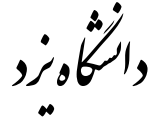


بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

ای که با نامت جهان آغاز شد
دقتر ما هم به نامت باز شد
دقتری کن نام تو زینت گرفت
کار آن از چرخ بالاتر گرفت

پاس مخصوص خدایست که خلق کرد و برای هدایت انسان پیامبر رحمت (ص) را فرستاد تا کتابش بیاموزد که علم از آن خداست و هر که
بیشتر بیاموزد، بیشتر خدا را شناخته است.



دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی برق-مخابرات

تخمین زاویه ورود سیگنال با استفاده از پردازش سیگنال آنتن‌های آرایه‌ای

استاد راهنما:

دکتر عباسعلی حیدری

استاد مشاور:

دکتر حمیدرضا ابوطالبی

پژوهش و نگارش:

محمدرضا جعفرپور بغدادآباد

اسفندماه ۱۳۸۸

تقدیم به

نتایج تحقیقات مقیرم ۴ را در قالب این پایان نامه تقدیم می‌کنم به اساتید راهنما
و مشاورم، دکتر هیدری و دکتر ابوطالبی و همپنین

روح پدرم

مادر صبورم

همسر مهربانم

خواهرهای دلبندم

دوستان عزیزم

و تمامی کسانی که قلبشان برای جستجوی واقعیت می‌تپد

قال الله تبارك و تعالی:
من لم یشکر المفلوق، لم یشکر الفالق

مشکر و قدردانی

از جناب آقای دکتر حمیدی و جناب آقای دکتر ابوطالبی، که از رهنمودهایشان

در نگارش و ارائه این پایان نامه استفاده نمودم، کمال مشکر و قدردانی را دارم.

همچنین از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به خاطر حمایت مالی از این
پایان نامه تقدیر و تشکر می شود.

در نهایت مشکر می کنم

از مادر فداکارم که خلایق را برای شگوفایی فرزندش پر کرد

از همسرم که با تشویق هایش مرا همراهی کرد

از خانواده ام که همیشه مرا حمایت کردند

و از دوستانم که مرا راهنمایی کردند

چکیده

تخمین فاصله و زاویه‌ی مسیر سیگنال دریافتی^۱ منابع با استفاده از آنتن‌های آرایه‌ای در دو دهه‌ی اخیر مورد توجه ویژه قرار گرفته و موضوع پژوهش‌های بسیاری بوده است. در این پایان‌نامه تعدادی از روش‌های تخمین زاویه‌ی ورود منابع سیگنال باند باریک و همچنین برخی روش‌های تخمین تعداد منابع سیگنال بررسی و شبیه‌سازی شده و با یکدیگر مقایسه شده‌اند. تکنیک‌های زیادی برای تخمین زاویه‌ی ورود منابع ارائه شده‌اند. از جمله روش‌های موجود برای تخمین زاویه‌ی ورود می‌توان روش‌های مبتنی بر جهت‌دهی پرتو، روش‌های مبتنی بر زیرفضا و همچنین روش‌هایی که از معیار حداکثر درست‌نمایی استفاده می‌نمایند، را نام برد. معمولاً همراه با روش‌های تخمین جهت منابع، از روش‌های تخمین تعداد منابع مانند MDL^۲ و AIC^۳ هم استفاده می‌شود، این روش‌ها از تئوری اطلاعات^۴ استفاده می‌کنند. در این پایان‌نامه برای بالا بردن دقت تخمین و قدرت تفکیک زاویه‌ی ورود، روشی جدید با استفاده از تفاضل مرتبه دوم ارائه گردیده است که با محاسبه‌ی تفاضل مرتبه دوم از طیف روش‌های زیرفضا و جهت‌دهی پرتو، دقت الگوریتم‌ها در تشخیص زوایای نزدیک را بهبود می‌دهد. بدین ترتیب خطای تخمین زاویه ورود به‌طور چشمگیری کاهش می‌یابد. همچنین روش دیگری بر مبنای تجزیه ماتریس کوواریانس داده‌های خروجی آرایه، پیشنهاد شده است که بدون نیاز به تعداد منابع می‌تواند راستای ورود سیگنال‌ها را محاسبه کند، دقت این روش از الگوریتم‌های زیرفضا کمتر است، ولی مزیت آن این است که به صورت کور راستای ورود سیگنال‌ها را پیدا می‌کند. در نهایت نتایج شبیه‌سازی روش‌های بیان شده، ارائه شده است.

