

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پراکندگی معکوس از اجسام دی الکتریک و هادی بر اساس بازسازی زیرفضای
غیر تشعشی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات میدان

حمیدرضا صیام پور

استاد راهنما

دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد

تابستان ۱۳۹۰



دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - مخابرات میدان آقای

حمیدرضا صیام پور

تحت عنوان

پراکندگی معکوس از اجسام دی الکتریک و هادی بر اساس بازسازی زیر فضای غیر تشعشی

در تاریخ ۱۳۹۰/۶/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد

۱- استاد راهنمای پایان نامه

دکتر امیر برجی

۲- استاد مشاور پایان نامه

دکتر امیر برجی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده

قدردانی و تشکر

از این جهت که فرمود: « أَشْكُرُكُمْ لِلَّهِ أَشْكُرُكُمْ لِلنَّاسِ » بر خود لازم می دانم از کلیه کسانی که مرا تا سرانجام این مقطع یاری نموده اند تشکر کنم. به ویژه از زحمات والدینم، از راهنمایی جناب دکتر ابوالقاسم زیدآبادی نژاد و مشاوره جناب دکتر امیر برجی در مراحل انجام پایان نامه، و از همکاری کلیه اساتید و کارمندان دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان قدردانی می کنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات،
ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع
این پایان نامه متعلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.
این پایان نامه با حمایت مادی و معنوی مرکز تحقیقات مخابرات ایران
به انجام رسیده است.

تقدیم اثر

از این جهت که فرمود: « أَنْ اشْكُرْ لِي وَ لِوَالِدَيْكَ » (نعمان-۱۴)

این پایان نامه به والدینم تقدیم می شود.

فهرست مطالب

<u>صفحه</u>	<u>عنوان</u>
هشت	فهرست مطالب
۱	چکیده
فصل اول: مقدمه	
۲	۱ - تاریخچه
۳	۱ - ۴ ساختار پایان نامه
فصل دوم: منابع غیر تشعشی	
۵	۲ - ۱ پیشگفتار فصل
۵	۲ - ۴ شرط NR
۶	۲ - ۴ عدم یکتایی در مسائل معکوس
۶	۲ - ۴ توان راکتیو و کارایی تشعشی آنتن
۷	۲ - ۵ تصویربرداری از لبه نوک تیز
۷	۲ - ۶ پوشش لایه دار
۸	۲ - ۴ خلاصه و نتیجه گیری
فصل سوم: روش SQP-SOM برای حل مسائل پراکنده معکوس	
۹	۳ - ۱ پیشگفتار فصل
۱۰	۳ - ۴ پراکنده سازهای دی الکتریک در فضای آزاد
۱۰	۳ - ۴ ۱ بیان مسئله
۱۱	۳ - ۴ ۲ تحلیل طیفی \overline{G}_S به روش SVD
۱۲	۳ - ۴ ۳ تعیین ضرایب NR
۱۲	۳ - ۴ ۴ تابع هدف
۱۳	۳ - ۵ تابع هدف تشعشی
۱۳	۳ - ۶ نتایج شبیه سازی عددی
۱۸	۳ - ۴ پراکنده سازهای هادی در فضای آزاد
۱۸	۳ - ۴ ۱ بیان مسئله
۱۹	۳ - ۴ ۲ تعیین ضرایب NR

۱۹	..... تابع هدف - ۴ ۴ ۳
۲۰	..... تابع هدف تشعشی - ۴ ۴ ۳
۲۰	..... نتایج شبیه سازی عددی - ۵ ۴ ۳
۲۲	..... ترکیب پراکنده سازهای دی الکتریک و هادی - ۴ ۳
۲۲	..... بیان مسئله - ۴ ۴ ۳
۲۳	..... تعیین ضرایب NR - ۴ ۴ ۳
۲۴	..... تابع هدف - ۴ ۴ ۳
۲۴	..... تابع هدف تشعشی - ۴ ۴ ۳
۲۵	..... الگوریتم ترکیب یافته SQP-SOM - ۵ ۴ ۳
۲۵	..... نتایج شبیه سازی عددی - ۶ ۴ ۳
۲۸	..... خلاصه و نتیجه گیری - ۵ ۳

فصل چهارم: تصویربرداری از پراکنده سازهای دفن شده

۲۹	..... پیشگفتار فصل - ۴ ۴
۲۹	..... پراکنده سازهای دفن شده در محیط ناهمگن - ۴ ۴
۲۹	..... بیان مسئله - ۴ ۴
۳۴	..... پراکندگی معکوس با روش SQP-SOM - ۴ ۴ ۴
۳۴	..... نتایج شبیه سازی عددی - ۴ ۴ ۴
۴۳	..... پراکنده سازهای دی الکتریک در محیط چندلایه - ۴ ۴
۴۳	..... بیان مسئله - ۴ ۴
۴۴	..... پراکندگی معکوس با روش SQP-SOM - ۴ ۴ ۴
۴۴	..... نتایج شبیه سازی عددی - ۴ ۴ ۴
۴۷	..... پراکنده سازهای هادی در محیط چندلایه - ۴ ۴
۴۷	..... بیان مسئله - ۴ ۴
۴۸	..... پراکندگی معکوس با روش SQP-SOM - ۴ ۴ ۴
۴۸	..... نتایج شبیه سازی عددی - ۴ ۴ ۴
۵۰	..... ارزیابی جریان NR و نتیجه گیری - ۵ ۴

