دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر
گروه مخابرات

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق - مخابرات

تحقق و مقایسه روش‌های مشخص‌سازی اهداف متحرک در تصویر SAR با استفاده از یک آنتن

استاد راهنما: دکتر محمد رضا تابان، دکتر منصور نخکش

استاد مشاور: دکتر عباسعلی حیدری

پژوهش و نگارش: محمد عمادی

اسفند ۸۹

دانشگاه یزد

دانشکده برق و کامپیوتر

گروه برق

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

برق - مخابرات

تحقق و مقایسه روش های مشخص سازی اهداف متحرک در تصویر SAR با استفاده از یک آنتن

اساتید راهنما: دکتر محمد رضا تابان، دکتر منصور نخکش

استاد مشاور: دکتر عباسعلی حیدری

پژوهش و نگارش: محمد عمادی

اسفند ۱۳۸۹

چکیده

یکی از کاربرهای مهم سیستم تصویربرداری SAR مشخص سازی اهداف متحرک است که جهت تخمین میزان ترافیک، آشکارسازی اهداف متحرک نظامی و غیره مورد استفاده قرار می گیرد. به این کاربرد اصطلاح GMTI (Ground Moving Target Indication) اطلاق می شود و تا کنون الگوریتم های زیادی برای آن پیشنهاد شده است که بر اساس تحلیل فاز در جهت برد-azimuth می باشند. هدف از انجام پروژه حاضر ، بررسی و مقایسه روشهای GMTI برای تخمین پارامتر های هدف متحرک مانند موقعیت و سرعت آن از داده های SAR می باشد. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام پذیرفته و روش های مختلفی پیشنهاد گردیده است. برای تخمین سرعت اهداف می توان از یک سنسور یا بیشتر استفاده نمود. استفاده از چند سنسور باعث پیچیده تر شدن محاسبات و بالا رفتن هزینه سخت افزاری می شود. تاکید ما در این پروژه بر پیاده سازی و مقایسه الگوریتمهای استخراج اطلاعات اهداف متحرک از داده های یک سنسور است. در این پایان نامه روش‌های تک سنسوری مراجع [۵] و [۱۰] پیاده سازی شده است و نتایج حاکی از آنست که [۱۰] نسبت به [۵] ساده‌تر و سریع تر بوده و در آن نیازی به دانستن آمارگان نویز و تابع چگالی احتمال نیست و همچنین داری دقت بیشتری می‌باشد. مدل سیگنال را برای حالت کلی، هنگامی که هدف شتاب دار است در نظر می‌گیریم. با حذف RCMC در تصویر، پارامترهای مجهول مانند مختصات هدف، سرعت هدف و شتاب هدف را با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی PSO و ژنتیک تخمین می‌زند. استفاده از الگوریتم بهینه‌سازیPSO و ژنتیک باعث افزایش سرعت تخمین پارامترهای اهداف متحرک می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که خطای تخمین پارامترهای اهداف متحرک با استفاده از الگوریتم پیشنهادی برای SNR های بیشتر از 6dB کمتر از ۲ درصد است که بهبود عملکرد قابل ملاحظه‌ای نسبت به جستجوی کلی نشان می‌دهد.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول..... ۱

مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- سابقه تحقیق ۴

فصل دوم ۷

تصویر برداری رادار ۷

۲-۱- مقدمه ۷

۲-۲- تصویربرداری برد ۷

۲-۲-۱- روابط ریاضی ۹

۲-۲-۲- مدل سیستم ۱۰

۲-۲-۳- بازسازی از طریق فیلتر منطبق ۱۲

۲-۲-۴- تفکیک‌پذیری برد ۱۴

۲-۲-۵- اکتساب داده و پردازش سیگنال ۱۴

۲-۲-۶- نمونه برداری حوزه زمان ۱۵

۲-۲-۷- فاصله زمانی نمونه‌ها ۱۵

۲-۲-۸- تعداد نمونه‌های زمانی ۱۵

۲-۲-۹- الگوریتم بازسازی ۱۶

۲-۳- تصویربرداری در جهت برد عرضی ۱۷

۲-۳-۱- مدل سیستم ۱۷

۲-۳-۲- سیگنال PM کروی در یک دریچه نامحدود ۲۱

۲-۳-۳- بازسازی با فیلتر منطبق(دریچه نامحدود) ۲۲
۲-۳-۴- نمونه‌برداری دریچه مصنوعی ۲۳
۲-۳-۵- سیگنال PM کروی درون دریچه محدود $\boldsymbol{u \in [-L, L]}$ ۲۳
۲-۳-۵-۱- فرکانس لحظه‌ای ۲۳
۲-۳-۵-۲- تبدیل فوریه زمان کند ۲۴
۲-۳-۵-۳- طیف داپلر زاویه‌ای زمان کند ۲۵
۲-۳-۶- بازسازی از طریق فیلتر منطبق برای دریچه محدود ۲۶
۲-۳-۷- تفکیک‌پذیری برد عرضی ۲۷
۲-۳-۸- اکتساب داده و پردازش سیگنال ۲۷
۲-۳-۹- نمونه‌برداری دریچه مصنوعی برای حالت $\boldsymbol{Yc = 0}$ ۲۸
۲-۳-۱۰- نمونه‌برداری دریچه مصنوعی برای منطقه هدف کج ۲۹
۲-۴- رادار با دریچه مصنوعی(SAR) ۳۰
۲-۴-۱- مدل سیستم ۳۱
۲-۴-۲- تبدیل فوریه زمان سریع ۳۴
۲-۴-۳- تبدیل فوریه زمان کند ۳۶
۲-۴-۴- بازسازی ۳۶
۲-۴-۵- بازسازی دیجیتال از طریق درون‌یابی فرکانس خاص ۳۷
۲-۴-۵-۱- تبدیل باند پایه منطقه هدف ۳۸
۲-۵- مدل سیگنال SAR برای اهداف متحرک باسرعت ثابت ۳۹

فصل سوم ۴۱

روش‌های انجام شده برای تخمین پارامترهای هدف متحرک ۴۱

۳-۱- مقدمه ۴۱
۳-۲- الگوریتم تخمین سرعت اهداف متحرک با استفاده از یک آنتن ۴۱

۳-۲-۱- مدل سیستم ۴۲
۳-۲-۲ حداکثر و حداقل سرعت قابل آشکارسازی ۴۶
۳-۲-۳- نتایج شبیه‌سازی ۴۹
۳-۳- آشکارسازی اهداف متحرک چندتایی و تخمین پارامترهای مسیر با استفاده از یک سنسور ۵۳
۳-۳-۱- مقدمه ۵۳
۳-۳-۲- مدل سیگنال دریافتی از هدف متحرک ۵۴
۳-۳-۳- فشرده سازی اکو هدف متحرک ۵۵
۳-۳-۴- آماره نویز ۵۷
۳-۳-۵- نمونه برداری برد عرضی ۵۸
۳-۳-۶- مسئله آشکارسازی / تخمین ۵۹
۳-۳-۷- الگوریتم تخمین پارامترهای هدف متحرک ۶۲
۳-۳-۸- نتایج ۶۳
فصل چهارم ۶۹
الگوریتم PSO و ژنتیک در تخمین پارامترهای هدف متحرک در تصویر SAR
با استفاده از یک آنتن ۶۹
۴-۱- مقدمه ۶۹
۴-۲- بهینه سازی ۷۰
۴-۲-۱- بهینه سازی تجمعی پرندگان (PSO) ۷۲
۴-۲-۲- الگوریتم ژنتیک ۷۳
۴-۳- مدل سیستم ۷۴
۴-۳-۱- روش پیشنهادی برای تخمین پارامترهای مجهول در سیگنال SAR با استفاده از یک آنتن ۷۶
۴-۳-۲- شبیه‌سازی و پیاده‌سازی الگوریتم ارائه‌شده ۷۸
۴-۴- مقایسه الگوریتم PSO و ژنتیک با جستجوی کامل از لحاظ بهینه بودن ۹۴