^۱- Directional of Arrival (DOA)

^۲- Minimum Description Length criterion

^۳- Akaike Information Criterion

^۴- Information theory

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
	فصل اول: مقدمه
۲	۱-۱ کلیات
۳	۲-۱ مقدمه‌ای بر پردازش آرایه‌ای
۶	۳-۱ ساختار پایان‌نامه
	فصل دوم: پردازش سیگنال آرایه‌ای و روش‌های تعیین راستای ورود سیگنال
۸	۱-۲ مقدمه
۹	۲-۲ مدل سیگنال خروجی آرایه
۹	۱-۲-۲ تاخیر انتشار در آرایه خطی یکنواخت
۱۱	۲-۲-۲ تقریب باند باریک
۱۲	۳-۲-۲ معادله ماتریسی برای داده آرایه
۱۳	۴-۲-۲ ساختار ویژه برای ماتریس کوواریانس فضایی
۱۶	۳-۲ اساس شکل‌دهی پرتو آنتن
۲۰	۱-۳-۲ شکل‌دهی پرتوی کلاسیک
۲۲	۲-۳-۲ شکل‌دهنده پرتوی حداقل واریانس با پاسخ بدون اعوجاج
۲۲	۴-۲ روش‌های کلاسیک برای تخمین راستای ورود
۲۳	۱-۴-۲ روش تاخیر-جمع (جهت‌دهی پرتوی معمولی)
۲۴	۲-۴-۲ روش MVDR کاپون
۲۶	۳-۴-۲ روش LCMV
۲۶	۴-۴-۲ روش AC
۲۷	۵-۴-۲ روش DC
۲۷	۶-۴-۲ روش بارگذاری قطری
۲۸	۵-۲ روش‌های زیرفضا برای تخمین DOA
۲۹	۱-۵-۲ الگوریتم خوشه‌بندی چندگانه سیگنال (MUSIC)
۳۱	۲-۵-۲ روش‌های بردار متعامد
۳۲	۳-۵-۲ الگوریتم ROOT-MUSIC
۳۴	۴-۵-۲ روش حداقل نرم
۳۷	۵-۵-۲ تکنیک‌های ESPRIT
۴۰	۶-۵-۲ پیشگویی خطی
۴۲	۷-۵-۲ تخمین DOA با استفاده از الگوریتم Beamspace

۴۳	۸-۵-۲ الگوریتم DFT Beamspace ESPRIT
۴۶	۶-۲ روش‌های حداکثر درست‌نمایی
۴۸	۱-۶-۲ الگوریتم APA برای تخمین راستای ورود
۵۰	۷-۲ روش یکنواخت‌سازی فضایی
۵۳	۸-۲ روش پیشنهادی بر اساس تفاضل مرتبه دوم
۵۳	۱-۸-۲ توصیف روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم
۵۸	۲-۸-۲ اعمال روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم به الگوریتم MUSIC
۵۹	۳-۸-۲ اعمال روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم به الگوریتم کاپون
۶۱	۹-۲ پیشنهاد روشی برای تعیین DOA بدون نیاز به تعداد منابع (روش کور)
۶۳	۱۰-۲ تعیین تعداد منابع سیگنال
۶۷	۱-۱۰-۲ روش پیشنهادی برای تعیین تعداد منابع
۶۸	۱۱-۲ جمع‌بندی و مقایسه روش‌های جهت‌یابی

فصل سوم: شبیه‌سازی الگوریتم‌های تخمین زاویه سیگنال دریافتی

۷۰	۱-۳ نتایج شبیه‌سازی داده‌های خروجی آرایه
۷۲	۲-۳ نتایج شبیه‌سازی الگوریتم‌های جهت‌یابی باند باریک
۷۲	۱-۲-۳ مقایسه بین طیف فضایی الگوریتم‌های MUSIC، Capon و تاخیر-جمع
۷۳	۲-۲-۳ رفتار الگوریتم MUSIC در SNR ‌های مختلف
۷۴	۳-۲-۳ رفتار روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم و مقایسه آن با الگوریتم MUSIC
۷۵	۴-۲-۳ رفتار روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم در SNR ‌های مختلف
۷۷	۵-۲-۳ رفتار روش پیشنهادی کور در SNR ‌های مختلف
۷۹	۳-۳ مقایسه روش‌های جهت‌یابی باند باریک با استفاده از خطای RMSE
۸۰	۱-۳-۳ اعمال روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم به الگوریتم MUSIC و مقایسه
۸۳	۲-۳-۳ اعمال روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم به الگوریتم کاپون و مقایسه
۸۵	۴-۳ مقایسه بین روش‌های پیشنهادی
۸۷	۵-۳ مقایسه بین روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم و الگوریتم ESPRIT

فصل چهارم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۹۰	۱-۴ نتیجه‌گیری
۹۲	۲-۴ پیشنهادات
۹۴	واژه نامه
۹۵	مراجع

