دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

حذف طنین در سونار فعال با استفاده از پردازش وفقی فضا زمان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات سیستم

جواد ابراهیمی

اساتید راهنما

دکتر محمد صادق فاضل

دکتر مجتبی بهشتی

۱۳۹۲

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

حذف طنین در سونار فعال با استفاده از پردازش وفقی فضا زمان

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق- مخابرات سیستم

جواد ابراهیمی

اساتید راهنما

دکتر محمد صادق فاضل

دکتر مجتبی بهشتی

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق – مخابرات سیستم آقای جواد ابراهیمی

تحت عنوان

حذف طنین در سونار فعال با استفاده از پردازش وفقی فضا زمان

در تاریخ ۹۲/۴/۱۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمدصادق فاضل
۲- استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر مجتبی بهشتی
۳- استاد مشاور پایان‌نامه	مهندس جواد اخلاقی
۴- استاد داور	دکتر سید محمود مدرس هاشمی
۵- استاد داور	دکتر علیمحمد دوست حسینی
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مسعود عمومی

تشکر و قدردانی

سپاس بی کران پروردگار یکتا را که هستی مان بخشید و به طریق علم و معرفت رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و شیرینی چشیدن قطره ای از دریای دانش را نصیبمان کرد.

بر خود لازم می دانم از اساتید فرزانه و دلسوز، جناب آقای دکتر محمد صادق فاضل و جناب آقای دکتر مجتبی بهشتی، که زحمت راهنمایی پایان نامه را بر عهده گرفتند و در نهایت سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی دیدگاه های ارزنده شان را در اختیار گذاشتند، صمیمانه قدردانی نمایم. بی شک آشنایی با شما بزرگواران یکی از الطاف بزرگ خدا بود.

از استاد مشاور پایان نامه، جناب آقای مهندس جواد اخلاقی که تجربیات گرانبها و ایده های ارزشمندشان در مراحل مختلف تحقیق، همواره راهگشا بود، تشکر و قدردانی می کنم. رسیدن به نتیجه مطلوب، بدون مساعدت جنابعالی ممکن نبود.

از هیئت محترم داوران، جناب آقای دکتر علیمحمد دوست حسینی و جناب آقای دکتر سید محمود مدرس هاشمی به خاطر فرصتی که برای مطالعه و ارزیابی تحقیق صرف نمودند، سپاسگذارم. نظرات دقیق و اخلاق نیکوی شما بزرگواران در جلسه دفاع بسیار آموزنده بود.

همچنین، همراهی برادرانه و دلسوزانه جناب آقای دکتر احمد کرمی در فرازهای مختلف انجام پایان نامه، شایسته تشکر و سپاس فراوان است. حمایت و همدلی شما همواره امید بخش و مشوق من در دوران تحصیل بود.

در پایان نیز از خانواده عزیزم صمیمانه تشکر می کنم که با محبت و دعای خیر، سختی ها را برایم آسان کردند. ای پدر، خورشیدی شدی و از روشنایت جان گرفتم، مشکلات را با تمام وجود از من دور کردی و اکنون حاصل دستان خسته ات رمز موفقیتم شد. به خودم تبریک می گویم که تو را دارم و دنیا با همه بزرگیش مثل تو را ندارد. و تو ای مادر، ای شوق زیبایی نفس کشیدن و ای روح مهربان هستی ام، تو رنگ شادی هایم شدی و در ناامیدی ها لبریزم کردی از شوق و عمری خستگی ها را به جان خریدی تا اکنون توانستی طعم خوش پیروزی را به من بچشانی.

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

تقدیم به :

گنجینه داران دانش و صاحبان عقل و خرد،

چراغهای تاریکی و معادن حکمت و فرزانگی،

پیشوایان هدایت و حاملان کتاب خدا،

جایگاه رسالت و حجتهای خدا بر اهل دنیا،

خاندان نبوت و امامان دعوت کننده به حق،

اهل بیت عصمت و طهارت (ع)

(برگرفته از زیارت جامعه کبیره)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

