بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

روش‌های وارون زمانی در سنجش و تصویربرداری دوبعدی مایکروویو

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات

سید مجتبی رضویان

استاد راهنما

دکتر رضا صفیان

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق-مخابرات آقای سید مجتبی رضویان

تحت عنوان

روش‌های وارون زمانی در سنجش و تصویربرداری دوبعدی مایکروویو

در تاریخ ۱۳۹۲/۲/۵توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت

۱-استاد راهنمای پایان نامه	دکتر رضا صفیان
۲-استاد مشاور پایان نامه	دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مسعود عمومی

قدردانی

حمد و سپاس فراوان به درگاه خداوندی برم که دگر بار الطاف بیکران خود را شامل این حقیر نمود تا با استعانت از بارگاه احدیتش گامی دیگر در جهت کسب دانش بردارم و دری بر نادانسته های خود بگشایم و امید که در آینده نیز مشمول عنایات خاصه اش قرار گیرم.

بر دستان پدر و مادری که بذر عشق به آموختن را در وجودم نهادند بوسه می زنم و آن دو را که تجلی مهر و لطف خداوندی بر من هستند عاشقانه می ستایم.

با تمام وجود از مقام شامخ استادگران مایه ام جناب آقای دکتر رضا صفیان که در نهایت لطف و بزرگواری تمامی سعی و تلاش خود را در جهت اعتلای واقعی ارزش های آموزشی در کالبد هدایت هاور نمودها نسبت به اینجانب مبذول فرموده اند، کمال قدردانی را می نمایم.

از محضر استادگرامی جناب آقای دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد که مشاورت اینجانب را بر عهده داشتند و افتخار شاگردی را به اینجانب عطا فرمودند نهایت تشکر را دارم. از آقایان دکتر ذاکر حسین فیروزه و دکتر امیر برجی که زحمت باز خوانی و داوری این پایان نامه را پذیرفتند کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از آقایان محمد حسین حسینی، علی شهابی، صادق بناری، سید اسعد امیر حسینی، امین احمد زاده، مجتبی زنده بودی و سید جواد حسینی که در سال های تحصیل در دانشگاه و همچنین در مراحل مختلف این پژوهش یاریگر اینجانب بودند، سپاس گذاری نموده و پیروزی ایشان را در تمامی مراحل زندگی آرزومندم. یاد و خاطره تمامی دوستان عزیزم در دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد که ذکر نام یکایک ایشان در این مجال نمی گنجد را گرامی داشته و برای تمامی آن ها سعادت، سلامت و پیروزی را آرزو دارم.

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

تقدیم به

ختم آسمان‌ها، سپیدار نور و آن که خاک پایش توتیای چشم ماست،

صاحب زمان و دقایق (عج)

تقدیم به

پدر و مادرم که صبر و مهرشان پیمودن راه را برایم آسان می‌نماید،

و

برادرانم و خواهرانم که امید بخش راهم می‌باشند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب . . . . . هشت

لیست تصاویر . . . . . یازده

چکیده ۱

فصل اول : مقدمه **۲**

۱-۱ پیش‌زمینه ۲

۱-۲ مروری بر کارهای پیشین ۴

۱-۳ ساختار پایان نامه ۶

فصل دوم : مبانی نظری وارون زمانی امواج الکترومغناطیسی **۸**

۲-۱ مقدمه ۸

۲-۲ آزمایش وارون زمانی ۹

۲-۳ تحلیل وارون زمانی به کمک روش های عددی ۱۱

۲-۴ خلاصه و نتیجه گیری ۱۵

فصل سوم : روش های تصویربرداری با تحلیل عملگر وارون زمانی **۱۷**

۳-۱ مقدمه ۱۷

۳-۲ تجزیه ماتریس عملگر وارون زمانی مکان-مکان ۲۰

۳-۳ DORT ۲۳

۳-۳-۱ شبیه سازی DORT ۲۵

۳-۴ TR-MUSIC ۲۶

۳-۵ تعیین قدرت پراکندگی اجسام ۳۷

۳-۵-۱ حالت DWBA ۳۷
۳-۵-۲ حالت پراکندگی چندگانه ۳۸
۳-۶ جداسازی آرایه آنتن فرستنده و گیرنده ۴۱
۳-۶-۱ بررسی تابع تصویر H-MUSICدر حالت جداسازی آرایه آنتن فرستنده و گیرنده ۴۲
۳-۷ تصویر برداری وارون زمانی پهن باند در حوزه مکان–فرکانس ۴۴
۳-۷-۱ تصویر برداری مکان–فرکانس با استفاده از MDMهای مکان فرکانس–مجزا ۴۵
۳-۷-۲ تصویر برداری مکان–فرکانس با استفاده از MDMهای مکان–فرکانس کامل ۵۰
۳-۸ خلاصه و نتیجه گیری ۵۱