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان جدول
۶۸	جدول (۱-۲): خلاصه‌ای از روش‌های تعیین DOA
۸۰	جدول (۱-۳): مقایسه تغییر خطای RMSE بر حسب تغییر فاصله زاویه‌ای منابع
۸۱	جدول (۲-۳): مقایسه خطای RMSE بر حسب تغییر SNR
۸۲	جدول (۳-۳): مقایسه تغییر خطای RMSE بر حسب تغییر تعداد نمونه‌های داده
۸۸	جدول (۴-۳): مقایسه روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم و الگوریتم ESPRIT

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان شکل
۳	شکل (۱-۱): شمای کلی یک پردازشگر آرایه
۱۰	شکل (۱-۲): موج در حال انتشار که به وسیله هر یک از عناصر دریافت می‌شود
۱۷	شکل (۲-۲): سیستم شکل دهنده پرتوی باند باریک
۱۸	شکل (۳-۲): نمودار الگوی پرتو برای آرایه یکنواخت با ۱۰ حسگر به فاصله $D = \lambda/2$
۲۰	شکل (۴-۲): نمایش همپوشانی طیفی فضایی با آرایه ۸ حسگری به فاصله عناصر $D = 1.5\lambda$
۲۴	شکل (۵-۲): پرتوی آرایه خطی با دامنه‌های مساوی
۲۵	شکل (۶-۲): شبیه‌سازی تخمین DOA برای یک آرایه خطی یکنواخت
۲۹	شکل (۷-۲): تجزیه ویژه سیگنال آنتن آرایه‌ای
۳۰	شکل (۸-۲): طیف MUSIC برای آرایه‌ای متشکل از ۱۰ حسگر با سه سیگنال
۳۲	شکل (۹-۲): ریشه‌های چندجمله‌ای که ضرایب آن برابر عناصر بردار زیرفضای نویز هستند
۳۶	شکل (۱۰-۲): طیف Min-Norm برای آرایه خطی یکنواخت
۳۶	شکل (۱۱-۲): مقایسه الگوریتم‌های MUSIC، Capon، Min-Norm و شکل دهنده پرتو
۴۰	شکل (۱۲-۲): الگوریتم ESPRIT
۴۶	شکل (۱۳-۲): فلوجارت الگوریتم DFT Beamspace ESPRIT
۵۰	شکل (۱۴-۲): فلوجارت الگوریتم APA
۵۲	شکل (۱۵-۲): شمای یکنواخت‌سازی فضایی پیشرو/پسرو
۵۴	شکل (۱۶-۲): منحنی شامل نقاط اکسترمم نسبی و زاویه‌دار
۵۵	شکل (۱۷-۲): نمایش منحنی و مشتقات مرتبه اول و دوم که دارای دو نقطه زاویه‌دار است
۵۶	شکل (۱۸-۲): طیف الگوریتم MUSIC با یک سیگنال
۵۶	شکل (۱۹-۲): طیف MUSIC برای دو منبع سیگنال که به هم نزدیک می‌شوند
۵۷	شکل (۲۰-۲): رسم طیف MUSIC برای دو سیگنال به صورت جداگانه و همزمان
۵۸	شکل (۲۱-۲): طیف MUSIC برای زوایای ورود صفر و سه درجه
۵۹	شکل (۲۲-۲): تفاضل مرتبه دوم طیف MUSIC برای زوایای ورود صفر و ۳ درجه
۶۰	شکل (۲۳-۲): طیف کاپون برای زوایای ورود صفر و ۶ درجه
۶۱	شکل (۲۴-۲): تفاضل مرتبه دوم طیف کاپون برای زوایای ورود صفر و ۶ درجه
۶۳	شکل (۲۵-۲): طیف‌های MUSIC و $\mathbf{P}_n^{-1}(\theta)$ برای دو زاویه ورود
۶۸	شکل (۲۶-۲): طیف کاپون برای سه زاویه صفر، ۱ و ۱/۵ درجه
۷۱	شکل (۱-۳): چگونگی ارتباط برنامه‌های شبیه‌سازی داده‌ها و الگوریتم‌ها
۷۳	شکل (۲-۳): مقایسه طیف فضایی MUSIC، Capon و تاخیر-جمع در حضور سه منبع
۷۴	شکل (۳-۳): مقایسه طیف‌های فضایی MUSIC نسبت به سیگنال به نویزهای مختلف
۷۵	شکل (۴-۳): مقایسه طیف فضایی MUSIC و روش پیشنهادی در حضور چهار منبع