فصل پنجم: نتیجه گیری

۵۲	..... نتیجه گیری - ۴ ۵
۵۲	..... پیشنهادات - ۴ ۵
۵۴	..... پیوست ها
۵۸	..... مراجع

چکیده

پراکندگی معکوس امواج الکترومغناطیس، مسئله ای شامل آشکارسازی، مکان یابی، بازیابی شکل، و تصویربرداری از اجسام مجهول، با استفاده از میدان های پراکنده شده و معادلات ماکسول می باشد. برای حل مسائل پراکندگی معکوس روش های مختلفی وجود دارد که می توان آن ها را تحت دو عنوان کلی روش های کیفی و روش های کمی، دسته بندی نمود. در این پایان نامه، بهبود روش بهینه سازی زیرفضا (SOM)، با استفاده از الگوریتم برنامه ریزی متوالی درجه دوم (SQP)، تحت عنوان SQP-SOM، برای پراکندگی معکوس از اجسام دی الکتریک، هادی، و آمیخته، مستقر در محیط های مختلف چون فضای آزاد، پس زمینه ناهمگن، و محیط چندلایه، به عنوان یک روش بازیابی کمی دقیق و سریع ارائه شده، و اثر جریان های غیرتشنعی (NR) القاشده در پراکنده ساز بر فرآیند بازسازی، ارزیابی گردیده است. بدین منظور مسئله پراکندگی مستقیم برای هر مورد با استفاده از یک روش عددی مناسب همچون دوقطبی های تزویج شده (CDM)، روش ممان (MoM)، اجزاء محدود-انتگرال مرزی (FE-BI)، و معادلات انتگرالی میدان الکتریکی (EFIE)، رابطه مند و عملگر نگاشت بیرونی (نگاشت از فضای جریان القایی به فضای میدان پراکنده شده بیرونی) متناظر، برای تعیین بردارهای تشعشی و NR با استفاده از شیوه تجزیه مقدار تکین (SVD)، تحلیل طیفی شده است. برای بسط فضای برداری جریان القایی، ضرایب متناظر با پایه های NR، با روند کمترین مربعات به مؤلفه های مجهول پراکنده ساز ارتباط داده شده است. تحلیل بیان شده در مورد پراکنده ساز آمیخته (مخلوط دی الکتریک و هادی)، برای اولین بار در این پایان نامه ارائه و روابط مربوط به آن استخراج گردیده است. برای بازسازی پراکنده ساز های مجهول، تابع هدف براساس عدم تطابق در جریان های القایی و عدم تطابق در داده های پراکندگی تشکیل، و با استفاده از الگوریتم پیشرفته SQP، کمینه شده است. همچنین برای ارزیابی اثر جریان های NR، تابع هدف تشعشی با حذف بخش NR جریان القایی، تعریف گردیده است. نتایج بازیابی به دست آمده از روش SQP-SOM، در همه مراحل آشکارسازی، مکان یابی، تعیین شکل و تصویربرداری، موفقیت آمیز بوده است. مقایسه این نتایج با نتایج به دست آمده از تابع هدف تشعشی نشان می دهد، بازسازی جریان NR، برای تصویر برداری دقیق از پراکنده سازها ضروری می باشد.

واژه های کلیدی

- ۱- پراکندگی معکوس، ۲- جریان غیرتشنعی (NR)، ۳- SQP-SOM، ۴- تجزیه مقدار تکین (SVD)،
- ۵- FE-BI، ۶- محیط چندلایه، ۷- تابع هدف تشعشی.

فصل اول

مقدمه

۱ - ۴ تاریخچه

مسئله معکوس، به معنی طی مسیر از معلول به علت، سابقه ای طولانی در تاریخ علم دارد. برای مثال، تعیین نیروی گرانش از روی قوانین کپلر توسط نیوتن، و مسئله اشتورم لیوویل معکوس، به ترتیب نمونه هایی از مسائل معکوس در فیزیک و ریاضی می باشند [۱]. در مسئله معکوس با بررسی نتایج محدود، در پی بازیابی و بازسازی علل ناشناخته می باشیم.

امروزه مسائل معکوس در الکترومغناطیس شامل مسائل منبع معکوس، پراکندگی معکوس، و سنتز معکوس، کاربردهای فراوانی یافته اند که از آن جمله می توان به تصویربرداری مایکروویو، ردیابی راداری، سنجش از راه دور، پرتونگاری مقطعی، تشخیص سرطان سینه، زلزله شناسی، تحلیل شکست، ارزیابی غیرمخرب، و سنتز پترن آنتن، اشاره نمود.