نمادها ..... ده

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱ هدف پژوهش ۳

۱-۲ ساختار پایان‌نامه ۵

فصل دوم: سونار و انتشار امواج صوتی

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ تعریف سونار ۹

۲-۳ کاربردهای سونار ۹

۲-۳-۱ کاربردهای دفاعی سونار ۹

۲-۳-۲ کاربردهای تجاری سونار ۱۰

۲-۴ انواع سونار و ساختار آنها ۱۱

۲-۴-۱ سونار غیر فعال ۱۲

۲-۴-۲ سونار فعال ۱۲

۲-۵ انتشار امواج صوتی در دریا ۱۳

۲-۵-۱ سرعت صوت در دریا ۱۳

۲-۵-۲ تلفات انتشار ۱۴

۲-۵-۳ جذب و پراکندگی ۱۵

۲-۵-۴ بازتاب و انکسار ۱۵

۲-۵-۵ نویز ۱۷

۲-۶ چالشهای سونار ۱۸

۲-۷ معادلات سونار ۱۹

فصل سوم: مروری بر پردازش وفقی فضا زمان

۳-۱ مقدمه ۲۱

۳-۱-۱ تاریخچه و روند رشد ۲۲

۳-۱-۲ کاربردها ۲۴

۳-۲ نیاز به STAP ۲۵

۳-۲-۱ حذف یک بعدی کلاتر ۲۵

۳-۲-۲ مشکل متحرک بودن سکو ۲۶

۳-۳ آشکارسازی هدف با استفاده از STAP ۲۶

۳-۳-۱ مدل فضا زمان سیگنال ۳۲

۳-۳-۲ مدلهای تداخل و نویز ۳۵
۳-۳-۳ ماتریس کواریانس فضا زمان ۳۸
۳-۳-۴ حذف کلاتر در حوزه فضا زمان ۴۱
۳-۳-۵ پردازشگر فضا زمان وفقی کامل ۴۳
فصل چهارم: پردازش وفقی فضا زمان سیگنال سونار
۴-۱ مقدمه ۴۷
۴-۲ شکل‌دهی پرتو ۴۸
۴-۲-۱ روش تأخیر و جمع ۴۹
۴-۲-۲ روش درونیابی ۵۱
۴-۲-۳ روش FFT ۵۱
۴-۲-۴ روش شیفت فاز ۵۲
۴-۳ آشکارسازی هدف در سونار غیر فعال ۵۳
۴-۳-۱ آشکار ساز باند پهن ۵۵
۴-۳-۲ آشکار ساز باند باریک ۵۶
۴-۳-۳ آشکار ساز مدولاسیون ۵۷
۴-۴ آشکارسازی هدف در سونار فعال ۵۸
۴-۴-۱ پردازش برد- داپلر ۶۰
۴-۵ آشکارسازی هدف در سونار فعال با استفاده از STAP ۶۰
۴-۵-۱ نیاز به STAP در سونار فعال ۶۱
۴-۵-۲ جمع آوری داده فضایی و زمانی ۶۳
۴-۵-۳ محدودیتهای روش وفقی کامل و معرفی روشهای شبه بهینه ۶۷
فصل پنجم: روش پیشنهادی برای STAP در سونار فعال
۵-۱ مقدمه ۷۵
۵-۲ محدودیتهای STAP در سونار ۷۶
۵-۳ روش پیشنهادی بر مبنای STAP ۷۷
۵-۴ چیدمان و پارامترهای شبیه سازی ۸۱
۵-۵ نتایج شبیه سازی ۸۸
فصل ششم: نتیجه گیری و پیشنهادات
۶-۱ نتیجه گیری ۱۱۳
۶-۲ پیشنهادات ۱۱۵
مراجع ۱۱۷

نمادها

نمادهای ریاضی

x	اسکالر
$\mathbf{x}$	بردار ستونی $\mathbf{x}$
$[\mathbf{x}]_i$	درایه i ام بردار $\mathbf{x}$
$\|\mathbf{x}\|$	نرم یا طول بردار $\mathbf{x}$
$\mathbf{A}$	ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^*$	مزدوج مختلط ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^T$	ترانهاده ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathbf{A}^H$	هرمیتین ماتریس $\mathbf{A}$
$\mathrm{tr}(\mathbf{A})$	رد ماتریس $\mathbf{A}$
$[\mathbf{A}]_{i,j}$	درایه روی سطر i ام و ستون j ام ماترس $\mathbf{A}$
$\mathbf{x} \cdot \mathbf{y}$	ضرب داخلی بردارهای $\mathbf{x}$ و $\mathbf{y}$
$\mathbf{x} \times \mathbf{y}$	ضرب خارجی بردارهای $\mathbf{x}$ و $\mathbf{y}$
$\mathbf{A} \otimes \mathbf{B}$	ضرب کرونیکر ماتریسهای $\mathbf{A}$ و $\mathbf{B}$
$\mathbf{I}$	ماتریس واحد
$\Re\{z\}$	جزء حقیقی عدد مختلط z
$\Im\{z\}$	جزء موهومی عدد مختلط z
x^*	مزدوج مختلط x
$\hat{x}$	تخمین x
$\|x\|$	قدر مطلق x
$\varepsilon\{.\}$	عملگر امید ریاضی
σ_x^2	واریانس x
$x(t)$	سیگنال پیوسته زمان باند پایه
$X(\omega)$	تبدیل فوریه سیگنال پیوسته زمان $x(t)$
$x_1(t) * x_2(t)$	کانولوشن خطی $x_1(t)$ و $x_2(t)$

