بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

به کارگیری روشهای مبتنی بر شبیه سازی در آشکارسازی راداری

رسالهٔ دکتری مهندسی برق - مخابرات

محمدفرزان صباحی

استاد راهنما

دکتر سیّد محمود مدرّس هاشمی

۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

رسالهٔ دکتری مهندسی برق – مخابرات آقای محمدفرزان صباحی تحت عنوان

به کار گیری روشهای مبتنی بر شبیه سازی در آشکارسازی راداری

در تاریخ ۸۶/۱۲/۱ توسط کمیتهٔ تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای رساله	دکتر سیّد محمود مدرّس هاشمی
۲- استاد مشاور رساله	دکتر عبّاس شیخی
۳- استاد داور	دکترسید جمال الدین گلستانی
۴- استاد داور	دکتر محمد مهدی نایبی
۵- استاد داور	دکتر محمدرضا تابان
۶- استاد داور	دکترسید محمد علی خسروی فرد
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر علیمحمد دوست حسینی

مراتب قدر دانی خود را از جناب آقای دکتر مدرس هاشمی که از راهنمائیهای ارزنده و دقت نظر ایشان بسیار بهره مند گشتم اعلام می دارم. همچنین از جناب آقای دکتر شیخی که هیچگاه از کمک به اینجانب مضایقه ننمودند تشکر می نمایم. سپاسگذار داوران محترم دکتر نایبی، دکتر گلستانی، دکتر تابان و دکتر خسروی فرد و همهٔ اساتید و پرسنل خدوم دانشکدهٔ برق می باشم.

همچنین بر خود لازم می بینم قدر دانی ویژهٔ خود را از همسر گرامیم و خانوادهٔ محترمم که در تمامی مراحل همراهیم نمودند اعلام کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این رساله متعلق به **دانشگاه صنعتی اصفهان** است.

هر آبروی که اندوختم زدانش ودین

نثار خاک ره آن نگار خواهم کرد

فهرست مطالب

چکیده ۱
۱ فصل اول: مقدمه ۲
۱-۱ تاریخچه ۲
۱-۲ هدف و ساختار رساله ۶
۲ فصل دوم : آشکارسازی راداری ۷
۲-۱ مقدمه ۷
۲-۲ معیارهای آشکارسازی ۹
۲-۲-۱ معیار MAP ۹
۲-۲-۲ معیار ML ۱۰
۲-۲-۳ معیار بیز ۱۰
۲-۲-۴ معیار Min-Max ۱۰
۲-۲-۵ معیار نیمن- پیرسون ۱۱
۲-۳ روشهای آشکارسازی راداری ۱۱
۲-۳-۱ آشکارسازی بهینه، آزمون ALR ۱۲
۲-۳-۲ آزمون UMP ۱۲
۲-۳-۳ آزمون GLRT ۱۲
۲-۴ مدل کردن اهداف راداری ۱۳
۲-۵ مدل کردن کلاتر ۱۳
۲-۵-۱ مدل کردن دامنهٔ کلاتر بصورت تصادفی ۱۵
۲-۵-۲ مدل کردن همبستگی بوسیلهٔ توزیع های ترکیبی ۱۶
۲-۵-۳ شبیه سازی رایانه ای توزیعها ۱۷
۲-۶ نتیجه گیری ۲۲
۳ فصل سوم : روشهای مبتنی بر شبیه سازی ۲۳
۳-۱ مقدمه ۲۳
۳-۲ نمونه برداری اهمیتی ۲۵
۳-۳ نمونه برداری اهمیتی با نمونه برداری مجدد ۲۶
۳-۴ نمونه برداری بر مبنای رد- قبول ۲۷
۳-۵ همگرائی روش نمونه برداری اهمیتی ۲۸

