تفکیک و پهنای باند دقیق با مد انتشار اکوستیک سل و ماده پشتیبانی می شود. نیوبات لیتیم قابل کاربرد به ELINT است که قدرت تفکیک ۱ مگاهرتز است جدول ٤ را ببینید. بطور عکس سرعت پایین تر انتشار موج برش دی اکسید تلوریم قدرت تفکیک بهتری در ارتباطات ارائه می دهد جدول ٤ را ببینید.

مقایسه دو سل نشان می دهد که نیوبات لیتیم کارایی پایینی دارد و به برق زیاد حدود ۱ وات، تقویت کننده های اکوستیک نیاز دارد. بر عکس دی اکسید تلوریم خیلی کارا است، تنها به چند میلی وات برق نیاز دارد. بهرحال کریستالهای دوم از لحاظ فیزیکی بزرگند ( بیش از ۳ سانتی متر طول) و بنابراین مشکل است کیفیت نوری مورد نیاز را بدست آوریم. در نتیجه سل ارتباطات و هزینه نورهای مجتمع چند برابر بزرگتر از چیزی است که برای مورد ELINT می باشد. مشکلات در توزین این سلها برای متوقف کردن طیف SIDELOBE است که قابل مقایسه با چیزی است که با گیرنده های فشرده SAW حاصل می شود. محدوده دینامیک بدون تقلب سل محدود به 50-60 dB با متفرق کردن نوری می باشد و لزوم کار کردن خطی با راندمانهای AO زیر ۱٪ است. بنابراین انتگرال گیر قانون مجذور شناساگرهای نور محدوده دینامیک را به کمتر از ۲۵ dB محدود می کند و سل را به عمل غیر واقعی زمانی کاهش می دهد، بنابراین POI و TOA را تجزیه می کند. توسعه ها بدنبال بهبود عملکرد شناساگر نور هستند اما هنوز مشکلاتی در پروفایل کردن دقیق پرتو نور برای کاهش SIDELOBE وجود دارد.

اگرچه آنالیزور AO بالک در مقایسه با ابزار دیجیتال کوچک است هنوز اعتماد به توسعه موج هیبرید راهنمایی شده ناهموار (سطح) یا آنالیزرورهای AO یکپارچه موجود است که سرانجام لیزر، نورهای متمرکز، انتشار اکوستیک و شناسایی می تواند همگی در ماده سطح جمع شود. هدف توسعه آنالیزور یکپارچه با پهنای باند ۱ گیگاهرتز و قدرت تفکیک ۱ مگاهرتز برای ELINT هوابرد است جدول ٤ را ببینید.

این آنالیزورها انعطاف پذیری خیلی بیشتری در طرح مبدل در مقایسه با سلهای بالک تهیه می کند و بنابراین پهنای باند بالقوه بزرگتری را قول می دهد. بهرحال ساخت لنزهای یکپارچه قرار گرفته دقیق خیلی چالش برانگیز است، و بنابراین مشخصات جدول ٤ اگرچه با سلهای بالک همخوانی دارد هنوز پیش بینی آینده برای آنالیزور یکپارچه است.

### ۵.۴ تبدیل فوریه های سریع دیجیتالی (FFT)

علاوه بر تکنیکهای آنالوگ پیشین، پردازشگرهای FFT بسرعت توسعه می یابد. FFTهای ۱۰۲٤ نقطه ای با استفاده از افزاینده های دیجیتال ۱٦*۱٦ بیتی می تواند با پهناهای باند پیچیده بلادرنگ ٥ مگاهرتز برای مقدار پایین قیمتها نزدیک ٥۰۰۰ پوند طراحی شود. این پردازشگرها انتظار نمی رود فورا قابل رقابت با ELINT گردند، اما قابلیتهایشان بنظر بخوبی با نیازهای ارتباطاتی تطبیق دارد وقتی تبدیل آنالوگ–دیجیتال (ADC) ۱٦–۱۲ بیت با ۱۰ مگا نمونه بر ثانیه در دسترس است. بنابراین سرانجام، رقابت قوی با گیرنده های فشرده IMCON و SAW وجود خواهد داشت جدول ٥ را ببینید. جدول ٥ عملکرد محتمل رایج را برای FFT تسهیم کننده مبنا ٤ مشخص می سازد. سرعت افزایش یافته (پهنای باند) می تواند با ساختارهای کاملا خط لوله ای حاصل شود، اما هزینه و

مصرف برق خیلی کمتر با طرحهای گیرنده فشرده SAW رقابتی می شود. تحقیقات برای الگوریتمهای بهبود یافته مثل انهایی که بر اساس تعداد انتقالات تئوری است، تعداد سیستمهای باقیمانده و متغیرهای الگوریتم انتقال اول پیشرفتهای بیشتری در سرعت پردازشگر را قول می دهد. در آینده، توسعه ها روی برنامه های دیجیتال نظامی مثل مدار یکپارچه سرعت خیلی بالا آمریکا (VHSIC) و مدار یکپارچه عملکرد خیلی بالا انگلیس (VHPIC) برای تولید مدارات پهنای خط کاهشی با پیچیدگی زیاد با پردازشگرهای FFT پهنای باند وسیعتر ممکن خواهد شد که ساختارهای HEIRARCHICAL پدشرفته مثل آنهایی که بر اساس آرایه های انقباضی است را بکار می گیرد.