نشانهای کوتاه

ADC	Analog to Digital Converter
AOA	Angle Of Arrival
AWGN	Additive White Gaussian Noise
CNR	Clutter to Noise Ratio
CPI	Coherent Pulse Interval
CSR	Clutter to Signal Ratio
CW	Continuous Wave
D^3	Direct Data Domain
DFT	Discrete Fourier Transform
DI	Directivity Index
DL	Diagonal Loading
DPCA	Displaced Phase Center Antenna
DSS	Different Sea State
FFT	Fast Fourier Transform
FIR	Finite Impulse Response
GMTI	Ground Moving Target Indication
GPS	Global Positioning System
IF	Improvement Factor
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
i.i.d	independent and identically distributed
IIR	Infinite Impulse Response
ISAR	Inverse Synthetic Aperture Radar
JSR	Jammer to Signal Ratio
LFM	Linear Frequency Modulated
LMSE	Least Mean Square Error
MDS	Minimum Detectable Signal
MIMO	Multiple Input Multiple Output
ML	Maximum Likelihood
MTI	Moving Target Indication
NL	Noise Level
NP	Neyman-Pearson
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PDR	Pulsed Doppler Radar
PRF	Pulse Repetition Frequency
PRI	Pulse Repetition Interval
PSD	Power Spectral Density
RADAR	RAdio Detection And Ranging
RL	Reverberation Level
SAR	Synthetic Aperture Radar
SAS	Synthetic Aperture Sonar
SE	Signal Excess
SINR	Signal to Interference plus Noise Ratio
SL	Source Level
SNR	Signal to Noise Ratio
SONAR	Sound Navigation And Ranging
SRR	Signal to Reverberation Ratio
STAP	Space Time Adaptive Processing
TL	Transmission Loss
TS	Target Strength
ULA	Uniform Linear Array

چکیده

گسترش حوزه کاربرد سونار از آبهای عمیق به آبهای کم عمق و بسیار کم عمق، طراحان اینگونه سامانه‌ها را به پدید آوردن روشهای ویژه برای غلبه بر چالشهای اساسی کانال زیرآبی کم عمق ترغیب نموده است. در این محیطها طنین اثر محدود کننده غالب بوده و یک مشکل جدی برای سونارهای فعال به شمار می‌رود، زیرا ممکن است قدرت سیگنال بازگشتی از هدف کمتر از قدرت طنین باشد و کارایی آشکارساز را کاهش دهد. این مشکل هنگامی چالش بر انگیز می‌شود که سکو در حرکت باشد. در این حالت، طنین دچار جابجایی فرکانسی داپلر شده و طیف آن حول فرکانس مرکزی گسترده می‌شود. از طرف دیگر، هدفهای دارای سرعت کم، جابجایی فرکانسی نسبی کمی ایجاد کرده و در ناحیه‌ای قرار می‌گیرند که طنین نیز وجود دارد. در نتیجه یک مسأله آشکارسازی بسیار جدی به وجود می‌آید. در این حالت، استفاده از روشهای مرسوم مانند فیلتر منطبق ناکارآمد خواهد بود و نیاز به روشهایی برای پردازش توأم سیگنال در حوزه‌های زمان و فضا پدید می‌آید. این روشها با کاهش مؤثر طنین، به آشکارسازی هدف کمک می‌کنند. در این پایان‌نامه روشهای پردازش وفقی فضا زمان (STAP) در سونار فعال با سکوی متحرک، برای آشکارسازی اهداف با سرعت کم، مطالعه، بررسی و شبیه سازی می‌شوند. بررسی محدودیتهای پردازشگر فضا زمان وفقی کامل و معرفی چند روش شبه بهینه برای رفع بعضی از محدودیتها جزء اهداف این پژوهش است. با توجه به ویژگیهای کانال صوتی زیر آبی، مشاهده می‌شود که تفاوتهای عمده‌ای بین انتشار امواج صوتی در زیر سطح و امواج رادیویی در بالای سطح وجود دارد. این تفاوتها استفاده از STAP در سونار را با محدودیتهای جدی روبرو می‌کند. بررسی محدودیتها و ارائه روشی برای مقابله با آنها هدف نهایی این پایان‌نامه است. نتایج شبیه سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی با شرایط عملی در نظر گرفته شده برای شناورهای سطحی و زیرسطحی سازگاری داشته و بدون داشتن محدودیتهای STAP مرسوم، در حذف طنین کارآمد است.

