

بِسْمِ خدَا

جنگ الکترونیک  
و  
بکارگیری الگوریتم LMS برای حذف اختلال

سهیلا پاشا

پایان نامه تحصیلی برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته:

مهندسی مخابرات



۱۷۱۲۱

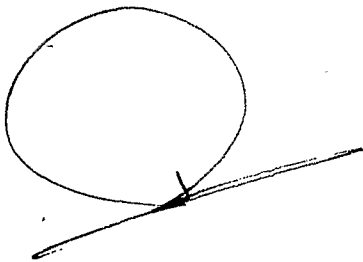
دانشگاه صنعتی اصفهان  
دانشکده برق و کامپیوتر

آبان ماه ۱۳۷۰

باگرا میداشت یاد و خاطره پدرم

و تقدیم به مادرم

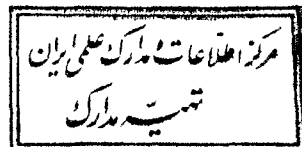
کیفیت و ارزش گزارش حاضر بعنوان پایان نامه کارشناسی ارشد مورد تأیید است .



دکتر حسین علوی (استاد راهنمای تحقیق)

کیفیت و ارزش گزارش حاضر بعنوان پایان نامه کارشناسی ارشد مورد تأیید است .

دکتر علی محمد دوست حسینی (استاد مشاور تحقیق)



## قدردانی

برخود لازم می‌دانم تا بدین وسیله تشکر نمایم از:

کلیه اساتید محترم دانشکده برق دانشگاه صنعتی اصفهان که در محضر شبان کسب علم نمودم ، بالاخص :

آقای دکتر حسین علوی که در طول انجام این پروژه از راهنماییهای ارزشمند و مساعدتهای فکری ایشان بهره‌مند بودم .

آقای دکتر علی محمد دوست حسینی که با بیان نظرات و راهنماییهای ارزنده خود مرا در نگارش و تدوین پایان نامه یاری فرمودند .

آقایان دکتر محمد رضا عارف و مهندس سید مسعود سیدی که در جلسه سمینار پایانی حضور داشتند .

همچنین از مسئولین دفتر فنی اصفهان *I.B.M* و خانم زرگری نیز که

دقت و حوصله فراوان در تایپ مطالب تشریحی مساعدی نموده‌اند ، تشکر می‌کنم .

سهیلا پاشا

آبان ۱۳۷۰

\* فهرست مطالب \*

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
۱	فصل اول : مقدمه .....
۶	فصل دوم : جنگ الکترونیک .....
۷	(۲-۱) پشتیبانی عمل الکترونیک .....
۱۰	(۲-۲) ضد عمل الکترونیک .....
۱۲	(۲-۲-۱) اختلال پارازیتی .....
۲۰	(۲-۲-۲) اختلال فریبنده .....
۲۴	(۲-۳) محاسبه نسبت سیگنال به تداخل در حضور اختلال پارازیتی.....
۲۹	(۲-۴) کارآیی رادار در غیاب و حضور جرم .....
۳۲	(۲-۵) متوسط احتمال آشکارسازی در حضور جرم .....
۳۴	(۲-۶) ضد عمل الکترونیک .....
۳۶	(۲-۶-۱) ECCM در فرستنده .....
۴۳	(۲-۶-۲) ECCM در آنتن .....
۴۴	(۲-۶-۲-۱) سدلوب فرعی (SLB) .....
۴۸	(۲-۶-۲-۲) آنتنهای رشته‌ای افقی .....
۵۸	(۲-۶-۳) ECCM در گیرنده .....
۸۰	فصل سوم : فیلترها و الگوریتمهای افقی جهت حذف اختلال .....
۸۴	(۳-۱) سیگنالهای تحلیلی .....
۸۶	(۳-۲) بردار سیگنال هدف در ورودی فیلتر افقی .....