۴-۵- نتیجه‌گیری ۹۵

فصل پنجم ۹۷

۵-۱- نتایج ۹۷

۵-۲- پیشنهادها ۹۹

فهرست جداول **صفحه**

جدول (۳-۱) الف : پارامترهای ارسالی. ب: پارامترهای مسیر..... ۶۵

جدول (۳-۲) خطای تخمین پارامترهای هدف..... ۶۸

جدول (۴-۱): پارامترهای سیستم SAR..... ۷۸

جدول (۴-۲): پارامترهای هدف..... ۷۹

جدول (۴-۳): مقادیر خطای تخمین پارامترهای هدف در SNR های مختلف..... ۸۳

جدول (۴-۴): پارامترهای هدف گسترده..... ۸۴

جدول (۴-۵): مقادیر خطای تخمین پارامترهای هدف گسترده در SNR های مختلف..... ۸۷

جدول (۴-۶): پارامترهای هدف شتاب دار..... ۸۸

جدول (۴-۷): مقادیر خطای تخمین پارامترهای هدف شتاب دار در SNR های مختلف..... ۸۹

جدول (۴-۸): پارامترهای هدف شتاب دار..... ۹۳

جدول (۴-۹): خطای مقادیر تخمین پارامترهای هدف شتاب دار با $SNR=20dB$..... ۹۴

جدول (۴-۱۰): مقادیر تابع هدف برای مثال اول با $SNR=20dB$..... ۹۵

فهرست اشکال **صفحه**

شکل (۲-۱): سناریوی تصویربرداری برد..... ۱۱

شکل (۲-۲): سناریوی تصویربرداری برد عرضی برای منطقه هدف صاف..... ۱۸

شکل (۲-۳): سناریوی تصویربرداری برد عرضی برای منطقه هدف کج..... ۱۸

شکل (۲-۴): سناریوی تصویربرداری برای منطقه هدف صاف..... ۳۱

شکل (۲-۵): سناریوی تصویربرداری برای منطقه هدف کج..... ۳۲

شکل (۲-۶): چگونگی شکل گیری تصویر در حوزه مکانی..... ۳۳

شکل (۲-۷): چگونگی شکل گیری تصویر در حوزه مکانی: تشکیل نصفه هذلولی در حوزه (t,u)..... ۳۳

شکل (۲-۸): الف: مشخصه دو بعدی اهداف در حوزه (t,u)..... ۳۵

شکل (۲- ۸): ب: مشخصه دو بعدی اهداف در حوزه (t,u) بعد از فیلتر منطبق..... ۳۵

شکل (۲-۹): سناریوی تصویربرداری برای هدف متحرک..... ۳۹

شکل (۳-۱): سناریوی تصویربرداری SAR با مد $stripmap$..... ۴۳

شکل (۳-۲): سناریوی تصویربرداری SAR با مد $stripmap$..... ۴۵

شکل (۳-۳): سناریوی تصویربرداری SAR با مد $stripmap$..... ۴۵

شکل (۳-۴): سناریوی تصویربرداری SAR با مد $stripmap$..... ۴۵

شکل (۳-۵): حداکثر سرعت قابل آشکارسازی بر حسب $\boldsymbol{\rho_r}$

..... ۴۷

شکل (۳-۶): حداقل سرعت قابل آشکارسازی بر حسب $\boldsymbol{\rho_r}$..... ۴۸

شکل (۳-۷): نتیجه جستجو هنگامی که فقط یک هدف وجود دارد..... ۴۹

شکل (۳-۸): الف: خطای تخمین $\boldsymbol{v_y}$ برحسب SCR. ب: خطای تخمین $\boldsymbol{v_x}$ برحسب

SCR..... ۵۰

شکل (۳-۹): الف : حوزه RD را قبل از $RCMC$ و SRC با $SCR=11dB$. ب : حوزه RD را قبل از $RCMC$ و