پراکندگی معکوس امواج الکترومغناطیس، مسئله ای شامل آشکارسازی، مکان یابی، بازیابی شکل، و تصویربرداری از اجسام مجهول، با استفاده از میدان های پراکنده شده و معادلات ماکسول می باشد. برای حل مسائل پراکندگی معکوس روش های مختلفی وجود دارد که می توان آن ها را تحت دو عنوان کلی روش های کیفی و روش های کمی، دسته بندی نمود. روش های کیفی همچون نمونه برداری خطی، عامل بندی^۱، و منابع تکین، در پی تعیین تقریبی شکل و موقعیت پراکنده ساز مجهول، با استفاده از اطلاعات محدودی از مشخصات پراکنده ساز یا محیط دربرگیرنده آن، می باشند [۲]. در روش های کمی، با تعریف یک تابع هدف متناسب با ویژگی های خواسته شده از پراکنده ساز مجهول، و با کمینه نمودن آن با استفاده از روش های بهینه سازی و هموارسازی^۲، پراکنده ساز مجهول بازسازی می شود [۳ و ۴]. امروزه روش های جدیدتر دیگری نیز مطرح شده اند. از جمله روش معکوس زمانی که بر

^۱ Factorization

^۲ Regularization

خاصیت هم پاسخی معادلات ماکسول در محیط های تغییرناپذیر با زمان، استوار است [۵]، و یا روش بهینه سازی زیرفضا^۱ (SOM)، که بر اساس تحلیل طیفی ماتریس نگاشت بیرونی (نگاشت از فضای جریان القایی به فضای میدان پراکنده شده بیرونی) و کمینه سازی عدم تطابق در داده های پراکنده و عدم تطابق در جریان القایی، عمل می کند [۶].

چالش اصلی در حل مسائل پراکنده معکوس، مشکل بدخیم^۲ بودن آن ها می باشد. این مشکل به دلیل عدم یکتایی یا عدم وجود، و عدم پایداری جواب است. یک عامل مهم در فقدان یکتایی جواب، وجود جریان های غیرتشنعی^۳ (NR) است که میدان آن ها خارج از ناحیه جریان تقابل، صفر می شود و در نتیجه، این جریان ها توسط گیرنده ها قابل اندازه گیری نمی باشند [۷]. با آگاهی از برخی مشخصات ناحیه داخلی، می توان معادله حالت جریان را که رابطه بین جریان تقابل (جریان القایی) و میدان های داخلی را تعیین می کند، تشکیل داد. همچنین با استفاده از اندازه گیری میدان های خارجی می توان معادله داده پراکنده که مشخص کننده رابطه بین جریان القایی و میدان پراکنده شده بیرونی است را تعریف نمود. با استفاده از این دو معادله و یک روند بازسازی مناسب، توزیع جریان های تشنعی و NR تعیین و یکتایی جواب برآورده می شود.

روش بهینه سازی زیرفضا (SOM)، یک روش بازسازی برای حل مسائل پراکنده معکوس می باشد که بر اساس تجزیه زیرفضاهای تشنعی و NR، با استفاده از تحلیل مقدار تکین عملگر نگاشت بیرونی، عمل می کند [۸ و ۹]. در این روش برای بسط فضای برداری جریان القایی، ضرایب NR بردارهای تکین به عنوان مجهولات تابع هدف در نظر گرفته شده و با استفاده از یک روش بهینه سازی مناسب مانند روش برگردانی منابع تقابل^۴ (CSI)، تعیین می شوند [۸].

۱ ۴ - ساختار پایان نامه

در این پایان نامه، روش SOM به وسیله برنامه ریزی متوالی درجه دوم^۵ (SQP)، که یک شیوه سریع و دقیق در بهینه سازی می باشد [۱۰ و ۱۱]، بهبود داده شده و یک روش قدرتمند تحت عنوان SQP-SOM، به منظور حل مسائل پراکنده معکوس برای پراکنده سازهای دی الکتریک، هادی و آمیخته (ترکیب دی الکتریک و هادی)، مستقر در محیط ها و پس زمینه های گوناگون، ارائه می شود. تجزیه مقادیر تکین عملگر نگاشت بیرونی، برای ترکیب دی الکتریک و هادی، و معادلات مربوط به ضرایب NR و تابع هدف، برای اولین بار ارائه می گردد. هم چنین برای تعیین و ارزیابی اثرات جریان NR، تابع هدف تشنعی که بدون قسمت NR جریان ساخته شده، تعریف و نتایج به دست آمده از آن با نتایج روش SQP-SOM، مقایسه می شود. در فصل دوم، منابع NR، و موضوعات مرتبط با آن

¹ Subspace optimization method

² Ill-posed

³ Nonradiating

⁴ Contrast source inversion

⁵ Sequential quadratic programming

در تئوری میدان، همچون توان راکتیو، کارایی تشعشعی آنتن، تصویربرداری، و پوشش لایه دار، مورد مطالعه و بررسی قرار می گیرد.

در فصل سوم، روش SQP-SOM، به عنوان یک روش دقیق و سریع عرضه، و برای فضای آزاد پیاده سازی می شود. بدین منظور مسائل پراکندگی مستقیم با روش دوقطبی های ترویج شده^۱ (CDM)، روش ممان (MoM)، و ترکیب دو روش، به ترتیب برای پراکنده سازهای دی الکتریک، هادی، و آمیخته، رابطه مند می شود. در فصل چهارم، روش SQP-SOM، برای پراکنده سازهای دفن شده در محیط های مختلف، اصلاح می شود. روابط مسائل پراکندگی مستقیم برای محیط ناهمگن با روش اجزاء محدود-انتگرال مرزی^۲ (FE-BI)، و برای محیط چندلایه^۳ با روش معادلات انتگرالی میدان الکتریکی^۴ (EFIE)، به دست می آید. هم چنین در این فصل اثرات جریان NR، روی نتایج تصویربرداری برای اجسام مختلف، مستقر در پس زمینه های متفاوت ارزیابی و جدول بندی می شود. نتیجه گیری از دست آوردهای پایان نامه، و پیشنهاد برای مراحل بعدی در فصل پنجم آورده شده است.