- شکل (۳-۵): مقایسه طیف‌های روش پیشنهادی، نسبت به تغییر SNR ۷۶
- شکل (۳-۶): طیف روش پیشنهادی تفاضل مرتبه دوم برای دو منبع ۷۷
- شکل (۳-۷): طیف الگوریتم MUSIC برای دو منبع ۷۷
- شکل (۳-۸): مقایسه طیف‌های فضایی روش پیشنهادی دوم در سیگنال به نویزهای مختلف ۷۸
- شکل (۳-۹): تغییر خطای RMSE برای الگوریتم‌های MUSIC، کاپون و روش پیشنهادی ۸۰
- شکل (۳-۱۰): تغییر خطای RMSE برای الگوریتم MUSIC و روش پیشنهادی برحسب تغییر نسبت سیگنال به نویز ۸۱
- شکل (۳-۱۱): مقایسه تغییر خطای RMSE برای الگوریتم MUSIC و روش پیشنهادی برحسب تغییر تعداد نمونه‌های داده. ۸۲
- شکل (۳-۱۲): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر فاصله زاویه‌ای بین منابع ($\theta_1 = 0^\circ$ و θ_2 تغییر می‌کند)، برای روش‌های مختلف ۸۳
- شکل (۳-۱۳): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر نسبت سیگنال به نویز درحالتی که $\theta_1 = -6$ و $\theta_2 = 6$ درجه و $K=1024$ ۸۴
- شکل (۳-۱۴): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر تعداد نمونه‌های داده درحالتی که $\theta_1 = -6$ و $\theta_2 = 6$ درجه و $SNR=0dB$ ۸۴
- شکل (۳-۱۵): مقایسه بین روش‌های پیشنهادی کور برای دو منبع که یکی در صفر و دیگری در $[7^\circ, 8^\circ, 10^\circ, 20^\circ]$ قرار دارند، $SNR=0dB$ ۸۵
- شکل (۳-۱۶): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر فاصله زاویه‌ای منابع ($\theta_1 = 0$ و θ_2 تغییر می‌کند) $SNR=0dB$, $k=1024$ ۸۶
- شکل (۳-۱۷): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر نسبت سیگنال به نویز درحالتی که $\theta_1 = -6$ و $\theta_2 = 6$ درجه و $K=1024$ ۸۶
- شکل (۳-۱۸): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر تعداد نمونه‌های داده درحالتی که $\theta_1 = -6$ و $\theta_2 = 6$ درجه و $SNR=0dB$ ۸۷
- شکل (۳-۱۹): مقایسه تغییر خطای RMSE با تغییر فاصله زاویه‌ای منابع ($\theta_1 = 0$ و θ_2 تغییر می‌کند) $SNR=0dB$, $k=1024$ ۸۸

فصل اول

مقدمه

در این فصل بر روی مقدماتی در مورد پردازش آرایه‌ای سیگنال‌ها و همچنین ساختار کلی فصل‌های بعدی بحث شده است. شرایط همبستگی سیگنال‌ها نیز در بخش دوم بررسی شده است.

۱-۱ کلیات

پردازش آرایه‌ای حسگرها^۱ به‌طور گسترده در دهه‌های اخیر در آشکارسازی^۲ و تخمین پارامترهای سیگنال (در حضور نویز و تداخل) استفاده شده است. از برخی زمینه‌های کاربردی مهم، پردازش سیگنال آرایه سونار^۳ [۲ و ۱]، رادار [۴ و ۳]، مخابرات سیار [۵]، پردازش گفتار با آرایه میکروفن [۶]، پردازش امواج زلزله [۷] و مهندسی پزشکی [۸] را می‌توان نام برد. همچنین پردازش آرایه در چند سال گذشته به‌دلیل استفاده از فناوری دسترسی چندگانه فضایی^۴ (SDMA) در آنتن‌های هوشمند^۵ که اجزای اصلی سیستم‌های ارتباط سیار نسل سوم و بالاتر هستند، مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

پردازش آرایه یکی از شاخه‌های علم پردازش سیگنال است که در آن با استفاده از آرایه‌ای از حسگرها، پارامترهای موجود در سیگنال‌هایی که توسط تعداد زیادی منبع تولید و به‌صورت موج در محیط منتشر شده‌اند، استخراج می‌گردند. این امواج می‌توانند از نوع الکترومغناطیسی و یا صوتی باشند. یک آرایه مجموعه‌ای از حسگرها است که با چیدمان خاصی در نقاط مختلف فضا توزیع شده‌اند. سیگنال انتشاری به‌طور همزمان توسط این حسگرها نمونه‌برداری و ذخیره می‌شود. خروجی حسگرها ترکیبی از مؤلفه‌های مربوط به منابع و نویز جمع شونده می‌باشند. هدف از پردازش سیگنال‌های آرایه‌ای، استخراج مشخصات زمانی و فضایی سیگنال دریافتی (مانند توان و