۳-۳	وزنهای بهینه	۸۷
۳-۳-۱	معیار متوسط مجذورخطا ، $MSE$	۸۸
۳-۳-۱-۱	تأثیر اختلال در تنظیم وزنها	۹۲
۳-۳-۲	معیار نسبت سیگنال به تداخل ( $SIR$ )	۹۴
۳-۳-۳	معیار حداقل توان محدود شده	۱۰۰
۳-۳-۴	معیار حداقل مجذورخطای وزن دهی شده	۱۰۵
۳-۴	عملکرد حذف کننده لوب فرعی ( $SLC$ ) در غیاب نویز حرارتی	۱۰۶
۳-۵	عملکرد حذف کننده لوب فرعی ( $SLC$ ) در حضور نویز حرارتی	۱۱۴
۳-۶	تأثیر پهنای باند سیگنالها	۱۱۸
۳-۷	جداسازی و فقی تداخل با استفاده از اختلاف پلاریزاسیون	۱۳۳
۳-۸	الگوریتمهای و فقی جهت حذف اختلال	۱۳۵
۳-۹	مقایسه الگوریتمها	۱۵۱
	فصل چهارم: الگوریتم $LMS$	۱۵۲
۴-۱	شرط همگرایی متوسط بردار وزن	۱۵۳
۴-۲	پایداری الگوریتم $LMS$	۱۵۷
۴-۳	ثابت زمانی همگرایی الگوریتم $LMS$	۱۵۹
۴-۴	میانگین متوسط مجذورخطا	۱۶۱
۴-۵	انحراف تنظیم	۱۶۷
۴-۶	عملکرد الگوریتم $LMS$ در محیط غیر ایستادن	۱۶۸
۴-۷	الگوریتم $LMS$ برای سیگنالهای پیوسته	۱۷۲
۴-۸	نیتجه گیری	۱۷۵

۱۷۶	..... فصل پنجم : شبیه‌سازی سیستم SLC
۱۷۷	..... (۵-۱) سیگنال با زگشتی به‌را‌دار
۱۷۹	..... (۵-۵-۱) مشخصات آماری سیگنال کلاتر
۱۸۰	..... (۵-۲) سیگنال اختلال
۱۸۳	..... (۵-۳) نویز حرارتی
۱۸۴	..... (۵-۴) گیرنده
۱۸۵	..... (۵-۴-۱) کانال‌های ورودی
۱۸۶	..... (۵-۴-۲) فیلتر ورودی گیرنده
۱۸۷	..... (۵-۴-۳) آشکارساز
۱۸۸	..... (۵-۴-۴) SLB
۱۸۹	..... (۵-۴-۵) SLC
۱۹۱	..... (۵-۴-۵-۱) تعداد وزنه‌های لازم
۱۹۱	..... (۵-۵) نتایج شبیه‌سازی
۱۹۱	..... (۵-۵-۱) تأثیر پارامترهای مختلف بر کارایی SLC
۲۲۵	..... (۵-۵-۲) احتمال آژیر غلط و آشکارسازی
۲۴۳	..... (۵-۶) نتیجه‌گیری
۲۴۷	..... فصل ششم : نتایج و پیشنهادات
۲۴۹	..... ضمیمه (الف) : لیست برنامه‌های کامپیوتری
۲۶۲	..... مراجع

\* فهرست اشکال \*

<u>شماره شکل</u>	<u>عنوان</u>	<u>صفحه</u>
(۲-۱)	چگالی احتمال نویز در خروجی محدودکننده سخت با سطح آستانه $U_1 \dots$	۱۴
(۲-۲)	الف- پاسخ فرکانسی فیلترگیرنده ب- اختلال FM پس از عبور از فیلترگیرنده	۱۶
(۲-۳)	ایجاد اختلال پارازیتی با پالسهای تصادفی	۱۷
(۲-۴)	تغییر فرکانس مرکزی را دار	۳۹
(۲-۵)	چندگانگی فرکانس	۴۰
(۲-۶)	مدولاسیون فرکانس پالسی	۴۱
(۲-۷)	سیستم SLB	۴۵
(۲-۸)	نماد آنتنهای رادار و کمکی در سیستم SLB	۴۵
(۲-۹)	کاهش حساسیت رادار	۴۷
(۲-۱۰)	رشتهء افقی	۵۰
(۲-۱۱)	حذفکننده لوب فرعی	۵۱
(۲-۱۲)	رشتهء افقی با دو المان	۵۲
(۲-۱۳)	SLC با دو عنصر افقی	۵۵
(۲-۱۴)	منحنی تغییرات احتمال آژیر غلط نسبت به چگالی طیف توان نویز	۶۰
(۲-۱۵)	سطح آستانه به روش متوسط گیری سلولها	۶۱
(۲-۱۶)	ابعاد هر سلول فضا	۶۲