کلمات کلیدی: سونار فعال، آشکارسازی، طنین، پردازش وفقی فضا زمان

فصل اول
مقدمه

SONAR[1] با به کارگیری امواج صوتی در محیط آب دریا نقشی مانند RADAR[2] در بالای سطح آب را دارد. برای کشورهایی که مرز دریایی دارند، لازم است تجهیزات و دانش مورد نیاز برای مراقبت از آن به کار گرفته شود. بی شک اهمیت خودکفایی در زمینه دانش و فناوری پیشرفته سامانه‌های سونار برای جمهوری اسلامی ایران که مرزهای آبی طولانی در جنوب و شمال دارد، با توجه به محدودیتهای زیادی که در این زمینه (به دلیل کاربردهای نظامی سونار) وجود دارد، اگر بیشتر از سامانه‌های راداری نباشد، کمتر نیست.

سونار با انتشار امواج صوتی در زیر آب قادر به شناسایی ناوها ،کشتیها و زیردریاییها و همچنین برقراری ارتباط با آنها است. وظیفه اصلی سونار، دریافت سیگنال صوتی مورد نظر، جداسازی آن از امواج ناخواسته و نویز و سپس پردازش سیگنال و استخراج اطلاعات مورد نظر است.

به طور کلی می‌توان سونار را در دو دسته غیرفعال[3] و فعال[4] تقسیم بندی نمود. سونار غیرفعال بر اساس آشکارسازی نویز حرکتی شناور ناشی از حرکت بدنه و پروانه و همچنین صدای سونار فعال دشمن کار می‌کند. در

---

[1] SOund Navigation And Ranging

[2] RAdio Detection And Ranging

[3] Pasive Sonar

[4] Active Sonar

صورتی که سونار فعال با ارسال سیگنال صوتی و دریافت بازتاب آن، وجود هدف را تشخیص می‌دهد. سونار فعال، سیگنال صوتی را توسط ترانسدیوسر[۱] ارسال می‌کند. سیگنال بازتابیده از هدف توسط یک هیدروفون[۲] یا آرایه هیدروفونی دریافت و آشکارسازی شده و پارامترهای مجهول با پردازشهای مناسب، تخمین زده می‌شود. یکی از پدیده‌هایی که سونار فعال با آن روبرو می‌شود، پدیده طنین[۳] است. طنین به صدایی گفته می‌شود که از بازتابهای سیگنال صوتی ارسالی از کف، سطح و آنچه درون دریا قرار دارد، به وجود می‌آید. در آبهای کم عمق که طنین، اثر محدود کننده غالب است، کارایی سونارهای فعال بشدت کاهش می‌یابد.

۱-۱ هدف پژوهش

گسترش حوزه کاربرد سونار از آبهای عمیق به آبهای کم عمق و بسیار کم عمق، طراحان سونار را به پدید آوردن روشهای ویژه برای غلبه بر چالشهای اساسی کانال زیرآبی کم عمق ترغیب نموده است. در این محیطها طنین یک مشکل جدی برای سونارهای فعال به شمار می‌رود، زیرا ممکن است قدرت سیگنال بازگشتی از هدف کمتر از قدرت طنین باشد و باعث کاهش کارایی آشکارساز گردد.