**۵.۵ خلاصه**

جداول ٤ و ٥ روشهای پیدا شده برای مدولهای ESM بر اساس تکنیکهای جدید را خلاصه می کند. برای ELINT روش اکوستیک–نوری بالک فورا قابل کاربرد است که می تواند در باند ۱ گیگاهرتز مستقیما کار کند اما توسعه بیشتر قبل از اینکه حساسیت و محدوده دینامیک با کانال سازهای SAW بتواند مقایسه شود لازم می باشد. گیرنده های فشرده و SAW کانالی تنها می تواند در پهنای باند ۲۵۰ مگاهرتز در یک مدول تطبیق پیدا کند و بنابراین به ٤ کانال موازی برای بدست آوردن پوشش ۱ گیگاهرتز نیاز است. SAW کانالی اگرچه خیلی پیچیده است برای ELINT ترجیح داده می شود بطوریکه برتری اساسی از لحاظ محدوده دینامیک (۳۰–۲۰ dB ) در کل روشهای دیگر دارد و خروجیهای نرخ آهسته داده ها موازیش جذابتر است. بهرحال کلیه روشهای آنالوگ تکنیکهای اضافی برای بهبود محدوده دینامیکی شان به 70-80 dB نیاز دارند تا نیازهای ارتباطاتی جدول ۱ را کسب کنند. این ناکارایی توسط پردازشگر FFT دیجیتال مشترک نمی شود که می تواند وزن شده

تا محدوده های دینامیک SIDELOBE منحصر بزرگتر از 70dB را بدهد، با قدرت تفکیک بهبود یافته و عمل کاملا کنترل شده ساعت ترکیب شود. بهرحال FFT به ADC های گران نیاز دارد و اتلاف برق زیاد دارد و بنابراین انتخاب بین گیرنده فشرده SAW و FFT دیجیتال وابسته به جزییات هزینه/عملکرد خواهد بود.

## ۶ جنگهای الکترونیکی (ECM)

### ۶.۱ ماموریت، اهداف و ابزار ECM

جنگهای الکترونیکی به ٤ طبقه ماموریت تقسیم می شوند: ECM گریز، ECM اسکورت، ECM خود حفاظتی/خود نمایشی و ECM پشتیبانی متقابل یا اشتراکی

ماموریت های ECM دفعی آنهایی هستند که بیرون مناطق مرگ سیستمهای کنترل اسلحه دشمن انجام می شود تا پشتیبانی ECM را برای نیروهای دوست مواجه با شلیک دشمن فراهم سازد. ابزار ECM دفعی فرستنده های قدرت بالا نیاز دارد بطوریکه آنها در محدوده طول گسترده شوند و آنها ممکن است مجبور به پارازیت دادن از طریق SIDELOBE های آنتن گیرنده دشمن شوند. ECM اسکورت با عناصر ECM اختصاص یافته به همراهی و پشتیبانی کردن عناصر نبرد انجام می شود. ECM حمایت متقابل یا اشتراکی درگیر انجام هماهنگ ECM با عناصر نبرد در مقابل اکتساب دشمن و رادارهای کنترل اسلحه است. ECM خود حفاظتی و خود نمایشی، ECM انجام شده با عناصر نبرد تکی برای رد اکتساب، تعقیب یا داده های کنترل شلیک نیروهای دشمن است. مثالها از سریهای ابزار موجود Loral Rapport هستند که روی هواپیما F-16 و Mirafe-V بلژیک استفاده می شود.

شکل ۱۱ را ببینید.

مثال بیشتر سیستم پارازیت انداز خود حفاظتی پیشرفته (ASPJ) است شکل ۱۲ را ببینید که تحت ارزیابی نیروی نظامی آمریکا است. شکل ۱۳ وسیله ASPJ نصب شده در پوسته های محافظ زیر هواپیما AV-8B آمریکا را نشان می دهد. خصوصیت قابل توجه ابزار ECM رایج نرم افزار کنترل شده است که آنها را قادر می سازد تا به سرعت مجددا در میدان نوار مغناطیس برای پاسخ به تهدیدهای جدید برنامه ریزی کنند. تفاوت کلیدی بین ECM اشتراکی، اسکورت و دفعی این است که وسیله دفعی بطور فضایی جدا می شود و از طریق SIDELOBEها بجای MAINLOBE پارازیت ایجاد می کند که سطح قدرت بالاتر فرستنده را لازم می سازد.

ماموریتهای ECM نسبت به یک یا ٤ هدف عملیاتی پایه ECM بصورت زیر انجام می شود:

۱) تخریب سیستمهای الکترونیک دشمن تا مانع از استفاده نیروهای دشمن از عناصر ارتباطاتشان، ساختار ($C^3$) کنترل و دستور و شبکه های رادار مجتمع شویم
۲) مانع اکتساب داده ها و انتشار توسط سیستمهای ارتباطات و ESM، رادار دشمن شویم
۳) اشباع پردازش داده ها و قابلیت اپراتور در سیستمهای تهدید برای از بین بردن شناسایی دقیق هدفهای رادار
٤) معرفی داده های غلط فریبنده به سیستمهای الکترونیک دشمن برای ایجاد عکس العملهای غیرموثر و گیج کردن افراد دشمن در سیستمهای $C^3$

در عمل، هیچ وسیله ECM کلیه قابلیتهای لازم برای کلاسهای مختلف ماموریتهای و اهداف عملیاتی

را ندارد. انتخاب وسیله برای ECM سنجش ها در میان ملزومات ماموریت خاص، قابلیتها و ملزومات اهداف ECM، پیچیدگی و قابلیت وسیله ECM را در بر دارد و توجه جزیی به هزینه، پیچیدگی و قابلیت وسیله ECM را در بر دارد.

وسیله ECM ممکن است بطور مناسبی به سیستمهای پارازیت فعال و غیر فعال تقسیم شود. مصرف پذیرهای غیر فعال شامل گسترش های غیرفعال و توزیع کنندگان CHAFF ( انعکاس ماده) است. سیستمهای پارازیت شامل ایجاد کننده های پارازیت فرکانس نقطه، پارازیت گر نویز/رگبار گلوله، پارازیت گرهای بازگو کننده و مصرف پذیر است که برای از بین بردن محدوده یا اطلاعات جهت بکار گرفته می شود. پارازیت ساز های رگبار گلوله شامل پارازیت سازهای پهن باند، پارازیت سازهای جاروب، پارازیت سازهای پالسی و پارازیت سازهای برگرداننده دستور هستند. هر دو پارازیت ساز پالسی و جاروبی می تواند برنامه ریزی شود تا روی فرکانس خاص رادار در فواصل مربوط به نرخ پویش رادار بنشیند تا منحرف کردن زاویه را با تنظیم نرخ پویش انجام دهد مثل مقاومت زاویه ورودی (AGPO). پارازیت سازهای تکرار کننده شامل چندین ژنراتور هدف، پارازیت سازهای پوشش پالس، تکرار کننده های لحظات آخر، تکرار کننده های اغفال مقاومت محدوده دروازه (RGPO)، پارازیت سازهای ضربدری و تکرار کننده های مقاومت سرعت دروازه (VGPO). پارازیت سازهای مصرف پذیر شامل پارازیت سازهای نویز پهن باند، پارازیت سازهای تکرار کننده و پارازیت سازهای فرکانس حمله است. برخی مثالها از کاربرد پارازیت سازها با توجه به تهدیدهای دشمن در جدول ٦ معین شده است.