۳-۶ تکنیکهای کاهش واریانس در روشهای مونت کارلو ۳۰
۳-۶-۱ تقسیم بندی ناحیهٔ انتگرال گیری ۳۰
۳-۶-۲ کاهش بعد انتگرال گیری ۳۱
۳-۶-۳ روشهای شبه مونت کارلو ۳۱
۳-۷ نمونه برداری اهمیتی وفقی ۳۱
۳-۸ نمونه برداری مونت کارلو بر مبنای زنجیره مارکف MCMC ۳۳
۳-۸-۱ الگوریتم متروپولیس - هستینگ ۳۴
۳-۸-۲ نمونه بردارگیبز ۳۶
۳-۸-۳ استفاده از خروجی MCMC ۳۷
۳-۹ درستنمائی کناری ۳۷
۳-۹-۱ روشهای آنالیز عددی ۳۸
۳-۹-۲ روشهای مبتنی بر نمونه برداری اهمیتی ۳۸
۳-۹-۳ روش لاپلاس ۴۱
۳-۹-۴ استفاده از خروجی MCMC ۴۲
۳-۱۰ روشهای بیزی ترتیبی ۴۲
۳-۱۰-۱ مدل فضای حالت ۴۲
۳-۱۰-۲ دنبال کردن بیزی ۴۳
۳-۱۰-۳ فیلتر کالمن ۴۵
۳-۱۰-۴ روشهای مبتنی بر شبکه ۴۶
۳-۱۰-۵ فیلتر کالمن تعمیم یافته(EKF) ۴۷
۳-۱۰-۶ روشهای تقریبی مبتنی بر شبکه ۴۷
۳-۱۱ مونت کارلوی ترتیبی ۴۹
۳-۱۱-۱ زوال الگوریتم ۵۱
۳-۱۱-۲ استفاده از توابع توزیع زیر بهینه و جبران عملکرد ۵۶
۳-۱۲ انواعی از فیلترهای ذره ای ۵۶
۳-۱۲-۱ فیلتر SIR یا بوت استرپ ۵۶
۳-۱۲-۲ فیلتر ذره ای با استفاده از متغیر کمکی، ASIR یاAVPF ۵۷
۳-۱۲-۳ فیلتر ذره ای تنظیم شده RPF ۵۸
۳-۱۲-۴ فیلتر ذره ای گوسی، GPF ۵۹
۳-۱۳ تخمین مشترک پارامتر و حالت توسط فیلتر ذره ای ۶۲
۳-۱۴ روش رائو بلکولیزیشن ۶۷
۳-۱۵ نتیجه گیری ۶۸

٤ فصل چهارم : آشکارسازهای ذره ای ٦٩

۴-۱ مقدمه ۶۹

۴-۲ آشکار ساز ذره ای ۷۰

۴-۲-۱ الگوریتم PD1 ..... ۷۱

۴-۲-۲ الگوریتم PD2 ..... ۷۱

۴-۳ ارزیابی عملکرد آشکارساز ذره ای ۷۳

۴-۳-۱ بررسی عملکرد الگوریتمها در تخمین پارامترهای نامعلوم ۷۳

۴-۳-۲ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر گوسی سفید با واریانس نامعلوم ۷۶

۴-۳-۳ آشکارسازی همدوس هدف با دامنه مجهول در کلاتر گوسی رنگی با کواریانس نامعلوم ۸۲

۴-۳-۴ آشکارسازی بهینهٔ محلی(LOD) در کلاتر گوسی رنگی با کواریانس نامعلوم ۸۷

۴-۳-۵ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر K ترکیبی با کواریانس معلوم ۸۸

۴-۳-۶ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر K ترکیبی با کواریانس نامعلوم ۹۲

۴-۴ ارتباط آشکارساز ذره ای با روش های ALR و GLRT ۹۴

۴-۵ پیچیدگی و زمان محاسبات ۹۵

۴-۶ نتیجه‌گیری ۹۷

۵ فصل پنجم : آزمون نسبت توزیع پیشین و پسین ۱۰۰

۵-۱ مقدمه ۱۰۰

۵-۲ محاسبهٔ نسبت درستنمایی در مدلهای تودرتو ۱۰۱

۵-۳ آشکارسازی در کلاتر گوسی ۱۰۳

۵-۳-۱ کلاتر گوسی با پارامترهای معلوم ۱۰۳

۵-۳-۲ کلاتر گوسی با پارامترهای نامعلوم ۱۰۵

۵-۴ نتایج شبیه سازی ۱۰۶

۵-۴-۱ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر گوسی سفید با واریانس نامعلوم ۱۰۶

۵-۴-۲ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر گوسی رنگی با کواریانس نامعلوم ۱۰۷

۵-۵ بررسی خاصیت CFAR در آشکار ساز PPRT ۱۰۸

۵-۵-۱ خاصیت CFAR نسبت به تغییر توان کلاتر ۱۱۱

۵-۵-۲ خاصیت CFAR نسبت به تغییرطیف کلاتر ۱۱۲

۵-۵-۳ مقایسهٔ کارآیی ARGLR و CFAR_PPRT ۱۱۳

۵-۶ آشکارساز PPRT در داپلر نامعلوم ۱۱۷

۵-۶-۱ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر گوسی سفید با واریانس نامعلوم ۱۱۷

۵-۶-۲ آشکارسازی همدوس هدف با دامنهٔ مجهول در کلاتر گوسی رنگی با کواریانس نامعلوم ۱۱۸