SRC با $CR=11dB$ ۵۱

شکل (۳-۱۰): دامنه $\boldsymbol{z}$ برحسب برد با مقدار صحیح $(\boldsymbol{v_x}, \boldsymbol{v_y})$ ۵۲
شکل (۳-۱۱): نتیجه جستجو هنگامی که دو هدف وجود دارد..... ۵۲
شکل (۳-۱۲): مد *stripmap* برای رادار *SAR*..... ۵۵
شکل (۳-۱۳): مد *stripmap* برای رادار *SAR*..... ۶۴
شکل (۳-۱۴): مد *stripmap* برای رادار *SAR*..... ۶۶
شکل (۳-۱۵): مد *stripmap* برای رادار *SAR*..... ۶۶
شکل (۳-۱۶): مد *stripmap* برای رادار *SAR*..... ۶۷
شکل (۴-۱): شماتیک رادار تصویربرداری *SAR* با مد *Stripmap*..... ۷۵
شکل (۴-۲): مشخصه دو بعدی هدف در حوزه *(t,u)*..... ۸۰
شکل (۴-۳): مشخصه دو بعدی هدف در حوزه *(t,u)* پس از عبور از فیلتر منطبق..... ۸۰
شکل (۴-۴ الف): خطای نسبی مختصات برد مورب بر حسب *SNR*..... ۸۱
شکل (۴-۴ ب): خطای نسبی مختصات برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۸۱
شکل (۴-۴ ج): خطای نسبی سرعت برد مورب بر حسب *SNR*..... ۸۲
شکل (۴-۴ د): خطای نسبی سرعت برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۸۲
شکل (۴-۵): مشخصه دو بعدی هدف گسترده در حوزه *(t,u)*..... ۸۴
شکل (۴-۶): مشخصه دو بعدی هدف گسترده در حوزه *(t,u)* پس از عبور از فیلتر منطبق..... ۸۴
شکل (۴-۷ الف): خطای نسبی مختصات برد مورب بر حسب *SNR*..... ۸۵
شکل (۴-۷ ب): خطای نسبی مختصات برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۸۵
شکل (۴-۷ ج): خطای نسبی سرعت برد مورب بر حسب *SNR*..... ۸۶
شکل (۴-۷ د): خطای نسبی سرعت برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۸۶
شکل (۴-۸): مشخصه دو بعدی هدف شتاب دار در حوزه *(t,u)*..... ۸۸
شکل (۴-۹): مشخصه دو بعدی هدف شتاب دار در حوزه *(t,u)* پس از عبور از فیلتر منطبق..... ۸۸
شکل (۴-۱۰ الف): خطای نسبی مختصات برد مورب بر حسب *SNR*..... ۹۰

شکل (۴-۱۰ ب): خطای نسبی مختصات برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۹۰

شکل (۴-۱۰ ج): خطای نسبی سرعت برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۹۱

شکل (۴-۱۰ د): خطای نسبی سرعت برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۹۱

شکل (۴-۱۰ ه): خطای نسبی شتاب برد عرضی بر حسب *SNR*..... ۹۲

شکل (۴-۱۰ و): خطای نسبی شتاب برد مورب بر حسب *SNR*..... ۹۲

شکل (۴-۱۱): مشخصه دو بعدی اهداف شتاب دار در حوزه *(t,u)*..... ۹۳

شکل (۴-۱۲): مشخصه دو بعدی اهداف شتاب دار در حوزه *(t,u)* پس از عبور از فیلتر منطبق..... ۹۴

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

بینایی حیاتی‌ترین مولفه سیستم بشر است. چشم انسان امواج نوری را که از اهداف اطراف منعکس شده جمع‌آوری می‌کند و سپس این اطلاعات تصویری در ذهن انسان تفسیر می‌شود. سیستم بینایی ساخت بشر از تابع چشم بعنوان سنسور و از تابع مغز بعنوان پردازش‌گر تقلید کرده است. این سیستم‌ها بر اساس توانایی جدا کردن اهداف ساخته شده‌اند. رادارها، سونارها و یا دوربین‌ها برای گرفتن تصویر مثال‌هایی از این سیستم هستند. توانایی دید یا گرفتن یک تصویر، با دریچه لنز بزرگتر یا با یک آنتن رادار بزرگتر بهبود می‌یابد. بنابراین راهکار بینایی بهتر یک دریچه بزرگتر است. متأسفانه ساخت و نگهداری یک سیستم بینایی با دریچه فیزیکی بزرگ خیلی مشکل است.