¹ Coupled dipole method

² Finite element-boundary integral

³ Stratified media

⁴ Electric field integral equation

فصل دوم

منابع

غیر تشعشی

۲ ۴ - پیشگفتار فصل

جریان های NR در فضای پوچ ماتریس نگاشت بیرونی قرار دارد، از این رو میدان تولید شده توسط این جریان ها در بیرون ناحیه جریان صفر شده، و توسط گیرنده ها، قابل اندازه گیری نیست. به این ترتیب با فرض تقسیم منبع جریان به دو بخش تشعشی و NR، تنها بخش تشعشی جریان توسط داده های اندازه گیری و روابط تشعشی، قابل تعیین است. از آنجا که در حل مسئله پراکنندگی معکوس، بخش NR جریان القایی اطلاعات مهمی از ساختار پراکننده ساز در بردارد، برای بازسازی دقیق پراکننده ساز مجهول، ضروری است بخش NR جریان القایی، به طور یکتا تعیین شود. برای حل چالش یکتایی، نیاز به اطلاعات اولیه از محیط درونی جریان، و تشکیل معادله حالت جریان بر اساس آن، می باشد. به این ترتیب می توان بخش NR منبع را بر اساس کمینه سازی عدم تطابق در جریان القایی و عدم تطابق در داده های پراکنندگی، در یک روند تکرار، به طور یکتا، بازسازی نمود.

۲ ۴ - شرط NR

از نظریه جریان های NR $[V]$ می دانیم، میدان الکتریکی $\mathbf{E}(\mathbf{r}, t) = \mathcal{R}\{\mathbf{E}(\mathbf{r})e^{j\omega t}\}$ ، تولید شده توسط توزیع جریان NR به فرم $\mathbf{I}(\mathbf{r}, t) = \mathcal{R}\{\mathbf{I}(\mathbf{r})e^{j\omega t}\}$ ، در بیرون ناحیه جریان صفر شده و در رابطه زیر صدق می کند:

$$\mathbf{I}(\mathbf{r}) = \frac{-1}{4\pi j} \left(\frac{c}{k}\right) \{\nabla \times [\nabla \times \mathbf{E}(\mathbf{r})] - k^2 \mathbf{E}(\mathbf{r})\} \quad (1-2)$$

که در آن k ، عدد موج فضای آزاد، و c ، سرعت نور در خلأ را نشان می دهند. با توجه به اینکه میدان NR در بیرون ناحیه جریان صفر می شود، داشتن اطلاعات اولیه از درون ناحیه جریان، برای بازیابی جریان NR در حل مسئله منبع

معکوس ضروری است. به همین ترتیب، برای تشکیل معادله حالت، در حل مسئله پراکندگی معکوس، داشتن اطلاعات اولیه از دامنه استقرار پراکنده ساز، لازم می باشد.

۲-۳ - عدم یکتایی در مسائل معکوس

جریان های NR، در فضای پوچ ماتریس نگاشت بیرونی \overline{G}_S ، که جریان القایی \overline{I}^d را به میدان پراکنده شده بیرونی \overline{E}^{sca} می نگارد، قرار دارد. بنابراین با اضافه شدن یک جریان NR به توزیع جریان، تغییری در بردار \overline{E}^{sca} ایجاد نمی شود، به عبارت دیگر

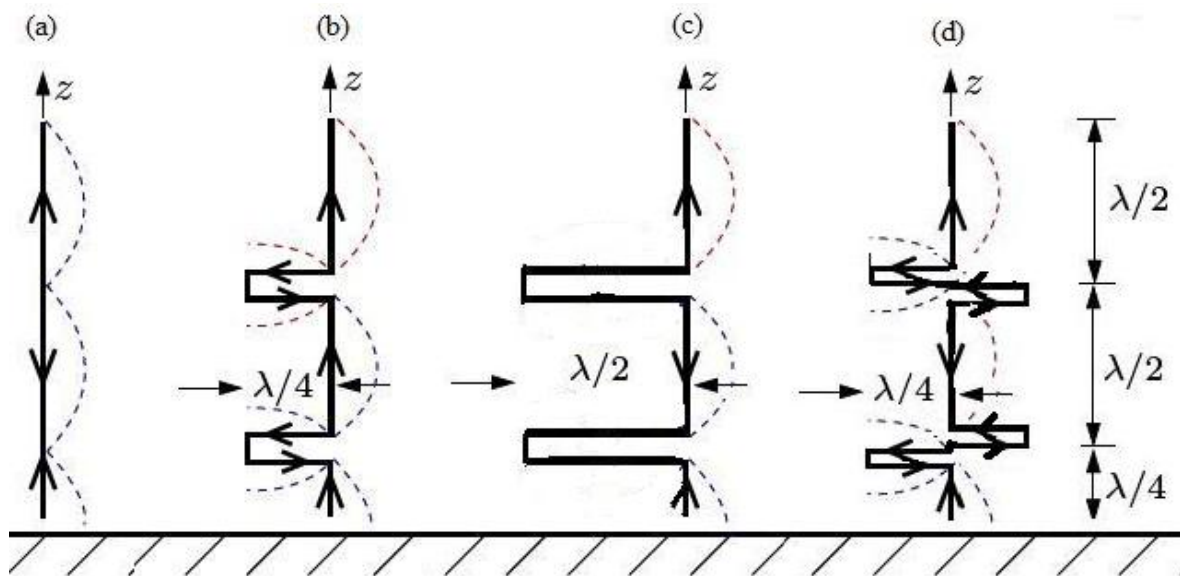
$$\overline{G}_S \cdot \overline{I}^d = \overline{E}^{sca} \xrightarrow{\overline{G}_S \cdot \overline{I}^{NR} = \overline{0}} \overline{G}_S \cdot (\overline{I}^d + \overline{I}^{NR}) = \overline{E}^{sca} \quad (2-2)$$