¹- Sensor Array Processing

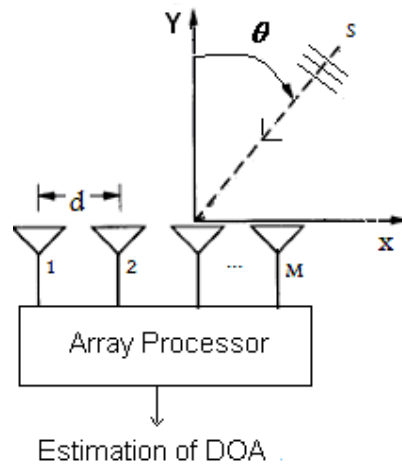
²- Detection

³- Sound Navigation and Ranging

⁴- Spatil Division Multiple Access

⁵- Smart Antenna

زاویه‌ی ورود و ...) است. به‌طور کلی آرایه‌ها بر دو نوعند: فعال و غیرفعال. در نوع فعال، حسگرها از خود سیگنال ساطع می‌کنند. این سیگنال‌ها در محیط منتشر شده و پس از برخورد با اهداف به طرف آرایه باز می‌گردند. پارامترهای اهداف نظیر سرعت، فاصله و موقعیت زاویه‌ای از روی سیگنال بازگشتی تخمین زده می‌شوند. سونار فعال و رادار آرایه فازی مثال‌هایی از این نوع آرایه‌ها هستند. در نوع غیرفعال، حسگرها هیچ انرژی‌ای از خود ساطع نمی‌کنند و تنها با استفاده از سیگنال‌های تولید شده توسط خود منابع، پارامترهای مورد نظر استخراج می‌شوند. در شکل (۱-۱) بلوک دیاگرام کلی یک پردازشگر آرایه‌ای M حسگری نشان داده شده است که امواج انتشاری منبع سیگنال s که در جهت θ نسبت به محور عمودی Y به آرایه می‌رسد را دریافت می‌کند و با اعمال الگوریتم‌های پردازشی مناسب به تخمین پارامترهای مکانی و زمانی این منابع می‌پردازد. فاصله بین حسگرها برابر d است.



شکل (۱-۱): شمای کلی یک پردازشگر آرایه.

۲-۱ مقدمه‌ای بر پردازش آرایه‌ای

پردازش آرایه‌ای معمولاً در دو مرحله انجام می‌گیرد: آشکارسازی و تخمین. آشکارسازی در مورد تعداد منابع سیگنال دریافتی به آرایه و تخمین، در مورد تخمین پارامترهای مکانی سیگنال همچون زاویه‌ی ورود (DOA) منابع سیگنال نسبت به آرایه بحث می‌نماید. تخمین زاویه‌ی ورود منابع سیگنال با استفاده از آرایه‌ای از حسگرها در دو دهه‌ی اخیر مورد توجه ویژه قرار گرفته و

موضوع پژوهش‌های بسیاری بوده است. این مسأله در سیستم‌های نظامی و غیر نظامی مانند سونار، رادار و سیستم‌های مخابراتی کاربرد دارد. اولین روش‌های مطرح شده در این راستا روش‌های مبتنی بر جهت‌دهی پرتو بودند.

نقطه ضعف عمده روش‌های مبتنی بر جهت‌دهی پرتو این است که کارایی آن‌ها، به اندازه‌ی آرایه (روزنه‌ی مؤثر^۱)، بستگی دارد و قدرت تفکیک آن‌ها پایین است [۹]. یک دسته‌ی دیگر از روش‌ها، روش‌های مبتنی بر حداکثر درست‌نمایی (ML) هستند که دارای دقت خوبی نسبت به روش‌های قبل می‌باشند. ولی مشکل اصلی آن‌ها این است که نیاز به حل یک مسأله‌ی بهینه‌سازی چندبعدی دارند که بار محاسباتی بالایی دارد. در ادامه‌ی این فعالیت‌ها، روش‌های مبتنی بر زیرفضا^۲ ارائه شده‌اند. در این روش‌ها نیاز به تجزیه‌ی ویژه^۳ ماتریس کواریانس آرایه است. این روش‌ها دارای قدرت زیادی در تفکیک منابع نزدیک به هم هستند و به همین دلیل به روش‌های با قدرت تفکیک بالا^۴ معروف هستند. میزان پیچیدگی محاسباتی این روش‌ها نیز نسبتاً پایین است. یکی از مشهورترین این روش‌ها، روش MUSIC^۵ است [۱۰ و ۱۱]. تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که الگوریتم‌های تخمین زاویه‌ی ورود سیگنال به‌خصوص روش‌های مبتنی بر زیرفضا به خطای آرایه‌ی حسگرها (انحرافات بهره، فاز حسگرها و خطاهای مکانی آن‌ها) حساس هستند [۱۲ و ۱۳]. برای کاهش این مشکل، الگوریتم‌های خود کالیبره^۶ که زوایای ورود و پارامترهای پارامترهای بردار پاسخ آرایه‌ی انحراف یافته را به طور همزمان تخمین می‌زنند، به کار گرفته شده‌اند [۱۲]. در روش‌های جهت‌یابی، به‌خصوص در روش‌های مبتنی بر زیرفضا، لازم است تعداد منابع سیگنال که به آرایه می‌رسند از قبل مشخص و یا با استفاده از داده‌ها تخمین زده شوند. معمولاً تخمین تعداد منابع سیگنال به کمک معیارهای تئوری اطلاعاتی^۷ AIC [۱۴] و MDL^۸