در سال ۱۹۵۰ یک اختراع در رادار توسط Wiley راهی را برای سیستم بینایی ساخت بشر ایجاد کرد [۱]. این نوآوری یک نوع رادار است که بروی یک platform مانند هواپیما یا ماهواره سوار می‌شود و با سرعت ثابت در یک جهت حرکت می‌کند. این رادار امواج الکترومغناطیس را معمولاً در یک جهت روی سطح زمین تابانده و انعکاس‌های برگشتی از روی

زمین را دریافت و یک نوار تصویر ایجاد می‌کند. با حرکت رادار نوارهای تولیدی کنار هم گذاشته شده و تصویری خام از سطح بوجود می آید. با پردازش این تصویرِ متشکل از اکوهای بازگشتی ، تصویری واضح از منطقه مورد کاوش حاصل می‌شود. چنین پردازشی را SAR[1] نامند که از اثر سیگنال ناشی از یک هدف در اکوهای پی در پی ، تفکیک پذیری مطلوبی را فراهم می‌کند. ایده اصلی SAR ایجاد یک دریچه فیزیکی بزرگ بطور مصنوعی بود. مثال زیر این موضوع را واضح می‌کند.

تفکیک‌پذیری افقی یا برد عرضی یک آنتن رادار با قطر D=1m در طول موج $\lambda = 1m$ در برد R=1000m برابر است با

$$\Delta\rho = \frac{R\lambda}{D} = 1000m,$$

که خیلی ضعیف است. بر اساس تئوری SAR برای مثال فوق یک هدف نقطه‌ای در فاصله $1000m$ در دید رادار بوده و بازتاب آن در سیگنال‌های این طول وجود دارند و لذا طول مؤثر دریچه دید $D_{eff} = 1000m$ است بنابراین تفکیک‌پذیری افقی در طول موج $\lambda = 1m$ در برد R=1000m برابر است با

$$\Delta\rho = \frac{R\lambda}{D_{eff}} = 1m,$$

این روش باعث تحولی عظیم در سیستم‌های بینایی ساخت بشر شد. D_{eff} دریچه مصنوعی نامیده می‌شود. تصویربرداری رادار با دریچه مصنوعی ابتدا برای سیستم‌های رادار که کاربردهای نظامی داشت معرفی شد. تصویربرداری SAR علاوه بر کاربرد نظامی کاربرد تجاری نیز دارد. برخی از کاربردهای تصویر برداری SAR در زیر آمده است.

[1] Synthetic Aperture Radar

- مکان نگاری سطح سیاره‌ها
- مکان نگاری کف اقیانوس‌ها
- تشخیص میزان رشد محصول کشاورزی
- شناسایی نوع هواپیماها
- مراقبت و کنترل ترافیک هوایی
- فرود آمدن اتوماتیک هواپیما
- آشکارسازی معادن
- آشکارسازی اهداف پنهان در جنگل‌ها
- زلزله نگاری و تشخیص گسل در زمین
- آشکارسازی اهداف متحرک زمینی و ردیابی آن‌ها

سیستم SAR معمولاً برای به تصویر کشیدن اهداف ثابت بکار می رود. جنبه کاربردی دیگر چنین سیستمی، مشخص‌سازی اهداف متحرک است که جهت تخمین میزان ترافیک، آشکارسازی اهداف متحرک نظامی و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد. به این کاربرد اصطلاح GMTI[1] اطلاق می شود و تا کنون الگوریتم‌های زیادی برای آن پیشنهاد شده است که بر اساس تحلیل فاز در جهت برد-azimuth می‌باشند.

هدف از انجام پروژه حاضر، بررسی و مقایسه روش‌های GMTI برای تخمین پارامترهای هدف متحرک مانند موقعیت و سرعت آن از داده‌های SAR می‌باشد. تحقیقات زیادی در این زمینه انجام پذیرفته و روش‌های مختلفی پیشنهاد گردیده است. برای تخمین سرعت اهداف می‌توان از یک سنسور یا بیشتر استفاده نمود. استفاده از چند سنسور باعث پیچیده‌تر شدن محاسبات و بالا رفتن هزینه سخت افزاری می شود. تاکید ما در این پروژه بر پیاده‌سازی و مقایسه الگوریتم‌های استخراج اطلاعات اهداف متحرک از داده‌های فقط یک سنسور است.