شماره شکل	عنوان	صفحه
(۲-۱۷)	: بلوک دیاگرام یک مدار دیک-فیکس	۶۶
(۲-۱۸)	: طرزکار مدار دیک - فیکس	۶۶
(۲-۱۹)	: پاسخ فرکانسی گیرندهء کمکی جداکننده فرکانسی	۶۸
(۲-۲۰)	: پاسخ فرکانسی گیرندهء کمکی جداکننده فرکانسی همراه با SLB ...	۶۸
(۲-۲۱)	: فیلتر MTI	۶۹
(۲-۲۲)	: پاسخ فرکانسی فیلتر MTI و طیف پالس هدف بعد از آشکارساز	۷۰
(۲-۲۳)	: مدار سطح آستانه و فقی همراه با کرولیتور	۷۱
(۲-۲۴)	: سیستم انتخاب بگرتول پالس	۷۲
(۲-۲۵)	: نحوهء کار مدار انتخاب بگرتول پالس	۷۲
(۲-۲۶)	: پاسخ مدار انتخاب بگرتول پالس	۷۳
(۲-۲۷)	: بلوک دیاگرام یک مدار انتگرالگیر	۷۵
(۲-۲۸)	: الف- پاسخ فرکانسی مدار انتگرالگیر ب- طیف توان چهار	۷۶
(۲-۲۹)	: مقایسه سه نوع آشکارساز از نظر نسبت سیگنال به نویز در خروجی آنها	۷۷
(۳-۱)	: فیلترهای و فقی الف- حلقه باز ب- حلقه بسته	۸۰
(۳-۲)	: تنظیم فیلترهای و فقی الف- با استفاده از ورودی - خروجی ب- با استفاده از ورودی و خطا	۸۱
(۳-۳)	: فیلتر و فقی بصورت ترکیبی از ترانسورسال و آنتنهای و فقی	۸۲
(۳-۴)	: شکل فیلتر و فقی در میدان فرکانسی گسسته	۸۴
(۳-۵)	: سطح مشخص رفتار در حالت بردار وزن دو بعدی	۸۹
(۳-۶)	: حذف کننده لوب فرعی در غیا بنویز حرارتی	۱۰۷
(۳-۷)	: چرخانندهء نول و فقی	۱۱۴

شماره شکل	عنوان	صفحه
(۳-۸)	: حذف کننده لوب فرعی در حضور نویز حرارتی	۱۱۵
(۳-۹)	: الف - طیف توان سیگنال هدف ب - طیف توان سیگنال اختلال	۱۱۸
(۳-۱۰)	: سیستم آنتن افقی با دو آلمان	۱۱۹
(۳-۱۱)	: پاسخ فرکانسی $\left  \frac{H(f)}{W_2} \right $	۱۲۰
(۳-۱۲)	: طیف توان اختلال خروجی	۱۲۱
(۳-۱۳)	: تأثیر پهنای باند سیگنال هدف	۱۲۵
(۳-۱۴)	: تأثیر پهنای باند سیگنال اختلال	۱۲۶
(۳-۱۵)	: عدم انطباق فیلترها در دو کانال	۱۲۷
(۳-۱۶)	: پاسخ فرکانسی فیلترهای دو کانال	۱۲۸
(۳-۱۷)	: تأثیر عدم انطباق دو کانال در حالتیکه $\xi_j = 40 \text{ dB}$	۱۳۲
(۳-۱۸)	: تأثیر عدم انطباق دو کانال در حالتیکه $\xi_j = 70 \text{ dB}$	۱۳۲
(۳-۱۹)	: حذف کننده متداخل بر مبنای پلاریزاسیون	۱۳۳
(۳-۲۰)	: پیاده سازی الگوریتم LMS	۱۳۷
(۳-۲۱)	: پیاده سازی الگوریتم هائلز- اپل بام	۱۳۹
(۳-۲۲)	: پیش پردازنده گرام-اشمیت	۱۵۰
(۴-۱)	: فلوگراف سیگنال در الگوریتم LMS	۱۵۲
(۴-۲)	: فلوگراف سیگنال بر اساس متوسط خطای بردار وزن	۱۵۴
(۴-۳)	: پاسخ گذرای سیستم افقی الف - $0 < 1 - \mu E[x^2] < 1$	
	ب - $-1 < 1 - \mu E[x^2] < 0$	
(۴-۴)	: مدل سازی یک سیستم ناشناخته	۱۷۰
(۴-۵)	: انحراف تنظیم کل بر حسب $\mu$	۱۷۱