بنابراین بدون داشتن اطلاعات اولیه درباره ی ناحیه درون جریان، نمی توان بخش NR توزیع جریان را به طور یکتا بازسازی نمود.

در ادامه به طور اجمال به برخی از موضوعات مرتبط با نظریه جریان های غیر تشعشی، و کاربرد های آن در مهندسی میدان های الکترومغناطیسی، اشاره می کنیم.

۲-۴ - توان راکتیو و کارایی تشعشی آنتن

برای هر توزیع جریان و میدان آن می توان مؤلفه های تشعشی (یا انرژی کمینه) و NR را به طور یکتا تجزیه نمود [۱۲ و ۱۳]. بخش NR جریان، میدان تشعشی ایجاد نکرده و توان تولیدی آن، راکتیو خالص است، بنابراین می توان با اضافه نمودن یک توزیع NR مناسب به جریان اولیه داده شده، توان راکتیو را کمینه و کارایی تشعشی آنتن را بهبود بخشید. چند نمونه ساده از توزیع های NR اضافه شده به یک منبع داده شده در حالت یک بعدی، در شکل ۲-۱ به نمایش در آمده اند. در شکل ۲-۱(b)، جریان های NR اضافه شده (دو استاب $\frac{\lambda}{4}$)، دایرکتیویتی آنتن را تغییر و کارایی تشعشی آن را در راستای افق بهبود می بخشد. شکل های ۲-۱(c) و ۲-۱(d)، به ترتیب با استفاده از دو استاب $\frac{\lambda}{2}$ و چهار استاب $\frac{\lambda}{4}$ ، توزیع های NR را به منبع اولیه اضافه می کنند، به گونه ای که توان راکتیو آنتن تغییر کرده ولی پترن تشعشی آن ثابت بماند.



شکل ۲-۱: مثال هایی ساده از توزیع جریان های NR اضافه شده به یک منبع اولیه؛ (a) منبع داده شده، (b) اضافه کردن توزیع های NR به وسیله دو استاب $\frac{\lambda}{4}$ به منظور افزایش کارایی تشعشی آنتن از طریق تغییر توزیع جریان تشعشی آن، (c) اضافه کردن جریان های NR، توسط دو استاب $\frac{\lambda}{2}$ به منظور تغییر توان راکتیو آنتن، بدون تاثیر گذاری روی پترن تشعشی آن، (d) اضافه کردن توزیع های NR، توسط چهار استاب $\frac{\lambda}{4}$ به منظور تغییر توان راکتیو، بدون تاثیر گذاری روی پترن تشعشی آنتن.

۲-۵ - تصویر برداری از لبه نوک تیز^۱

برای تصویر برداری و پراکندگی معکوس از اجسام لبه دار و نوک تیز، بازسازی قسمت NR جریان که در بردارنده ی اطلاعات لبه های NR می باشد [۱۴]، ضروری است. بدین منظور ابتدا بایستی مسئله پراکندگی مستقیم را با یک روش مناسب بر اساس نظریه تفرق امواج، فرمول بندی نموده، و سپس با پیاده سازی یک شیوه ی مناسب برای تجزیه تشعشی-جریان، تابع هدف را تشکیل و ضرایب بسط پایه های NR فضای جریان را از طریق یک روند بهینه سازی، بازیابی کنیم.

۲-۶ - پوشش لایه دار^۲

پوشش لایه دار و مواد جاذب امواج الکترومغناطیس، کاربردهای فراوانی در تکنولوژی رادارگریز^۳، و مقابله با آشکار سازی رادارها، دارد. یک رویکرد جدید برای طراحی پوشش لایه دار به منظور جذب امواج الکترومغناطیس برای پوشاندن پراکنده سازها، بیشینه سازی بخش NR جریان القایی است، که ممکن است از طریق شکل دهی و طراحی لایه دار مواد، انجام پذیر باشد.