[1] Ground Moving Target Indication

۱-۲- سابقه تحقیق

تخمین سرعت اهداف متحرک یک موضوع مهم در کاربردهای رادار با دریچه مصنوعی است. الگوریتم‌های کلاسیک تخمین سرعت اکثراً بر اساس آنالیز فاز در جهت azimuth هستند. سرعت برد و سرعت azimuth بترتیب از شیفت داپلر و نرخ داپلر بدست می‌آیند، زیرا سیگنال azimuth توسط PRF[1] نمونه‌برداری می‌شود. تخمین‌های شیفت داپلر در فاصله $[-\frac{PRF}{2},\frac{PRF}{2}]$ هستند. بنابراین وقتی که سرعت برد هدف بیشتر از $\frac{PRF}{2}$ می‌باشد با ابهام داپلر مواجه هستیم.

برای حل ابهام داپلر الگوریتم‌های زیادی پیشنهاد شده است. یک ایده اولیه افزایش PRF پالس ارسالی است[۲]، که نوار برد بدون ابهام را کاهش و حافظه مورد نیاز را افزایش می‌دهد. در [۳] برای همین منظور یک PRF غیر یکنواخت پیشنهاد شده است که نیاز به زمان‌بندی پالس دارد و باعث پیچیده‌تر شدن الگوریتم برای بازسازی تصویر می‌شود. در [۴] با دنبال کردن موقعیت یک هدف در یک دنباله تصاویر SAR که از یک منظره بدست آمده ، ابهام بر طرف شده است. این روش به دقت اندازه‌گیری موقعیت هدف و دامنه هدف متکی می باشد.

Marques وDias چندین الگوریتم جالب برای تخمین دقیق سرعت اهداف با یک آنتن SAR در [۵] پیشنهاد داده‌اند. آن‌ها یک ارتباط خطی میان شیفت داپلر و فرکانس در جهت برد را بکار گرفته‌اند و سرعت هدف را بدون ابهام تخمین زده‌اند. این روش نیاز دارد که همبستگی کلاتر در حوزه فرکانس کم باشد. اطلاعات دامنه و فاز اکوی هدف استخراج شده و سرعت هدف بدون ابهام توسط فیلترکردن با فیلتر منطبق تخمین زده شده است. جهت طراحی فیلتر منطبق، این روش به تخمین اولیه پارامترهایی نیاز دارد که بایستی به اندازه کافی به پارامترهای واقعی نزدیک باشند تا کمترین خطا حاصل شود.

[1] Pulse Repetition Frequency

علاوه بر الگوریتم‌های بالا که از یک سیستم SAR یک آنتنه استفاده می‌کنند، برخی از الگوریتم‌هایی که از چندین آنتن استفاده می‌کنند پیشنهاد شده اند. مانند SAR با آرایه آنتن چند فرکانسی [۶] ، SAR با آرایه آنتن خطی غیر یکنواخت [۷] ، SAR با آرایه آنتن خطی دو سرعته[۸] ، و SAR با آرایه آنتن خطی bistatic [۹] و غیره، که ابهام داپلر را با ترکیب کردن آنالیز فاز میان تصاویر SAR حل می‌کنند. در الگوریتم‌های چند آنتنه پیچیدگی محاسباتی بالاتر و هزینه سخت افزاری بیشتر مورد نیاز است.

در این پایان نامه در فصل دوم در خصوص تصویربرداری برد و تصویربرداری برد عرضی بحث می‌شود. در این فصل با نوع مسئله و سیگنال برگشتی از هدف آشنا می‌شویم. در فصل سوم الگوریتم‌هایی که توسط Dias and Marques در [۵] و Gang Li در [۱۰] ارائه شده‌اند مطرح و شبیه‌سازی می‌گردند. در فصل چهارم روشی برای اجرای سریع برنامه براساس الگوریتم PSO[1] و الگوریتم ژنتیک پیشنهاد می‌شود و نتایج شبیه سازی ارائه می‌گردد و روش‌های موجود با هم مقایسه می‌شود. در فصل آخر پارامترهای هدف متحرک با روشی مشابه با [۱۰] تخمین زده می‌شود. در این روش علاوه بر سرعت هدف متحرک در دو جهت، مختصات اولیه هدف و شتاب هدف نیز تخمین زده می‌شود. در این روش از الگوریتم PSO و الگوریتم ژنتیک برای بهینه سازی استفاده می‌شود. تخمین پارامترهای هدف متحرک توسط روش ارائه شده بسیار سریع بوده و از دقت بالایی برخوردار است. نتایج این روش روی داده شبیه‌سازی شده نشان داده شده است.