شماره شکل	عنوان	صفحه
(۴-۶)	: پیاده سازی الگوریتم $LMS$ در میدان زمان	۱۷۳
(۴-۷)	: پیاده سازی الگوریتم $LMS$ در میدان فرکانس	۱۷۳
(۵-۱)	: تغییرات فرکانس لحظه ای اختلال بر حسب زمان	۱۸۲
(۵-۲)	: طیف سیگنال نمونه برداری شده	۱۸۶
(۵-۳)	: مدل سازی سیستم $SLC$	۱۸۹
(۵-۴)	: سیگنال های $SLC$ بدون نویز حرارتی	۱۹۷
(۵-۵)	: سیگنال های $SLC$ ، در شرایطی که $S/N = 10 \text{ dB}$	۱۹۸
(۵-۶)	: الف - متوسط مجذور خطای ماندگار در تخمین سیگنال مفید بر حسب $s/n$ ب - زمان همگرایی سیستم بر حسب $s/n$	۱۹۹
(۵-۷)	: منحنی ضریب بهبود سیستم بر حسب $s/n$ برای $\mu = 0.2$	۱۹۹
(۵-۸)	: سیگنال های $SLC$	۲۰۱
(۵-۹)	: الف - متوسط مجذور خطای دائمی تخمین سیگنال بر حسب $\mu$ ب - زمان همگرایی متوسط مجذور خطای دائمی بر حسب $\mu$	۲۰۲
(۵-۱۰)	: منحنی ضریب بهبود برای اختلال $DECM$ بر حسب $\mu$	۲۰۲
(۵-۱۱)	: سیگنال های $SLC$ برای سیگنال اصلی با پهنای باند $0.2B_T$	۲۰۴
(۵-۱۲)	: الف - متوسط مجذور خطای ماندگار در تخمین سیگنال بر حسب نسبت پهنای بند سیگنال مفید به پهنای باند گیرنده	۲۰۴
(۵-۱۳)	: منحنی ضریب بهبود سیستم بر حسب نسبت پهنای باند سیگنال مفید به پهنای باند گیرنده	۲۰۵
(۵-۱۴)	: الف - متوسط مجذور خطای ماندگار تخمین سیگنال مفید بر حسب نسبت $s/j$ ب - زمان همگرایی سیستم بر حسب $s/j$	۲۰۸
(۵-۱۵)	: الف - منحنی نسبت سیگنال به اختلال خروجی بر حسب $s/j$ ورودی ب - منحنی ضریب بهبود سیستم بر حسب $s/j$ ورودی	۲۰۹

شماره شکل	عنوان	صفحه
(۵-۱۶)	: سیگنالهای SLC در شرایطی که $\Delta f_{js} = 150KHZ$	۲۶۱
(۵-۱۷)	: متوسط مجذور خطای ماندگار در تخمین سیگنال مفید بر حسب اختلاف	۲۶۱
(۵-۱۸)	: فرکانس مرکزی سیگنال و اختلال	۲۱۲
(۵-۱۸)	: منحنی ضریب بهبود سیستم بر حسب اختلاف فرکانس مرکزی سیگنال	۲۱۲
(۵-۱۹)	: سیگنالهای SLC برای اختلال پارازیتی با اختلاف فاز دوکانال	۲۱۲
(۵-۲۰)	: سیگنالهای SLC برای اختلال پارازیتی با اختلاف فاز صفری	۲۱۴
(۵-۲۱)	: سیگنالهای SLC برای اختلال FM با ورودیهای وزن غیر متعامد	۲۱۵
(۵-۲۲)	: سیگنالهای SLC برای اختلال FM با ورودیهای وزن متعامد	۲۱۸
(۵-۲۳)	: منحنی ضریب بهبود برای اختلال FM متعامد	۲۱۹
(۵-۲۴)	: متوسط مجذور خطای ماندگار در تخمین سیگنال بر حسب پهنای باند	۲۲۰
(۵-۲۵)	: سیگنال اختلال	۲۲۰
(۵-۲۵)	: منحنی ضریب بهبود سیستم بر حسب پهنای باند سیگنال اختلال	۲۲۰
(۵-۲۶)	: سیگنالهای SLC برای اختلال DECM با آشکارسازی پوش	۲۲۲
(۵-۲۷)	: سیگنالهای SLC برای اختلال پارازیتی با آشکارسازی پوش	۲۲۳
(۵-۲۸)	: سیگنالهای SLC برای اختلال FM با آشکارسازی پوش	۲۲۴
(۵-۲۹)	: منحنی احتمال آشکارسازی درغیا با اختلال	۲۲۷
(۵-۳۰)	: منحنی احتمال آشکارسازی در حضور اختلال DECM بدون SLC	۲۲۸
(۵-۳۱)	: منحنی احتمال آشکارسازی در حضور اختلال پارازیتی بدون SLC	۲۲۸
(۵-۳۲)	: منحنی احتمال آشکارسازی در حضور اختلال FM بدون SLC	۲۲۹