این مشکل هنگامی چالش بر انگیز می‌شود که سکو در حرکت باشد. در این حالت، طنین بازگشتی دچار جابجایی فرکانسی داپلر[۴] شده و طیف آن حول فرکانس مرکزی گسترده می‌شود. مقدار این جابجایی با سرعت سکوی سونار و زاویه بین بردار سرعت سکو و برداری که به طرف هر کدام از بازتاب کننده‌ها اشاره می‌کند، متناسب است. رابطه زیر مقدار تقریبی فرکانس داپلر را نشان می‌دهد [۱]:

$$f_d \approx \frac{2v_p}{c_0} f_c \cos(\alpha) \qquad ۳-۱$$

که v_p اندازه سرعت سکو و c_0 اندازه سرعت انتشار صوت در آب است. f_c فرکانس حامل و α زاویه بین بردار حرکت سکو و بردار مکان بازتاب کننده است. از طرف دیگر طبق این رابطه، هدفهای با سرعت کم، جابجایی فرکانسی نسبی کمی ایجاد کرده و در ناحیه‌ای قرار می‌گیرند که طنین نیز وجود دارد و در نتیجه یک مسأله آشکارسازی پیچیده به وجود می‌آید. در این حالت، استفاده از روشهای مرسوم ناکارآمد است.

---

[۱] Transducer

[۲] Hydrophone: Underwater Microphone

[۳] Reverberation

[۴] Doppler Frequency Shift

برای حل این مسأله و جداسازی دقیق هدف از طنین، روشهای پردازش سیگنال در حوزه فضا زمان مطرح شده است. وابستگی فرکانس داپلر طنین به جهت دریافت (رابطه ۱-۳)، باعث به وجود آمدن مفهوم پردازش فضا زمان شده است. این روشها با کاهش اثر طنین، به آشکارسازی هدف کمک می‌کنند.

پردازش فضا زمان در چند سال اخیر شهرت بسیاری یافته است. بویژه پردازش وفقی فضا زمان[۱] که به اختصار STAP نامیده می‌شود، تبدیل به مبحثی کلیدی در کنفرانسهای جهانی شده است. STAP برای اولین بار در سال ۱۹۷۳ توسط برنان معرفی شد [۲]. تحقیقات او نشان داد که STAP می‌تواند هدف و کلاتر[۲] (بازتابهای ناخواسته) را در رادار، هم از نظر فضایی و هم از نظر زمانی از یکدیگر جدا کند. مزایای آشکار این روش در مقابله با کلاتر موجب شد تا STAP توجه روز افزونی را به خود جلب کند [۳]. علاوه بر حوزه رادار، این روش برای کاهش اثر طنین در سونار هم استفاده شده است [۴]. پیشرفت سریع فناوری و پدید آمدن پردازشگرهای قابل برنامه ریزی با سرعت زیاد، باعث شده است که STAP بیش از پیش مورد توجه پژوهشگران قرار بگیرد. امروزه این روش یک فناوری کلیدی برای آشکارسازی هدفهای ضعیف در میان بازتابهای ناخواسته قوی در رادارها و سونارهای نوین به شمار می‌رود.

با استفاده از STAP می‌توان سیگنالهای ناخواسته موجود در یک سمت خاص و یک فرکانس داپلر خاص را بدقت حذف نمود. این کار هنگامی ارزش خود را نشان می‌دهد که علاوه بر متحرک بودن سکو، هدفی با سرعت کم در حال حرکت باشد و با روشهای ساده تک بعدی نتوان آن را آشکار نمود.

ایده به کار رفته در STAP، استفاده همزمان از داده فضایی و زمانی برای جداسازی سیگنال مطلوب از تداخل و طنین است. با به کارگیری توأم داده زمانی و فضایی به صورت وفقی و پویا می‌توان با تداخلهای ناخواسته (طنین) و همچنین تداخلهای عمدی (جمر) به گونه‌ای مؤثر مقابله کرد. در این روش درجه آزادی بیشتری نسبت به روشهای مرسوم (پردازش سیگنال در حوزه فضا و سپس در حوزه زمان یا بر عکس) وجود دارد، بنابراین می‌توان نسبت سیگنال به نویز و تداخل (SINR) خروجی را به طور قابل ملاحظه افزایش داد.

هدف این پژوهش، معرفی، بررسی و شبیه سازی روشهای پردازش وفقی فضا زمان در سونار فعال با سکوی متحرک، برای آشکارسازی اهداف با سرعت کم است. در این پژوهش با بررسی ویژگیهای طنین در حالت متحرک بودن سکو و اثبات ناکارآمد بودن روشهای مرسوم حذف طنین، دلیل استفاده از STAP روشن می‌گردد. اثبات توانایی این روش در حذف طنین در حالت سکوی متحرک از اهداف اصلی پایان‌نامه است. همچنین

---

[۱] Space Time Adaptive Processing

[۲] Clutter

محدودیتهای پردازشگر فضا زمان وفقی کامل بررسی می‌شود و چند روش شبه بهینه برای رفع بعضی از محدودیتها معرفی خواهد شد.

