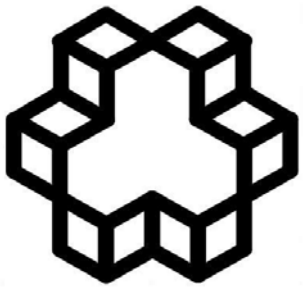
بسم الله الرحمن الرحيم



تأسیس 1307

دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

دانشکده مهندسی برق

پایان‌نامه کارشناسی ارشد - مخابرات سیستم

جداسازی پالس های راداری در سیستم های شنود راداری

استاد راهنما: جناب آقای دکتر رمضانعلی صادق زاده

استاد مشاور: جناب آقای دکتر محمد مهدی نایبی

دانشجو: پژمان بیات

بهمن 1388

تقدیم به

خانواده مهربان و فداکارم که همواره پشتیبان من بوده اند.

و با سپاس از

شرکت مهندسی رستافن که از این پژوهش پشتیبانی کرد.

دانشگاه صنعتي خواجه نصير الدين طوسي

دانشكده برق و كامپيوتر

تائيديه هيات داوران

هيات داوران پس از مطالعه پايان نامه و شركت در جلسه دفاع از پايان نامه تهيه شده تحت عنوان:
جداسازی پالس های راداری در سستم های شنود راداری

توسط آقاي **پژمان بيات** صحت و كفايت تحقيق انجام شده را براي اخذ درجه كارشناسي ارشد در رشته: **برق- مخابرات** گرايش: **سيستم** با رتبه:
مورد تائيد قرار مي دهند.

1. استاد راهنما آقاي دكتر رمضانعلی صادق زاده
امضاء.....
2. استاد مشاور آقاي دكتر محمد مهدی نايبی امضاء.....
3. استاد ارزياب آقاي دكتر ياسر نوروزی امضاء.....
4. استاد ارزياب آقاي دكتر مهرداد اردبيلی پور امضاء.....

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	اظهارنامه دانشجو	شماره: تاریخ:

اینجانب **پژمان بیات** دانشجوی کارشناسی ارشد رشته **برق-مخابرات** با گرایش **سیستم** دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی گواهی می‌نمایم که تحقیقات ارایه شده در این پایان‌نامه با عنوان **جداسازی پالس های راداری در سیستم های شنود راداری** با راهنمایی استاد محترم **جناب آقای رمضانعلی صادق زاده**، توسط شخص اینجانب انجام شده وصحت و اصالت مطالب نگارش شده در این پایان نامه مورد تأیید می‌باشد، و در مورد کار دیگر محققان به مراجع مورد استفاده اشاره شده است. به علاوه گواهی می‌نمایم که مطالب درج شده در پایان‌نامه تاکنون برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی توسط اینجانب یا فرد دیگری در هیچ جا ارایه نشده است و در تدوین متن پایان‌نامه چارچوب(فرمت) مصوب دانشگاه را بطور کامل رعایت کرده ام.

امضاء دانشجو:

تاریخ:

تاسیس ۱۳۰۷ دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی	حق طبع و نشر و مالکیت نتایج	شماره: تاریخ:

1- حق چاپ و تکثیر این پایان‌نامه متعلق به نویسنده آن می‌باشد. هرگونه کپی‌برداری بصورت کل پایان‌نامه یا بخشی از آن تنها با موافقت نویسنده یا کتابخانه دانشکده مهندسی برق دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی مجاز می‌باشد.

2- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی می‌باشد و بدون اجازه کتبی دانشگاه به شخص ثالث قابل واگذاری نیست.

همچنین استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان‌نامه بدون ذکر مراجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

برای کشف و شناسایی رادارهای منطقه، باید سیگنال های راداری آن منطقه دریافت و آنالیز شوند. در یک محیط که همزمان تعداد زیادی رادار در حال فعالیت هستند، در ورودی گیرنده باند وسیع ماکروویو شنود راداری، قطاری از پالس های متداخل دریافت خواهد شد. اولین قدم برای شناسایی رادارها، تفکیک پالس های مربوط به رادارهای مختلف از یکدیگر است.