فصل چهارم : تصویر برداری پشت دیوار و ردیابی اجسام در حضور کلاتر با استفاده از وارون زمانی تفاضلی **۵۳**

۴-۱ مقدمه ۵۳
۴-۲ روش جداکردن اجسام متحرک و ثابت ۵۴
۴-۲-۱ طرح کلی مسأله ۵۴
۴-۲-۲ آشکارسازی جسم ثابت ۵۷
۴-۲-۳ آشکارسازی جسم متحرک ۵۸
۴-۳ تصویربرداری پشت دیوار ۵۹
۴-۳-۱ محاسبه تابع گرین محیط چند لایه ۶۳
۴-۳-۲ نتایج شبیه سازی ۶۵
۴-۴ ردیابی و تعقیب اجسام در پشت دیوار ۶۸
۴-۵ خلاصه و نتیجه گیری ۶۹

فصل پنجم : تصویربرداری با استفاده از تجزیه سیگنال ها از طریق روش ICA **۷۳**

۵-۱ مقدمه ۷۳
۵-۲ تعریف کلی تحلیل مؤلفه های مستقل ۷۷
۵-۲-۱ ICAبه عنوان تخمین مدل طرح ترکیبی ۷۷
۵-۲-۲ محدودیت های روش ICA ۷۸
۵-۲-۳ ابهامات روش ICA ۷۹

۵-۲ -۴ تمرکز کردن متغیرها ۸۰
۵-۳ نمایش ICA ۸۰
۵-۴ قوی تر بودن روش ICAاز عمل سفید سازی ۸۲
۵-۴ -۱ غیرهمبستگی و سفیدسازی ۸۳
۵-۴ -۲ سفید سازی نیمی از ICAمی باشد ۸۴
۵-۵ ICAاز طریق ماکزیمم کردن غیرگاوسی بودن ۸۵
۵-۵ -۱ غیرگاوسی بودن مستقل می باشد ۸۶
۵-۵ -۲ محاسبه غیر گاوسی بودن با استفاده از کشیدگی ۸۷
۵-۵ -۳ الگوریتم گرادیان با استفاده از کشیدگی ۹۱
۵-۵ -۴ الگوریتم نقطه ثابت سریع با استفاده از کشیدگی ۹۱
۵-۵ -۵ محاسبه غیر گاوسی با استفاده از نژانتروپی ۹۲
۵-۵ -۶ تخمین نژانتروپی ۹۳
۵-۵ -۷ الگوریتم گرادیان با استفاده از نژانتروپی ۹۴
۵-۵ -۸ الگوریتم نقطه ثابت سریع با استفاده از نژانتروپی ۹۵
۵-۶ تصویربرداری مایکروویو باستفاده از روش تجزیه سیگنال ها از طریق ICA ۹۷
۵-۷ خلاصه و نتیجه گیری ۱۰۲

فصل ششم : نتیجه‌گیری و پیشنهادات **۱۰۳**

۶-۱ نتیجه‌گیری ۱۰۳
۶-۲ پیشنهادات ۱۰۵
منابع و مراجع ۱۰۶

لیست تصاویر

۲-۱ آزمایش وارون زمانی با آرایه محدود ۱۰

۲-۲ نمایش پالس پهن باند BHهمراه با مشتقات آن در حوزه زمان و فرکانس و مقایسه آن با پالس گوسی ۱۳

۲-۳ (الف–ج) لحظه هایی از انتشار به جلو مؤلفه E_z میدان الکتریکی در یک محیط همگن وقتی که یک پالس کوتاه از منبع نقطه ای دایره ای شکل انتشار می یابد. سیگنال‌ها توسط آرایه آنتن که با $\bigtriangledown$ نشان داده شده اند ضبط و پس از وارون کردن سیگنال در زمان به محیط برگشت داده می شوند. (د–و) لحظه هایی از انتشار به عقب مؤلفه E_z میدان الکتریکی، وقتی که میدان های ضبط شده توسط آرایه آنتن، وارون زمانی و سپس به محیط برگشت داده می شوند. توجه شود که میدان ها در لحظه $t = 0$ در منبع اولیه خود متمرکز می شوند. ۱۴