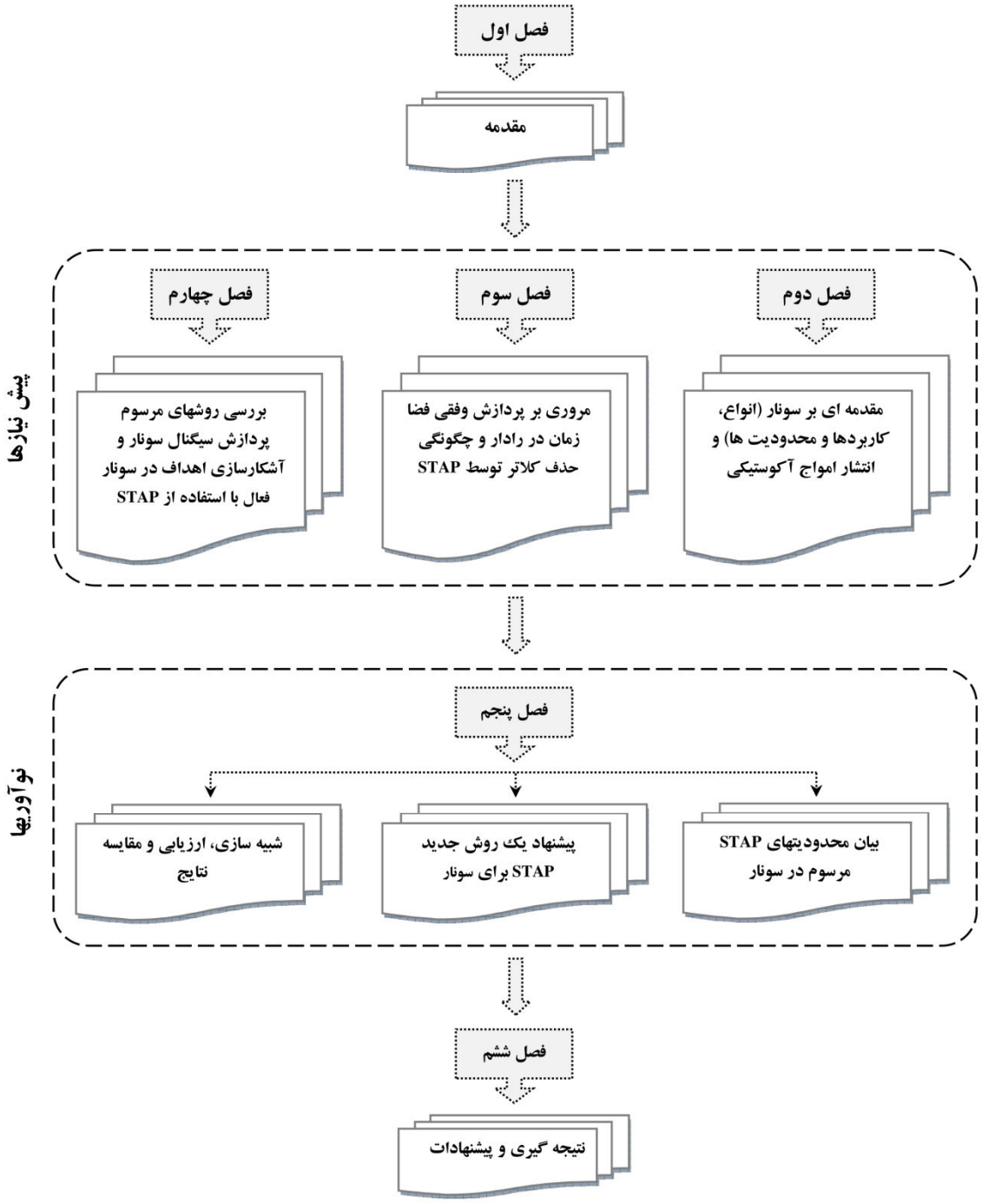
با توجه به ویژگیهای کانال صوتی زیر آب و چگونگی انتشار امواج و مشکلات و محدودیتهایی که محیط دریا ایجاد می‌کند، مشاهده می‌شود که تفاوتهای عمده بین انتشار امواج صوتی در زیر سطح و امواج رادیویی بالای سطح وجود دارد که استفاده از STAP در سونار را با محدودیتهای جدی روبرو می‌کند. بررسی این محدودیتها و ارائه روشی برای مقابله با آنها هدف نهایی این پژوهش است.