^۱ - Effective Aperture

^۲ - Subspace-Based Methods

^۳ - Eigen-Decomposition

^۴ - High Resolution Methods

^۵ - Multiple Signal Classification

^۶ - Self-Calibrated

^۷ - Akaike Information Criterion

^۸ - Minimum Description Length criterion

[۱۵] انجام می‌گیرد. البته در این میان روش‌هایی ارائه شده اند که بدون اطلاع از تعداد منابع، راستای ورود سیگنال‌ها را پیدا می‌کنند [۱۶-۲۰].

در حالت کلی ممکن است سیگنال‌ها نسبت به هم ناهمبسته یا همبسته باشند. سیگنال‌های تولید شده از یک هدف می‌توانند در اثر انعکاس، برگشت‌های متعددی ایجاد نمایند که نمونه‌های تأخیر یافته و وزن داده سیگنال مستقیم رسیده به آرایه می‌باشند. این سیگنال‌ها با هم و با سیگنال اصلی همدوس^۱ هستند. به‌عنوان مثال در رادار و همین‌طور در سونار برگشت‌های چند مسیره، منجر به ایجاد سیگنال‌های همدوس با سیگنال اصلی می‌شوند. برای دو سیگنال $s_i(t)$ و $s_j(t)$ که متقابلاً ایستاد باشند، ضریب همبستگی متقابل ρ_{ij} آن‌ها را چنین تعریف می‌کنیم:

$$\rho_{ij} = \frac{E\{s_i(t)s_j^*(t)\}}{\sqrt{E\{|s_i(t)|^2\}E\{|s_j(t)|^2\}}} \quad (1-1)$$

در صورتی که $0 < |\rho_{ij}| < 1$ باشد، دو سیگنال $s_i(t)$ و $s_j(t)$ همبسته هستند و اگر $|\rho_{ij}| = 1$ باشد، سیگنال‌ها همدوس و اگر $|\rho_{ij}| = 0$ باشد، سیگنال‌ها ناهمبسته هستند. در واقع در حالت همدوس، $s_j(t) = \alpha s_i(t)$ که $\alpha = \alpha_m e^{j\phi_m}$ یک ثابت مختلط غیر تصادفی است. در عمل از آنجایی که عوامل طبیعی ایجاد کننده سیگنال‌ها و نویز غالباً مستقل هستند، می‌توان آن‌ها را نسبت به هم ناهمبسته در نظر گرفت. اما نویز حسگرهای مختلف ممکن است با یکدیگر همبسته یا ناهمبسته باشند. یک فرض استاندارد این است که آن‌ها را فرایندهای ناهمبسته و یکسان در نظر بگیریم. یعنی اگر $n_i(t)$ و $n_j(t)$ نشان دهنده نویز حسگرهای i ام و j ام باشند، داریم:

$$E\{n_i(t)n_j^*(t)\} = \sigma_n^2 \delta_{ij} \quad (2-1)$$

سیگنال‌ها را از لحاظ پهنای باند می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: سیگنال‌هایی که می‌توان با دقت خوبی با یک فرکانس مشخص کرد، سیگنال‌های باند باریک نام دارند. در مقابل سیگنال‌هایی که یک محدوده فرکانسی قابل توجهی را اشغال می‌کنند، باند وسیع نامیده می‌شوند.

^۱- Coherent

از لحاظ فیزیکی سیگنال‌ها ممکن است از فاصله دور نسبت به آرایه سرچشمه گرفته باشند. در حالت باند باریک، امواج حاصل حامل اطلاعات را در محل آرایه می‌توان صفحه‌ای در نظر گرفت. در حالت سیگنال‌های باند باریک، اگر این امواج صفحه‌ای از میان یک محیط همگن عبور نمایند تنها یک تأخیر انتشار در آن‌ها ایجاد می‌شود. خروجی هر یک از حسگرهای آرایه را می‌توان توسط نمونه تأخیر یافته سیگنال‌ها در محل حسگر مرجع نمایش داد. مسائل عملی مورد علاقه در پردازش سیگنال آرایه‌ای، استخراج پارامترهایی از قبیل جهت دریافت، سطح توان و همبستگی متقابل سیگنال‌های موجود در صحنه، از روی اطلاعات موجود و داده‌های اندازه‌گیری شده می‌باشد.