۲-۴ (الف–ج) تصاویری از انتشار پیش رونده مؤلفه (E_z) میدان الکتریکی در یک محیط غیر همگن وقتی که یک پالس کوتاه از نقطه دایره ای سیاه رنگ منتشر می شود. چندمسیرگی ها یی توسط تعدادی سیلندر دی الکتریک و فلزی مجزا که به صورت مربع در شکل نشان داده شده اند ایجاد می کنیم. سیگنال‌ها توسط آرایه وارون زمانی که با علامت $\bigtriangledown$ در شکل ها نشان داده شده است، ضبط می شوند و سپس برای پس فرستادن به محیط در زمان وارون می شوند. (د–ه) تصاویری از انتشار پس رونده مؤلفه (E_z) میدان الکتریکی وقتی که میدان های وارون زمانی شده توسط آرایه وارون زمانی به محیط منتشر می شوند. ۱۵

۲-۵ مقایسه اندازه ناحیه تمرکز میدان الکتریکی در محل منبع برای دو حالت محیط همگن و محیط ناهمگن با پراکنده کننده های مجزا ۱۶

۲-۶ افزایش روزنه موثر در محیط با استفاده از چند مسیرگی ها. (الف) محیط همگن بدون چند مسیرگی ها ($a_e = a$) ،(ب) چندمسیرگی های ایجاد شده توسط پراکنده کننده های مجزا ($a_e \geq a$) ۱۶

۳-۱ عمل DORT: (الف) ابتدا ماتریس های MDMاز طریق انتشار یک پالس کوتاه از هر آنتن آرایه و ضبط همه سیگنال های میدان های پراکنده شده توسط تمام آنتن آرایه. (ب) انتخاب تمرکز از طریق انتشار دوباره بردار ویژه مربوطه توسط آرایه آنتن. (ج) از طریق وارون زمانی معمولی انتخاب روی همه پراکنده کنندگان خواهد بود. . . . ۱۸

۲-۳ شمایل کلی بدست آوردن $k_{ij}(\omega)$ و بردار گردشی (در حالت نادیده گرفتن پراکندگی چندگانه بین پراکنده کنندگان). (الف) $k_{ij}(\omega)$ از طریق فرستادن یک پالس کوتاه از آنتن jام و ضبط میدان های پراکنده شده توسط آنتن iام بدست می آید. (ب) بردارهای گردشی، هر پراکنده کننده را به آرایه آنتن متصل می کند. ۲۱

۳-۳ برای پراکنده کننده های نقطه ای و کاملا مجزا، هر مقدار ویژه غیر صفر و بردار ویژه متناظر با آن در عملگر TROبه یک پراکنده کننده خاص در محیط مربوط می شود. بعبارتی هر بردار ویژه با بردار گردشی که پراکنده کننده را به آرایه آنتن متصل می کند، متناسب می باشد. ۲۴

۴-۳ نمایش مقادیر ویژه برای دو جسم پراکنده کننده هادی و دی الکتریک با ثابت دی الکتریک $\epsilon_r = 3$ و با شعاع های به ترتیب $2\,\mathrm{cm}$ و $3\,\mathrm{cm}$ ۲۶

۵-۳ عمل انتخاب از طریق DORTو مقایسه آن با وارون زمانی معمولی. جسم هادی به صورت علامت دایره ای شکل و جسم دی الکتریک به صورت علات مربع و همچنین آرایه آنتن به صورت $\bigtriangledown$ نشان داده شده اند. ۲۷

۶-۳ نگارش تصویر در حالتی که دو پراکنده کننده به هم نزدیک باشند. در این حالت قادر به تمرکز بر روی یک پراکنده کننده خاص از طریق عمل DORTنخواهیم بود. علامت دایره مکان جسم فلزی و علامت مربع مکان جسم دی الکتریک را نشان می دهد. ۲۸

۷-۳ نگارش تصویر یک جسم گسترده با استفاده از عمل DORT. شعاع جسم $20\,\mathrm{cm}$ و جنس آن هادی می باشد. . . ۲۹

۸-۳ نمای کلی حالت های کاملا مجزا و غیر مجزا بودن دو پراکنده کننده در محیط با $N = 3$ آنتن. وقتی که فضای سیگنالی را صفحه شامل بردارهای V_1 و V_2 در نظر بگیریم، بردار V_3 فضای صفر را ایجاد می کند که بر فضای سیگنالی عمود می باشد. ۲۹

۹-۳ نحوه قرار گرفتن پراکنده کننده های استوانه ای در محیط همراه با آرایش آنتن های آرایه وارون زمانی در حالت پراکنده کننده های کاملا مجزا ۳۱

۱۰-۳ تصویر برداری طرح شکل ۳-۹ با استفاده از روش TR-MUSICبرای حالت (الف) تک فرکانس و (ب) کلیه فرکانس ها . مکان جسم های فلزی، دی الکتریک و مختلط به ترتیب با علامت های دایره، مربع و جمع نشان داده شده اند. ۳۲

۱۱-۳ نحوه قرار گرفتن پراکنده کننده های استوانه ای در محیط همراه با آرایش آنتن های آرایه وارون زمانی در حالت پراکنده کننده های غیر مجزا ۳۳