۱-۲ ساختار پایان‌نامه

شکل ۱-۱ ساختار کلی پایان‌نامه شامل پیش نیازها و نوآوریها را نشان می‌دهد. جزئیات مراحل مختلف به شرح زیر است:

در **فصل دوم**، پس از تعریف سونار، کاربردهای سونار شامل کاربردهای دفاعی و تجاری بیان می‌گردد. سپس انواع سونار که شامل فعال و غیرفعال است معرفی شده و ساختار و ویژگیهای هرکدام به طور خلاصه بررسی می‌شود. تحلیل سامانه‌های سوناری نیازمند شناخت ویژگیهای امواج صوتی و چگونگی انتشار این امواج در محیط دریا است. در ادامه، پارامترهای مؤثر در انتشار صوت در دریا مانند سرعت انتشار، تلفات انتشار، جذب و پراکندگی، بازتاب و انکسار مورد بحث قرار گرفته و منابع نویز موجود در محیط دریا معرفی می‌گردد. سپس مشکلاتی که سامانه‌های سوناری بویژه سونار فعال با آن روبرو است، شرح داده می‌شود و معادلات سونار ارائه می‌گردد.

در **فصل سوم**، با ارائه تاریخچه‌ای از پردازش وفقی فضا زمان و بیان اهمیت این روش، کاربردهای STAP در حوزه‌های مختلف بیان می‌شود. همچنین مشکل ساز بودن سکوی متحرک در آشکارسازی اهداف بویژه اهداف با سرعت کم بررسی شده و نشان داده می‌شود که در این حالت روشهای تک بعدی برای حذف کلاتر ناکارآمد خواهد بود. در نتیجه نیاز به STAP نمایان می‌شود. مفهوم پردازش وفقی فضا زمان و روند تکامل آن (بر اساس کاربرد راداری) در بخش سوم این فصل شرح داده می‌شود. در بخش پایانی پس از ارائه مدل فضا زمان سیگنال هدف، مدلهای تداخل (کلاتر زمین، کلاتر متحرک و جمر) و نویز معرفی می‌شوند. ماتریس کواریانس فضا زمان این سیگنالها نیز بررسی شده و چگونگی حذف کلاتر در حوزه فضا زمان نشان داده می‌شود. همچنین پردازشگر فضا زمان وفقی کامل معرفی شده و بهینه بودن این پردازشگر با معیارهای مختلف بررسی می‌شود.



شکل ۱-۱- ساختار کلی پایان‌نامه

در **فصل چهارم**، ابتدا روشهای متداول پردازش سیگنال سونار مرور می‌شود. روشهای مختلف شکل‌دهی پرتو، مانند روش تأخیر و جمع، روش درونیابی، روش FFT و روش شیفت فاز معرفی می‌گردد. سپس روشهای آشکارسازی هدف در سونارهای غیرفعال و فعال معرفی می‌شود. آشکارسازی هدف در سونار فعال با استفاده از

STAP، مبحث اصلی این فصل است. در این مبحث، ابتدا با معرفی سونار فعال آرایه‌ای یدک شده[۱] و بررسی ویژگیهای طنین، توانایی STAP در حذف طنین نشان داده می‌شود. سپس چگونگی جمع آوری داده فضایی و زمانی مورد نیاز STAP بیان می‌شود و نشان داده می‌شود که پردازشگر فضا زمان وفقی کامل در عمل با محدودیتهایی روبرو است. بنابراین روشهای شبه بهینه مطرح می‌گردند. روش بارگذاری قطری ماتریس کواریانس، روش پردازش وفقی پس از داپلر، روش فیلتر FIR با کمترین مربعات، روش تجزیه به مقادیر ویژه و روش باند پایه بر مبنای فیلتر FIR به عنوان روشهای شبه بهینه معرفی شده و مزایا و معایب هرکدام بررسی می‌شود.

در **فصل پنجم**، ابتدا، محدودیتهای STAP در سونار فعال بررسی می‌شود. این محدودیتها به دلیل سرعت کم انتشار امواج صوتی در مقایسه با امواج رادیویی و همچنین تغییرات شدید محیط دریا ایجاد می‌شود. معرفی روشی جدید برای غلبه بر این محدودیتها از اهداف اصلی این فصل است. در این فصل نتایج شبیه سازی کامپیوتری به منظور ارزیابی روش پیشنهادی در مقایسه با پردازشگر فضا زمان وفقی کامل و یکی از روشهای شبه بهینه آمده است. شبیه‌سازیها با در نظر گرفتن دو کاربرد عملی، یعنی سونار فعال شناورهای سطحی و زیرسطحی انجام شده است. با انتخاب مقادیر واقعی برای پارامترهای شبیه سازی، ناکارآمدی روشهای STAP مرسوم در شرایط عملی و کارآمدی روش پیشنهادی نشان داده می‌شود.