شماره شکل	عنوان	صفحه
(۵-۳۳)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برحسب $s/n$ ورودی برای	
۲۳۰	اختلال $DECM$ .....	
(۵-۳۴)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برحسب سگینال به اختلال	
۲۳۱	ورودی برای اختلال $DECM$ .....	
(۵-۳۵)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برای اختلال $DECM$ توسط	
۲۳۲	شمارش نمونه‌های آشکار شده .....	
(۵-۳۶)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برحسب $s/n$ ورودی برای	
۲۳۲	اختلال پارازیتی .....	
(۵-۳۷)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برحسب نسبت سیگنال به	
۲۳۳	اختلال ورودی برای اختلال پارازیتی .....	
(۵-۳۸)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برحسب $s/n$ ورودی برای	
۲۳۴	اختلال $FM$ .....	
(۵-۳۹)	: منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ برحسب $s/j$ ورودی برای	
۲۳۴	اختلال $FM$ .....	
(۵-۴۰)	: منحنی احتمال آشکارسازی برای اختلال $DECM$ برحسب ضریب	
۲۳۵	همگرایی .....	
(۵-۴۱)	: منحنی احتمال آشکارسازی اختلال $DECM$ پالسی برحسب دوره	
۲۳۶	زمانی اختلال .....	
(۵-۴۲)	: منحنی احتمال آشکارسازی اختلال پارازیتی پالسی برحسب دوره	
۲۳۷	زمانی اختلال .....	
(۵-۴۳)	: منحنی احتمال آشکارسازی اختلال $FM$ پالسی برحسب دوره زمانی	
۲۳۸	اختلال .....	
(۵-۴۴)	: منحنی احتمال آژیر غلط برحسب زمان مشاهده به خروجی .....	
۲۳۹		

شماره شکل	عنوان	صفحه
(۵-۴۵)	الف- متوسط مجذور خطای ماندگار در تخمین سیگنال مفید بر حسب $s/j$ ورودی با در نظر گرفتن نمونه‌های ۲۵۰ تا ۱۳۰۰ خروجی	۲۴۱
(۵-۴۶)	ب- منحنی ضریب بهبود سیستم بر حسب $s/j$ ورودی با در نظر گرفتن نمونه‌های ۲۵۰ تا ۱۳۰۰ خروجی	۲۴۱
(۵-۴۷)	منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ بر حسب $s/j$ ورودی برای اختلال $DECM$ با در نظر گرفتن نمونه‌های ۲۵۰ تا ۱۳۰۰ خروجی	۲۴۱
(۵-۴۸)	منحنی احتمال آشکارسازی خروجی $SLC$ بر حسب $s/j$ ورودی برای اختلال پارازیتی با در نظر گرفتن نمونه‌های ۲۵۰ تا ۱۳۰۰ خروجی	۲۴۲
(۵-۴۹)	منحنی یا دگیری تفاضل خطای خروجی و سیگنال اصلی الف- برای الگوریتم $LMS$ در شرایطی که $s/j=0$ dB ب- برای الگوریتم $RLS$	۲۴۶

## \* چکیده \*

عموماً " درکاربردهای نظامی دشمن برای مختل ساختن سیستمهای رادار اقدام به ارسال امواج اختلال می‌نماید. بنا براین برای خنثی نمودن عملیات ضد الکترونیکی وی لازم است روشهای ضد ضد الکترونیک بکار گرفته شوند. بکارگیری این روشها در بخشهای مختلف سیستم یعنی فرستنده، آنتن و گیرنده میسر می‌باشد. در بخش فرستنده با تغییر پارامترهای رادار مانند فرکانس مرکزی، پریود تکرار پالس، توان ارسال و نظایر آن می‌توان ابهام دشمن را در مورد هر یک از آنها افزایش داده و بدین ترتیب از توان موهن اختلال کاست. در بخش گیرنده با بکارگیری روشهای مختلف تست همبستگی سیگنال دریافتی و پالس رادار از نقطه نظر شکل، دوره زمانی، پریود تکرار، پهنای باند و مانند آن سیگنال اختلال تضعیف یا حذف می‌شود. در بخش آنتن سیستم رادار، سیگنال اختلال با ایجاد صفر در نما د آنتن در جهت آن حذف می‌شود. تغییر موقعیت نسبی گیرنده رادار و فرستنده اختلال لزوم بکارگیری سیستمی که خود را با شرایط مختلف به بهترین نحو تطبیق دهد، روشن می‌سازد.

در رساله حاضر ابتدا انواع روشهای ایجاد اختلال در کار یک گیرنده بیسیم بررسی و روشهای مختلف مقابله با آن مطرح شده‌اند. سپس ترکیبی از دوروش *SLB* و *SLC* با الگوریتم تنظیم وزن *LMS* برای حذف اختلال پیشنهاد شده است.