

فهرست مطالب

فصل اول

- ۱ مقدمه
- ۲ ۱-۱- آشکارسازی
- ۴ ۲-۱- آشکارساز مطلوب مسئله و معیار بهینگی آن
- ۶ ۳-۱- ناهمگنی
- ۷ ۱-۳-۱- لبه کلاتر
- ۷ ۲-۳-۱- اهداف تداخلی
- ۷ ۴-۱- مدل‌سازی سیگنال هدف و تداخل
- ۹ ۱-۴-۱- مدل‌سازی سیگنال هدف
- ۹ ۱-۱-۴-۱- مدل سورلینگ صفر
- ۱۰ ۲-۱-۴-۱- مدل سورلینگ ۱
- ۱۰ ۳-۱-۴-۱- مدل سورلینگ ۲
- ۱۱ ۴-۱-۴-۱- مدل سورلینگ ۳
- ۱۱ ۵-۱-۴-۱- مدل سورلینگ ۴
- ۱۱ ۲-۴-۱- مدل‌سازی تداخل
- ۱۳ ۵-۱- ساختار این پایان‌نامه

فصل دوم

- ۱۴ بررسی پردازنده‌های CFAR و عملکرد آنها در مقابل اهداف تداخلی
- ۱۴ ۱-۲- مقدمه
- ۱۵ ۲-۲- معیارهای مقایسه آشکارسازهای CFAR
- ۱۵ ۱-۲-۲- اتلاف CFAR
- ۱۶ ۲-۲-۲- متوسط سطح آستانه آشکارسازی یا ADT
- ۱۶ ۳-۲- آشکارسازهای CFAR با تکنیک مکانی در حضور تداخل گوسی

۱۷	CA-CFAR-۱-۳-۲
۲۰	GO-CFAR -۲-۳-۲
۲۱	SO-CFAR -۳-۳-۲
۲۲	OSSO-CFAR و OSGO-CFAR و OS-CFAR -۴-۳-۲
۲۳	CGO-CFAR و CCA-CFAR -۵-۳-۲
۲۴	VTM-CFAR و CML-CFAR و TM-CFAR -۶-۳-۲
۲۵	۷-۳-۲- پردازشگرهای CFAR با سانسور خودکار
۲۵	۸-۳-۲- پردازشگر VI-CFAR
۲۹	۴-۲- پردازنده‌های CFAR در محیط غیر گوسی
	فصل سوم
۳۰	معرفی و بررسی آشکارسازهای CFAR پیشنهادی مقاوم در برابر اهداف تداخلی
۳۰	۱-۳- مقدمه
۳۰	۲-۳- آشکارساز MCCA-CFAR
۳۰	۱-۲-۳- معرفی آشکارساز MCCA-CFAR
۳۲	۲-۲-۳- مدل مسئله
۳۳	۳-۲-۳- الگوریتم آشکارساز MCCA-CFAR
۳۴	۴-۲-۳- بررسی و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری
۴۰	۳-۳- آشکارساز CAOS-CFAR
۴۰	۱-۳-۳- معرفی آشکارساز CAOS-CFAR
۴۱	۲-۳-۳- تعریف مسئله
۴۱	۳-۳-۳- بررسی الگوریتم آشکارساز CAOS-CFAR
۴۳	۴-۳-۳- محاسبه P_d و P_{fa} و بررسی CFAR بودن آشکارساز CAOS-CFAR
۴۴	۵-۳-۳- بررسی و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری
۴۶	۶-۳-۳- نتیجه گیری

۴۷	۴-۳- آشکارساز CACA-CFAR
۴۷	۳-۴-۱- معرفی آشکارساز CACA-CFAR
۴۷	۳-۴-۲- تعریف مسئله
۴۸	۳-۴-۳- بررسی الگوریتم آشکارساز CACA-CFAR
۴۷	۳-۴-۱- مرحله پیش پردازش در آشکارساز CACA-CFAR
۵۰	۳-۴-۲- مرحله پردازش اصلی در آشکارساز CACA-CFAR
۵۱	۳-۴-۴- بررسی و ارزیابی الگوریتم پیشنهادی با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری
۵۵	۳-۴-۵- نتایج
	فصل چهارم
۵۷	بهبود الگوریتمهای پردازشی CFAR راداری بر مبنای پنجره لغزان
۵۷	۴-۱- مقدمه
۵۷	۴-۲- مفهوم پنجره لغزان
۵۷	۴-۲-۱- مقدمه
۵۹	۴-۲-۲- نوع پنجره
۵۹	۴-۲-۲-۱- پنجره مرجع کامل
۵۹	۴-۲-۲-۱- پنجره مرجع کامل
۵۹	۴-۲-۲-۱- پنجره مرجع ناقص
۶۰	۴-۲-۳- تعریف پنجره لغزان
۶۳	۴-۳- بررسی حالات مختلف ایجاد شده بر اثر لغزش پنجره مرجع
۶۳	۴-۳-۱- حالت گذرای اول
۶۳	۴-۳-۲- حالت کامل
۶۴	۴-۳-۳- حالت گذرای دوم
	۴-۴- محاسبه تأثیر استفاده از تکنیک پنجره لغزان در کاهش حجم محاسباتی
۶۴	الگوریتمهای آشکارسازهای متداول