۵-۷ نتیجه‌گیری ۱۱۹
٦ فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات ۱۲۰
۶-۱ نتیجه گیری ۱۲۰
۶-۲ ارائهٔ پیشنهادات ۱۲۴
مراجع ۱۲٦

فهرست شکلها

شکل ۲-۱ : تولید رایانه ای توزیع همبسته K ۲۱

شکل ۳-۱ : توصیف نمونه برداری اهمیتی ۲۵

شکل ۳-۲: شمای کلی یک فضای حالت ۴۳

شکل ۳-۳ : نمونه برداری مجدد ۵۴

شکل ۳-۴ : فیلتر ذره ای با نمونه برداری مجدد ۵۵

شکل ۴-۱ : طیف فرکانسی نویز در رابطهٔ (۴-۹) (شکل از [۱۲۴]) ۷۴

شکل ۴-۲ : میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده در تخمین α در تکرارهای متوالی الگوریتم PD1 ..... ۷۴

شکل ۴-۳ : میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده در تخمین a_1 در تکرارهای متوالی الگوریتم PD1 ..... ۷۵

شکل ۴-۴ : میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده در تخمین a_2 در تکرارهای متوالی الگوریتم PD1 ..... ۷۵

شکل ۴-۵ : میانگین مربعات خطای نرمالیزه شده در تخمین σ_w^2 در تکرارهای متوالی الگوریتم PD1 ..... ۷۵

شکل ۴-۶ : مقایسه آشکار ساز PD1 با GLRT در نویز سفید با واریانس مجهول ۷۸

شکل ۴-۷: مقایسه آشکار ساز PD2 با GLRT در نویز سفید با واریانس مجهول ۷۸

شکل ۴-۸ : مقاوم بودن آشکار ساز PD1 نسبت به تغییر پارامترها ۷۹

شکل ۴-۹ : مقاوم بودن آشکار ساز PD2 نسبت به تغییر پارامترها ۷۹

شکل ۴-۱۰ : مقایسه آشکار ساز PD1 و PD2 با GLRT در نویز سفید با واریانس مجهول در تعداد پالس کم ۸۰

شکل ۴-۱۱ : مقایسه آشکار سازهای PD با GLRT در نویز سفید با واریانس مجهول و هدف شبه سورلینگ I ۸۱

شکل ۴-۱۲ : مقایسهٔ آشکار ساز PD1 با GLRT در نویز گوسی رنگیAR با کواریانس مجهول ۸۴

شکل ۴-۱۳ : مقایسهٔ آشکار ساز PD2 با GLRT در نویز گوسی رنگیAR با کواریانس مجهول ۸۴

شکل ۴-۱۴ : بررسی عملکرد آشکارسازهای PD نسبت به GLRT در مقادیر مختلف پارامترها ۸۵

شکل ۴-۱۵ : بررسی عملکرد آشکارسازهای PD نسبت به GLRT در مقادیر مختلف پارامترها ۸۵

شکل ۴-۱۶ : مقایسهٔ آشکار سازهای PD با GLRT در نویز گوسی رنگیAR با کواریانس مجهول در تعداد پالس کم ۸۶

شکل ۴-۱۷ : مقایسهٔ آشکار سازهای PD با GLRT در نویز گوسی رنگیAR با کواریانس مجهول در تعداد پالس کم ۸۶

شکل ۴-۱۸ : مقایسه آشکار ساز PD با GLRT در نویز گوسی رنگی با کواریانس مجهول در حالتی که دامنهٔ هدف معلوم است (LOD) ۸۷

شکل ۴-۱۹ : مقایسه آشکار سازهای PD با GLRT در نویز گوسی رنگی با کواریانس مجهول در حالتی که کوچکترین دامنهٔ ممکن هدف معلوم است (LOD) ۸۸

شکل ۴-۲۰ : مقایسهٔ آشکار سازهای PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس معلوم($v=1$) ۹۰

شکل ۴-۲۱ : مقایسهٔ آشکار سازهای PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس معلوم و تعداد ۵ پالس دریافتی($v=1$) ۹۱

شکل ۴-۲۲ : مقایسه آشکار سازهای PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس معلوم و تعداد ۱۰ پالس دریافتی ($v=0.1$) ۹۱

شکل ۴-۲۳ : مقایسهٔ آشکار سازهای PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس معلوم و تعداد ۵ پالس دریافتی ($v=0.1$) ۹۲

شکل ۴-۲۴ : مقایسهٔ آشکار ساز PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس نامعلوم($v=0.1$)..... ۹۳