در **فصل ششم**، نتایج اصلی جمع بندی خواهد شد. برطرف شدن مشکلات STAP مرسوم توسط روش پیشنهادی، سازگاری این روش با شرایط واقعی در نظر گرفته شده برای شناورهای سطحی و زیرسطحی و اثبات توانایی این روش در حذف طنین در شرایط عملی علاوه بر دارا بودن مزایای STAP مرسوم از جمله نتایج به دست آمده است. سرانجام، پیشنهاداتی برای ادامه کار ارائه می‌گردد.

---

[۱] Active Towed Array Sonar

فصل دوم
سونار و انتشار امواج صوتی

۲-۱ مقدمه

در این فصل پس از تعریف سونار، کاربردهای مختلف آن مرور می‌شود. سپس سونارهای غیرفعال و فعال معرفی می‌شوند و چگونگی عملکرد آنها به طور خلاصه شرح داده می‌شود. همچنین چگونگی انتشار امواج صوتی در زیر آب بررسی می‌شود. پارامترهای مؤثر در انتشار صوت در دریا مانند سرعت انتشار، تلفات انتشار، جذب[۱]، پراکندگی[۲]، بازتاب[۳] و انکسار[۴] مورد بحث قرار گرفته و منابع نویز موجود در محیط دریا معرفی می‌گردد. سپس چالشهای مربوط به انتشار امواج صوتی در زیر آب که کارایی سونار را تحت تأثیر قرار می‌دهند، فهرست می‌شود و سرانجام معادله سونار با در نظر گرفتن پدیده‌های مختلف انتشار صوتی، معرفی می‌شود.

---

[۱] Absorption

[۲] Scattering

[۳] Reflection

[۴] Refraction

۲-۲ تعریف سونار

SONAR مخفف Sound Navigation And Ranging به معنای فاصله یابی و ناوبری توسط صدا است. این واژه چنین تعریف می‌شود: " روش یا دستگاهی که با استفاده از صدا در زیر آب، وجود، موقعیت و ویژگیهای موجود در دریا را تشخیص می‌دهد" [۵]. در کاربردهای موقعیت یابی، ناوبری، دیده‌بانی و شناسایی، سونار با به کارگیری امواج صوتی در محیط آب دریا نقشی مانند رادار در فضای بالای آب را دارد. رادار از امواج رادیویی استفاده می‌کند، اما امواج رادیویی در محیط آب دریا، بشدت تضعیف می‌شوند. به همین دلیل از امواج صوتی که می توانند تا مسافتهای طولانی در آب دریا منتشر شوند، استفاده شده است.

معمولاً وظیفه اصلی سونار، جداسازی سیگنال صوتی مطلوب از امواج صوتی ناخواسته و نویز، و سپس پردازش سیگنال و استخراج اطلاعات مورد نظر است. سونار در زیر دریاییها، مهمترین نقش را در ناوبری و هدایت بر عهده دارد.

۲-۳ کاربردهای سونار

انگیزه اصلی گرایش به زمینه صوت زیر دریا و استفاده اولیه از سونار، نیازهای دفاعی و ناوبری زیر دریا بوده است. ولی به مرور زمان کاربردهای غیر نظامی و کاربردهای صنعتی، تجاری و تفریحی گسترش یافته‌اند.

۲-۳-۱ کاربردهای دفاعی سونار

بسیاری از پژوهشها و مطالعات در زمینه نوین سازی و افزایش کارایی سونارها مربوط به تجهیزات دفاعی دریایی و سونارهای نظامی است. برخی از کاربردهای نظامی سونار عبارتند از [۶]:

- جنگ ضد زیردریایی[۱]: برای یافتن محل اولیه زیر دریاییها و ردگیری آنها
- سامانه‌های سونار مین روب[۲]: ارسال و دریافت یک سیگنال با عرض پالس خیلی کوتاه توسط یک ترانسدیوسر جهت دار برای آشکارسازی مین.
- اژدرهای هوشمند: شناسایی موقعیت هدف و هدایت به سمت آن

[۱] Anti-Submarine Warfare (ASW)

[۲] Mine sweeper