۱۲-۳ مکان یابی جسم ها با استفاده از روش TR-MUSICبرای حالت غیر مجزا بودن پراکنده کنندگان در (الف) فرکانس $400\,\mathrm{MHz}$ ، (ب) فرکانس $1\,\mathrm{GHz}$. مکان جسم های فلزی، دی الکتریک و مختلط به ترتیب با علامت های دایره، مربع و جمع نشان داده شده اند. ۳۴

۱۳-۳ مکان یابی جسم ها با استفاده از روش TR-MUSICبرای حالت غیر مجزا بودن پراکنده کنندگان در مجموع همه فرکانس ها. مکان جسم های فلزی، دی الکتریک و مختلط به ترتیب با علامت های دایره، مربع و جمع نشان داده شده اند. ۳۵

۱۴-۳ نگارش تصویر یک جسم گسترده با استفاده از عمل TR-MUSIC. شعاع جسم $20\,\mathrm{cm}$ و جنس آن هادی می باشد. ۳۵

۱۵-۳ مکان یابی جسم ها در حالت های (الف) کاملا مجزا و (ب) غیر مجزا با استفاده از تابع تصویر بهبود یافته ۲۴-۳ .جسم های فلزی، دی الکتریک و مختلط به ترتیب با علامت های دایره، مربع و جمع نشان داده شده اند. ۳۶

۱۶-۳ ضرایب قدرت پراکندگی جسم های شکل ۹-۳ بر حسب فرکانس ۳۸

۱۷-۳ ضرایب قدرت پراکندگی جسم های شکل ۱۱-۳ بر حسب فرکانس در حالت پراکنده کننده های غیر مجزا (الف) با استفاده از تخمین بورن (ب) با استفاده از روابط ۳۱-۳ الی ۳۳-۳ برای حالت پراکندگس چندگانه ۴۰

۱۸-۳ نحوه قرار گرفتن پراکنده کننده های استوانه ای در محیط که با علامت $\times$ نشان داده شده اند، همراه با آرایش آنتن های آرایه وارون زمانی فرستنده و گیرنده که به ترتیب با علامت های $\bigtriangledown$ و $\bigcirc$ نشان داده شده اند. ۴۳

۱۹-۳ مکان یابی جسم ها در طرح شکل ۱۸-۳ با استفاده تنها از بردار تشعشعی g_r (ترم H_2 در رابطه ۴۲-۳) ۴۳

۲۰-۳ مکان یابی جسم ها در طرح شکل ۱۸-۳ با استفاده تنها از بردار تشعشعی g_t (ترم H_1 در رابطه ۴۲-۳) ۴۴

۲۱-۳ مکان یابی جسم ها در طرح شکل ۱۸-۳ با استفاده همزمان از بردارهای تشعشعی g_t و g_r ۴۴

۲۲-۳ سیگنال زمانی $s^3(t)$ حاصل از جمع جبری هفت بردار ویژه راست ماتریس مکان–فرکانسی MDMمجزا ۴۷

۲۳-۳ سیگنال زمانی $r^3(t)$ همراه با تأخیرها و اندازه های لازم برای تمرکز بر روی پراکنده کننده مورد نظر در محیط . . ۴۷

۲۴-۳ تمرکز بر روی استوانه فلزی با استفاده از روش DORTبر روی ماتریس های MDMمکان–فرکانسی مجزا . . . ۴۸

۲۵-۳ استوانه فلزی با شعاع $2\,\mathrm{cm}$ و با علامت دایره و جسم دی الکتریک با ثابت دی الکتریک $\epsilon_r = 5$ با علامت مربع مشخص شده است. ۴۸

۲۶-۳ مکان یابی دو جسم هادی و دی الکتریک با استفاده از ماتریس های MDMمکان–فرکانسی مجزا. استوانه فلزی با علامت دایره و استوانه دی الکتریک با علامت مربع نشان داده شده اند. ۴۹

۳-۲۷ مکان یابی جسم های تعبیه شده در محیط با استفاده از روش DORTبر روی ماتریس MDMمکان–فرکانس کامل. استوانه فلزی با علامت دایره و استوانه دی الکتریک با علامت مربع نشان داده شده است. ۵۲

۴-۱ طرح کلی مسئله: سه جسم استوانه ای ثابت، فلزی با علامت +، دی الکتریک با علامت ◯ و جسم مختلط با علامت × در محیط تعبیه شده اند. یک جسم استوانه ای مختلط نیز در هشت تصویر پی در پی که با علامت مربع مشخص شده اند. در حال حرکت می باشد. المان های آرایه آنتن نیز با علامت ▽ مشخص شده اند. ۵۵