شکل ۴-۲۵ : مقایسهٔ آشکار ساز PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس نامعلوم و تعدادپالس کم($v=0.1$) ۹۴

شکل ۴-۲۶ : مقایسهٔ آشکار سازهای PD با GLRT در کلاتر رنگی ترکیبی K با کواریانس نامعلوم و تعدادپالس کم($v=1$) . ۹۴

شکل ۴-۲۷ : مقایسهٔ روشهای PD2 و CALR در حجم پردازشی یکسان ۹۷

شکل ۵-۱ : مقایسه ROC روش PPRT با GLRT در حالت نویز سفید گوسی با واریانس مجهول..... ۱۰۶

شکل ۵-۲ : تغییرات احتمال آشکارسازی با Ω در حالت نویز سفید گوسی با واریانس مجهول..... ۱۰۷

شکل ۵-۳ : مقایسه ROC روش PPRT با GLRT در حالت کلاتر رنگی گوسی AR با کواریانس مجهول ۱۰۸

شکل ۵-۴ : مقایسه منحنی $P_D - SNR$ روش PPRT با GLRT در حالت کلاتر گوسی رنگی AR با کواریانس مجهول ($P_{fa}=10^{-3}$) ۱۰۸

شکل ۵-۵ : عدم تغییر P_{fa} با تغییرات σ^2 در آشکارساز CFAR-PPRT ($\mu=10$)..... ۱۱۲

شکل ۵-۶ : عدم تغییر P_{fa} با تغییرات اندازه قطب در آشکارساز CFAR-PPRT ($\mu=3$) ۱۱۲

شکل ۵-۷: عدم تغییر P_{fa} با تغییرات زاویه قطب در آشکارساز CFAR-PPRT ($\mu=3$) ۱۱۳

شکل ۵-۸ : مقایسهٔ کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت عدم وجود داده های ثانویه و $P=10$ ۱۱۴

شکل ۵-۹ : مقایسهٔ کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت عدم وجود داده های ثانویه و $P=20$ ۱۱۴

شکل ۵-۱۰ : مقایسه کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت عدم وجود داده های ثانویه و $P=50$ ۱۱۴

شکل ۵-۱۱: مقایسهٔ کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت عدم وجود داده های ثانویه و $P=10$ ($P_{fa}=10^{-3}$) ۱۱۵

شکل ۵-۱۲: مقایسه کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت عدم وجود داده های ثانویه و $P=20$ ($P_{fa}=10^{-3}$) ۱۱۵

شکل ۵-۱۳ : مقایسه کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت وجود ۵ داده ثانویه ۱۱۶

شکل ۵-۱۴ : مقایسه کارآئی روش ARGLR و CFAR-PPRT در حالت وجود ۳ داده ثانویه ($P_{fa}=10^{-3}$) ۱۱۶

شکل ۵-۱۵ : تغییرات احتمال آشکارسازی با Ω در حالت نویز گوسی رنگی AR با پارامترهای نامعلوم ۱۱۷

شکل ۵-۱۶ : مقایسهٔ عملکرد GLRT و PPRT در داپلر نامعلوم در حضور کلاتر گوسی سفید با واریانس مجهول.....۱۱۸

شکل ۵-۱۷ : مقایسهٔ عملکرد ARGLR و PPRT در داپلر نامعلوم در حضور کلاتر گوسی رنگی با کواریانس نامعلوم ۱۱۹