شکل ١١ جزییات جنگنده F-16 مکانیاب ابزار Rapport III EW را نشان می دهد

شکل ۱۲ دیاگرام شماتیک سیستم پارازیت انداز پیشرفته خود حفاظت

شکل ۱۳ نیروی مشترک هوایی/دریایی آمریکا وسیله ASPJ نوع ALQ 165 نصب شده در پوسته های محافظ زیر یک هواپیما AV-8B V/STOL را توسعه داد

جدول ٦: تهدیدهای هواپیما و پارازیت سازهای ECM بعد از مرجع ٦٦

| ماموریت تهدید | وسیله تهدید | اپتیمم پارازیت ساز ECM |
|---|---|---|
| کنترل ضد شلیک هواپیما | تعقیب رادار پویشی مخروطی | نویز رگبار گلوله تنظیم شده دامنه (AM) |
| ارتفاع کم موشک زمین به هوا (SAM) | تعقیب هدف و درخواست رادارها | پارازیت باریک باند نقطه در فرکانس پی کننده و در هر فرکانسهای درخواستی |
| SAM ارتفاع متوسط | فرستنده درخشان کننده غیر پویشی با گیرنده های تعقیب پویشی و شبکه درخواستی | نویز تیز برای ایجاد بارقه های زاویه در حال حرکت |

| | | |
|---|---|---|
| SAM ارتفاع زیاد | دو پرتو وزشی عمود پویشی برای قراردادن هدف | نویز تیز AM با نرخ پویش رادار |
| رهگیری هوابرد | رادار درخواست (جستجو) اسکن محل تصویر/پالمر | نویز رگبارگلوله AM |

## CHAFF ۶.۲

Chaff مربوط به مقادیر زیاد ماده انعکاسی گسترش یافته در اتمسفر بعنوان اقدامات ضد در برابر سیستمهای الکترونیکی دشمن است. chaff وسیله EW خیلی کارا با قیمت موثر است. بیشتر ظرفیت ترابری chaff شامل دو قطبی های chaff به تقریبا نصف طول موج فرکانس دشمن تقسیم می شود. عکس العمل سیگنال تک عنصری chaff بسیار کوچک است. که رفتار تجمعی تعدادی عنصر chaff و خصوصیات ابر chaff است. فویل آلومینیمی و الیاف شیشه با روکش آلومینیم اولین مواد استفاده شده برای دو قطبی های chaff هستند شکل ١٤ را ببینید.

Chaff بصورت تله یا برای پوشش حمله مهاجم گسترش می یابد. در تله ها، chaff در سل تجزیه رادار مشابه بعنوان هدف توزیع می شود اجازه می دهد هدف دور شود، رادار دشمن قفل شده روی اکو ابر chaff را ترک می کند. در پوشاندن، معمولا کرویدور chaff قرار داده می شود تا اجازه دهیم هواپیما یورش به دفاع رادار نفوذ کند. ملاحظات در طراحی Chaff سرپوشیده بصورت زیر پیش میرود: تعیین مقطع عرضی رادار Chaff (RCS) در هر سل تفکیک به ایجاد نمایش موثر

نیاز دارد ؛ شناسائی سیستمهای توزیع مناسب و Chaff Payload های مرتبط برای پوشش فرکانسهای عمل ؛ تعیین ارتفاع گسترش Chaff / مسیرها و تعداد کوریدورهای مجاور مورد نیاز برای نمایش اطلاعات اصابت؛ و ، بالاخره ، بعد از ملاحظه سرعت باد ، تعداد مورد نیاز توزیع کنندگان سازگار با ملاحظات بالا محاسبه می شود.

فراهم آوری Chaff برای نمایش یک هواپیما خیلی مشکل است ، که نمونه ناحیه RCS از 5dBm2 برای نویز یک جت تا 29dBm2 برای یک بمب افکن تغییر میکند. این براحتی می تواند توسط یک Chaff cloud پیشرو فراتر رود ، که فقط در۲– ۱/۳ میلی ثانیه تنزل میکند. یک هواپیمای اصابت دیده در ابتدا بطور دستی کنترل میشود ، اما ، در حمله نهائی ، آرایش اتوماتیک از از RWR کنترل میشود. Chaff معمولا در جریان هوای آشفته یک هواپیما که بسرعت از هم تفکیک می شود توزیع میگردد، مثل دو قطبی های پیشرفت کننده مجزا. Chaff همچنین می تواند در راکتهای هوابرد یا حفاظت کشتیها سوار شود ، که Chaff cloud های مجزا بیشتر بسوی هدف حفاظت شده حرکت می کنند. نیروهای Chaff اپراتور رادار را از حالت اتوماتیک به وضعیت دستی سوئیچ میکند و نتیجه اش استفاده وسیع در اهداف متحرک MTI است تعقیب لبه مقدم وتکنیکهای فرایند Doppler CW برای انجام جداسازی هدف متحرک سریع از Chaff ساکن است.