- ۶۵ ۱-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز CA-CFAR
- ۶۵ ۱-۱-۴-۴- نحوه اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز CA-CFAR
- ۶۴-۴-۱-۲- مقایسه حجم محاسباتی در حالات با / بدون استفاده از تکنیک لغزش پنجره
- ۶۶ در آشکارساز CA-CFAR
- ۶۷ ۲-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز GO-CFAR
- ۶۵ ۱-۲-۴-۴- نحوه اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز GO-CFAR
- ۶۴-۴-۲-۲- مقایسه حجم محاسباتی در حالات با / بدون استفاده از تکنیک لغزش پنجره
- ۶۸ در آشکارساز GO-CFAR
- ۷۰ ۳-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز SO-CFAR
- ۶۹ ۱-۳-۴-۴- نحوه اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز SO-CFAR
- ۶۴-۴-۲-۳- مقایسه حجم محاسباتی در حالات با / بدون استفاده از تکنیک لغزش پنجره
- ۷۰ در آشکارساز SO-CFAR
- ۷۳ ۴-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز OS-CFAR
- ۷۳ ۱-۴-۴-۴- نحوه اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز OS-CFAR
- ۶۴-۴-۲- روش تقسیمات متوالی برای یافتن جایگاه مقدار مفروض در تعداد مشخصی
- ۷۵ نمونه مرتب شده
- ۶۴-۴-۳-۴- مقایسه حجم محاسباتی در حالات با / بدون استفاده از تکنیک لغزش پنجره
- ۷۷ در آشکارساز OS-CFAR
- ۷۸ ۵-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز TM-CFAR
- ۷۸ ۶-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز CCA-CFAR
- ۷۹ ۷-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز CGO-CFAR
- ۷۹ ۸-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز EXCA-CFAR
- ۸۰ ۹-۴-۴- اعمال تکنیک پنجره لغزان بر روی آشکارساز EXGO-CFAR
- ۸۰-۵-۴- استفاده از تکنیک پنجره لغزان در آشکارسازهای پیشنهاد شده در این پایان نامه

۸۱	۴-۵-۱- نحوه اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز CAOS-CFAR
۸۲	۴-۵-۲- نحوه اعمال تکنیک پنجره لغزان در آشکارساز CACA-CFAR
	فصل پنجم
۸۵	نتیجه گیری و پیشنهادات
۸۵	۵-۱- نتیجه گیری
۸۶	۵-۲- پیشنهادات
۸۷	مراجع

فهرست اشکال

۶	شکل ۱-۱- دیاگرام بلوکی یک آشکارساز CFAR
۱۷	شکل ۱-۲- دیاگرام بلوکی یک آشکارساز CFAR مکانی
۲۲	شکل ۲-۲- ساختار آشکارساز OS-CFAR
۲۶	شکل ۳-۲- دیاگرام بلوکی آشکارساز GCML-CFAR

- شکل ۲-۴- دیاگرام بلوکی آشکارساز VI-CFAR ۲۶
- شکل ۳-۱- دیاگرام بلوکی کلی آشکارساز MCCA-CFAR ۳۳
- شکل ۳-۲- دیاگرام بلوکی آشکارساز MCCA-CFAR با ذکر جزئیات ۳۴
- شکل ۳-۳- احتمال آشکارسازی در حالت ناهمگن به ازای مقادیر مختلف ρ ۳۵
- شکل ۳-۴- CFAR بودن آشکارساز MCCA-CFAR به ازای دو مقدار مختلف $P_{fa}=10^{-3}$ ۳۵
- شکل ۳-۵- CFAR بودن آشکارساز MCCA-CFAR به ازای مقادیر $\rho=0.1, 0.15, 0.2$ ۳۶
- شکل ۳-۶- عملکرد آشکارساز MCCA-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط همگن ۳۷
- شکل ۳-۷- عملکرد آشکارساز MCCA-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط ناهمگن ناشی از یک هدف تداخلی ۳۹
- شکل ۳-۸- عملکرد آشکارساز MCCA-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط ناهمگن ناشی از دو هدف تداخلی ۳۹
- شکل ۳-۹- عملکرد آشکارساز MCCA-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط ناهمگن ناشی از پنج هدف تداخلی ۴۰
- شکل ۳-۱۰- الگوریتم آشکارساز CAOS-CFAR ۴۲
- شکل ۳-۱۱- عملکرد آشکارساز CAOS-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط همگن ۴۵
- شکل ۳-۱۲- عملکرد آشکارساز CAOS-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط ناهمگن ناشی از یک هدف تداخلی ۴۶
- شکل ۳-۱۳- عملکرد آشکارساز CAOS-CFAR در مقایسه با آشکارسازهای CA-CFAR ، OS ، GO ، SO در محیط ناهمگن ناشی از دو هدف تداخلی ۴۶
- شکل ۳-۱۴- دیاگرام بلوکی آشکارساز CACA-CFAR ۴۹