۴-۲ طیف فرکانسی مقادیر ویژه هفتمین تصویر لحظه ای عملگر عکس زمانی. طیف فرکانسی چهار مقدار ویژه غالب اول، حظور چهار جسم در محیط تحت بررسی را نشان می دهد. ۵۶

۴-۳ الگوریتم مکان یابی جسم های ثابت و متحرک ۵۶

۴-۴ طیف فرکانسی مقادیر ویژه عملگر وارون زمانی ماتریس MDMمتوسط گیری شده. طیف فرکانسی مقدار ویژه غالب، حظور سه جسم ثابت در محیط را نشان می دهد. ۵۷

۴-۵ مکان جسم های ثابت از طریق اعمال TR-MUSICبر روی ماتریس های MDMمتوسط گیری شده. اثر جسم متحرک که با علامت مربع نشان داده شده است در اثر متوسط گیری از بین رفته است و فقط جسم های ثابت در محیط مکان یابی شده اند. ۵۸

۴-۶ طیف فرکانسی مقادیر ویژه غالب، پس از عمل تفاضل از ماتریس های MDMدر تصویرهای لحظه ای ششم و هفتم. تحت عمل تفاضل بر روی ماتریس های MDMتنها اثر جسم متحرک باقی می ماند و اثرات جسم های ثابت از بین می رود. ۵۹

۴-۷ مکان یابی جسم متحرک در اثر اعمال TR-MUSICبر روی ماتریس های تفاضلی MDMدر لحظات ۱ و ۲ شکل ۴-۱ در فرکانس های (الف) 400 MHz و (ب) 1 GHz. ۶۰

۴-۸ ردیابی جسم متحرک از طریق اعمال TR-MUSICبر روی ماتریس های تفاضلی MDMپی در پی در شکل ۴-۱ . مکان جسم در محلی بین دو مکان ابتدایی و ثانویه جسم متحرک تشخیص داده می شود. مکان های اولیه و ثانویه جسم متحرک با علامت مربع نشان داده شده است. ۶۱

۴-۹ ردیابی و مکان یابی نهایی جسم متحرک در شکل ۴-۱. مکان تشخیص داده شده با علامت ⊙ و مکان های اولیه و ثانویه جسم با علامت مربع نشان داده شده اند. ۶۲

۴-۱۰ نمای کلی قرار گرفتن آنتن ها در پشت دیوار به منظور محاسبه تابع گرین ۶۳

۴-۱۱ محاسبه تابع گرین فضای آزاد از روش نقاط زینی و مقایسه آن با توابع گرین تحلیلی فضای آزاد ۶۶

۱۲-۴ محاسبه تابع گرین محیط چند لایه در شکل ۴-۱۰ از روش نقاط زینی و مقایسه آن با روش حل انتگرالی سامرفلد. . ۶۷
۱۳-۴ مکان یابی اجسام از پشت دیوار با استفاده از روش TR-MUSICو استفاده از تابع گرین محیط چند لایه. استوانه فلزی و دی الکتریک و مختلط به ترتیب با علامت های مربع، دایره و ضربدر نشان داده شده اند. آنتن های آرایه نیز با علامت ▽ مشخص شده اند. ۶۸
۱۴-۴ طرح اولیه برای ردیابی جسم متحرک در پشت دیوار. آنتن فرستنده در جلو دیوار با علامت ▽ و آنتن های گیرنده با علامت ◯ در پشت دیوار مشخص شده اند. کلاتر در جلو دیوار با علامت مربع و مکان اولیه و نهایی جسم با علامت × مشخص شده اند. ۶۹
۱۵-۴ ردیابی جسم متحرک در پشت دیوار با حضور کلاتر و استفاده از یک آنتن فرستنده در جلو دیوار. ۷۱
۱۶-۴ ردیابی نهایی جسم متحرک در شکل ۴-۱۴ با علامت × مشخص شده است ۷۲