شکل ١٤ جزییات chaff شامل دو قطبی های شیشه با روکش آلومینیمی با قطر اسمی ٢٥ میکرومتر

### ۶.۳ توجهات به اختلال فعال

ECM **یک کلید** طرح است که نیروی اخلال گر رسیده با فاصله مابین رادار و اخلال گر نسب عکس

دارد، که نیروی اکو هدف به طور معکوس در یک چهارم محدوده R تغییر می کند. بنابراین یک محدوده حداقل تاثیر وجود دارد که خود نمایشی یا محدوده متقاطع نامیده می شود، که مادون تاثیر اخلا گذر است . برای یک اخلال گر تکرار شونده on-board ، این با معادل سازی نیروی اکو دریافتی $P_{RE}$ ،از دو روش معادله محدوده رادار محاسبه می شود.

$$P = \frac{}{(4\ )}$$

که $P_T$ نیروی انتقال یافته رادار است ، $G_T$ تقویت آنتن است ، $\sigma$ منطقه هدف RCS و $\lambda$ طول موج فضای خالی تا سطح نیروی اختلال گر دریافتی یک سویه است:

$$P = \frac{}{(4\ )}$$

که نیروی ارسال شده اختلال گر است و سهم آنتن اختلال گر است. که محدوده خود نمایشی را ارائه می دهد

$$R = \frac{\overline{\qquad}}{4}$$

برای پهنای باند سیگنال و اختلال گر مساوی و نیروهای برگشت اکو و اختلال گر دریافتی مساوی مثل نسبت سیگنال به اختلال گرdB ۰ .

برای اختلال گر دفعی که اختلال نویز را می تابد و بطور معمول بواسطه SIDELOBE های آنتن رادار دریافت می شود دو معادله اول می تواند اصلاح شود تا برای دو محدوده جدا تا هدف، و

تا اختلال گر در نظر گرفته شود تا محدوده سوختن کامل را بدهد که خارج آن رادار غیر عملی است که

$$R = \frac{\sqrt{\quad}}{4}$$

حالا تکنیکهای ECCM مثل هدایت نول آنتن تطبیقی مهم می شوند بطوریکه فسخ 30 dB می تواند محدوده سوختن کامل برای ECM جدا شده فضایی (دفعی) را تا فاکتور ٥ تا ٦ برابر مقدار فسخ نشده توسعه می دهد. سطوح قدرت CW خاص برای اختلال گرهای باند وسیع متحرک در تیوب موج (TWT) در محدوده ١٠٠ وات در ١٢ گیگاهرتز تا بش از ١ کیلووات در ٣ گیگاهرتز قرار می گیرد. اختلال گرهای پالسی می توانند توان بیش از ١ کیلووات را تحت فرکانس 18-2 گیگاهرتز نگه دارند.

محاسبات مشابه اختلال گر سیگنال به ارتباطات قابل اعمال است. شکل ١٥ راه اندازی اختلال گر ارتباطات Racal VHF را در عقب Land Rover نشان می دهد. که شامل اختلال گر فرکانس سیگنال با واحد کنترل بر اساس میکروپروسسور وابسته می باشد. واحد سبک وزن کوچک برای گسترش تحت استتار در جلوی میدان نبرد طراحی شده است. اختلال گرهای ارتباطات بزرگتر که سطوح قدرت چندین کیلوواتی را پیشنهاد می دهند قادر به اختلال چندین مخابره بطور همزمان هستند لغت نامه مرجع ١ را ببینید. می توانند با آنتن های هدایتی فورا پشت ناحیه نبرد در سکو بزرگتر مثل وسیله زرهی سیگنال یا کابین نصب شده کامیون گسترش یابند.

اختلال گرهای نویز ارتباطات و رادار معمولا با ایستگاه ESM ترکیب می شود برای مثال شکل ١ را

ببینید. برای ماکزیمم کردن تاثیر در مد  نگاه کامل کار می کنند. پارازیت بطور منظم برای پریودهای خیلی کوتاه خاموش می شود. که اجازه می دهد محیط ارزیابی شود تا معین کنیم آیا فرستنده اصلی هنوز ساطع می کند یا آیا اختلال گر باید برای پوشش تهدید جدید برگشت داده شود.

شکل ۱۵ راه اندازی پارازیت ساز ارتباطات در عقب Land Rover

**۶.۴ بازگو کننده های اغفال**

تکرار کننده های اغفال برای محدوده، اغفال زاویه یا سرعت کلاس خیلی مهمی از ابزار رادار ECM را تشکیل می دهند. اغفال محدوده با ارسال مجدد سیگنال غلط به اندازه کافی قوی در فرکانس سیگنال تهدید انجام می شود تا مدار کنترل- سهم-اتوماتیک (AGC) فعال گردد، و سپس بطور تصاعدی مخابره های سیگنال غلط را نسبت به قبول سیگنال تهدید به تاخیر می اندازد. ربودن دروازه محدوده رادار  RGPO را پیاده می کند.  پیاده سازی معمول به واسطه چرخه سیرکولاسیون پهن باند ( بیش از اکتاو) شامل تقویت کننده حالت جامد یا TWT با خط تاخیر اکوستیک میکروویو است شکل ۱۶ را ببینید. برای جلوگیری از ایجاد نویز نامطلوب این چرخه ها ممکن است فزاینده های نویز/سیگنال را که تکنولوژِی موج مگنت استاتیک آهن – اتریم- نار سنگ را استفاده می کند ترکیب کنند. یک کنفیگوراسیون فزاینده سیگنال/نویز خاص نویز سطح پایین پهن باند تا بیش از dB ۱۰ تحت ۵.۲-۲.۶ گیگاهرتز را تضعیف کرده است در حالیکه سیگنال شدیدا منسجم لازم در چرخه سیرکولاسیون  را رها می کنند.

حافظه های دیجیتالی یک راهی برای چرخه های  سیرکولاسیون برای این کاربرد تهیه می کنند.