چکیده

قسمت عمدهٔ رسالهٔ حاضر به کاربرد روشهای مبتنی بر شبیه ساز ی (مونت کارلو) در آشکارسازی راداری اختصاص دارد. در این روشها با استفاده از تولید اعداد تصادفی، عملیات تخمین پارامتر های نامعلوم و یا محاسبه آمارهٔ آشکار ساز انجام می پذیرد. پس از مطالعات نسبتاً جامعی در زمینهٔ روشهای مونت کارلو، دو آشکار ساز بر مبنای روش نمونه برداری اهمیتی ارائه شده است. در این آشکار سازها ،که آنها را آشکار ساز ذره ای می نامیم، با استفاده از تولید اعداد تصادفی اقدام به محاسبهٔ تقریبی نسبت درستنمایی از طریق تخمین پارامترهای نامعلوم (شبیه GLRT) و یاانتگرال گیری روی پارامترهای نامعلوم (شبیه ALR) می نماییم. روشهای ارائه شده، با توجه به طبیعت عددی آنها، قابل اعمال به طیف وسیعی از مسایل آشکار سازی و بخصوص مسائلی که روشهای تحلیلی برای آنها وجود ندارد خواهد بود. نتایج شبیه سازی در چندین حالت مختلف نشان دهندهٔ این است که در حالاتی که روش GLRT قابل اعمال است، آشکارسازهای پیشنهادی عملکرد قابل رقابت و حتی بهتری دارند. از طرف دیگر آشکارسازهای پیشنهادی به بسیاری از مسائل که در آنها تخمین ML پارامترها موجود نبوده و یا توزیع پیشین آنها مشخص است، قابل اعمال می باشد. در بخش دیگری از این رساله، دیدگاه جدیدی در مورد آشکارسازی راداری ارائه شده است. در این بخش با استفاده از روشهای بیزی و با فرض اینکه مدل سیگنال دریافتی تحت فرضیه های H_0 و H_1 فقط در مقدار بعضی از پارامترهای مدل تفاوت داشته باشند، نشان داده شده که می توان نسبت درستنمایی را با استفاده از توزیعهای پسین و پیشین پارامترها بدست آورد. بر این مبنا یک آشکارساز با ساختار ساده برای کلاتر گوسی ارائه شده است که در مقایسه با آشکارسازهایGLRT مرسوم برتری قابل توجهی دارد. همچنین با اصلاحاتی در قاعدهٔ آشکارسازی خاصیت CFAR برای آشکارساز پیشنهادی ایجاد شده است.

۱ فصل اول: مقدمه

۱ ـ ۱ تاریخچه

امروزه، سیستمهای راداری کاربردهای بسیار زیادی در صنایع مختلف نظامی و غیر نظامی دارا می باشند. یک سیستم راداری با استفاده از امواج منعکس شده از اجسام و پردازش آنها، اطلاعات مورد نیاز از محیطی که در آن قرار دارد را استخراج می کند. این اطلاعات شامل وجود یا عدم وجود اهداف و همچنین به شرط موجود بودن هدف، ویژگیهای دیگری از قبیل سرعت، فاصله، شکل و ... می باشد. فرآیند تشخیص وجود یا عدم وجود هدف، آشکارسازی نامیده می شود. آشکارساز با توجه به سیگنال دریافتی تشخیص می دهد که این سیگنال می تواند مربوط به بازتاب از هدف مورد نظر باشد یا خیر. در صورتی که هدفی موجود نباشد، سیگنال دریافتی فقط حاوی نویز یا بازتابهایی از محیط خواهد بود که اصطلاحاً کلاتر نامیده می شود. کلاتر می تواند مربوط به بازتابهای غیر مفیدی از سطح زمین یا دریا،کوه، ابر، باران، ... باشد. علاوه بر کلاتر باید نویزی که درگیرنده اضافه می شود را نیز در نظر گرفت. در نهایت می توان آشکار سازی را معادل آزمون - فرضیه[1] زیرمدل کرد:

$$\begin{aligned} H_0 &: y(t) = n(t) \\ H_1 &: y(t) = s(t) + n(t) \end{aligned} \qquad (۱-۱)$$

که $s(t)$، $n(t)$ و $y(t)$ به ترتیب سیگنال بازگشتی از هدف، سیگنال کلاتر (+ نویز گیرنده) و سیگنال دریافتی آشکارساز هستند. H_0 به مفهوم عدم وجود هدف و H_1 به مفهوم وجود هدف است. با فرض اینکه گیرنده، سیگنال

---

[1] Hypothesis Test

دریافتی را به درستی دمدوله، فیلتر و نمونه برداری کند می توان مدل گسستهٔ آزمون فرضیه فوق را در نظر گرفت. همچنین اگر فرض کنیم از رادار پالسی استفاده می شود، به ازای هر پالس ارسالی رادار چندین پالس برگشتی می تواند وجود داشته باشد. در نتیجه می توان آزمون فرضیه را بصورت زیر نوشت [۱]

$$H_0 : \mathbf{y} = \mathbf{n}$$
$$H_1 : \mathbf{y} = \mathbf{s} + \mathbf{n} \qquad (۲-۱)$$

که $\mathbf{s}$، $\mathbf{n}$ و $\mathbf{y}$ به ترتیب بردارهای مربوط به هدف ، کلاتر(+ نویز) و سیگنال دریافتی می باشند. در بسیاری از رادارهای جدید، با ایجاد همزمانی بین فرستنده و گیرنده، از اطلاعات فاز سیگنال دریافتی نیز استفاده می شود که در این صورت بردارهای فوق شامل عناصر مختلط خواهند بود.