[1] Particle Swarm Optimization

فصل دوم

تصویر برداری رادار

۲-۱- مقدمه

در این فصل مفاهیم کلی تصویربرداری برد و تصویربرداری در برد عرضی[1] و همچنین پردازش سیگنال مرتبط با آن‌ها را مورد بررسی قرار خواهیم داد. در ادامه رادار با دریچه مصنوعی SAR و نیز مدل سیگنال برای اهداف متحرک مورد بحث قرار می‌گیرد.

۲-۲- تصویربرداری برد

پایه و اساس تصویربرداری برد در قرن بیستم بوجود آمد[۱] . هدف از تصویربرداری برد اندازه‌گیری فاصله یا برد اهداف در یک منطقه‌ای از سطح زمین یا شناسایی نوع ساختار اهداف است. در سیستم‌های راداری فاصله هدف تا رادار برد هدف[2] نامیده می‌شود.

---

[1] Cross range

[2] Target range

سیستم‌های تصویربرداری قدیمی بر اساس مدارهای آنالوگ طراحی می‌شدند و دارای کیفیت کمی بودند. این سیستم‌ها یک رشته پالس مایکروویو را ارسال و اکوهای برگشتی را دریافت می‌کردند و آن‌ها را نمایش می‌دادند. اندازه‌گیری برد هدف از روی زمان رفت و برگشت اکو بدست می‌آید. برای درک بهتر فرض کنید شخصی در منطقه کوهستانی فریاد می‌زند و پس از مدتی چندین اکو شنیده می‌شود. زمان این اکوها به موقعیت نسبی منعکس‌کننده‌ها نسبت به شخص(فرستنده و گیرنده) بستگی دارد. در این سیستم‌ها چون عرض پالس ارسالی زیاد بود باعث می‌شد که اکوهای برگشتی با هم همپوشانی داشته باشند. با گذشت زمان، طراحان سیستم‌های راداری، عرض این پالس‌ها را کاهش دادند و این عمل باعث شد همپوشانی در اکوهای برگشتی کاهش یابد. متأسفانه با کاهش عرض پالس ارسالی توان آن نیز کاهش می‌یابد. در این مورد اکو برگشتی از یک هدف با RCS[1] ضعیف در یک محیط نویزی یا در حضور اهداف با RCS خیلی قویتر ممکن است مشاهده‌پذیر نباشد.

با معرفی مدولاسیون فرکانس پالس ارسالی رادار مانند سیگنال chirp، مشکل بالا کاسته می‌شود. پردازش سیگنال گسسته و دیجیتال امروزه باعث کاهش خطا و همچنین انعطاف‌پذیری بالاتر در پردازش سیگنال‌های راداری شده است. روش اصلی برای تبدیل اطلاعات آنالوگ مانند اکو برگشتی رادار به داده‌های نمونه‌برداری شده مبدل A/D است. پس از نمونه‌برداری، داده‌ها در کامپیوتر ذخیره می‌شوند و سپس کامپیوتر می‌تواند پردازش‌های پیچیده مانند تبدیل فوریه، فیلترینگ و غیره، که توسط مدارات آنالوگ به سختی انجام می‌شود، را انجام دهد.

در ادامه ابزار ریاضی که برای ارتباط میان اکو برگشتی و آنچه می‌خواهیم از این اکو بدست آوریم را بیان می‌کنیم. در بخش بعدی چگونگی استخراج اطلاعات مطلوب یعنی برد هدف و انعکاس‌پذیری از اکو برگشتی را مطالعه خواهیم کرد.