۱-۵ مسأله Cocktail-party ۷۴
۲-۵ سیگنال های مستقل اصلی قبل از ترکیب شدن ۷۵
۳-۵ ترکیب سیگنال های شکل ۵-۲ . . . . . ۷۵
۴-۵ تجزیه سیگنال های ترکیبی شکل ۵-۳ به سیگنال های پایه مستقل از طریق الگوریتم ICA ۷۶
۵-۵ چگالی تؤام مؤلفه های مستقل s_1 و s_2 با توزیع یکنواخت. محور افقیک s_1، محور عمودی: s_2. . . . . ۸۱
۶-۵ چگالی تؤام داده های ترکیبی x_1 و x_2. محور افقی x_1، محور عمودی x_2. . . . . ۸۲
۷-۵ چگالی یک مولفه مستقل سوپر گاوسی. چگالی گاوسی برای مقایسه کردن با خط چین نمایش داده شده است. . . ۸۲
۸-۵ چگالی تؤام مؤلفه های مستقل (الف) و داده های ترکیبی (ب) با توزیع سوپر گاوسی ۸۳
۹-۵ چگالی تؤام داده های ترکیبی سفید شده با توزیع یکنواخت مؤلفه های مستقل. ۸۶
۱۰-۵ جست و جو بدنبال جهتی در داده های ترکیبی با توزیع یکنواخت مؤلفه های مستقل، که غیرگاوسی بودن را ماکزیمم کند. ۸۹
۱۱-۵ مقدار کشیدگی بر حسب زاویه برای شکل ۵-۱۰ . . . . . ۸۹
۱۲-۵ جست و جو بدنبال جهتی در داده های ترکیبی با توزیع سوپر گاوسی مؤلفه های مستقل، که غیرگاوسی بودن را ماکزیمم کند. ۹۰
۱۳-۵ مقدار کشیدگی بر حسب زاویه برای شکل ۵-۱۲ . . . . . ۹۰

۱۴-۵ طرح پیشنهادی برای تصویر برداری. آنتن های گیرنده با علامت مثلث و آنتن فرستنده با علامت مربع و دو پراکنده کننده فلزی با علامت ◯ نشان داده شده اند. ۹۸

۱۵-۵ سیگنال های مناسب با دامنه های مناسب بعد از عمل ICAبرای تمرکز بر روی پراکنده کننده اول. ۹۹

۱۶-۵ عمل انتخاب پراکنده کننده اول تنها با یک فرستنده و یک آرایه از طریق روش ICA ۱۰۰

۱۷-۵ سیگنال های مناسب با دامنه های مناسب بعد از عمل ICAبرای تمرکز بر روی پراکنده کننده دوم ۱۰۰

۱۸-۵ عمل انتخاب پراکنده کننده دوم تنها با یک فرستنده و یک آرایه از طریق روش ICA ۱۰۱

۱۹-۵ عمل انتخاب پراکنده کننده ها تنها با یک فرستنده و یک آرایه از طریق روش SVD. برای تمرکز از اولین بردار ویژه چپ و اولین بردار ویژه راست استفاده شده است. ۱۰۱

۲۰-۵ عمل انتخاب پراکنده کننده ها تنها با یک فرستنده و یک آرایه از طریق روش SVD. برای تمرکز از دومین بردار ویژه چپ و دومین بردار ویژه راست استفاده شده است. ۱۰۲

چکیده

در این پایان‌نامه به کاربرد روش وارون زمانی در سنجش و تصویربرداری مایکروویو پرداخته شده است. استفاده از این تقارن بنیادی فیزیک منجر به کاربردهای بسیاری در آکوستیک و اخیراً در الکترومغناطیس شده است. وارون زمانی با توجه به تغییر ناپذیری معادله موج تحت وارون شدن زمان، با بهره‌گیری از سیگنال‌های بازارسال سبب بهبود تمرکز و تصویربرداری می‌شود. این ویژگی به این دلیل است که سیگنال‌های بازارسال به صورت backward در همان محیط منتشر شده وهمه پدیده‌های پراکندگی و بازتاب انتشار مستقیم را به صورت معکوس تجربه می‌کنند و در محل منبع اولیه متمرکز می‌شوند. پس از آزمایش‌های موفق وارون زمانی در آکوستیک، انگیزه زیادی برای استفاده از وارون زمانی در امواج الکترومغناطیسی پدید آمد. کاربردهای بسیاری توسط گروه‌های مختلف برای وارون زمانی امواج الکترومغناطیسی گزارش شده است که از آن جمله می‌توان به سنجش زیرسطحی، تست‌های غیر مخرب، کاربردهای پزشکی و درمانی و تصویربرداری اشاره کرد. ابتدا مبانی نظری وارون زمانی امواج الکترومغناطیسی بررسی شده است. سپس به کمک تحلیل‌های عددی نتایج روابط نظری نمایش داده شده است. با تشکیل ماتریس پراکندگی چندایستگاهی و تحلیل آن، تمرکز انتخابی روی پراکنده‌سازها میسر شد. در اختیار داشتن مشخصات دیوار و تابع گرین محیط پس‌زمینه نقش بسیار مهمی در آشکارسازی و تصویربرداری از اهداف پنهان پشت دیوار دارد. تکنیک های مختلفی از جمله DORT و MUSIC برای استخراج اطلاعات از موج های پراکنده شده و مکان یابی جسم ها در محیط وجود دارند. در روش DORT امکان تمرکز بر روی یک پراکنده کننده خاص وجود دارد و لی در روش MUSIC این امکان وجود ندارد حال آنکه در روش MUSIC دقت مکان یابی بسیار بالاتر از روش DORT می باشد. مشکل روش DORT و MUSIC استفاده از تعداد فرستنده های زیاد برای تصویربرداری می باشد، که در اینجا از روش تجزیه سیگنال ها به مؤلفه های مستقل، ICA، استفاده شد و تنها با یک آنتن فرستنده و یک آرایه گیرنده مکان یابی اجسام همراه با عمل انتخاب تمرکز بر روی آنها مقدر ساخته شد.