در نظریهٔ آشکارسازی مبانی ریاضی مورد نیاز برای گرفتن تصمیم بهینه بین دو فرضیهٔ رابطهٔ (۱-۱) مطرح می شود. بدین منظور مدلهای مختلفی برای سیگنال هدف و کلاتر ارائه شده است. کارهای اولیه و البته اساسی در این زمینه به دههٔ چهل و پنجاه میلادی بر می گردد. نورث[۲] با معلوم و حقیقی فرض کردن $s(t)$ در حالتی که $n(t)$را سفید و گوسی در نظر بگیریم به طراحی آشکارساز بهینه پرداخت [۲]. تحقیقاتی که منجر به این مقاله شده بود بیست سال قبل از آن و بصورت محرمانه انجام گرفته بود. مارکوم[۳] [۳] همین مساله را با توجه به نظریهٔ آشکارسازی و در حالتی که چند نمونه دریافتی موجود باشد حل کرد. سورلینگ[۴] [۴] با در نظر گرفتن مدلهای مختلفی برای سیگنال هدف سعی کرد شرایط واقعی تری را در نظر بگیرد و از آن زمان تاکنون تحقیقات بسیار زیادی در زمینهٔ تئوری آشکارسازی صورت گرفته است [۱]. مبنای این تحقیقات، در نظر گرفتن مدلهای مختلف واقعی برای سیگنال هدف و کلاتر و حل مسالهٔ آشکارسازی بر اساس این مدلها بوده است.

اساساً دو گونه خطا در آشکارسازی راداری مطرح است. خطای نوع اول تشخیص اشتباه هدف، وقتی واقعاً هدفی وجود ندارد، است که احتمال هشدار غلط[۵] یا P_{fa} نامیده می شود و خطای نوع دوم از دست دادن هدف، در حالتی که هدف وجود دارد، است که احتمال از دست دادن هدف یا P_{miss} نام دارد. احتمال آشکارسازی[۶] یا همان $1-P_{miss}$ را با P_D نشان می دهند. به منظور دستیابی به آشکارساز بهینه، معیارهای مختلفی در تئوری آشکارسازی بیان شده است که در فصل دوم به آنها اشاره خواهد شد. اغلب معیارهای آشکارسازی به مقایسهٔ نسبت

---

[2] North
[3] Marcum
[4] Swerling
[5] False Alarm Probability
[6] Probability of Detection

درستنمایی[۷] با یک سطح آستانه منجر می شوند. معیاری که عموماً در آشکارسازی راداری مورد قبول قرار می گیرد معیار نیمن پیرسون[۸]،NP ، است. مطابق معیار NP سطح آستانه به گونه ای تعیین می شود که با فرض احتمال هشدار غلط مشخص، احتمال آشکارسازی، P_D، حداکثر شود. آشکارسازی که بر اساس معیار NP طرح شده باشد آشکارساز بهینه نیز نامیده می شود. مهمترین مشکلی که در استفاده از آشکارساز بهینه وجود دارد محاسبهٔ نسبت درستنمایی است. در حقیقت به دلیل اینکه مدلهایی که برای سیگنال هدف و کلاتر مناسب هستند(مدلهای واقعی) اغلب پیچیده و شامل پارامترهای نامعلوم متعددی (مانند دامنه و فاز سیگنال برگشتی از هدف و...) می باشند، محاسبهٔ تابع درستنمایی تحت هر یک از فرضیه های H_0 و H_1 مستلزم حل انتگرالهای با ابعاد بالا و یا تخمین پارامترهای گوناگون می شود. برای مواجهه با این مساله دو رویکرد کلی وجود دارد : رویکرد کلاسیک و رویکرد بیزی[۹]. در رویکرد کلاسیک پارامترهای نامعلوم ، مقادیر قطعی فرض می شوند. در این حالت سعی می شود با توجه به داده های دریافتی تخمینی از این پارامترها بدست آمده و مقادیر تخمینی بجای مقادیر واقعی بکار می رود. GLRT[۱۰] یک مثال مهم از این روشهاست. در این روش تخمین ML[۱۱] پارامترهای نامعلوم تحت هر یک از فرضیه‌های H_0 یا H_1 جایگزین مقادیر واقعی آنها شده و نسبت درستنمایی محاسبه می‌شود [۵]. از معایب این روش می توان به نداشتن مبنای دقیق تئوری، در دسترس نبودن تخمین ML بصورت تحلیلی در حالت کلی و برخورد کردن با تمام پارامترها بصورت پارامترهای قطعی اشاره کرد. به عبارت دیگر چنانچه اطلاعات پیشینی در مورد پارامترهای نامعلوم موجود باشد GLRT از آن استفاده نمی کند.