بهرحال معایبی دارند که فرکانس باید ابتدا بدقت اندازه گیری شود بطوری که پهنای باندشان ( ۳۰۰ مگا هرتز) خیلی کمتر از چرخه سیرکولاسیون میکروویو است و بنابراین تبدیل فرکانس را در ورود و خروج نیاز دارند. خطوط تاخیر ضربه ای آهسته و پیوسته SAW و خطوط متغیر تاخیر بطور پیوسته فیلتر بر اساس سیستم طیف جاروب فرکانس بطور پیوسته برای تکرار کننده های اغفال درنظر گرفته شده است. که مستعد محصولات پهن باند تاخیر تا ۱۰۳ هستند مثل پهن باند ۱۰۰ مگاهرتز با تاخیر متغیر ۱۰ میکرو ثانیه یا پهن باند ۱۰ مگاهرتز با تاخیر ۱۰۰ میکرو ثانیه.

اغفال زاویه (AGPO) با لحاظ کردن پویش گسترده مخروطی راار کنترل شلیک بخوبی بیان شده است. وقتی هدف خارج حد محور پرتو است، پالسهای گسسته منعکس شده با زمان مشاهده می شود. وقتی اکتساب بهبود می یابد ارتفاع پالس با زمان پیوسته تر می شود. سیستم ECM نرخ پویش رادار را اندازه می گیرد و سپس مجددا قطار پالس را با تنظیم دامنه متناسب با عکس دامنه پویش دریافتی مخابره می کند. که اثر هدف را ایجاد می کند که خارج حد محور پرتو مقاومت دروازه زاویه را بکار می گیرد.

اغفال سرعت ( VGPO) در مقابل رادارها استفاده می شود که سرعت را با تغییرات تعقیب فرکانس Doppler رفع می کند. که با انتقال سیگنال غلط انجام می شود که فرکانس Doppler بتدریج از فرکانس Doppler هدف واقعی دور می شود و سپس هدف غلط را منحرف می کند. با سیستمهای ECM با استفاده از TWT این تکنیک ممکن است با Serrodyning بکار گرفته شود. Serrodyning تغییر ولتاژ مارپیچی TWT را با مدل دندانه اره ای در بر دارد تا فرکانس خروجی یا نرخ شنیداری تحت محدوده مورد علاقه Doppler را تغییر دهد.

شکل ۱۶ دیاگرام شماتیک از بازگو کننده اغفال چرخه حافظه را بکار می گیرد

شکل ۱۷ اندازه گیری تغییر میرایی بصورت تابعی از فرکانس (گیگاهرتز)، با فیلم YIG به ضخامت ۲۶.۶ میکرومتر در تماس با خط نوار میکرو بطول ۲۱ میلی متر و عرض ۲۳ میکرومتر روی ماده MCT-70 با ضخامت ۰.۶۳۵ میلیمتر

میدان مغناطیسی تحت تاثیر طول ٤٢٥ Oe بلندی نوار میکرو این کار تحت حمایت قرارداد F33615-79-C-1715 نیروی هوایی آمریکا است

شکل ۱۸ سیستم آنتن آرایه فازی چند پرتویی برای پارازیت قدرت بالا همزمان رادارهای تهدید گسترده شده بطور وسیع با دیاگرامهای قطبی

### ۶.۵ توجهات آنتن

سیستمهای کارا اختلال گر نه تنها منابع کارایی برای فرکانس مطلوب نیاز دارند بلکه قابلیت تابش با سهم بالا در تهدیدهای چندتایی را نی از دارند. نیازهای اخیر ECM برای برق های موثر تابش شده (ERP) تا MW ۱ بوده است. آنتن های معمول از لحاظ قابلیت استعمال بق CW محدود می باشند. این محدودیت رشد تدریجی در سیستمهای ECM آرایه فازی یا آنتن های چند جهتی را سبب شده است. برای مثال، سیستم ECM با استفاده از سهم عنصر 10dB و پهنای باند ٤٠ وات CWT TWT ها ۱۰۰ کیلو وات از برق تابشی موثر با سیستم مخابره آنتن ۱٦ عنصری را تولید می کند.

توسعه های انتن در طول سه مسیر مهم رشد می کنند: پرتو سوییچ شده، فاز هدایت شده و سیستمهای هدایت شده تاخیر زمانی. سیستمهای پرتو سوییچ شده نسبتا ساده هستند و تاثیر هزینه خوبی برای تعداد کوچکی از موقعیتهای پرتو دارند اما اطلاعات جهت درشت از سیستم ESM نیاز دارند. سیستمهای فاز هدایت شده تاثیر هزینه خوبی برای سهم بالا و تعداد زیاد موقعیتهای

پرتو آنتن پیشنهاد می کنند. بهرحال این سیستم شیفت دهنده های فاز اتلاف پایین قدرت بالا نیاز دارد که با سوییچ الکترونیکی در طولهای مسیر مخابره بکار گرفته می شود و اطلاعات فرکانس را برای هدایت دستی جهت نیاز دارد. شکل ۱۸ لنزهای Loral تغذیه کننده سیستم فازی آرایه توسعه یافته برای اختلال همزمان چند تهدید را نشان می دهد.

سیستمهای هدایت شده تاخیر زمانی جدیدتر قابلیت چند پرتویی خوب بدون پویش فرکانس و سوییچ پایین تا متوسط را پیشنهاد می دهد. بهرحال، نیاز تکنولوژی به عناصر شدید است. نیازهای خاص آرایه های تقویت کننده های برق، سیستمهای RF پیچیده و عناصر تاخیر زمانی میکروویو مینیاتوری دقیق هستند.

**۷ اقدامات ضد ضد الکترونیکی** (ECCM)

وقتی جاسوسی از ECM دشمن یا از مخابره های دوستانه را تجربه می کند اقدامات ضد ضد الکترونیکی بکار برده می شود مثل محیط با سازگاری الکترومغناطیسی (ECM) ضعیف بین ابزار. هدف اول در ECCM کاهش تاثیر اختلال با ماکزیمم کردن نسبت سیگنال به نویز یا قدرت جاسوسی E/N0 است. یکی از روشهای کلیدی حصول استفاده تکنیک کدگذاری برای پخش انرژی سیگنال تحت پهنای باند وسیع است و بنابراین قدرت بر واحد پهنای باند را می نیمم می کند. تکنیک دیگر استفاده پیوستگی موجود در سیگنال جاسوسی است تا بطور قابل قبولی هدایت نول در آنتن یا پردازشگر سیگنال مجتمع را انجام دهد.