شکل ۳-۱۵- دو مثال از حالت ابتدایی مرحله پیش‌پردازش در آشکارساز CACA-CFAR با

۵۰ پنجره مرجع ناقص

شکل ۳-۱۶- دو مثال از حالت ابتدایی مرحله پیش‌پردازش در آشکارساز CACA-CFAR با

۵۰ پنجره مرجع کامل

شکل ۳-۱۷- دو مثال از حالت انتهایی مرحله پیش‌پردازش در آشکارساز CACA-CFAR با

۵۰ پنجره مرجع ناقص

شکل ۳-۱۸- عملکرد آشکارساز CACA-CFAR با طول $2L=6$ نسبت به آشکارسازهای

۵۲ CA,GO,SO,OS-CFAR

شکل ۳-۱۹- عملکرد آشکارساز CACA-CFAR با طول $2L=8$ نسبت به آشکارسازهای

۵۳ CA,GO,SO,OS-CFAR

شکل ۳-۲۰- عملکرد آشکارساز CACA-CFAR با طول $2L=10$ نسبت به آشکارسازهای

۵۳ CA,GO,SO,OS-CFAR

شکل ۳-۲۱- CFAR بودن آشکارساز CACA-CFAR به ازای ضریب $C=0.75$

شکل ۳-۲۲- عملکرد آشکارساز CACA-CFAR با ضریب $C=0.75$ به ازای مقادیر مختلف

طول پنجره مرجع، نسبت به آشکارسازهای CA,GO,SO,OS-CFAR در

۵۵ حالت یک هدف تداخلی

شکل ۴-۱- ارتباط پهنای باند و مشخصات سلول‌بندی

شکل ۴-۲- نمای سلولهای برد راداری با تعداد T

شکل ۴-۳- نحوه لغزش پنجره از CUT_j به CUT_{j+1} در حالت طول پنجره کامل

شکل ۴-۴- پنجره مرجع لغزان در حالت گذرای اول

شکل ۴-۵- پنجره مرجع لغزان در حالت گذرای دوم

فهرست جداول

۲۸	جدول ۱-۲- محاسبه آستانه آشکارسازی برای آشکارساز VI-CFAR
۳۶	جدول ۱-۳- ضرایب سطح آستانه آشکارسازی در چند آشکارساز CFAR
۶۱	جدول ۱-۴- حالات مختلف و مقدار طول پنجره مرجع نسبت به شماره سلول
۸۴	جدول ۲-۴- مقایسه پیچیدگی آشکارسازهای CFAR پیشنهادی

فصل اول

مقدمه

تئوری تصمیم‌گیری یکی از پرکاربردترین تئوری‌ها در علوم امروزی است، به نحوی که از تصمیم‌گیری در زندگی روزمره بشر گرفته تا کاربرد در شاخه‌های مختلف علمی از جمله علوم مخابراتی استفاده می‌شود. تصمیم‌گیری در مخابرات تحت عنوان نظریه آشکارسازی در بسیاری از اختراعات و تکنولوژی‌های روز دنیا استفاده شده است. قابلیت عملکرد سیستم‌های مخابراتی به آشکارسازی و تشخیص سیگنال دریافتی آن وابسته است. در صورت دریافت نامناسب سیگنال، آشکارسازی مطلوب صورت نگرفته و سایر قسمت‌های سیستم مخابراتی کارایی مطلوب را نخواهند داشت. بخش قابل توجهی از سامانه‌های الکترونیکی و مخابراتی را سامانه‌هایی تشکیل می‌دهند که با سیگنال‌های ضعیف سر و کار دارند که از آن جمله می‌توان به سامانه‌های مبتنی بر سیگنال‌های ماهواره‌ای، سامانه‌های مورد استفاده در زمین‌شناسی، سامانه‌های سنجش از دور، رادارهای مورد استفاده در کاربردهای نظامی، فرودگاه‌ها و یا هواشناسی، سامانه‌های مرتبط با پردازش صوت، تجهیزات مرتبط با حفر و نگهداری چاه‌های نفت و گاز، سامانه‌های تست غیر مخرب و تجهیزات مرتبط با سیگنال‌های حیاتی انسان در پزشکی نمود.

در بسیاری از سامانه‌های فوق‌پس از آشکارسازی سیگنال، اطلاعات مختلفی مانند اندازه، تأخیر دریافت، فرکانس و طول زمانی از آن استخراج و در مراحل بعدی پردازش می‌شود. در صورت ضعف سیگنال دریافتی، آشکارسازی نامناسب سیگنال باعث استخراج اطلاعات فوق‌با خطای چشمگیر شده و عملاً به معنای بی‌استفاده بودن این قبیل سامانه‌ها تلقی می‌شود. لذا در چنین سامانه‌هایی افزایش نسبت سیگنال به نویز^۱ در خروجی گیرنده، از موضوعاتی است که همواره مورد علاقه محققین بوده است.