در روند متداول در ساختار های ارایه شده برای تفکیک پالس های متداخل راداری، ابتدا با روش های خوشه بندی، کلمات توصیف گر پالس (PDW)، به چندین خوشه تفکیک می شوند. هر خوشه شامل PDW های دو یا چند رادار می باشد. جداسازی پالس های هر خوشه به رادارهای موجود در آن توسط الگوریتم های مبتنی بر زمان ورود پالس (TOA) انجام می گیرد. در بسیاری از رادارهای امروزی برای جلوگیری از شنود شدن معمولا از فرکانس تکرار پالس (PRF) ثابت استفاده نمی شود. این امر عملکرد الگوریتم های جداسازی ارائه شده که مبتنی بر زمان ورود پالس می باشند را به شدت کاهش می دهد.

در این پروژه پس از معرفی سیستم های شنود راداری و الگوریتم های ارائه شده برای جداسازی پالس در آن ها، الگوریتمی مبتنی بر دامنه پالس برای جداسازی پالس های راداری ارائه شده است که در برابر فرکانس تکرار پالس غیر ثابت بسیار مقاوم است و دقت و سرعت بهتری نسبت به الگوریتم های قبلی دارد. این الگوریتم با داده های حقیقی رادارها که از محیط جمع آوری شده است، تست شده و

نتایج شبیه سازی آن در نرم افزار MATLAB ارایه شده است.