۳-۱ ساختار پایان‌نامه

در ادامه و در فصل دوم ابتدا به معرفی مدل سیگنال خروجی آرایه در حوزه‌های زمان و فرکانس می‌پردازیم. روش‌های تخمین زاویه‌ی ورود منابع سیگنال باند باریک، شامل روش‌های مبتنی بر جهت‌دهی پرتو، روش‌های زیرفضا، همچنین روش‌های حداکثر درستی را معرفی و معایب و مزایای هر یک را بیان می‌کنیم. همچنین در این فصل روشی جدید برای تخمین زاویه ورود سیگنال دریافتی با استفاده از تفاضل مرتبه دوم ارائه گردیده است، که باعث بالا رفتن دقت و قدرت تفکیک زاویه ورود سیگنال دریافتی می‌گردد. همچنین روش دیگری پیشنهاد شده که بدون نیاز به تعداد منابع، راستای ورود را تعیین می‌کند. در پایان فصل تعدادی از روش‌های تعیین تعداد منابع معرفی شده و روش ساده‌ای بر مبنای الگوریتم کاپون پیشنهاد شده است. فصل سوم شامل نتایج شبیه‌سازی روش‌های ارائه شده در تخمین زاویه ورود سیگنال دریافتی در فصل دوم است. فصل چهارم نیز شامل نتیجه‌گیری و ارائه‌ی پیشنهادات است.

فصل دوم

پردازش سیگنال آرایه‌ای و روش‌های

تعیین راستای ورود سیگنال

یکی از کاربردهای اصلی پردازش سیگنال آرایه‌ها، پردازش خروجی داده‌های حسگرها و تعیین موقعیت اهداف و منابع سیگنال است. یک یا چند آرایه متشکل از تعدادی حسگر برای تعیین تعداد منابع رسیده به آرایه و همچنین تعیین جهت منابع نسبت به محور آرایه به کار گرفته می‌شود و با پردازش خروجی حسگرها می‌توان تعداد و جهت دقیق منابع را به دست آورد. صرفنظر از شکل آرایه، خروجی هر حسگر مجموعه‌ای از سیگنال‌های تأخیر یافته است که با نویز و تداخل آمیخته شده‌اند. برای هر حسگر از آرایه و هر سیگنال مشخص، میزان تأخیری که این سیگنال‌ها در خروجی حسگرها دارند، به محل حسگرها و زاویه‌ی رسیدن سیگنال‌ها نسبت به محور یا نقطه‌ی مرجع بستگی دارد.

بیشتر روش‌های جهت‌یابی با این فرض که سیگنال‌های رسیده به آرایه دارای پهنای باند فرکانسی کم نسبت به فرکانس مرکزی هستند، به دست آمده‌اند و از مدل باند باریک استفاده می‌نمایند. در این فصل، به معرفی مدل کلی سیگنال‌ها در خروجی آرایه پرداخته و سپس مدل‌های باند باریک و باند پهن سیگنال‌های آرایه‌ای که در حوزه فرکانس نمایش یکسانی دارند را معرفی می‌نماییم. در ادامه مروری بر برخی روش‌های تخمین زاویه ورود منابع سیگنال باند باریک انجام می‌دهیم. سپس روشی جدید مبتنی بر تفاضل مرتبه دوم الگوریتم MUSIC برای تخمین زاویه ورود سیگنال دریافتی بیان می‌گردد که باعث بالا رفتن دقت و قدرت تفکیک زاویه ورود سیگنال دریافتی در سیگنال به نویزهای پایین و نیز کاهش خطای تخمین به‌طور چشمگیری می‌گردد. سپس روش دیگری ارائه می‌شود که بدون اطلاع از تعداد منابع به تخمین DOA آن‌ها می‌پردازد. در انتها با بیان مزایا و معایب هر یک از روش‌ها، آن‌ها را مقایسه می‌نماییم. لازم به ذکر است که روش‌های پردازش باند باریک آرایه از این رو اهمیت دارند که نه تنها ابزاری برای پردازش سیگنال‌های باند باریک، بلکه پایه و اساس روش‌های پردازشی سیگنال‌های باند پهن نیز هستند و

با پاره‌ای از تغییرات می‌توان آن‌ها را برای پردازش سیگنال‌های باند پهن نیز استفاده نمود. لذا در این پایان‌نامه بر روی روش‌های پردازشی باند باریک متمرکز می‌شویم.