کلمات کلیدی: وارون زمانی، تصویربرداری مایکروویو، سنجش از دور، عملگر وارون زمانی، دسته‌بندی اهداف راداری، تصویربرداری از پشت دیوار، ICA، PCA

فصل اول

مقدمه

۱-۱ پیش‌زمینه

سیستم های حسگر از راه دور فعال و غیر فعال در امواج مایکروویو و موج های میلیمتری توانایی های منحصر بفردی برای آشکار سازی و تصویر برداری از اجسام و اشخاص مخفی فراهم می کنند. برای مثال رادارهای نفوذ کننده در زمین (GPR) [۱] توانایی آشکار سازی مین های زمینی، لوله های تعبیه شده در زیر زمین و غیره را دارند و همچنین قابلیت تشخیص موانع زیر زمینی خطوط حمل و نقل را دارا هستند. همچنین امواج مایکروویو درای توانایی نفوذ در شاخ و برگ درختان و آشکار کردن وسایل نقلیه و افراد در تجهیزات و ساختار های نظامی و غیر نظامی درون جنگل می باشند. موج های میلیمتری توانایی نفوذ درون دیوارهای و لباس ها و بسیاری از بسته بندی های غیر رسانا را دارا می باشند. علاوه بر اجسام فلزی، سیستم های موج میلیمتری، تشخیص دارو ها، مواد قاچاق، مواد پلاستیکی قابل احتراق، و اجسام و سلاح های سرامیکی را با تصویر برداری خوب و قدرت تفکیک [۲] بالا می توانند انجام دهند. همچنین اشعه های X یک جست و جوی موفق درون اسباب و لوازم و دیگر جسم ها را می تواند داشته باشد، اما با در نظر گرفتن خطر سلامتی ناشی از اثرات یونیزه شدن، استفاده از این نوع اشعه برای جست و جوی سلاح ها و مواد قابل احتراق مخفی را غیر قابل قبول کرده است. فلز یاب ها تنها محدود به آشکار سازی اجسام فلزی می باشند و اطلاعات کمی

---

[۱] Ground Penetrating Radar

[۲] Resolution

در مورد ماهیت یا مکان جسم آشکار شده می دهد. بدلیل اینکه امواج مایکروویو و موج های میلی متری دارای نفوذ پذیری بهتری درون گردو غبار، دود، و مه هستند، حسگر های از راه دور در این فرکانس ها برای طرح های جنگی [۱] ، حملات ضد تروریستی و سیستم های ضد آتش مورد قبول قرار گرفته اند. حتی برای طرح های که هیچ استفاده بخصوصی در بین تکنولوژی های حسگرهای مختلف باشد، حسگرهای از راه دور امواج مایکروویو و موج میلیمتری بخاطر سادگی در یکپارچگی و قابلیت مجتمع سازی [۲] درون سیستم های حسگرهای چندگانه و شبکه های حسگرهای توزیعی [۳] نقش بسزایی را دارا می باشد.

با وجود این، مشکلاتی از جمله آسیب پذیری در شرایط مختلف جوی و افزایش تضعیف درون مواد بااتلاف برای استفاده کامل و بهینه از موج میلیمتری در سیستم های حسگر از راه دور نیز وجود دارند. بعلاوه، محیط های چندگانه برای طرح های حسگرهای از راه دور اختلال و مشکل بوجود می آورند، برای مثال خصوصیات ساختارهای پیچیده یا وجود پراکنده کننده های [۴] دیگر تشخیص اطلاعات و خصوصیات دقیق و مکان جسم را محدود میکنند. در نتیجه سیگنال های دریافتی از اجسام مورد نظر ضعیف یا توسط کلاتر [۵] در هم پیچیده می شود، که در این صورت باعث پیچیدگی آشکارسازی و ردیابی نامنظم و آشفته می شود که در این صورت بدست آوردن اطلاعات مفید برای تصویر برداری مشکل خواهد شد. برای مثال، در مخابرات دیجیتال، مولفه های چندمسیرگی باعث ایجاد تداخل سمبل-درونی [۶] می شوند که در پی آن مشکل تصمیم گیری در تشخیص صفر یا یک بودن سیگنال را ایجاد می کند. همچنین، عملکرد تکنیک پراکندگی معکوس، که توسط کران تفرق [۷] مرسوم محدود می شود (زمانی که هیچ گونه پراکنده کننده های چند مسیرگی وجود نداشته باشند) ، نشان داده شده است که با افزایش پراکندگی چند مسیرگی افت خواهد کرد. با وجود این، بر خلاف فرضیات مرسوم، دست آوردهای اخیر حاکی از آن است که مولفه های چندمسیرگی در واقع می توانند مسیرهای مستقلی بین فرستنده و گیرنده در حسگرهای از راه دور یا سیستم های مخابراتی ایجاد کنند [۱] طوریکه چندمسیرگی های اضافی را به اجزاء تقویت کننده در محیط های کلاتری تبدیل می کند. یکی از تکنیک های جدید روش معکوس-زمانی (TR) [۸] معرفی شده توسط فینک و همکارانش [۹] [۲] می باشد که از اجزاء چند مسیرگی درون