در رویکرد بیزی هر پارامتر بصورت یک متغیر تصادفی در نظر گرفته شده و مقدار درستنمایی با میانگین گیری درستنمایی شرطی روی توزیع مشترک پارامترها محاسبه می شود [۵]. نسبت درستنمایی در این حالت نسبت درستنمایی میانگین[۱۲]، ALR ، نامیده می شود. البته توزیعهای پیشین همیشه معلوم نیستند و همچنین میانگین گیری عموماً به محاسبه انتگرالهای پیچیده منجر می شود. روشهایی برای تقریب انتگرالها در این حالت نیز ارائه شده است. با استفاده از این روشها نسبت درستنمایی میانگین تقریبی[۱۳]، AALR محاسبه می شود. در حقیقت، توابع با فرمهای

---

[7] Likelihood Ratio
[8] Neyman-Pearson
[9] Bayesian Approach
[10] Generalized Likelihood Ratio Test
[11] Maximum Likelihood
[12] Averaged Likelihood Ratio
[13] Approximated ALR

ساده‌تری که انتگرال آنها شناخته شده است تقریب زده می‌شوند و سپس نسبت درستنمائی تقریبی بدست می‌آید. بدیهی است که موجود بودن تقریب مناسب، بویژه وقتی که تعداد پارامترها زیاد است، مورد تردید می‌باشد.

مسائل متعددی وجود دارد که روشهای فوق قابل اعمال به آن نیستند. یک راه حل عمومی در این موارد استفاده از روشهای عددی است. مثلاً در [۶] و [۷] به روشهای CGLR[۱۴] و CALR [۱۵] اشاره شده است. در CGLR آشکارسازی یک هدف با داپلر نامعلوم مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور برای داپلر هدف K نقطه بین یک بازهٔ مشخص (مثلاً $[0,2\pi)$)در نظر گرفته و برای هر کدام از نقاط، درستنمائی شرطی بیشینه می شود. در نهایت نقطه ای که به بیشترین درستنمائی شرطی منجر شده است برای محاسبهٔ نسبت درستنمائی به کار می رود. در CALR نیز انتگرالها، از طریق تقسیم بندی ناحیهٔ انتگرال گیری با نقاط متساوی الفاصله، و محاسبهٔ مجموع تخمین زده می‌شوند. در [۸] یک آشکارسازی چند کاناله بررسی شده و چون بدست آوردن تخمین ML از طریق تحلیلی مشکل بوده است یک روش عددی برای پیدا کردن ریشهٔ مشتق تابع درستنمایی ارائه شده است. البته برای بدست آوردن ماکزیمم تابع درستنمایی می‌توان از روشهای عددی دیگری نیز بهره جست. مثلاً روش نیوتن- رافسون[۱۶]، که روش شناخته شده ای است [۹] ، روشهای گرادیان و یا EM[۱۷]. اغلب این روشها، روشهای تکراری هستند که تابع درستنمایی را در هر تکرار افزایش می دهند تا حتی الامکان به مقدار بیشینهٔ خود نزدیک شود [۱۰].

دستهٔ مهم دیگری از روشهای عددی، روشهای مبتنی بر شبیه سازی هستند که تا کنون در بسیاری از شاخه های علوم به کار گرفته شده اند. در این رساله برای نخستین بار کاربرد روشهای عددی مبتنی بر شبیه سازی در آشکارسازی راداری مورد بررسی قرار می گیرد. اساس کار در این روشها ، تولید نمونه های تصادفی طبق یک تابع توزیع احتمال دلخواه است. بطور کلی روشهایی که در آنها از اعداد تصادفی برای شبیه سازی استفاده می شود روشهای شبیه سازی مونت کارلو[۱۸] نامیده می شوند. کلمهٔ مونت کارلو در حقیقت بر گرفته از مراکز تفریح مشهور در مونت کارلو است که در آنها برای تصادفی کردن بازیها از اعداد تصادفی استفاده می شده است. اولین استفاده عملی از این روش درسال ۱۹۰۰ توسط لازارینی[۱۹] انجام شده است. او با انجام ۳۰۴۸ آزمایش تصادفی، که عبارت از پرتاب سوزن بین دو خط با فاصله مشخص بود، π را تا ۷ رقم اعشار محاسبه کرد.