فهرست موضوعات

چکیده ..... ج

فهرست موضوعات ..... خ

فهرست اشکال ..... ر

فهرست جداول ..... ص

فصل اول: مقدمه 1

1 – 1 مقدمه 2

1 – 2 سیستم های جنگ الکترونیک 5

1 – 2 – 1 اقدامات ضد الکترونیکي(ECM) 6

1 – 2 – 2 اقدامات ضد ضد الکترونیکي(ECCM) 6

1 – 2 – 3 سیستم هاي پشتیباني جنگ الکترونیک (ESM) 7

1 – 3 کلمه توصیف گر پالس (PDW) 11

1 – 3 – 1 فرکانس حامل (RF) 11

1 – 3 – 2 عرض پالس (PW) 13

1 – 3 – 3 دامنه پالس (PA) 14

1-3-4 زمان ورود پالس TOA 15

1 -3 - 5 زاویه ورود پالس AOA 16

1 – 4 فاصله زمانی تکرار پالس PRI 16

1 – 4 – 1 تعریف دقیق ریاضی PRI 17

1 – 4 – 2 پالس های گم شده در رشته PRI 21

1 – 4 – 3 پالس های اضافه شده در رشته PRI 22

1 – 4 – 4 هیستوگرام مدولاسیون فاصله تکرار پالس ها 31

1-5 محیط راداری 33

1 – 6 نتیجه گیری 35

فصل دوم: جداسازی بر مبنای TOA 37

2 – 1 مقدمه 38

2 – 2 چند تعریف 38

2 – 3 الگوریتم هیستوگرام تفاضلی 40

2 – 4 الگوریتم جستجوی PRI 42

2 – 5 الگوریتم هیستوگرام تفاضلی جمع شونده CDIF 44

2 – 6 الگوریتم هیستوگرام تفاضلی ترتیبی SDIF 46

2 – 6 – 1 آستانه آشکار سازی مطلوب برای هیستوگرام SDIF 48

2 – 7 روش ماتریس تفاضل زمان ورود پالس 52

2 – 8 روش طیف قطار پالس 56

2 – 9 نتیجه گیری 57

فصل سوم: جداسازی چند پارامتری 59

3 – 1 مقدمه 60

3 – 2 خوشه بندی 60

3 – 2 - 1 الگوریتم خوشه بندی ترتیبی 63

3 – 2 – 2 الگوریتم خوشه بندی سلسله مراتبی 64

3 – 2 – 3 خوشه بندی خود سازمان یافته 65

3 – 3 انتخاب پارامتر های مناسب 70

3 – 3 – 1 فرکانس رادیویی RF 71

3 – 3 – 2 زاویه ورود پالس AOA 71

3 – 3 – 3 عرض پالس PW 71

3 – 4 ترکیب و ترتیب پارامترها برای خوشه بندی 72

3 – 5 مقایسه روش های ارائه شده 74

3 – 6 نتیجه گیری 75

فصل چهارم: روش پیشنهادی 76

4 – 1 مقدمه 77

4 – 2 مشاهده چند سیگنال عملی 77

4 – 3 ساختار طرح پیشنهادی 80

4 – 4 خوشه بندی با استفاده از شبکه عصبی FART 82

4 – 4 – 1 خطای خوشه بندی شبکه FART 84

4 – 5 جداسازی بر مبنای دامنه پالس PA 85

4 – 5 – 1 الگوریتم جداسازی بر مبنای دامنه پالس (PA) 88

4 – 5 – 2 بررسی خطای الگوریتم در تفکیک پالس های یک رادار به چند زیر گروه 89

4 – 5 – 3 جداسازی دو رادار متداخل که سیگنال PA آن ها با هم تلاقی دارند 90

4 – 5 – 4 جداسازی دو رادار متداخل که سیگنال PA آن ها با هم تلاقی ندارند..... 92

4 – 5 – 5 عملکرد الگوریتم به ازای نسبت توان های مختلف دو رادار93

4 – 5 – 6 مقایسه عملکرد الگوریتم جداسازی مبتنی بر PA با الگوریتم های مبتنی بر TOA..... 94

4 – 5 – 7 الگوریتم شناسایی الگوی محدب..... 97

4 – 5 – 8 پارامتر درصد انطباق..... 97

4 – 5 – 9 عملکرد الگوریتم تصدیق در حضور خطا در اندازه گیری دامنه پالس..... 98

4 – 5 – 10 تعداد پالس های دریافتی از هر رادار..... 99

4 – 6 نتیجه گیری..... 100

فصل پنجم : نتیجه گیری و پیشنهادات..... 101

5 – 1 نتیجه گیری..... 102

5 – 2 پیشنهادات..... 102

اختصارات..... 104

مراجع..... 105

فهرست اشکال

شکل 1-1: اجزای سیستم جنگ الکترونیک..... 5

شکل 1-2: اجزای یک سیستم شنود راداری..... 8

شکل 1-3: پارامتر های RF، TOA، PW، PA، و PRI در سیگنال راداری دریافتی ... 10

شکل 1-4 : اثر چرخش انتن در دامنه پالس دریافتی در گیرنده 13

شکل 1-5 : اندازه گیری زمان ورود پالس با استفاده از یک حد آستانه 16

شکل 1-6 : تشکیل رشته PRI جدید با فرض گم شدن پالس ها 19

شکل 1-7 : تشکیل رشته PRI جدید در اثر پالس های اضافه 20

شکل 1-8 : قطار پالس با الگوی PRI ثابت 21

شکل1-9 : رشته پالس با الگوی PRI استگر با درجه سه 22

شکل 1-10 : رشته پالس با الگوی Jittered PRI 23

شکل 1-11 : قطار پالس با الگوی Sliding PRI 24

شکل 1-12 : رشته پالس با الگوی Dwell and switch PRI 25

شکل 1-13 : هیستوگرام PRI برای مدولاسیون Jittered با تعداد 50000 پالس 28

شکل 1-14 : هیستوگرام PRI برای مدولاسیون Wobulated با تعداد 50000 پالس و نویز نرمال با انحراف معیار 0.1 msec 28

شکل 1-15: هیستوگرام یک رشته PRI با مدولاسیون Sliding زمانی و دامنه سینوسی 5 میکروثانیه و تعداد 5000 پالس 29

شکل2-1: قطار پالس نمونه 35

شکل 2-2: رشته پالس متداخل و هیستوگرام تفاضلی آن 83

شکل 2-3: رشته پالس متداخل و چهار هیستوگرام تفاضلی جمع شونده متوالی آن .. 40

شکل 2-4 : نمودار جریانی روش هیستوگرام تفاضلی جمع شونده CDIF 42

شکل 2-5 : هیستوگرام SDIF دو سیگنال متداخل با PRI یکسان 43

شکل 2-6 : نمودار جریانی الگوریتم SDIF 44

شکل 2-7 : اندازه تبدیل فوریه گسسته سیگنال x(n) مربوط به یک رشته متداخل با 10 منبع PRI ثابت 50