^۱ Sharp-sighted imaging

^۲ Layered coating

^۳ Stealth technology

۲ - خلاصه و نتیجه گیری

در این فصل با مرور نظریه جریان‌های NR، به معرفی کاربرد آن در نظریه میدان، از جمله سنتز آنتن، تصویربرداری از لبه نوک‌تیز، و پوشش لایه دار پرداخته، و نیز ارتباط جریان‌های NR با مسئله پراکندگی معکوس و چالش یکتایی را بررسی نمودیم. در فصل بعدی به حل مسئله پراکندگی معکوس برای پراکنده‌سازهای دی‌الکتریک، هادی، و آمیخته، و نحوه اثرگذاری جریان القایی NR در روند بازسازی، خواهیم پرداخت.

فصل سوم

روش SQP-SOM برای

حل مسائل پراکندگی معکوس

۳ - ۴ - پیشگفتار فصل

بازسازی جریان‌های NR، برای آشکارسازی مشخصات مجهول در مسائل منبع معکوس [۱۲]، و بهبود قدرت تفکیک در مسائل پراکندگی معکوس [۱۵]، نقش مهمی دارد. جریان‌های NR در فضای پوچ عملگر نگاشت بیرونی قرار گرفته و میدان‌های آن‌ها خارج ناحیه جریان صفر می‌شوند [۷]، بنابراین این جریان‌ها از طریق اندازی گیری قابل محاسبه نیستند. در مسئله پراکندگی معکوس اندازه گیری‌های پیوسته یک فضای پیوسته از میدان پراکندگی تشکیل می‌دهد و تعداد نامحدودی از جریان‌های NR متناظر با آن وجود دارد، اما در اندازه گیری‌های گسسته تعداد محدودی از توابع پایه برای بسط زیر فضاهای تشعشی و NR فضای جریان القایی وجود دارد [۸].

در [۱۵] به منظور تعیین جریان‌های NR برای سیستم‌های تصویربرداری، پراکندگی معکوس به عنوان یک مسئله منبع معکوس در نظر گرفته شده است. در روش SOM [۸] و [۱۸-۱۶]، بسط جریان‌های تشعشی و NR با روش تجزیه مقدار تکین^۱ (SVD) عملگر نگاشت بیرونی (پیوست ۱)، انجام می‌شود، سپس تابع هدف که در بردارنده عدم تطابق در داده‌های پراکندگی و عدم تطابق در جریان القایی است، تشکیل و با روش CSI کمینه می‌شود.

در این فصل روش SOM با استفاده از SQP که یک شیوه بهینه‌سازی پیشرفته و سریع برای توابع هدف درجه دوم^۲ می‌باشد (پیوست ۲)، بهبود داده شده است. در روش بهبود یافته، به منظور کاهش مجهولات تابع هدف و افزایش سرعت روند بازسازی، بردار NR که در بردارنده ضرایب بسط بردارهای تکین NR می‌باشد، با استفاده از روش

^۱ Singular value decomposition

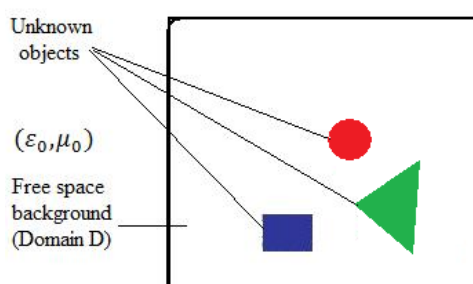
^۲ Quadratic

کمترین مربعات^۱ (LS) محاسبه می شود. هم چنین در بخش ۳-۴، روابط مربوط به پراکنده‌سازهای آمیخته (ترکیب دی‌الکتریک و هادی) برای اولین بار استخراج، و الگوریتم SQP-SOM برای آن پیاده سازی می شود. اثر جریان NR برای هر مورد، با استفاده از تعریف توابع هدف تشعشعی و NR، و مقایسه نتایج آن‌ها، تعیین می گردد.

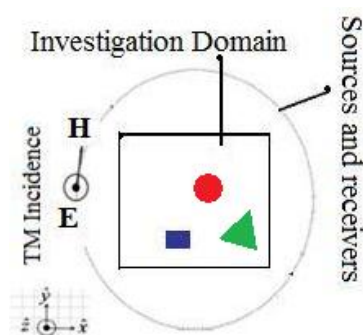
۳ ۴ - پراکنده‌سازهای دی‌الکتریک در فضای آزاد

۳ ۴ ۴ - بیان مسئله

تعدادی استوانه دی‌الکتریک ناشناخته، مستقر در پس زمینه فضای آزاد (دامنه D)، مشابه شکل ۳-۱ در نظر بگیرید. فرض کنید آرایه ای دایره‌ای از آنتن‌ها که حول D قرار گرفته امواج TM^z را ارسال و میدان‌های پراکنده شده متناظر را دریافت می کند (شکل ۳-۲). با تقسیم D به زیر نواحی گسسته، و استفاده از روش CDM برای رابطه مند کردن مسئله پراکنده‌گی مستقیم، معادله حالت جریان (رابطه ۳-۱) و معادله داده پراکنده‌گی (رابطه ۳-۲) که به ترتیب رابطه بین جریان القایی و میدان داخلی، و رابطه جریان القایی و میدان پراکنده شده بیرونی را تعیین می کنند، به دست می آیند [۸].