---

[1] Radar Cross Section

۲-۲-۱- روابط ریاضی

در این بخش با توابع حوزه زمان t و تبدیل فوریه‌اش در حوزه ω سروکار داریم. تبدیل فوریه سیگنال $s(t)$ در حوزه زمان بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$S(\omega) = \mathcal{F}_{(t)}[s(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} s(t)\exp(-j\omega t)\, dt, \qquad (۱-۲)$$

که در آن t بر حسب ثانیه و ω بر حسب رادیان/ثانیه است. تبدیل فوریه معکوس حوزه زمان t نسبت به حوزه فرکانس ω برابر است با:

$$s(t) = \mathcal{F}^{-1}{}_{(\omega)}[S(\omega)] = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} S(\omega)\exp(j\omega t)\, d\omega. \qquad (۲-۲)$$

در ادامه ما با توابع یک بعدی حوزه مکانی[1] x سروکار داریم که حوزه برد[2] نامیده می شود. واحد x متر است. متغیر حوزه فوریه برای برد x با k_x نشان داده می‌شود و فرکانس برد مکانی[3] یا عدد موج[4] نامیده می‌شود. واحد k_x رادیان بر متر است. تبدیل فوریه سیگنال حوزه مکانی ، برای مثال $f(x)$ ، بصورت زیر بیان می‌شود:

$$F(k_x) = \mathcal{F}_{(x)}[f(x)] = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x)\exp(-jk_x x)\, dx. \qquad (۳-۲)$$

تبدیل فوریه معکوس سیگنال حوزه فرکانس مکانی نسبت به فرکانس مکانی k_x برابر است با:

$$f(x) = \mathcal{F}^{-1}{}_{(k_x)}[F(k_x)] = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty} F(k_x)\exp(jk_x x)\, dk_x. \qquad (۴-۲)$$

در حوزه برد، برد مقیاسی از زمان است، برای مثال $x = at$ ، که در آن a مقدار ثابت است، رابطه سیگنال حوزه مکانی با سیگنال حوزه زمان و تبدیل فوریه آن‌ها بصورت زیر است:

---

[1] Spatial domain
[2] Range domain
[3] Range spatial frequency
[4] Wavenumber

$$g(x) = s(t) = s\left(\frac{x}{a}\right) \quad , \quad G(k_x) = |a|S(\omega)\,, \tag{۵-۲}$$

$s(t)$ و $g(x)$ بترتیب سیگنال حوزه زمان و سیگنال حوزه برد است و $S(\omega)$ و $G(k_x)$ بترتیب تبدیل فوریه متناظرشان هستند، که در آن $k_x = \frac{\omega}{a}$ است. در ادامه با سیگنال‌های باندگذر سروکار داریم. سیگنالی میان‌گذر نامیده می‌شود که تبدیل فوریه‌اش در یک بازه فرکانسی خاص غیر صفر باشد، یعنی

$$S(\omega)\begin{cases} \neq 0 & ,\omega \in [\omega_c - \omega_0, \omega_c + \omega_0] \\ = 0 & ,other\ wise \end{cases}, \tag{۶-۲}$$

ω_c و $2\omega_0$ بترتیب مرکز باند یا فرکانس کریر و اندازه باند یا پهنای باند نامیده می‌شوند.

۲-۲-۲- مدل سیستم

سناریو تصویربرداری در حوزه مکانی دوبعدی که در شکل (۲-۱) نشان داده شده را در نظر بگیرید. فرض کنید که مجموعه‌ای از اهداف در موقعیت برد عرضی ثابت، برای مثال y، قرار گرفته‌اند. مقادیر برد و انعکاس‌پذیری هر کدام از این اهداف... $(x_n, \sigma_n), n = 1,2,$ نامعلوم‌اند. فرض شده است که اهداف در منطقه‌ای محدود به $[X_c - X_0, X_c + X_0]$ قرار گرفته‌اند، که در آن X_c و $2X_0$ بترتیب برد متوسط منطقه هدف و اندازه منطقه هدف هستند. منطقه هدف $[X_c - X_0, X_c + X_0]$ ، radar swatch نامیده می‌شود و وابسته به پترن تشعشع آنتن است. پترن تشعشع آنتن، که مانند منطقه دید یک دوربین است، یعنی منطقه‌ای از هدف که توسط رادار قابل مشاهده است. پترن تشعشع به اندازه، نوع و مختصات رادار بستگی دارد.

فرض کنید یک رادار فرستنده و گیرنده در مختصات برد عرضی y قرار گرفته است. می‌خواهیم تغییرات فرکانس سیگنال رادار را برای تصویربرداری برد مورد استفاده قرار دهیم. بطور واضح بهترین تابع که می‌توانیم برای شناسایی برد و انعکاس‌پذیری هدف بکار ببریم تابع هدف زیر است.