ECCM اساسا بر وسیله طراحی شده خوب با فیلترهای خوب و آنتن هایی با سطح پایین SIDELOBE که تنها سیگنالهای مورد علاقه را عبور می دهد تکیه دارد و سیگنالهای جاسوسی را تضعیف می کند که تخصیص های طیفی یا جهتها استفاده می کند که از لحاظ مخابره مطلوب فرق دارند. محدوده دینامیک فعال برای جلوگیری از اشباع جاسوسی سطح بالا گیرنده ضروری است.

برخی از تکنیک های پردازش سیگنال موجود در ECCM مناسب است. برای مثال، فیلتراسیون رادار MTI به chaff متحرک آهسته جدا از هدف متحرک سریع می تواند اعمال شود. بطور مشابه،

تکنیکهای نرخ آلارم غلط ثابت (CFAR) آستانه نمایش را تغییر می دهند تا توقف آن با اختلال سطح بالا از بین برود شکل ۱۹ را ببینید. گیرنده های CFAR که خیلی زیاد استفاده می شوند بر اساس تعدادی تکنیک شناسایی سیگنال مختلف هستند. تقویت کننده های لگاریتمی با مدارهای AGC آستانه قابل تطبیق یک روش عمومی است. متناوبا تقویت کننده محدود می تواند با شمارنده صفر ضربدری یا گیرنده فیلتر تطبیقی (Dicke Fix) دنبال شود. گیرنده Dicke Fix می تواند بهبود یابد تا دخالت CW را با تقسیم پهنای باند به قسمتهای جزیی با گیرنده کانالی رد کند.

شکل ۱۹ اثر گیرنده نرخ آلارم غلط ثابت (CFAR) و معمول روی نمایش رادار شناساگر مکان یاب پالس (PPI) وقتی مواجه با اختلال نویز FM، 60 dB بالای نویز حرارتی گیرنده

a معمولی

CFAR b

**۷.۱ کدگذاری موج مانند**

معمولترین تکنیک برای پخش طیف سیگنال بکارگیری مخابره های فرکانس چابک در مراحل گسسته، پرش فرکانس (FH) یا استفاده مدولاسیون جاروب فرکانس ممتد (FM) یا راهنمایی شیفت فاز (PSK) اسیلاتور حامل است، شکل ۲۰ را ببینید.

FM در رادار پالسی که سیستم طیف جاروب فرکانس موج مانند خطی مخابره می شود بکار گرفته می شود و فیلتر منطبق توزین شده در گیرنده برای شناسایی اکو برگشت بکار گرفته می شود. نیازهای دقیق منطبق باطرحهای وسیله SAW که مشابه آنهایی که در گیرنده های فشرده استفاده می شود و قبلا بحث شد مطابقت داده شده اند. وسایل پایدار با کارایی بالا با عکس العملهای

Sidelobe توزین شده کمتر از 45dB- در فیلترهای پارامتر متوسط مثل B=10MHz ، T=10µs قابل حصول است. اگر چه ابتدا برای بهبود قدرت تفکیک محدوده در رادارهای پیک قدرت محدود توسعه یافتند، این فیلترهای پالس–فشرده رد اختلال گرهای پهن باند یا باریک باند را تهیه می کند که با سیستم طیف جاروب فرکانس یکسان موج مانند تنظیم نمی شود. کاهش موثر در سل محدوده ترکیب شده با پهن پرتو آنتن به شدت تاثیر سیستم طیف جاروب فرکانسی را کاهش می دهد.

دیگر تکنیک کد گذاری استفاده از مخابره فرکانسهای سریع الانتقال ، بر پایه پالس به پالس یا بر اساس پاسهای پشت سرهم است. بعلاوه PRI میتواند بصورت سریع الانتقال ایجاد شود. پالس به پالس سریع محافظت ECM را ایجاد می کند که متناسب با پهنای باند است ( مثلا 500 MHz ) اخلال گر تکراری را دفع می کند. بعلاوه ، آن برگشتی های بهم ریخته در وضعیت بد جوی و شرایط دریائی را صاف می کند ، که با افزایش امواج برگشتی هدف امکان کشف آن را بهبود می بخشد. آن همچنین خطای برگشتی یا اختلاف مابین رادار مرکزی و مرکز هدف را پیدا می کند. متاسفانه ، چابکی پالس به پالس با فرایند Doppler (MTI) ناسازگار است و بنابراین بطورکلی قابل اجرا نیست. این مسئله می تواند با چابکی burst-to-burst غالب شود ، اما آن ECM فعال مخالف موثری نیست.

بطور نزدیک تکنیکهای کدگذاری مربوط به پهنای باند در ارتباطات طیف گسترده بکار گرفته می شوند. سیستمهائی همچون Jaguar-V و Sincgars-V زمین به زمین ، JTIDS زمین –هوا–زمین ، ارتباطات ماهواره ای Skynet و سیستم هدایت ماهواره ای Navstar همه در تکنیکهای کدگذاری طیف نواری بکار گرفته می شود. آنها همیشه دارای همان کاربرد چند کانالی فرکانس آنالوگ

معمولی  با دسترسی مضاعف یا سیستمهای دیجیتال (TDMA)می باشد. گرچه ، انتقال پهنای باند در محافظت از تداخل ارتباطی خیلی مفید است و نقشه های دشمن را محدود می کند.