شکل 3-1 : ساختار شبکه عصبی FART 59

شکل 3-2 : روند های جداسازی چند پارامتری پالس های متداخل راداری..... 64

شکل 3-3 : روند جداسازی چند پارامتری پالس های متداخل راداری با استفاده از تمام پارامترهای PDW..... 65

شکل 4-1 : سیگنال واقعی یک رادار با فرکانس تکرار پالس استگر..... 69

شکل 4-2 : سیگنال واقعی یک رادار با آنتن دو تغذیه ای 69

شکل 4-3 : سیگنال واقعی دو رادار که همزمان رسیده اند. 70

شکل 4-4 : دیاگرام بلوکی ساختار پیشنهادی..... 71

شکل 4-5 : خوشه بندی به کمک شبکه عصبی FART 73

شکل 4-6 : مقایسه دقت روش های خوشه بندی سلسله مراتبی و شبکه عصبی FART .. 75

شکل 4-7 : گام های بخش جداسازی بر مبنای PA. 76

شکل 4-8 : خطا در تفکیک پالس های یک رادار به چند زیر گروه..... 79

شکل 4-9 : پالس های دو رادار متداخل زمانی با دامنه متقاطع..... 79

شکل 4-10 : خطای جداسازی پالس های دو رادار با دامنه پالس متقاطع 80

شکل 4-11 : پالس های دو رادار متداخل زمانی با دامنه غیر متقاطع 81

شکل 4-12 : خطای جداسازی پالس های دو رادار با دامنه پالس غیر متقاطع 81

شکل 4-13 : خطای جداسازی دو رادار با دامنه پالس متقاطع و در SNR بالا ..82

شکل 4-14 : خطای جداسازی دو رادار با دامنه پالس غیر متقاطع و در SNR بالا82

شکل 4-15 : مقایسه الگوریتم مبتنی بر PA و مبتنی بر TOA در حالتی که مقدار Jitter مشخص باشد. 84

شکل 4-16 : مقایسه الگوریتم مبتنی بر PA و مبتنی بر TOA در حالتی که مقدار Jitter نا مشخص باشد 84

شکل 4-17 : احتمال تشخیص رادار.....86

شکل 4-18 : نقش فیلتر پایین گدر در بهبود عملکرد سیستم.....86

شکل 4-19 : احتمال خطا بر حسب تعداد پالس دریافتی.....87

فهرست جداول

جدول 1-1: مشخصات یک سیستم شنود راداری..... 7

جدول 1-2: بعضی از پارامترهای پالس..... 31

جدول 3-1 : مقایسه روش های جداسازی پالس های متداخل راداری..... 66

فصل اول: مقدمه

1 – 1 مقدمه

بعد از اختراع تلسکوپ در سال 1608، رادار بزرگترین پیشرفت در زمینه شناسایی اشیاء دور-دست، به حساب می آید [1]. اولین رادار در سال 1903 برای دیده بانی کشتی در دریا ساخته شد. بعد ها در جنگ جهانی دوم تلاش فراوانی برای توسعه رادار ها به منظور تعیین موقعیت کشتی ها و هواپیما های دشمن صورت گرفت [2]. این ابزار قدرتمند کاربرد های صلح آمیز زیادی در هواشناسی، زمین شناسی، هوانوردی و غیره دارد، اما کاربرد نظامی آن از اهمیت خاصی برخوردار است. از رادار براي آشکار سازي و مکان یابي سکو هاي دشمن، در برد و زاویه استفاده شد و نیز براي دقت تسلیحات ضد هوایي بکار گرفته شد. گام بعد استفاده از وسایل الکترونیکي - مخابراتی براي هدایت دقیق موشک بود.