---

[14] Constrained GLR
[15] Constrained ALR
[16] Newton - Raphson
[17] Expectation Maximization
[18] Monte Carlo
[19] Lazzarini

به دلیل اینکه تولید نمونه از توزیعهای دلخواه اغلب کار بسیار مشکلی است، معمولاً با تولید نمونه از توابع توزیع دیگر و اختصاص وزن به نمونه ها سعی در رسیدن به روشهای آماری مناسب برای انجام تخمینها یا محاسبهٔ انتگرالها می شود. استفاده گسترده از روشهای مونت کارلو از سال ۱۹۴۹ شروع می شود. در این سال فیزیکدانی به نام متروپولیس[۲۰] در مقالهٔ مشهوری به معرفی روشهای مونت کارلو پرداخت [۱۱]. مقالهٔ او پایهٔ بسیاری از تحقیقات بعدی شد. در فصل سوم رسالهٔ حاضر انواع روشهای مونت کارلو و کاربردهای آن مفصلاً مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱ ۴ هدف و ساختار رساله

بر مبنای روشهای مونت کارلو می توان نسبت درستنمایی را بصورت تقریبی محاسبه کرد و بنابراین عملیات آشکارسازی را انجام داد. قسمت عمدهٔ رساله حاضر به کاربرد روشهای مبتنی بر شبیه سازی (مونت کارلو) در محاسبهٔ نسبت درستنمایی می پردازد. به این منظور پس از طرح مقدمات لازم در مورد رادار و آشکارسازی و مسائل مربوط به آن در فصل دوم، اصول روشهای مونت کارلو را در فصل سوم بررسی خواهیم کرد. در این فصل روشهای مختلف نمونه برداری از یک توزیع احتمال بیان خواهد شد و بر مبنای این روشها دو روش اصلی برای محاسبهٔ نسبت درستنمایی در فصل چهارم ارائه می شوند. آشکارسازهائی که با استفاده از این دو روش بدست می آیند را آشکارساز ذره ای[۲۱] می نامیم. نتایج حاصل از آشکارسازی توسط آشکارسازهای ذره ای در چندین مساله مهم بررسی خواهد شد. در فصل پنجم رویکرد جدیدی در محاسبهٔ نسبت درستنمایی با استفاده از دیدگاه بیزی بیان خواهد شد. مساله مورد بحث در این فصل مربوط به حالتی است که مدل سیگنال دریافتی تحت فرضیه های H_0 و H_1 را بتوان یکسان فرض نمود و تفاوت دو فرضیه فقط در ثابت بودن مقادیر بعضی از پارامترهای مدل در فرضیه H_0 باشد. بر مبنای این رویکرد جدید می توان آشکارسازهای ساده ولی کارآمدی را طراحی کرد. در فصل ششم نتیجه گیری کلی از مطالب ارائه شده بیان خواهد شد و پیشنهاداتی برای ادامهٔ تحقیقات ارائه می شود.

---

[20] Metropolis
[21] Particle Detectors

۲ فصل دوم : آشکارسازی راداری

۲ ـ ۱ مقدمه

آشکارسازی یکی از مهمترین وظایف یک سیستم راداری است. در آشکارساز، با پردازش داده های رسیده به رادار در مورد وجود یا عدم وجود هدف تصمیم گیری می شود. مشاهداتی که در گیرندهٔ یک رادار صورت می گیرد عمدتاً آغشته به نویز و کلاتر می باشد. گیرنده باید در مورد اینکه این مشاهدات فقط شامل نویز و کلاتر است و یا اینکه شامل سیگنال بازتابی از هدف بعلاوه نویز و کلاتر است تصمیم گیری کند. بنابراین عملا با یک آزمون – فرضیه روبرو هستیم. در حقیقت، برخورد با این مساله به صورت آزمون – فرضیه راه را برای استفاده از نتایج تئوری تصمیم گیری آماری در آشکارسازی اهداف راداری باز می کند. از دههٔ ۵۰ میلادی که اولین کارها در این زمینه توسط مارکوم و سورلینگ انجام شد تا کنون همواره تئوری آشکارسازی راداری مورد توجه محققان بوده است. در تئوری تصمیم گیری، رخدادهای ممکن در قالب فرضیه های مختلف بیان می شوند. در کاربرد راداری عمدتاً دو فرضیه وجود یا عدم وجود هدف مطرح است که به ترتیب با H_0 و H_1 نشان داده می شوند. مساله ای که در این رساله مورد بررسی قرار می گیرد، آشکارسازی در یک رادار همدوس پالسی با یک آنتن است. اگر فرض کنیم به ازای ارسال هر پالس، P پالس درگیرنده دریافت می شود می توان مدل آزمون - فرضیه را به شکل زیر در نظر گرفت:

$$\begin{aligned} H_0 &: \mathbf{y} = \mathbf{n} \\ H_1 &: \mathbf{y} = \mathbf{s} + \mathbf{n} \end{aligned} \qquad (۱-۲)$$