در این سیستمها دو نوع اساسی از انتقال سیگنال مود استفاده است . بطور مداوم در کانال متداول انتقال مشترک صورت می گیرد و ویزگیهای ارتباط اشکال موج مجزا باید انتقالات مشترک بطور جداگانه استفاده شود. این دسترسی متعدد در بخش کدگذاری بعد غیر عادی (CDMA ) با پوشش وسیع زمین شناختی با سیستمهای ارتباطی بکارگیری یک تکرارکننده ماهواره ای همچون Skynet

شکل ۲۰ مثالهایی از تکنیکهای نوسان طیف گسترده مورد حمله قرار گرفته میگیرد و آن همچنین در سیستم Navstar بکار گرفته میشود. تناوبا ، اطلاعات انتقالی مشترک ممکن است در توالی های کوتاه ،و امکان دسترسی هنوز در بعد غیرعادی وجود داشته باشد. یا تکنیکهای TDMA معمولی ممکن است بدور از انتقال همزمان ،مثلا در JTIDS ، بسته به ابزار عملیاتی دقیق بکار گرفته می شود.

دو تکنیک مدول پایه ، تغییر مکان چند فازی(PSK) و پرش فرکانس (FH) ، هر دو تحت کنترل یک کد نویز کاذب (PN)، برای تولید شکل موج  طیف وسیع  مورد توجه هستند. توالی مستقیم طیف گسترده(DSSS) در ارتباطات ماهواره ای و سیستمهای ناوبر، همچون Skynet و Navstar بطور گسترده ای استفاده می شود که یک کد منتشر شده پیوسته PN دو پیمانه ای به حامل کلید دیتا اولی اضافه می شود. اخیرا، ارتباط PSK یا کلید حداقل جابجائی (MSK) عموما تقویت شده است، به محض خروج انتقالات فاز متمایز ، شکل ۲۰ را ببینید، ویژگیهای طیف برتر ایجاد می شود. در هردو سیستم مدول فاز  ، پهنای باند RF انتقال یافته بطور مستقیم توسط نرخ ساعت PN-Code  کنترل

میشود.

تکنیکهای FH متناوب (< 500hops/s) اجازه طراحی سیستمهای مخابراتی را می دهد، اساسا ، با هیچ تعداد فرکانس ایجاد نمی شود. انتخاب فرکانس با کد PN کنترل میشود .شکل ۲۰ نشان می دهد چگونه جفت بیت ها می توانند مابین چهار فرکانس کدبرداری شوند. سیستمهای عملی مشخصا در بیش از ۱۰۰ فرکانس استفاده میشود. دخالت در سوراخ فرکانسهای مجاور به حداقل میرسد اگر زمان جاگیری هر فرکانس معادل با معکوس جداسازی سوراخ باشد. اگر انتقالات همگام شود و هر تصدیق کننده (Subscriber) در الگوهای پرش قائم بکار برده میشوند، پس هر فرکانسی فقط یکبار استفاده میشود، حداقل دخالت متقابل و حداکثر تعداد Subscriber . بهرحال، اجرا همگام سازی انتقال چند مشکل سازمانی را معرفی میکند، و آن هنگامی پیش می آید که دسترسی راندوم عملکرد معادل را نتیجه می دهد.

FH پیشنهاد یک توصیف بیشتر از طیف انتقال PSK یا MSK را دارد، برای ارئه یک پهنای باند RF ، زمان جاگیری FH خیلی بلند تر از فواصل PSK معادل است ،شکل ۲۰ را ببینید.با یک پتانسیل روان درایجاد همگام سازی در سیستم FH نرخ کدPN کاهش می یابد. در همگام سازهای فشرده -SAW based برای کاربردهای سریع FH اینها در نظر گرفته شده است.

سیستمهای FH با نرخ متوسط پرش ( مثلا 500hops/s) ، همچون ابزار Jaguar-V ، شکل ۲۱ را ببینید، که میتواند با همگام سازهای VCO-based غیرمستقیم معمولی بکار برده میشود.آنها برای استفاده در ارتباطات تاکتیکی موبایل VHS طراحی شده است و بصورت عادی برای پرش در یک شیوه راندوم طراحی شده اند.این به سیگنالها اجازه میدهد که حتی وقتی ۲۰٪ از کانالها توسط

اخلال گرها یا دخالت از طریق دیگر انتقالات بلوک هستند ، دریافت شوند.یک مزیت کلیدی FHS اینستکه سیگنالها دسترسی متعدد در دیگر حفره های فرکانسی بصورت تئوریک، بدون توجه به قدرت سیگنال ، بدون تداخل است. بنابراین سیستم FH کاربردی می تواند یک تعداد مشابه ای از کاربران را سرویس دهد که یک سیستم انتقال قانونی کانال ثابت معمولی است . در سیستم های فاکتور فعالیت کم ، که کاربران بندرت انتقال متوسط را بکار میبرند، FH حتی بیشترتهاجمی میشود. بعلاوه ، FH عملکرد دور/نزدیکی بالائی از مدولاسیون PSKیا MSK را ارائه می دهد. بنابراین آن تهاجمی به سیستمهای موبایل زمینی است که قدرتهای فرستنده متغیری بصورت جغرافیائی آن را از میدان جدا میکند و در نتیجه ، بطور گسترده ای سطوح قدرت مختلف در کانالهای فضائی نزدیک دریافت میشود.

شکل میزان کردن شیفت فاز (PSK)، میزان کردن شیفت می نیمم (MSK)، میزان کردن شیفت فرکانس (FSK) و پرش فرکانس (FH) را نشان می دهد.

FH تقاضاهای زیادی روی سیستمهای DF جای می گذارد، بطوریکه سیستمهای عکس العمل نمی تواند مخابره های FH نرخ سریع یا متوسط پرش را آنالیز کند.

سیستمهای DSSS هماهنگ نشده می تواند با گیرنده های مرتبط برای کشف رمز داده ها ایجاد شوند اما زمان سنکرون شان خیلی محدود می باشد. مدولهای فیلتر منطبق قابل برنامه ریزی SAW با محصولات پهن باند زمانی با بیشتر از ۱۰۳ برای غلبه بر این مشکل و همچنین برای سنکرون کردن مخابره های کوتاه مدت استفاده شده در سیستمهای طیف گسترده مد انفجار ساخته شده است. برای این سیستمهای میزان شده فازی همچنین توسعه های اساسی در CCD و فیلترهای

منطبق دیجیتالی وجود دارد.