در گذشته میادین جنگی از لحاظ تجهیزات و ابزار آلات نظامی بسیار ساده بودند و درگیری بین نیرو ها بصورت رو در رو و گاها تن به تن انجام می شد و پیروزی در جنگ به میزان قابل توجهی به مهارت های شخصی و تصمیمات استراتژیک فرماندهان نظامی وابسته بود. امروزه با پیشرفت علم و تکنولوژی مخصوصا در حوزه الکترونیک و مخابرات تجهیزات نظامی به گونه ای متحول شده اند که پیروزی در جنگ های امروزی به میزان چشمگیری به بهره گیری و استفاده مناسب از این تجهیزات بستگی دارد. این موضوع تا حدی مهم است که فعالیت گسترده ای برای ساخت تجهیزات الکترونیکی - مخابراتی موثر برای نیروهای خودی و نیز از کار انداختن تجهیزات الکترونیکی - مخابراتی دشمن صورت می گیرد که منجر به پیدایش حوزه ای بنام جنگ الکترونیک در علوم نظامی شده است.

از میان این ابزارآلات نظامی، رادار از اهمیت بسیاری برخوردار است. به کمک رادار می توان تجهیزات نظامی دشمن شامل هواپیما، کشتی، و موشک که با چشم قابل رویت نیستند و یا به صورت دستی قابل ردگیری نمی باشند را شناسایی کرد و مورد حمله قرار داد. با توجه به این کارکرد مهم رادار سازندگان تجهیزات نظامی به فکر ساخت سیستمی شدند که با شنود سیگنال های راداری، بتواند رادار های موجود در میدان نبرد را شناسایی کرده و اطلاعات این رادارها را در اختیار فرماندهان قرار دهد تا بتوانند تصمیمات مناسب و به هنگام اتخاذ نمایند. از طرف دیگر سازندگان سیستم های راداری با بکار گیری تکنیک هایی در رادارها آن ها را تا حدودی در مقابل سیستم های شنود مقاوم ساخته اند. بنابراین در حقیقت رقابتی که میان سازندگان سیستم های راداری و سازندگان سیستم های شنود بپا شده است که منجر به پیچیده شدن روز افزون سیستم های راداری و نیز سیستم های شنود راداری شده است.

با توجه به نیاز کشور به داشتن سیستم دفاعی کارآمد و نیز نقش مهم سیستم های شنود راداری در سیستم های دفاعی، این پروژه با عنوان جداسازی پالس های راداری در سیستم های شنود راداری انجام شد تا گامی کوچک در جهت تامین نیاز های کشور برداشته شود.

در یک محیط جنگ الکترونیک رادارهای فعال زیادی وجود دارند. یک سیستم شنود راداری، سیگنال های انتشار یافته از رادارهای مختلف را دریافت می کند و سپس پارامتر های هر پالس شامل زمان ورود پالس، فرکانس پالس، زاویه ورود پالس، عرض پالس، و دامنه پالس را اندازه گیری کرده و در مرحله بعد قطار پالس هر رادار

را با استفاده از این پارامترها جدا می کند. در نهایت رادارهای موجود، با توجه به مشخصات آن ها شناسایی می شوند. استخراج پارامترهای هر پالس در واحد پردازش سیگنال سیستم انجام می گیرد. پارامترهای اندازه گیری شده در واحد پردازش سیگنال بصورت رشته ای از کلمات توصیف گر پالس متعلق به چندین رادار متداخل می باشد. این رشته وارد سیستم پردازش اطلاعات سیستم می شود و در آنجا جداسازی پالس های هر رادار از این پالس های متداخل و تعیین پارامترهای این رادارها به صورت جداگانه، انجام می شود.

در این پروژه واحد پردازش اطلاعات یک سیستم شنود راداری برای جداسازی پالس های متداخل راداری طراحی و در نرم افزار MATLB شبیه سازی شده است.

در فصل اول این پایان نامه ابتدا تعاریف اولیه جنگ الکترونیک و بخش های مختلف آن به اختصار معرفی شده است. در ادامه، پارامترهای اندازه گیری شده پالس یعنی همان کلمه توصیف گر پالس و مشخصات هر یک شرح داده شده است و در نهایت انواع مدولاسیون های فاصله تکرار پالس بیان شده است.

در فصل دوم دسته ای از روش های جداسازی پالس های راداری مبتنی بر زمان ورود پالس مورد بررسی قرار گرفته اند. این روش ها شامل الگوریتم هیستوگرام تفاضلی، الگوریتم جستجوی PRI، الگوریتم هیستوگرام تفاضلی جمع شونده CDIF [1]، الگوریتم هیستوگرام تفاضلی

[1] Cumulative Difference Histogram