۲-۲ مدل سیگنال خروجی آرایه

در این بخش مدل را برای سیگنال‌های باند باریک بدست می‌آوریم. ابتدا ساختار تاخیر انتشار نشان داده می‌شود. سپس ماتریس کواریانس فضایی، تشکیل شده و تجزیه طیفی آن آنالیز می‌شود. زیرفضاها به وسیله اجتماع مقادیر ویژه و بردارهای ویژه سیگنال و نویز که اجزای تشکیل دهنده سیگنال هستند بدست می‌آیند. از این به بعد از این ساختار داده برای تشریح روش‌های تعیین راستای ورود استفاده می‌شود.

۲-۲-۱ تاخیر انتشار در آرایه خطی یکنواخت

یک آرایه خطی یکنواخت با N حسگر به شماره‌های $0, 1, 2, \dots, N-1$ را در نظر بگیرید. همچنین فاصله بین حسگرها نصف طول موج در نظر گرفته شده است. چون حسگرهای آرایه نزدیک هم قرار گرفته‌اند، می‌توان فرض کرد که سیگنال‌های دریافتی توسط حسگرهای مختلف همبسته هستند. یک موج در حال انتشار، سیگنال $S(t)$ را حمل می‌کند که به وسیله هر حسگر آرایه در زمان کنونی دریافت می‌شود. فرض کنید که فاز سیگنال دریافتی در حسگر شماره صفر آرایه صفر باشد. فاز سیگنال دریافتی در هر حسگر دیگر آرایه نسبت به فاز حسگر شماره صفر اندازه‌گیری می‌شود. برای محاسبه اختلاف فاز باید اختلاف زمان رسیدن سیگنال به حسگر صفر و حسگر k اندازه‌گیری شود. با توجه به شکل (۲-۱) و روابط مثلثاتی، تاخیر زمانی به صورت زیر محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$\Delta t_k = \frac{kD \sin(\theta)}{c} \quad (1-2)$$

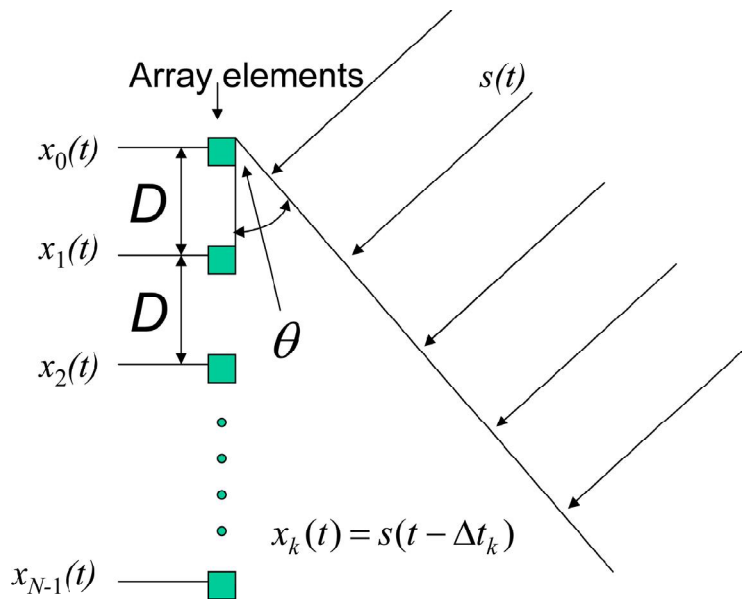
که c سرعت نور، k ثابت انتشار موج، D فاصله بین حسگرها و θ ، زاویه ورود به حسگرها می‌باشد.

فرض کنید که $S(t)$ سیگنال باند باریکی باشد که به صورت دیجیتالی مدوله شده است و معادل پایین‌گذر آن $S_l(t)$ باشد، که فرکانس حامل f_c است. می‌توان این را به صورت زیر نوشت [۲۱]:

$$S(t) = \text{Re}\{S_l(t)e^{j2\pi f_c t}\} \quad (۲-۲)$$

سیگنال دریافت شده به وسیله حسگر k ام برابر است با:

$$x_k(t) = \text{Re}\{S_l(t - \Delta t_k)e^{j2\pi f_c(t - \Delta t_k)}\} \quad (۳-۲)$$



شکل (۱-۲): موج در حال انتشار که به وسیله هر یک از عناصر دریافت می‌شود [۲۱].

حال فرض کنید که سیگنال دریافت شده در حسگر k ام به معادل باند پایه خود تبدیل شود، در این حالت سیگنال باند پایه برابر است با [۲۱]:

$$x_k(t) = S_l(t - \Delta t_k)e^{-j2\pi f_c \Delta t_k} \quad (۴-۲)$$