یک مثال از سیستم TDMA مخابره انفجار دسترسی هماهنگ سیستم هدایت و ارتباط JTIDS است که برای نیروی هوایی و نظامی آمریکل توسعه یافته است، که اطلاعات با اتصالات خط دید به اشتراک گذارده می شود. اینجا، کدگذاری پیغام ابتدا در رمزگذار Reed Solomon انجام شد تا خطای پیشرفت شناسایی و قابلیت همبستگی را فراهم سازد. که کشف رمز با خطاهای بیت دریافتی بیش از ۵۰٪ را قبل از اینکه داده ها با کد MSK پهن باند ۵ مگاهرتز پخش شود را اجازه می دهد. این سیستم هیبرید سپس پرش فرکانس بعنوان سطح دوم پخش در باند هدایت رادیویی هوانوردی نظامی Tacan با پهنای ۲۲۵ مگاهرتز را استفاده می کند. بنابراین JTIDS برای رویهم قرار دادن اختصاص فرکانس موجود برای عمل معمول و طیف گسترده سیستمها بدون دخالت متقابل اساسی طراحی شده است. توسعه بیشتر سیستم بروزرسانی شده JTIDS برای نیروی دریایی آمریکا بر اساس تکنیکهای توزیع شده قسمت زمانی با دسترسی چندگانه DTDMA است.

نتایج مدولاسیون منجر به طیف گسترده در سیگنال مخابره شده نویز مانند دانسیته پایین برق پهن باند که نمی تواند به آسانی با گیرنده ESM شناسایی شود می گردد. کشف رمز تنها درگیرنده توسط ارتباط علیه سیگنال المثنی ایجاد شده موضعی حاصل می شود که محرمانه بودن را اطمینان می دهد و حفاظت ضد پارازیت بعلاوه فراخوانی انتخابی یا قابلیت دسترسی چندگانه هنگامی که کدهای متمایز به مشترکان مختلف اختصاص داده می شود را تهیه می کند. ضرورت برای سنکرون کردن با چرخه تعقیب کد یک محدوده بندی ذاتی یا قابلیت هدایت را معرفی می کند که دقت مستقیما متناسب با نرخ کد PN است. اندازه گیری محدوده می تواند با سیستمهای مخابره انفجار انجام

شود. در سیستمهای ماهواره ای  تاخیر مسیر چندتایی با زاویه کم (بواسطه انعکاسات دریا یا زمین) از پریود تراشه کد PN تجاوز می کند که علیه آن توسط سهم سیستم پردازش تمایز ایجاد می شود. که متناسب با نسبت پخش یا پهنای باند سیگنال انتقال یافته تقسیم بر پهنای باند داده های رمزی شده است.  پارازیت عمدی غیر آگاهانه اثر کدگذاری شده PN مشخصه باید توان مازاد را منتقل کند تا بر  بهبود SNR غلبه کند. بهرحال برگشتهای چند مسیری  حاشیه ضد پارازیت را تخریب خواهد کرد.

شکل ۲۱ رادیو manpack، پرش فرکانس ( Jaguar-V (VHF، که تنها کمی سبکتر و گرانتر از یک فرستنده و گیرنده ساخته شده فرکانس ثابت معادل است

### ۷.۲ تکنیکهای انطباقی آنتن

تکنیکهای پردازش سیگنال اجازه می دهد تا دخالت باریک باند سطح بالا با فیلتراسیون سوراخ از بین برود. وقتی یک جفت پردازشگر تبدیل فوریه یا گیرنده های فشرده پشت به پشت بواسطه دروازه یا محدودکننده سیگنال متصل باشند در روش چرخه باز، فیلتر سوراخ بکار گرفته می شود که خط  باریک طیفی اختلال گر را تضعیف می کند. این سیستم عکس العمل سریع دارد اما به انتقال توزین شده بزرگ نیاز دارد (بیش از ۱۰۰۰ نقطه) تا فسخ بیش از 30dB را بدست دهد. که با تکنیکهای دیجیتال تا پهناهای باند چند مگاهرتز انجام می شود در حالیکه تکنیک های SAW آنرا به بیش از ۱۰۰ مگا هرتز توسعه می دهند.

روش دیگر فیلتر تطبیقی را با کنترل عکس العمل غیر پالسی فیلتر نوسنجی داخل پردازشگر چرخه

بسته را بکار می گیرد تا فیلتر سوراخ را بکار گیرد که بطور اتوماتیک به فرکانس اختلال گر هدایت می شود. این فیلترهای تطبیقی با CCD آنالوگ یا دیجیتال و تکنیکهای SAW طراحی می شوند. شکاف دخالت در ورودی گیرنده حیاتی است  تا نیازهای محدوده دینامیک را در پردازشگرهای زیر کاهش دهد. شکل ۲۲ مثالی از شکاف دخالت باریک باند در ارتباط دهنده ذخیره SAW قبل از ارتباط دادن سیگنال طیف گستره در فیلتر تطبیقی را نشان می دهد.

شکل ۲۲ نمایشی از کاربرد فیلتر انطباقی برای از بین بردن جاسوسی CW در سیگنال طیف گسترده

a موج مانند ورودی قبل از پردازش انطیاقی. شامل CW، ۱۲۱.۸ مگاهرتز بعلاوه توالی کدگذاری شده PN-PSK ۳۱ بیتی نرخ ساعت ۵ مگاهرتز روی ۱۲۰ مگاهرتز در سطح برق نسبی 6dB- متمرکز می باشد

b  ارتباط مستقیم a در فیلتر تطبیق یافته کدگذاری شده ثابت SAW ۳۱ ضربه ای

c موج مانند ورودی بعد از پردازش انطباقی در ارتباط دهنده ذخیره ای SAW که جاسوسی باریک باند سطح بالا تا dB ۲۰  را از بین می برد

d ارتباط c در فیلتر انطباق یافته کدگذاری شده ثابت SAW ۳۱ ضربه ای. مقایسه با عکس العمل صرفنظر نشده از اثر b تاثیر صرفنظر کننده بر اساس SAW را نشان می دهد