---

[۱] Battlefield scenarios

[۲] Integration

[۳] Distributed-sensor systems

[۴] Scatterers

[۵] Clutter

[۶] Inter-symbol interference

[۷] Diffraction

[۸] Time-Reversal

[۹] Fink et al

محیط مورد نظر برای رسیدن به یک ابر قدرت تفکیکی [۱] (قدرت تفکیکی که از کران تفرق مرسوم تجاوز می کند) بهره می برد. TR شامل فرستادن دوباره سیگنال های دریافتی توسط یک دسته فرستنده/گیرنده به صورت عکس-زمانی است که مشابه تماشای یک فیلم در برگشت دادن به عقب می باشد. ارسال دوباره سیگنال های زمان معکوسی باعث انتشار به عقب درون محیطی می شود که در جهت پیش رونده در آن انتشار پیدا کردند که در نتیجه از همان پراکنده کننده های چند مسیرگی ، تفرق و شکست ها درون محیط عبور خواهند کرد که در نهایت در محل اولیه منبع خود متمرکز خواهند شد. با تکیه بر عدم تغییر TR در معادله موج در حالت پایا (مستقل از زمان) و محیط بدون تلفات، TR از سیگنالهای پهن باند [۲] که دارای خصوصیات جالب توجهی می باشند بهره می گیرد. از جمله این خصوصیات می توان به موارد پیش رو اشاره کرد. در وهله اول، سیستم های پهن باند می توانند از فرکانس های پایین (نفوذپذیری بیشتر در مواد با اتلاف) و فرکانس های بالا (قدرت تفکیک بهتر) در عملکرد های مشابه به طور همزمان بهره مند شوند. در وهله دوم، در مقابل شرایط جوی مختلف و تداخل چندمسیرگی مصون می مانند و همچنین می توانند از چندمسیرگی برای بهبود عملکرد تصویربرداری استفاده کنند. در وهله سوم، سیگنال های پهن باند، تکنیک های تصویر برداری که متکی بر خصوصیات آماری محیط های تصادفی است را بهبود می بخشند و در نتیجه یک پایداری آماری در محیط تصادفی فراهم می آورد.

موفقیت های فینک در آزمایش های تجربی TR که از امواج فرکانس پایین صوتی و فراصوتی استفاده می کرد باعث ایجاد میل و رغبت در کاربرد روش های TR با استفاده از امواج الکترومغناطیس فرکانس رادیویی شده است. تحیقات بکاربرده شده در این پایان نامه بر روی معرفی تکنیک TR با استفاده از امواج الکترومغناطیسی تمرکز می کنیم و همچنین بهبود این روش در محیط های گوناگون و از طریق روش های مختلف را بحث خواهیم کرد. در حالت کلی این پایان نامه را به چهار بخش اصلی تقسیم خواهیم کرد. در بخش اول بر روی مفاهیم اصلی روش عکس زمانی بحث خواهیم کرد. بخش دوم بر روی روش های گوناگون تصویر برداری با استفاده از عملگر عکس-زمانی بحث خواهد کرد. در بخش سوم بر روی روش های مختلف تعقیب اجسام متحرک در فضای آزاد و همچنین پشت دیوار بحث خواهیم کرد. و در نهایت روشی برای کاهش اثرات کلاتر و سیگنال های مزاحم ارائه خواهیم کرد.

۱-۲ مروری بر کارهای پیشین

در حالت فرکانسی، عکس-زمانی به صورت یک مزدوج فاز مدل می شود که دارای کاربرد هایی در فیزیک نور [۳] همانطور که در الکترومغناطیس است می باشد. در این صورت از مزدوج فاز برای خنثی کردن اعوجاج در محیط استفاده می شود. همچنین

---

[۱] Superresolution

[۲] UltraWideBand Signal