^۱ Signal to Noise Ratio (SNR)

تا کنون روش‌های مختلفی برای چنین افزایشی پیشنهاد و آزموده شده‌اند. در دسته‌ای از روش‌ها، سیگنال و نویز با استفاده از ویژگی توان که از روی دامنه موج دریافتی به دست می‌آید، از یکدیگر تفکیک می‌شوند. روش‌های آشکارسازی با نرخ هشدار غلط ثابت^۱ که عمدتاً در رادار و سونار استفاده می‌شوند، نمونه خوبی برای این گروه از روش‌ها به شمار می‌آیند. در این روش‌ها برای تعیین ماهیت هر لحظه از موج دریافتی، تلاش می‌شود تا توان نویز با استفاده از لحظات همسایه آن تخمین زده شود. سپس توان موج دریافتی در لحظه مزبور با تخمین توان نویز ذکر شده مقایسه شده و در صورتی که به میزان مشخصی بزرگتر بود، تصمیم‌گیری در لحظه مزبور به عنوان آشکارسازی معتبر در نظر گرفته شده و در غیر این صورت به عنوان نویز منظور و از آماره آن برای به روز کردن تخمین توان نویز برای لحظات بعدی استفاده می‌شود. گونه‌های مختلفی از روش‌های مبتنی بر CFAR معرفی شده‌اند که همگی با احتمال وقوع نرخ ثابتی از خطای هشدار غلط^۲ آشکارسازی را انجام می‌دهند و تفاوت اصلی آن‌ها در شیوه تخمین توان نویز از روی نمونه‌های موج دریافتی است.

در ادامه این فصل به تعریف مفهوم آشکارسازی و تشریح انواع آن از جمله آشکارسازی با نرخ هشدار غلط ثابت پرداخته می‌شود. در ادامه فصل نیز به تعریف و مدل‌سازی تداخل و مفهوم سیگنال‌های تداخلی پرداخته می‌شود. در آخر هم ساختار اصلی این پایان‌نامه بیان می‌شود.

۱-۱- آشکارسازی

منظور از آشکارسازی تشخیص هدف در حضور تداخل است که تداخل از نویز گیرنده، نویز حاصل از منابع خارج از رادار و سیگنال‌های بازگشتی از موانع و سایر اهداف محیط تشکیل شده است. منظور از سیگنال‌های تداخلی، سیگنال‌های بازگشتی از سایر اهداف بوده که باعث کاهش کیفیت آشکارسازی در شناسایی هدف می‌شود. مسئله فوق بصورت یک آزمون دو فرضیه‌ای قابل

^۱ Constant False Alarm Rate (CFAR)

^۲ False Alarm Error

تعریف است بطوریکه در این آزمون H_0 فرضیه عدم وجود هدف و H_1 فرضیه وجود هدف در یک سلول راداری است، در این صورت [۱]:

$$\begin{cases} \underline{y} = \underline{n} & \text{if } H_0 \\ \underline{y} = \underline{s} + \underline{n} & \text{if } H_1 \end{cases} \quad (1-1)$$

که در آن \underline{y} بردار مشاهدات، \underline{s} بردار سیگنال هدف و \underline{n} بردار تداخل می‌باشد و آشکارساز طراحی شده در گیرنده پس از هر بردار مشاهده، فرضیه H_0 یا H_1 را انتخاب می‌کند. به عبارت دیگر مشاهدات به فضای تصمیم‌گیری که دو عضو d_0 و d_1 دارد نگاشته می‌شود. نگاشت $d(\underline{y})$ را قاعده تصمیم‌گیری می‌نامند [۲]. بطوریکه قاعده تصمیم‌گیری فضای مشاهدات را به دو ناحیه Z_0 و Z_1 افراز نموده که بصورت زیر تعریف می‌شوند.

$$\begin{aligned} Z_0 &= \{ \underline{y} : d(\underline{y}) = d_0 \} \\ Z_1 &= \{ \underline{y} : d(\underline{y}) = d_1 \} \end{aligned} \quad (2-1)$$

اگر بردار دریافتی در Z_0 قرار گیرد آشکارساز بنا را بر H_0 می‌گذارد که تصمیم‌گیری فوق با d_0 نشان داده می‌شود و اگر بردار دریافتی در Z_1 قرار گیرد آشکارساز بنا را بر H_1 می‌گذارد که تصمیم‌گیری فوق با d_1 نشان داده می‌شود [۲].

در مسئله آشکارسازی فوق دو نوع خطا وجود دارد؛ خطای هشدار غلط^۱، وقتی که اعلام وجود هدف صورت گیرد در حالیکه واقعاً هدف موجود نباشد و خطای از دست دادن^۲ هدف، وقتی که عدم اعلام وجود هدف صورت گیرد در حالیکه واقعاً هدف موجود باشد. احتمال خطاهای فوق را بترتیب با P_m و P_{fa} نمایش می‌دهند که از روابط زیر بدست می‌آیند.

$$\begin{aligned} P_{fa} &= P(d_1 | H_0) = \int_{Z_1} f_Y(\underline{y} | H_0) d\underline{y} \\ P_m &= P(d_0 | H_1) = \int_{Z_0} f_Y(\underline{y} | H_1) d\underline{y} \end{aligned} \quad (3-1)$$

^۱. False Alarm

^۲. Miss

(۴-۱)

که در روابط بالا $f_Y(\underline{y}|H_0), f_Y(\underline{y}|H_1)$ توابع چگالی احتمال شرطی بردار دریافتی به شرط دو فرضیه H_0 و H_1 می‌باشد. احتمال وجود هدف وقتی واقعاً هدف موجود باشد را احتمال آشکارسازی گویند و با P_d نمایش می‌دهند که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$P_d = P(d_1|H_1) = \int_{Z_1} f_Y(\underline{y}|H_1) d\underline{y} \quad (۵-۱)$$

احتمال آشکارسازی و احتمال هشدار غلط دو پارامتر اساسی برای بررسی کیفیت آشکارسازهای راداری در مسئله فوق می‌باشد.