شکل ۳-۱: استوانه‌های دی‌الکتریک ناشناخته مستقر در فضای آزاد



شکل ۳-۲: موقعیت قرارگیری آنتن‌های گیرنده و فرستنده

¹ Least squares

$$\mathbf{E}^{tot}(\mathbf{r}_m) = \mathbf{E}^{inc}(\mathbf{r}_m) - \sum_{n \neq m} j k_0 \eta_0 g(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_n) \mathbf{I}^d(\mathbf{r}_n), \quad m = 1, 2, \dots, N_d. \quad (۱-۳)$$

$$\mathbf{E}^{sca}(\mathbf{r}_s^c) = \sum_{m=1}^{N_d} -j k_0 \eta_0 g(\mathbf{r}_s^c, \mathbf{r}_m) \mathbf{I}^d(\mathbf{r}_m), \quad s = 1, 2, \dots, N_r. \quad (۲-۳)$$

که در آن، $\mathbf{I}^d(\mathbf{r}_m) = I^d(\mathbf{r}_m) \hat{\mathbf{z}}$ ، $\mathbf{E}^{tot}(\mathbf{r}_m) = E^{tot}(\mathbf{r}_m) \hat{\mathbf{z}}$ ، $\mathbf{E}^{inc}(\mathbf{r}_m) = E^{inc}(\mathbf{r}_m) \hat{\mathbf{z}}$ ، $\mathbf{E}^{sca}(\mathbf{r}_s^c) = E^{sca}(\mathbf{r}_s^c) \hat{\mathbf{z}}$ ، میدان تابشی، میدان داخلی کل، و جریان القایی در زیر ناحیه m دامنه D ، را نشان می دهند. و نیز $\mathbf{E}^{sca}(\mathbf{r}_s^c) = E^{sca}(\mathbf{r}_s^c) \hat{\mathbf{z}}$ ، میدان پراکنده شده در محل گیرنده S ام را نمایش می دهد. بردارهای $\hat{\mathbf{z}}$ ، \mathbf{r}_m^c و \mathbf{r}_s^c به ترتیب بردار یکه در جهت z ، بردار مکان زیر ناحیه m ام، و بردار مکان گیرنده S ام را مشخص می کنند. N_d تعداد کل زیر ناحیه ها و N_r تعداد آنتن های گیرنده را تعیین می کند. همچنین $g(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_n) = \frac{-j}{4} H_0^{(2)}(k_0 |\mathbf{r}_m - \mathbf{r}_n|)$ برای k_0 ، η_0 و به ترتیب تابع گرین دوبعدی، عدد موج و امپدانس ذاتی را در فضای آزاد نشان می دهند.

با استفاده از رابطه $I^d(\mathbf{r}_m) = \xi_m E^{tot}(\mathbf{r}_m)$ که در آن $\xi_m = -j(k_0/\eta_0) A_m [\epsilon_r(\mathbf{r}_m) - 1]$ و A_m و $\epsilon_r(\mathbf{r}_m)$ ، به ترتیب مساحت و ثابت دی الکتریک زیر ناحیه m ام را نمایش می دهد، فرم های ماتریسی روابط (۱-۳) و (۲-۳) به صورت زیر بیان می شود [۸]:

$$\bar{\mathbf{I}}^d = \bar{\xi} \cdot (\bar{\mathbf{E}}^{inc} + \bar{\mathbf{G}}_D \cdot \bar{\mathbf{I}}^d) \quad \text{معادله حالت جریان} \quad (۳-۳)$$

$$\bar{\mathbf{E}}^{sca} = \bar{\mathbf{G}}_S \cdot \bar{\mathbf{I}}^d \quad \text{معادله داده پراکندگی} \quad (۴-۳)$$

که در آن، $\bar{\xi}_m$ یک ماتریس قطری با تعداد N_d عنصر روی قطر برابر با ξ_m می باشد. بردارهای N_d بعدی $\bar{\mathbf{I}}^d$ و $\bar{\mathbf{E}}^{inc}$ به ترتیب جریان القایی و میدان تابشی در N_d زیر ناحیه D را نشان داده و با روابط $\bar{\mathbf{E}}^{inc} = [E^{inc}(\mathbf{r}_1), E^{inc}(\mathbf{r}_2), \dots, E^{inc}(\mathbf{r}_{N_d})]^T$ و $\bar{\mathbf{I}}^d = [I^d(\mathbf{r}_1), I^d(\mathbf{r}_2), \dots, I^d(\mathbf{r}_{N_d})]^T$ تعیین می شوند. عناصر ماتریس نگاشت درونی (نگاشت از فضای جریان القایی به فضای میدان پراکنده شده درونی) $\bar{\mathbf{G}}_D$ با رابطه $\bar{\mathbf{G}}_D(m, n) = -j k_0 \eta_0 g(\mathbf{r}_m, \mathbf{r}_n)$ محاسبه می شوند. همچنین، $\bar{\mathbf{E}}^{sca} = [E^{sca}(\mathbf{r}_1^c), E^{sca}(\mathbf{r}_2^c), \dots, E^{sca}(\mathbf{r}_{N_r}^c)]^T$ و ماتریس نگاشت بیرونی $\bar{\mathbf{G}}_S$ با ابعاد $N_r \times N_d$ و عناصر $\bar{\mathbf{G}}_S(s, m) = -j k_0 \eta_0 g(\mathbf{r}_s^c, \mathbf{r}_m)$ قابل تعیین است.