۱-۲- آشکارساز مطلوب مسئله و معیار بهینگی آن

تا کنون آشکارسازهای متفاوتی با توجه به معیارهای متفاوت بهینگی، ساده یا مرکب بودن مسئله مورد نظر و ... معرفی شده‌اند. از آن جمله می‌توان به آشکارسازهای بیشینه احتمال پسین^۱ MAP، بیشینه درست‌نمایی^۲ ML، بیز^۳ Bayes و نیمن-پیرسون^۴ NP اشاره کرد که مورد آخر به آشکار سازهای بهینه یا آشکار سازهای شبه بهینه‌ای همچون^۵ UMP،^۶ GLR و ... منجر می‌شود [۳].

در مسئله رادار یا سونار چون احتمال وقوع فرضیه H_0 خیلی بیشتر از احتمال وقوع فرضیه H_1 است، از طرفی خود احتمالات پیشین $P(H_0)$ و $P(H_1)$ و توابع هزینه (C_{ij}) نامعلوم هستند، لذا آشکارسازهایی با معیار ML، Bayes و MAP برای کاربردهای راداری و سوناری نامناسب هستند. از طرفی در مسائل راداری منطقی است که P_{fa} از سطح قابل قبولی کمتر باشد تا هشدارهای غلط ناخواسته، مسئله دیده بانی را دچار اشکال نکنند و تحت این شرایط به یک احتمال آشکارسازی

^۱ Maximum A posteriori Probability (MAP)

^۲ Maximum Likelihood (ML)

^۳ Bayes

^۴ Neyman-Pearson (NP)

^۵ Uniformly Most Powerful

^۶ Generalized Likelihood Ratio

بیشینه دست یافت [۳-۵]. چنین خواسته‌ای با معیار NP مطابقت دارد، بطوریکه P_{fa} در یک حد ثابت نگه‌داشته می‌شود و P_d بیشینه می‌گردد. لذا برای آشکارسازی مقایسه زیر باید انجام شود:

(۶-۱)

که $\Lambda(y)$ تابع درست‌نمایی^۱ است که بصورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\Lambda(y) = \begin{matrix} H_1 \\ \rangle \\ T \\ \langle \\ H_0 \end{matrix}$$

$$\Lambda(y) = \frac{f_Y(\underline{y}|H_1)}{f_Y(\underline{y}|H_0)} \quad (7-1)$$

که در این رابطه مقدار آستانه T بر اساس معیار نیم‌پیرسون از روی P_{fa} بدست می‌آید. این معیار با ثابت نگه‌داشتن احتمال P_{fa} ، احتمال آشکارسازی P_d را حداکثر می‌کند. از طرفی مشخصات آماری تداخل با زمان تغییر می‌کند و این به معنای غیر ایستادن بودن^۲ تداخل است؛ لذا آشکارسازی با یک سطح آستانه ثابت باعث بروز تغییرات در احتمال هشدار غلط واقعی شده و در نتیجه کیفیت آشکارسازی پایین می‌آید. لذا برای رسیدن به یک احتمال هشدار غلط ثابت در رادار، باید از یک آشکارساز با سطح آستانه وفق‌پذیر^۳ با محیط استفاده شود. بنابراین آشکارسازهای با نرخ هشدار غلط ثابت CFAR مطرح شدند که اگر چه دارای کیفیت پایین‌تری از آشکارسازهای بهینه هستند ولی از سرعت خوبی برخوردار بوده و در رادارهای عملی مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این پایان‌نامه از رویکرد آشکارساز CFAR پارامتری، که از یک ساختار معین ساده برای آشکارسازی استفاده می‌کند و در عوض با تغییر آستانه آشکارسازی بطور وفقی و متناسب با پارامترهای تداخل، احتمال هشدار غلط ثابت نگه‌داشته می‌شود، استفاده شده است.

در آشکارسازی CFAR سلولی که بر روی آن آشکارسازی انجام می‌شود را، سلول تحت آزمون (CUT^4) می‌نامند و از سلول‌های کناری برای بدست آوردن سطح آستانه وفقی استفاده

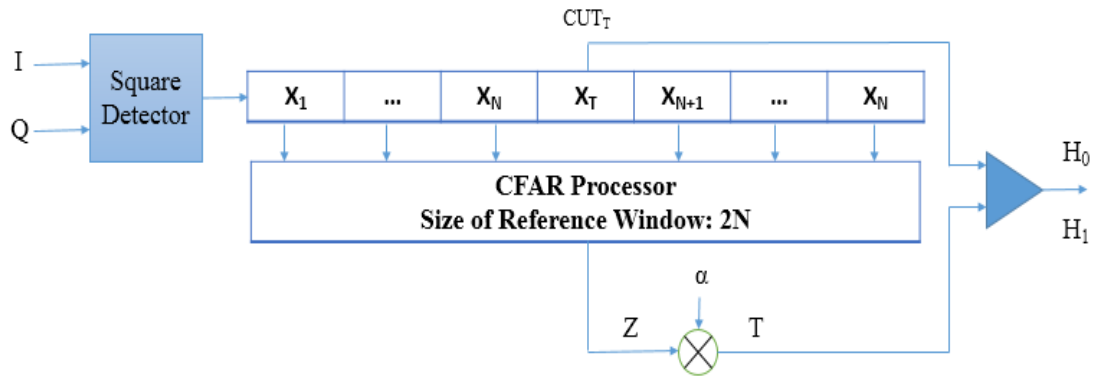
^۱. Likelihood Ratio Function

^۲. Non-Stationary

^۳. Adaptive threshold

^۴. Cell Under Test

می‌شود. این سلول‌ها را نیز سلول مرجع^۱ می‌نامند. دیاگرام یک آشکارساز CFAR در شکل (۱-۱) آمده است.



شکل ۱-۱- دیاگرام بلوکی یک آشکارساز CFAR

در این پردازنده‌ها احتمال هشدار غلط به توان تداخل وابسته نمی‌باشد. اگر تمامی سلول‌های مرجع دارای پارامترهای آماری یکسان باشند، محیط همگن^۲ بوده و آشکارسازی CFAR عملکرد خوبی داشته و مقدار احتمال هشدار غلط ثابت می‌ماند. ولی اگر پارامترهای آماری سلول‌های مرجع یکسان نباشد آنگاه محیط ناهمگن^۳ بوده و عملکرد پردازنده‌های CFAR افت پیدا می‌کند و احتمال هشدار غلط ثابت نمی‌ماند.

۱-۳- ناهمگنی

ناهمگنی‌ها در سلول‌های مرجع دو علت اساسی دارند، یکی لبه کلاتر^۴ و دیگری اهداف

تداخلی^۱.

^۱. Reference cells

^۲. Homogenous environment

^۳. Non-homogenous environment

^۴. Clutter edge

۱-۳-۱- لبه کلاتر

گاهی اوقات دو یا چند نوع کلاتر با پارامترهای متفاوت در سلول‌های مرجع قرار می‌گیرند مانند زمانی که در سلول‌های مرجع هم کلاتر دریا باشد و هم کلاتر خشکی. در این صورت محلی که تغییر آمارگان کلاتر سریعاً اتفاق می‌افتد محل مرز کلاتر است.

اگر در سلول‌های مرجع دو کلاتر با توان‌های متفاوت وجود داشته باشد و سلول‌های آزمون در ناحیه کلاتر قوی‌تر باشد در این صورت در بدست آوردن سطح آستانه و فقی سلول‌هایی با توان پایین‌تر نیز موثر بوده و لذا احتمال هشدار غلط بالاتر از مقدار لازم طراحی شده می‌شود و اگر سلول‌های آزمون در ناحیه کلاتر ضعیف‌تر قرار داشته باشد آنگاه احتمال هشدار غلط پایین‌تر از مقدار لازم طراحی شده می‌شود.

۱-۳-۲- اهداف تداخلی

اگر در سلول‌های مرجع به غیر از سلول‌های تحت آزمون یک یا چند هدف وجود داشته باشد در این صورت سطح آستانه و فقی بطور میانگین بالاتر از مقدار مورد نظر شده و اگر چه احتمال هشدار غلط را کاهش می‌دهد ولی باعث پایین آمدن عملکرد آشکارساز نسبت به حالت همگن می‌شود.

تا کنون به تعریف مسئله راداری، آشکارسازی مطلوب و معیار آن، نحوه تأثیر نامطلوب تداخل و ناهمگنی‌ها در آشکارسازی پرداخته شد. در ادامه ساختار پایان نامه مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۴- مدل‌سازی سیگنال هدف و تداخل

سیگنال ارسالی در رادار را به فرم زیر می‌توان در نظر گرفت [۶]:

^۱. Interfering targets

$$S(t) = \sum_k P(t - kT_p) \cos(2\pi f_c t + \psi_k) \quad (8-1)$$

که $P(t)$ بصورت زیر تعریف می‌شود؛

$$P(t) = \begin{cases} 1 & 0 < t < \tau \\ 0 & \text{other wise} \end{cases} \quad (9-1)$$

که در آن فرکانس حامل مدوله کننده و ψ_k فاز سیگنال ارسالی و τ عرض پالس است. سیگنال ارسالی پس از برخورد با هدف در گیرنده دریافت می‌شود. بنابراین سیگنال بازگشتی از هدف در صورت متحرک بودن هدف، همان سیگنال ارسالی تضعیف شده و تأخیر یافته است که شیفت داپلر هم به آن اضافه خواهد شد؛ لذا سیگنال بازگشتی از هدف بصورت زیر بیان می‌شود [6].

$$S(t) = \sum_k A_k P(t - kT_p - T_R) \cos(2\pi f_c t + \Phi_k) \quad (10-1)$$

که T_R تأخیر ناشی از زمان رفت و برگشت سیگنال بین فرستنده رادار و هدف A_k و Φ_k بترتیب دامنه و فاز k امین پالس از سیگنال بازگشتی از هدف است. با در نظر گرفتن سیگنال باند پایه k امین پالس بازگشتی از هدف و با تقسیم بازه زمانی $[0, T_p]$ به فواصل کوچکتر با عرض τ ، و اخذ یک نمونه از هر زیر بازه بطول τ که سلول بندی^۱ نامیده می‌شود؛ می‌توان پارامتر T_R را نادیده گرفت و نمونه‌ها را فقط با پارامترهای A_k و Φ_k مشخص کرد [7]. با در نظر گرفتن N پالس متوالی برای آشکارسازی هر سلول راداری، می‌توان بردار سیگنال \underline{S} را بصورت زیر نمایش داد:

$$\begin{cases} S_k = A_k e^{j\phi_k} & k=0,1,\dots,N-1 \\ \underline{S} = [S_0 \ S_1 \ \dots \ S_{N-1}]^T \end{cases} \quad (11-1)$$

بدین صورت رابطه (۱-۱) به آزمون فرضیه گسسته زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{cases} H_0 : \underline{y} = \underline{n} \\ H_1 : \underline{y} = \underline{S} + \underline{n} \end{cases} \quad (12-1)$$

که در رابطه فوق \underline{n} بردار نمونه‌های اخذ شده از سیگنال تداخل و \underline{y} سیگنال گسسته دریافتی N بعدی مربوط به یک سلول راداری است.

^۱. Range gating

۱-۴-۱- مدل سازی سیگنال هدف:

مهم‌ترین اقدام در زمینه مدل‌سازی سیگنال هدف توسط سورلینگ^۱ انجام گردید که در ادامه توضیح داده می‌شود. اگر نمونه k ام بردار سیگنال N بعدی \underline{s} باشد، در کلی‌ترین حالت آن را می‌توان به شکل زیر نوشت [۸]:

$$S_k = A_k e^{j\phi_k} e^{j\Omega_k} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (13-1)$$

A_k یک متغیر تصادفی حقیقی و مثبت است که به دامنه تصادفی نمونه k ام سیگنال اشاره دارد. در واقع A_k به سطح مقطع راداری هدف در لحظه مربوط به نمونه k ام بستگی دارد. ϕ_k نیز یک متغیر تصادفی حقیقی است که به فاز نمونه k ام سیگنال بدون در نظر گرفتن داپلر هدف اشاره دارد، Ω_k نیز یک متغیر تصادفی حقیقی است که اشاره به فاز تصادفی نمونه k ام سیگنال ناشی از شیفت داپلر هدف دارد. اگر PRF^2 ثابت باشد Ω_k در رابطه زیر صدق می‌کند.

$$\Omega_k = k\Omega \quad (14-1)$$

که k عددی ثابت است. از طرفی در حالت همدوس ϕ_k در بردار سیگنال متغیر تصادفی یکسان ϕ با توزیع یکنواخت در فاصله $[0, 2\pi]$ می‌باشد. پس:

$$S_k = A_k e^{j\phi} e^{jk\Omega} \quad k = 0, 1, \dots, N-1 \quad (15-1)$$

در ادامه به بررسی اجمالی این مدل‌های سورلینگ پرداخته می‌شود.

۱-۱-۴-۱- مدل سورلینگ صفر

در این مدل هدف بدون تموج فرض می‌شود. بنابراین برای دامنه سیگنال بازگشتی از هدف (A) مقداری معلوم و ثابت در نظر می‌گیرند. این مدل به مدل سورلینگ صفر معروف است. در این مدل سیگنال بازگشتی از هدف را می‌توان بصورت زیر نشان داد:

$$\underline{S} = A e^{j\phi} \underline{\delta} \quad (16-1)$$

^۱.Swerling

^۲.Pulse Repetition Frequency

که در آن $\underline{\delta}$ از رابطه صفحه بعد بدست می آید:

$$\underline{\delta} = [1, e^{j\Omega}, \dots, e^{j(N-1)\Omega}]^T \quad (17-1)$$

۱-۴-۱-۲-مدل سورلینگ ۱

در این حالت مقادیر دامنه سیگنال‌های بازگشتی از هدف در طول یک اسکن رادار ثابت در نظر گرفته می‌شوند. با این فرض، هدف موج آهسته^۱ دارد. مقادیر دامنه A_k همگی یکسان و مقدار تصادفی A را اتخاذ می‌نماید. متغیر تصادفی A با تابع چگالی احتمال رایلی^۲ با پارامتر توان σ^2 قابل توصیف است.

$$f_A(a) = \frac{2a}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{a^2}{\sigma^2}\right) \quad (18-1)$$

۱-۴-۱-۳-مدل سورلینگ ۲

در این حالت، مقادیر دامنه سیگنال‌های بازگشتی از هدف را بصورت پالس به پالس ناهمبسته فرض می‌شوند. در این حالت گفته می‌شود که هدف موج سریع^۳ دارد و مقادیر A_k متغیرهای تصادفی با توزیع یکسان و مستقل^۴ در نظر گرفته می‌شوند. تابع چگالی احتمال A_k ها همانند مدل سورلینگ ۱ می‌باشد. رابطه سیگنال بازگشتی از هدف بصورت زیر می‌باشد:

$$\underline{s} = \underline{\Delta} \underline{A} e^{j\theta} \quad (19-1)$$

که در رابطه فوق \underline{A} بردار تصادفی حقیقی و نامنفی شامل دامنه نمونه‌های سیگنال بازگشتی از هدف بصورت زیر است.

$$\underline{A} = [A_0, A_1, \dots, A_{N-1}]^T \quad (20-1)$$

^۱.Slow fluctuation

^۲.Rayleigh

^۳.Rapid fluctuation

^۴.iid(independent and identically distributed)

و Δ یک ماتریس قطری بصورت زیر است

$$\Delta = \text{diag}[1, e^{j\Omega}, \dots, e^{j(N-1)\Omega}] \quad (21-1)$$

که در آن منظور از $\text{diag}(\cdot)$ ماتریس قطری با درایه‌های مشخص است.

۳-۴-۱-۴-۱ مدل سورلینگ

این مدل شبیه مدل سورلینگ ۱ است. با این تفاوت که در آن A جذر یک متغیر تصادفی

کای-اسکوئر با توان σ^2 و درجه آزادی ۴ مطابق با رابطه زیر است:

$$f_A(a) = \frac{8a^3}{\sigma^4} \exp\left(-\frac{2a^2}{\sigma^2}\right) \quad (22-1)$$

۴-۵-۱-۴-۱ مدل سورلینگ

این مدل شبیه مدل سورلینگ ۲ است، با این تفاوت که A جذر یک متغیر تصادفی کای-

اسکوئر با توان σ^2 و درجه آزادی ۴ می‌باشد.

۲-۴-۱-۲ مدل سازی تداخل

تداخل سیگنال ناخواسته‌ای است که در بردار نمونه‌های دریافتی وارد شده و باعث خطا در

آشکارسازی می‌شود. منظور از تداخل، مجموع نویز داخلی سیستم و کلتر است، که کلتر همان

سیگنال بازگشتی رادار از غیر اهداف می‌باشد که به علت تصادفی بودن، خواصی مانند نویز دارد

ولی توان آن بسیار بیشتر از نویز و در نتیجه بر آن مسلط است. بنابراین در مدل‌سازی تداخل

کافیست مدل کلتر بررسی شود [۹].

توزیع رایلی یکی از مهم‌ترین و متداول‌ترین توزیع‌هایی است که برای توصیف آماری دامنه

کلتر استفاده می‌شود. علیرغم اهمیت فراوان توزیع رایلی در مدل‌سازی تداخل، با این حال در

بسیاری از موارد توزیع دامنه تداخلی که از داده‌های تجربی بدست می‌آید، انحرافی را به رایلی نشان می‌دهد. این انحراف بخصوص برای زوایای میل کم^۱ و نیز رادارهای با تفکیک‌پذیری بالا^۲ قابل توجه است. آشکارسازی که دارای عملکرد بهینه یا قابل قبول در تداخل گوسی می‌باشد، هنگامی که در تداخل غیرگوسی قرار می‌گیرد، عملکرد آن دارای افت شدید می‌شود. در دهه هفتاد میلادی خانواده لوگ نرمال برای توصیف آماری دامنه کلاتر بکار گرفته شد. از دهه هشتاد به بعد از خانواده توزیع‌های شبه گوسی^۳ (یا SIRP^۴) برای مدل‌سازی تداخل استفاده می‌شود. توزیع‌های K و ویبول^۵ به این خانواده تعلق دارند [۱۰-۱۴].

امروزه توزیع ویبول برای توزیع دامنه هم کلاتر دریا و هم کلاتر خشکی بکار برده می‌شود. اگر w یک متغیر تصادفی ویبول باشد، تابع چگالی احتمال آن بصورت زیر است [۱۵].

$$f_w(x) = \frac{c}{b} \left(\frac{x}{b}\right)^{c-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^c\right] \quad x > 0, b > 0, c > 0 \quad (23-1)$$

بطوریکه b پارامتر مقیاس^۶ و c پارامتر شکل^۷ است. در حالتی که c=1 انتخاب شود توزیع ویبول به توزیع نمایی تبدیل شده و در حالتی که c=2 انتخاب شود، به توزیع رایلی تبدیل می‌شود. پارامتر شکل معمولاً در بازه $0.5 \leq c \leq 2$ تغییر می‌کند.

توزیع K نیز برای توصیف آماری هم کلاتر دریا و هم خشکی کاربرد دارد و انطباق خوبی با داده‌های تجربی دارد. تابع چگالی احتمال آن بصورت زیر است:

$$f_X(x) = \frac{b^{\nu+1} x^\nu}{2^{\nu-1} \Gamma(\nu)} K_{\nu-1}(bx) \quad x \geq 0 \quad (24-1)$$

که در آن ν پارامتر شکل و b پارامتر توان توزیع K است. تابع $K_\alpha(\cdot)$ تابع بسل تعمیم‌یافته

^۱.Low Grazing Angle

^۲.High Resolution

^۳.Pseudo-Gaussian

^۴.Spherically Invariant Random Process

^۵.Weibull

^۶.Scale Parameter

^۷.Shape Parameter