۳ ۴ - تحلیل طیفی ماتریس $\bar{\mathbf{G}}_S$ با روش SVD

با استفاده از تحلیل SVD (پیوست ۱) ماتریس نگاشت بیرونی $\bar{\mathbf{G}}_S$ داریم: $\bar{\mathbf{G}}_S = \sum_m \bar{u}_m \sigma_m \bar{v}_m^*$ و $\bar{\mathbf{G}}_S \cdot \bar{v}_m = \sigma_m \bar{u}_m$ برای $m = 1, 2, \dots, N_d$. به طوری که σ_m ها مقادیر تکین $\bar{\mathbf{G}}_S$ ، \bar{v}_m ها بردارهای پایه N_d بعدی در فضای جریان القایی، و \bar{u}_m ها بردارهای پایه N_r بعدی در فضای داده پراکندگی هستند. هم چنین * عملگر مزدوج ترانهاد را نمایش می دهد. تعداد L_0 مقدار تکین غیر صفر و $N_d - L_0$ مقدار تکین صفر وجود دارند که در یک روند غیرافزایشی به صورت زیر مرتب می شوند:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_{L_0} > \sigma_{L_0+1} = \sigma_{L_0+2} \dots = \sigma_{N_d} = 0 \quad (۵-۳)$$

با استفاده از مقادیر تکین صفر و غیرصفر و بردارهای تکین متناظر آن‌ها در فضای جریان القایی، زیرفضاهای تشعشی و NR فضای جریان القایی به صورت زیر بیان می‌شوند [۸]:

$$\bar{I}^R = \sum_{j=1}^{L_0} \frac{\bar{u}_j^* \cdot \bar{E}^{sca}}{\sigma_j} \bar{v}_j \quad \text{زیرفضای تشعشی} \quad (۶-۳)$$

$$\bar{I}^{NR} = \sum_{j=1}^{N_d-L_0} \alpha_j^{NR} \bar{v}_{j+L} = \bar{V}^{NR} \cdot \bar{\alpha}^{NR} \quad \text{زیرفضای غیرتشعشی} \quad (۷-۳)$$

که در آن α_j^{NR} ضرایب NR را نشان داده و با روند LS تعیین خواهد شد. با استفاده از (۶-۳) و (۷-۳)، برای جریان القایی (\bar{I}^d) کل داریم:

$$\bar{I}^d = \bar{I}^R + \bar{I}^{NR} \quad (۸-۳)$$

در رابطه (۸-۳)، \bar{I}^R زیرفضای تشعشی را نشان می‌دهد به طوری که $\bar{G}_S \cdot \bar{I}^R = \bar{E}^{sca}$ و \bar{I}^{NR} زیرفضای NR را مشخص می‌کند به طوری که $\bar{G}_S \cdot \bar{I}^{NR} = 0$

۳ ۴ ۴ - تعیین ضرایب NR

با استفاده از روابط (۳-۳)، (۷-۳) و (۸-۳)، می‌توان بردار $N_d - L_0$ بعدی $\bar{\alpha}^{NR}$ شامل ضرایب $\bar{\alpha}_j^{NR}$ را به صورت زیر بیان نمود:

$$\bar{A} \cdot \bar{\alpha}^{NR} = \bar{B} \quad (۹-۳)$$

که در آن $\bar{A} = [\bar{V}^{NR} - \bar{\xi} \cdot (\bar{G}_D \cdot \bar{V}^{NR})]$ و $\bar{B} = [\bar{\xi} \cdot (\bar{E}^{inc} + \bar{G}_D \cdot \bar{I}^R) - \bar{I}^R]$ با به کارگیری روش LS داریم:

$$(\bar{A}^* \cdot \bar{A}) \cdot \bar{\alpha}^{NR} = \bar{A}^* \cdot \bar{B} \Rightarrow \bar{\alpha}^{NR} = (\bar{A}^* \cdot \bar{A})^{-1} \cdot (\bar{A}^* \cdot \bar{B}) \quad (۱۰-۳)$$

۳ ۴ ۴ - تابع هدف

از عدم تطابق در داده‌های پراکنده و عدم تطابق در جریان القایی، روابط (۱۱-۳) و (۱۲-۳) به صورت زیر به دست می‌آید [۸]:

$$\Delta^{dat} = \|\bar{G}_S \cdot \bar{V}^{NR} \cdot \bar{\alpha}^{NR} + \bar{G}_S \cdot \bar{I}^R - \bar{E}^{sca}\|^2 \quad (۱۱-۳)$$

$$\Delta^{sta} = \|\bar{A} \cdot \bar{\alpha}^{NR} - \bar{B}\|^2 \quad (۱۲-۳)$$

که در آن $\|\cdot\|$ ، نشان دهنده فاصله اقلیدسی می‌باشد. تابع هدف برای مسئله پراکنده معکوس به صورت رابطه (۳-۱۳) تعریف می‌شود: