

طراحی و پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری نمودار تشعشی آنتن در اتاق معمولی با استفاده از فیلتر وقتی

جواد دیانت، چنگیز قبادی و جواد نوری‌نیا

قابل استفاده است. Leatherwood نیز با همکاری Joy موفق به ارائه روش PWPS شد که در این روش اثرات سیگنال‌های مزاحم از پترن تشعشی اندازه‌گیری شده کم می‌گردد [۲]. Gupta و Burnside نیز روشی دیگر بر مبنای اندازه‌گیری‌های دوگانه برای کاهش اثرات سیگنال‌های مزاحم ارائه نمودند [۳]. در همین حین Fourestie و همکارانش نیز با استفاده از روش‌های MP و OGT موفق به اصلاح پترن تشعشی در اتاق‌های نیمه‌انعکاسی شدند [۴] و [۵]. در سال‌های اخیر با استفاده از پیشرفت‌های سخت‌افزاری در زمینه‌های اندازه‌گیری، کارهای موفق در حوزه زمان برای اندازه‌گیری پترن تشعشی صورت گرفته است که ضمن اندازه‌گیری پترن تشعشی در حوزه وسیعی از فرکانس، با استفاده از پنجره زمانی سیگنال‌های مزاحم را حذف نموده‌اند. اولین تلاش برای کاهش سیگنال‌های مزاحم با استفاده از فیلتر وقتی، در اتاق نیمه‌انعکاسی صورت گرفت که در این روش، Miglieri توانست با استفاده از آرایه‌ای از آنتن‌ها و با شناخت مسیر سیگنال‌های مزاحم، اثرات سیگنال‌های مزاحم را کاهش دهد [۶]. البته در [۷] نیز پیشنهادهایی برای استفاده از فیلتر وقتی در اندازه‌گیری آنتن ارائه گردیده است.

۲- روش وقتی اصلاح

پترن تشعشی اندازه‌گیری شده آنتن به علت عبور از کانال اتاق اندازه‌گیری دارای خطا می‌گردد. در صورتی که بتوانیم عکس مشخصه کانال را به دست آوریم، آنگاه می‌توان پترن اندازه‌گیری شده را اصلاح نمود (فرض بر این است که اثرات سیگنال‌های تصادفی در اتاق به نوعی حذف شده است). شناخت کانال‌های مخابراتی به روش‌های متفاوتی صورت می‌گیرد که در اینجا سعی شده است تا با استفاده از یک ساختار خطی و یک الگوریتم تکراری به شناخت تابع تبدیل معکوس اتاق بپردازیم. این الگوریتم تکراری جدید، اصلاح شده SRLS است و PSRLS نامگذاری شده است. روند طی شده در این کار به این صورت است که ابتدا کانال مخابراتی مورد نظر مورد شناسایی قرار می‌گیرد برای این منظور قبل از اندازه‌گیری آنتن مورد آزمایش یک آنتن مرجع که دارای پترن تشعشی معلومی است در منطقه آزمایش قرار می‌گیرد. سپس اطلاعات پترن تشعشی اندازه‌گیری شده آنتن مرجع در ورودی یک فیلتر وقتی قرار می‌گیرد و خروجی فیلتر وقتی با پترن تشعشی واقعی آنتن مرجع مقایسه می‌گردد و وزن‌های بهینه فیلتر وقتی به دست می‌آیند. پس از رسیدن به وزن‌های بهینه خطای بین پترن تشعشی اندازه‌گیری شده و پترن تشعشی معلوم آنتن مرجع به مینیمم خود می‌رسد. با همگراشدن فیلتر وقتی، فیلتر از حالت یادگیری بیرون می‌آید یعنی وزن‌های آن دیگر تازه نخواهند شد و ثابت می‌مانند. این وزن‌ها تابع تبدیلی می‌سازند که معکوس تابع تبدیل کانال است. البته معکوس تابع تبدیل کانال ممکن است با تابع تبدیل وزن‌های بهینه در یک ثابت متفاوت باشند که این

چکیده: در این کار با استفاده از یک فیلتر وقتی با ساختار خطی و یک الگوریتم تکراری به شناخت تابع تبدیل معکوس اتاق پرداخته شده است. برای این منظور قبل از اندازه‌گیری آنتن مورد آزمایش یک آنتن مرجع که دارای پترن تشعشی معلومی است در منطقه مورد آزمایش قرار می‌گیرد و وزن‌های بهینه فیلتر وقتی به دست می‌آیند. با همگراشدن فیلتر وقتی، فیلتر از حالت یادگیری بیرون می‌آید. سپس اندازه‌گیری پترن تشعشی آنتن مورد آزمایش صورت می‌گیرد و داده‌ها در ورودی فیلتر وقتی قرار می‌گیرد. بنابراین پترن پس از خروج از فیلتر وقتی اصلاح می‌گردد. این روش در مقایسه با روش‌های ارائه شده دارای سرعت و دقت بیشتر و هزینه کمتر است.

کلیدواژه: اندازه‌گیری، پترن تشعشی، فیلتر وقتی.

۱- مقدمه

در اندازه‌گیری پترن تشعشی همواره کاهش اثرات سیگنال‌های مزاحم بیشترین توجه را به خود جلب کرده است. در اندازه‌گیری‌های اولیه آنتن، با دور نگه‌داشتن آنتن مورد آزمایش از اجسام اطراف آن سعی در کاهش سیگنال‌های انعکاسی شده است. در محدوده‌های Elevated و Slant با افزایش ارتفاع یک یا هر دو آنتن فرستنده و گیرنده تلاش شده است تا اثرات سیگنال‌های انعکاسی از زمین کاهش یابد. همچنین در این گونه محدوده‌ها با استفاده از آنتن‌های منبع دارای بهره بالا و دارای صفرهای در جهات خاص برای کاهش اثرات انعکاسی تلاش شده است. در محدوده‌های فضای بسته، اولین و مهم‌ترین راه برای کاهش اثرات سیگنال‌های مزاحم استفاده از جاذب‌های امواج الکترومغناطیسی است. اما در اتاق‌های ضدانعکاس باز هم سیگنال‌های انعکاسی وجود دارند. کاهش این انعکاسات در اندازه‌گیری‌های آنتن‌های با بهره زیاد بسیار بااهمیت است. برای کاهش سطح انعکاسات در اتاق‌های ضدانعکاس دو راه وجود دارد: استفاده از اتاق ضدانعکاس بزرگتر، استفاده از جاذب‌های الکترومغناطیسی ضخیم‌تر. که استفاده از هر کدام از این روش‌ها، باعث افزایش قیمت اتاق ضدانعکاس می‌گردد. لذا در دو دهه گذشته تلاش‌هایی برای کاهش اثرات سیگنال‌های مزاحم به صورت نرم‌افزاری صورت گرفت. Black همراه با Joy توانست میدان منطقه آزمایش را جبران کند و به این طریق اثرات سیگنال‌های مزاحم را کاهش دهد [۸] که این روش برای محدوده‌های فشرده، میدان دور، میدان نزدیک با فرض ایستابودن این مقاله در تاریخ ۱۱ اسفند ماه ۱۳۸۴ دریافت و در تاریخ ۲۳ شهریور ماه ۱۳۸۵ بازنگری شد.

جواد دیانت، گروه مهندسی برق، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(email: st-dianat@urmia.ac.ir)

چنگیز قبادی، گروه مهندسی برق، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(email: ch.ghobadi@urmia.ac.ir)

جواد نوری‌نیا، گروه مهندسی برق، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
(email: j.nourinia@urmia.ac.ir)

$$\bar{F}_{Hx} = [\bar{f}_{Hx_i}]_{N \times N} \quad (7)$$

$$\bar{F}_{Hy} = [\bar{f}_{Hy_i}]_{N \times N} \quad (8)$$

که \bar{f}_{Ex_i} ، \bar{f}_{Ey_i} ، \bar{f}_{Hx_i} و \bar{f}_{Hy_i} به ترتیب درایه‌های ماتریس‌های \bar{F}_{Ex} ، \bar{F}_{Ey} ، \bar{F}_{Hx} و \bar{F}_{Hy} هستند و به صورت زیر تعریف می‌گردند

$$f_{Ex_i} = \frac{E_{Ex_i}}{E_{Ex_{max}}} \quad (9)$$

$$f_{Ey_i} = \frac{E_{Ey_i}}{E_{Ey_{max}}} \quad (10)$$

$$f_{Hx_i} = \frac{E_{Hx_i}}{E_{Hx_{max}}} \quad (11)$$

$$f_{Hy_i} = \frac{E_{Hy_i}}{E_{Hy_{max}}} \quad (12)$$

که E_{Ex_i} ، E_{Ey_i} ، E_{Hx_i} و E_{Hy_i} مؤلفه‌های میدان الکتریکی در صفحات E و H هستند و $E_{Ex_{max}}$ ، $E_{Ey_{max}}$ ، $E_{Hx_{max}}$ و $E_{Hy_{max}}$ ماکزیمم‌های مؤلفه‌های میدان الکتریکی در صفحات E و H می‌باشند.

۴- ساختار خطی با ورودی پترن تشعشی دوبعدی

ساختار مورد استفاده، یک ترکیب‌کننده خطی است. این ترکیب‌کننده خطی همان‌گونه که قبلاً اشاره شد رابطه بین ورودی و خروجی‌اش به صورت زیر است

$$y_n(k) = \bar{W}(n) \bar{X}(k) \quad (13)$$

که در آن $\bar{W}(n)$ یک ماتریس $N \times 1$ و $\bar{X}(k)$ یک ماتریس $1 \times N$ و ورودی فیلتر است و $y_n(k)$ خروجی فیلتر به ازای ماتریس ورودی $\bar{X}(k)$ است و $\bar{W}(n)$ و $\bar{X}(k)$ را می‌توان به صورت زیر نمایش داد

$$\bar{W}(n) = [w_1(n) \ w_2(n) \ \dots \ w_{N-1}(n)] \quad (14)$$

$$\bar{X}(k) = [x_1(k) \ x_2(k) \ \dots \ x_{N-1}(k)] \quad (15)$$

این ساختار که یک ساختار کلی است در این کار بایستی مشخص گردد که مقدار ورودی چگونه است که می‌توان با رابطه‌های زیر این سؤال را جواب داد

$$x_i(k) = \begin{cases} g_{m_i-k} & i \geq k \\ g_{m_i+N-k} & i < k \end{cases} \quad (16)$$

که g_{m_i} بیانگر درایه‌های ماتریس پترن تشعشی دوبعدی اندازه‌گیری شده در یک پلاریزاسیون خاص و یک صفحه خاص است

$$g_{m_i} = \begin{cases} f_{Ex_i} \\ f_{Ey_i} \\ f_{Hx_i} \\ f_{Hy_i} \end{cases} \quad (17)$$

اما همان‌گونه که اشاره شد g_{m_i} ها مختلط هستند. بنابراین بهتر است برای سادگی پیاده‌سازی الگوریتم ماتریس ورودی و ماتریس‌های وزن و بالطبع ماتریس خروجی در حالت‌های حقیقی و موهومی صرف مورد استفاده قرار گیرند که در حقیقت باعث پدیدارشدن دو ماتریس ورودی و دو فیلتر وقتی می‌گردد

ثابت در اینجا مهم نیست زیرا پترن تشعشی یک نمودار نسبی است. در صورتی که کانال اتاق تابعی از زمان نباشد و تابع تبدیل آن ثابت باشد آنگاه می‌توان گفت اتاق ایستا است و در اتاق ایستا که یک بار اندازه‌گیری آنتن مرجع صورت گرفته است می‌توان از آن به بعد پترن آنتن‌های مورد آزمایش را به دست آورد به این ترتیب که پس از اندازه‌گیری پترن تشعشی آنتن مورد آزمایش، داده‌ها در ورودی فیلتر وقتی قرار می‌گیرد و فیلتر وقتی همان فیلتری است که وزن‌های آن ثابت شده‌اند بنابراین پترن پس از خروجی از فیلتر وقتی اصلاح می‌گردد. در صورتی که کانال مخابراتی یک کانال پویا بود یعنی تابع تبدیل آن با زمان تغییر می‌کرد آنگاه می‌بایست با دید دیگری به موضوع نگاه می‌شد. در این مورد بایستی ضمن این که از یک آزمایش، ابتدا با آنتن مرجع تقریبی از تابع تبدیل را به دست آورد، مدام تابع تبدیل کانال را نیز بازشناسی کرد. بنابراین باید هم‌زمان با چرخش آنتن مورد آزمایش، آنتن مرجع نیز مورد آزمایش مجدد قرار گیرد و از این اندازه‌گیری‌ها برای اصلاح تخمین معکوس تابع تبدیل اتاق استفاده نمود. این کار احتیاج به سیستم مکانیکی پیچیده‌ای دارد که گاهی ممکن است تهیه آن مشکل باشد. در این روش مشکلات دیگری نیز وجود دارد که برای مثال می‌توان مشکل سوئیچ‌کردن روی آنتن‌ها را نام برد. همچنین بایستی سیستم مکانیکی این قابلیت را داشته باشد که در ضمن اندازه‌گیری یک آنتن، آنتن دیگر حداکثر فاصله را تا آنتن داشته باشد و همچنین بایستی آنتن مرجع تا حد ممکن دارای اندازه کوچک باشد.

۳- ماتریس‌های پترن تشعشی دوبعدی

اطلاعات برداشتن در سه بعد و تهیه پترن تشعشی سه‌بعدی بسیار وقت‌گیر و از لحاظ مکانیکی پیچیده است بنابراین معمولاً پترن تشعشی در دو صفحه عمود بر هم اندازه‌گیری می‌شود و سپس با استفاده از این دو پترن تشعشی، پترن تشعشی سه‌بعدی بازسازی می‌گردد. پترن تشعشی در صفحات H و E معمولاً در سایت‌های اندازه‌گیری مورد توجه قرار می‌گیرند. در حالت دوبعدی دو ماتریس $N \times 1$ به صورت زیر بیان می‌گردند

$$\bar{F}_E = [\bar{f}_{E_i}]_{N \times N} \quad (1)$$

$$\bar{F}_H = [\bar{f}_{H_i}]_{N \times N} \quad (2)$$

که \bar{f}_{E_i} و \bar{f}_{H_i} به ترتیب بردارهای میدان الکتریکی نرمالیزه شده در صفحات E و H هستند. ماتریس‌های فوق را می‌توان به صورت زیر تفکیک کرد

$$\bar{F}_E = \bar{F}_{E_x} \bar{a}_x + \bar{F}_{E_y} \bar{a}_y \quad (3)$$

$$\bar{F}_H = \bar{F}_{H_x} \bar{a}_x + \bar{F}_{H_y} \bar{a}_y \quad (4)$$

ماتریس‌های \bar{F}_{E_x} و \bar{F}_{E_y} ماتریس‌های پترن تشعشی دوبعدی در صفحه E و به ترتیب مربوط به پلاریزاسیون‌های خطی در راستاهای x و y هستند و ماتریس‌های \bar{F}_{H_x} و \bar{F}_{H_y} ماتریس‌های پترن تشعشی دوبعدی در صفحه H و به ترتیب مربوط به پلاریزاسیون‌های خطی در راستاهای x و y هستند. این ماتریس‌ها را به صورت روابط زیر نمایش می‌دهند

$$\bar{F}_{E_x} = [\bar{f}_{Ex_i}]_{N \times N} \quad (5)$$

$$\bar{F}_{E_y} = [\bar{f}_{Ey_i}]_{N \times N} \quad (6)$$

RLS دارای نسخه‌های متفاوتی است. ساده‌ترین نسخه آن SRLS است. سایر الگوریتم‌های دارای پیچیدگی پیاده‌سازی زیادی هستند و ما در اینجا از آنها استفاده نمی‌کنیم. استفاده از SRLS ضمن تضمین سرعت با اعمال پاره‌ای از پیش‌بینی‌ها از لحاظ عددی پایدار است. با اعمال الگوریتم SRLS و استفاده از ساختار بیان‌شده می‌توان به فیلتری همگرا برای اصلاح پترن دست یافت. استفاده از SRLS همواره همراه با پیچیدگی‌های نرم‌افزاری است. این پیچیدگی باعث گردید تا در این کار الگوریتم بهبودیافته SRLS پیشنهاد گردد. SRLS بهبودیافته الگوریتم بسیار سریع، دقیق و دارای کمترین پیچیدگی محاسباتی است و برای مسائل خاصی طراحی شده است، اما می‌توان به آن کلیت نیز بخشید. الگوریتم SRLS بهبودیافته دارای پیچیدگی در حد LMS است و می‌تواند ابزار مناسبی برای مهندسی مکانیک و کنترل باشد. در استفاده از این الگوریتم بایستی به شروط آن توجه کامل داشت. در اثبات روابط این قسمت از [۸] استفاده گردیده است.

۶- الگوریتم بهبودیافته SRLS

این الگوریتم در حین انجام این کار به دست آمده و همگرایی آن از لحاظ تئوری اثبات گردید و با پیاده‌سازی نرم‌افزاری همگرایی محاسباتی آن نیز مشاهده شد. علت پیشنهاد این الگوریتم کاهش پیچیدگی‌های مرسوم الگوریتم‌های مبتنی بر RLS است. اثبات همگرایی این الگوریتم شبیه به الگوریتم SRLS است. در اثبات این الگوریتم از [۸] استفاده نمودیم.

فیلتر وقتی با ساختاری مانند آنچه در بخش‌های قبل به آنها پرداختیم در نظر بگیرید. هدف مینیمم کردن تابع عملکرد است. همچنین بردارهای ورودی در یک ماتریس کلی به شکل زیر قرار می‌گیرند

$$\bar{X}_t(n) = [\bar{X}(1) \ \bar{X}(2) \ \dots \ \bar{X}(n)] \quad (22)$$

که بردارهای ورودی در بخش‌های قبل به طور مفصل بیان شد. همچنین ماتریس خروجی به صورت زیر تعریف می‌گردد

$$\bar{Y}(n) = [y_n(i)]_{n \times 1} \quad (23)$$

و ماتریس خطای فیلتر به صورت زیر است

$$\bar{E}(n) = [e_n(i)]_{n \times 1} \quad (24)$$

که $\bar{E}(n)$ ماتریس خطا است. با این تعاریف داریم

$$\xi = \bar{E}^T \bar{\Lambda} \bar{E} \quad (25)$$

T بیانگر ترانهاده است و $\bar{\Lambda}$ ماتریسی به صورت زیر است

$$\bar{\Lambda} = \begin{bmatrix} \lambda^{n-1} & \cdot & \dots & \cdot \\ \cdot & \lambda^{n-2} & \cdot & \cdot \\ \vdots & \cdot & \ddots & \vdots \\ \cdot & \cdot & \dots & 1 \end{bmatrix} \quad (26)$$

بنابراین داریم

$$\bar{W} = \bar{\Psi}_\lambda^{-1} \bar{\theta}_\lambda \quad (27)$$

که $\bar{\Psi}_\lambda$ به صورت زیر است

$$\bar{\Psi}_\lambda = \bar{X}_t \bar{\Lambda} \bar{X}_t^T \quad (28)$$

و $\bar{\theta}_\lambda$ به این صورت تعریف می‌گردد

$$\bar{\theta}_\lambda(n) = \bar{X}_t(n) \bar{\Lambda}(n) \bar{d}(n) \quad (29)$$

$$\bar{X} = \bar{X}_R + j \bar{X}_I \quad (18)$$

$$y_{nR} = \bar{W}_R^T \bar{X}_R \quad (19)$$

$$y_{nI} = \bar{W}_I^T \bar{X}_I \quad (20)$$

که \bar{X}_I و \bar{X}_R قسمت‌های حقیقی و موهومی ماتریس‌های ورودی هستند. \bar{W}_I و \bar{W}_R ماتریس‌های وزن مربوط به ورودی‌های حقیقی و موهومی هستند. درایه‌های ماتریس‌های \bar{X}_I ، \bar{X}_R ، \bar{W}_I و \bar{W}_R مقادیر حقیقی هستند و y_{nI} و y_{nR} نیز اعداد حقیقی می‌باشند.

ساختار خطی با ورودی پترن تشعشی دوبعدی دارای سیگنال مطلوبی است که در حالت یادگیری بایستی به آن توجه گردد. سیگنال مطلوب را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت

$$d(n) = g_{s_n} \quad (21)$$

که در آن g_{s_n} درایه‌ای از ماتریس پترن تشعشی واقعی آنتن مرجع است. به این ترتیب ساختار واقعی فیلتر وقتی در حالت دوبعدی به طور کامل واضح است.

۵- الگوریتم وقتی

در هر موضوع مرتبط با فیلترهای وقتی انتخاب الگوریتم مناسب بسیار مهم و اساسی است. در ساختار و الگوریتم انتخابی بایستی بیشترین اهمیت در ابتدا به همگرایی معطوف گردد. یک الگوریتم در هر ساختاری باعث ایجاد یک مینیمم مطلق برای تابع عملکرد نمی‌گردد. در این کار می‌توان گفت که خطا حاصل جمع سیگنال‌های مزاحم است و استفاده از ساختاری خطی همان‌گونه که در بخش قبل نیز به آن پرداخته شد، مناسب است. حال بایستی با توجه به این ساختار خطی که یک ترکیب‌کننده خطی است الگوریتم مناسبی انتخاب نماییم. در انتخاب الگوریتم نکات زیر بایستی مورد نظر قرار گیرد:

۱- الگوریتم بایستی به گونه‌ای انتخاب گردد که همگرایی تضمین شده باشد.

۲- الگوریتم بایستی در حوزه مناسب انتخاب گردد.

۳- الگوریتم بایستی دارای حداکثر سرعت باشد.

۴- الگوریتم دارای کمترین پیچیدگی پیاده‌سازی باشد.

۵- الگوریتم کمترین حساسیت را نسبت به گرد کردن داشته باشد.

بنابراین در این کار سعی شده است تا با بررسی نکات فوق الگوریتم مناسب انتخاب گردد. در محیط یک اتاق اندازه‌گیری آنتن همواره سیگنال‌های مستقیم، انعکاسی، جمر و نویز وجود دارد. سیگنال مستقیم به سیگنال‌های اطلاق می‌گردد که در دید مستقیم دو آنتن وجود دارد. سیگنال‌های انعکاسی نیز ناشی از انعکاسات سقف، دیوارها و کف اتاق هستند. جمرها نیز که سیگنال‌های معینی هستند که می‌توانند منابع متفاوتی داشته باشند. همان‌گونه که اشاره شد می‌توان با حذف نویز توسط سخت‌افزار مناسب، سیگنال‌های اتاق را به طور صرف معین نمود. در این صورت الگوریتم پیشنهادی نیز در حوزه معین باید انتخاب گردد.

در اینجا، در صورتی که الگوریتم برای یک محیط ایستا طراحی گردد سرعت، عامل چندان مهمی نخواهد بود. اما اگر در یک محیط پویا به اصلاح پترن بپردازیم، سرعت عامل مهمی خواهد بود. بنابراین الگوریتمی را که انتخاب می‌کنیم برای حداکثر سرعت انتخاب می‌کنیم تا در صورت پویایی محیط نیز قابل استفاده باشد. این الگوریتم‌ها در صورتی که بازگشتی باشند نسبت به عمل گرد کردن اعداد بسیار حساسند که در برنامه بایستی به آن توجه شود. بنابراین RLS می‌تواند راه‌گشای این کار باشد.

$$\bar{W}(n) = \bar{k}(n)d(n) + \bar{W}(n-1) - \bar{k}(n)\bar{W}^T(n-1)\bar{X}(n) \quad (44)$$

که با تعریف (۴۵)، (۴۴) به (۴۶) تبدیل می‌گردد

$$e_{n-1}(n) = d(n) - \bar{W}^T(n-1)\bar{X}(n) \quad (45)$$

$$\bar{W}(n) = \bar{W}(n-1) + \bar{k}(n)e_{n-1}(n) \quad (46)$$

اختلاف PSRLS با SRLS از اینجا آغاز می‌گردد. برای مقداردهی اولیه تابع وزن و $\bar{\Psi}_\lambda^{-1}$ در PSRLS می‌توان از روابط زیر استفاده کرد

$$\bar{\Psi}_\lambda^{-1}(\cdot) = \frac{1}{\delta} \bar{I} \quad (47)$$

$$\bar{W}(\cdot) = \cdot \quad (48)$$

که ماتریس همانی \bar{I} هم‌مرتبه با $\bar{\Psi}_\lambda^{-1}$ است. δ یک مقدار مثبت است و \cdot بردار صفر است. بنابراین

$$\bar{\Psi}_\lambda^{-1}(1) = \lambda^{-1} \left(\frac{1}{\delta} \bar{I} - \frac{\delta^{-\tau} \bar{X}(1)\bar{X}^T(1)}{\lambda + l^T(1)N\delta^{-1}} \right) \quad (49)$$

که l^T به صورت زیر است

$$l^T(n) = \bar{X}^T(n)\bar{X}(n) \quad (50)$$

بنابراین درایه‌های ماتریس $\bar{\Psi}_\lambda^{-1}(1)$ به صورت زیر است

$$\psi_{\lambda_{ij}}^{-1}(1) = \begin{cases} \frac{\lambda^{-1}}{\delta} \left(1 - \frac{x_i^T(1)}{\lambda\delta + l^T(1)N} \right) & i = j \\ -\frac{\lambda^{-1}}{\delta} \frac{x_i(1)x_j(1)}{\lambda\delta + l^T(1)N} & i \neq j \end{cases} \quad (51)$$

با شرط $\delta \gg 10$ می‌توان نوشت

$$\psi_{\lambda_{ij}}^{-1}(1) = \begin{cases} \frac{\lambda^{-1}}{\delta} & i = j \\ \cdot & i \neq j \end{cases} \quad (52)$$

زیرا واضح است

$$l^T(n) > x_k(n)x_l(n) \quad (53)$$

که رابطه بالا برای تمام مقادیر k و l برقرار است. با قراردادن (۵۲) در رابطه بازگشتی داریم

$$\psi_{\lambda_{ij}}^{-1}(\tau) = \begin{cases} \frac{\lambda^{-\tau}}{\delta} & i = j \\ \cdot & i \neq j \end{cases} \quad (54)$$

و می‌توان ثابت کرد

$$\psi_{\lambda_{ij}}^{-1}(n) = \begin{cases} \frac{\lambda^{-n}}{\delta} & i = j \\ \cdot & i \neq j \end{cases} \quad (55)$$

بنابراین با استفاده از رابطه بالا خواهیم داشت

$$\bar{W}(n) = \bar{W}(n-1) + \delta^{-1} \lambda^{-n} e_{n-1}(n) \bar{I} \bar{X}(n) \quad (56)$$

که رابطه را می‌توان از حالت برداری بیرون آورد

$$w_i(n) = w_i(n-1) + \delta^{-1} \lambda^{-n} e_{n-1}(n) x_i(n) \quad (57)$$

با توجه به مراجع [۸] و [۹] می‌توان بیشتر به اهمیت این الگوریتم پی

برداری سیگنال مطلوب را چنین تعریف می‌کنیم

$$\bar{d}(n) = [d(i)]_{n \times 1} \quad (30)$$

که در آن $d(i)$ ها در رابطه زیر صدق می‌کنند

$$e_n(i) = d(i) - y_n(i) \quad (31)$$

حال (۲۶) و (۲۷) را بازنویسی می‌کنیم

$$\bar{\theta}_\lambda(n) = \bar{X}(n)d(n) + \lambda \bar{X}(n-1)d(n-1) + \dots \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \bar{\Psi}_\lambda(n) &= \bar{X}(n)\bar{X}^T(n) + \\ &\lambda \bar{X}(n-1)\bar{X}^T(n-1) + \\ &\lambda^2 \bar{X}(n-2)\bar{X}^T(n-2) + \dots \end{aligned} \quad (33)$$

روابط (۳۲) و (۳۳) را می‌توان به صورت زیر مرتب کرد

$$\bar{\theta}_\lambda(n) = \bar{X}(n)d(n) + \lambda \bar{\theta}_\lambda(n-1) \quad (34)$$

$$\bar{\Psi}_\lambda(n) = \bar{X}(n)\bar{X}^T(n) + \lambda \bar{\Psi}_\lambda(n-1) \quad (35)$$

برای ساده کردن روابط و به دست آوردن معکوس $\bar{\Psi}_\lambda$ بایستی از رابطه جبری زیر کمک گرفت

$$(\bar{A} - \alpha \bar{a} \bar{a}^T)^{-1} = \bar{A}^{-1} - \frac{\alpha \bar{A}^{-1} \bar{a} \bar{a}^T \bar{A}^{-1}}{1 + \alpha \bar{a}^T \bar{A}^{-1} \bar{a}} \quad (36)$$

که در رابطه بالا، α یک اسکالر، \bar{a} یک بردار و \bar{A} یک ماتریس است. با توجه به (۳۵) در صورتیکه $\alpha = 1$ ، $\bar{a} = \bar{X}(n)$ و $\bar{A} = \lambda \bar{\Psi}_\lambda(n-1)$ را در (۳۶) قرار دهیم، داریم

$$\begin{aligned} \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n) &= \lambda^{-1} \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) - \\ &\frac{\lambda^{-\tau} \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) \bar{X}(n) \bar{X}^T(n) \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1)}{1 + \lambda^{-1} \bar{X}^T(n) \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) \bar{X}(n)} \end{aligned} \quad (37)$$

برای سادگی از یک ماتریس کمکی به صورت زیر استفاده می‌نماییم

$$\bar{k}(n) = \frac{\lambda^{-1} \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) \bar{X}(n)}{1 + \lambda^{-1} \bar{X}^T(n) \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) \bar{X}(n)} \quad (38)$$

$\bar{k}(n)$ را بردار بهره می‌نامند و با قراردادن (۳۸) در (۳۷) داریم

$$\bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n) = \lambda^{-1} (\bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) - \bar{k}(n) \bar{X}^T(n) \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1)) \quad (39)$$

و داریم

$$\bar{k}(n) = \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n) \bar{X}(n) \quad (40)$$

با قراردادن (۳۴) در (۲۷) داریم

$$\bar{W}(n) = \lambda \bar{\Psi}_\lambda^{-1} \bar{\theta}_\lambda(n-1) + \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n) \bar{X}(n) d(n) \quad (41)$$

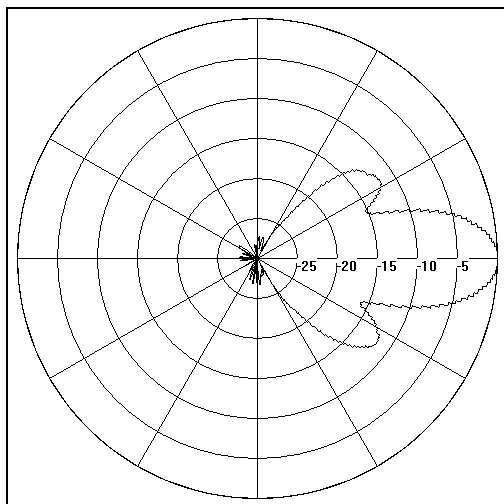
و داریم

$$\bar{W}(n) = \lambda \bar{\Psi}_\lambda^{-1} \bar{\theta}_\lambda(n-1) + \bar{k}(n) d(n) \quad (42)$$

که می‌توان نوشت

$$\begin{aligned} \bar{W}(n) &= \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) \bar{\theta}_\lambda(n-1) - \\ &\bar{k}(n) \bar{X}^T(n) \bar{\Psi}_\lambda^{-1}(n-1) \bar{\theta}_\lambda(n-1) + \bar{k}(n) d(n) \end{aligned} \quad (43)$$

و با مرتب کردن



شکل ۳: نمودار پترن تشعشی آنتن مرجع.

سیگنال مستقیم است مورد شبیه‌سازی قرار می‌دهیم. خطای نمونه‌ها در دو حالت متفاوت، ۰/۰۲ و ۰/۰۰۵ و تعداد تکرارها به ترتیب ۱۶۱۶ و ۶۰۷۳ است.

بنابراین این سیگنال‌های مزاحم می‌تواند پترن تشعشی را مانند شکل‌های ۱ و ۲ مورد تخریب قرار دهد. خطوط ضخیم پترن تشعشی آنتن مورد نظر است. خطوط نقطه‌چین، شبیه‌سازی از پترن تشعشی اندازه‌گیری شده است و خطوط نازک پترن تشعشی اصلاح شده است. در این حالت لوب‌های جانبی به شدت نامعتبر هستند. در شکل ۱ دقت فیلتر کم است می‌بینیم که اصلاح به خوبی صورت نگرفته است و پترن تشعشی اصلاح‌شده، نامعتبر است. در شکل ۲ که دقت فیلتر بیشتر است، می‌بینیم که اصلاح صورت گرفته است و پترن تشعشی اصلاح‌شده است.

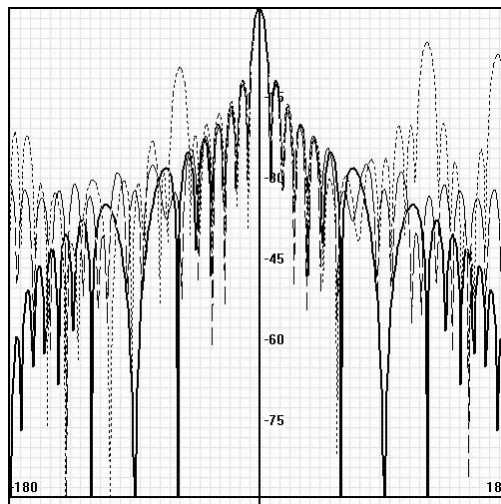
۸- نتایج عملی

برای به دست آوردن نتایج عملی، بایستی اندازه و فاز پترن تشعشی مورد استفاده قرار گیرد. اما سیستم مورد استفاده در این کار توانایی اندازه‌گیری فاز را ندارد. بنابراین می‌توان مرجع را به گونه‌ای انتخاب کرد که دارای شباهت فازی با آنتن مورد آزمایش باشد تا احتیاج به اندازه‌گیری فاز نباشد. از طرفی می‌توان در اتاق‌هایی که سیگنال‌های مزاحم بر اثر بازتاب‌های تحت زوایای نزدیک ۴۵ و ۹۰ درجه رخ می‌دهند، سیگنال‌های مزاحم صفحه E و H را یکسان در نظر گرفت.

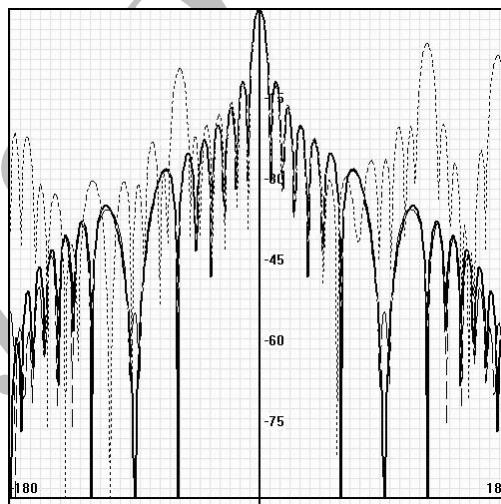
چون اتاق مورد استفاده در اینجا دارای چنین خاصیتی است از این به بعد به صفحه اندازه‌گیری اشاره نمی‌شود. پترن مرجع، در اینجا به صورت شکل ۳ است. پترن اندازه‌گیری شده در اتاق دارای انعکاس با نقطه‌چین در شکل ۴ آورده شده است. پترن اندازه‌گیری شده در مرکز تحقیقات مخابرات ایران در اتاق ضدانعکاس با خط ممتد و ضخیم در شکل آورده شده است. همان‌گونه که در شکل واضح است به علت وجود دیوار در پشت آنتن یک خطای فاحش در لوب‌های آنتن ایجاد گردیده است که در زاویه ۱۸۰ درجه به وضوح مشخص است. با اعمال روش ارائه‌شده و پترن اصلاح‌شده (خط ممتد و نازک) به دست می‌آید که اثرات لوب جانبی کاهش یافته است.

۹- نتیجه‌گیری

در این کار، هدف طراحی و پیاده‌سازی سیستم اندازه‌گیری پترن تشعشی در اتاق دارای انعکاس با استفاده از فیلتر وقتی بود. بیشترین زمان در این کار صرف یافتن روش وقتی مناسب شد. روش وقتی در



شکل ۱: نمودار پترن تشعشی آنتن شیپوری در اتاق با سیگنال مزاحم زیاد، دقت کم.



شکل ۲: نمودار پترن تشعشی آنتن شیپوری در اتاق با سیگنال مزاحم زیاد، دقت بالا.

برد. در الگوریتم SRLS برای تازه‌کردن $\bar{\Psi}_\lambda^{-1}$ بایستی $4N^2$ عمل ضرب و $3N^2$ عمل جمع-تفریق انجام گیرد در حالی که این الگوریتم برای تازه‌کردن $\bar{\Psi}_\lambda^{-1}$ احتیاج به N عمل ضرب دارد. این ویژگی این الگوریتم را به عنوان یک الگوریتم فوق‌العاده در آورده است.

۷- شبیه‌سازی

در این شبیه‌سازی فیلتر وقتی ارائه‌شده دارای ۳۶۰ وزن است. بایستی توجه داشت که داشتن ۳۶۰ وزن در اینجا برای کم‌کردن حساسیت خروجی نسبت به افزایش سیگنال‌های مزاحم است. همچنین آنتن مرجع دارای پترنی به صورت زیر است

$$F = \frac{(1 + \cos(\theta)) \sin(10\pi \sin \theta)}{20\pi \sin(\theta)} \quad (58)$$

در اینجا پترن تشعشی آنتن در صفحه E مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است و آنتن مورد آزمایش، آنتن شیپوری است که پیچیدگی پترن تشعشی آن زیاد است. پترن تشعشی صفحه E آنتن شیپوری به صورت زیر است

$$F = \frac{(1 + \cos(\theta)) \sin(7\pi \sin \theta)}{14\pi \sin(\theta)} \quad (59)$$

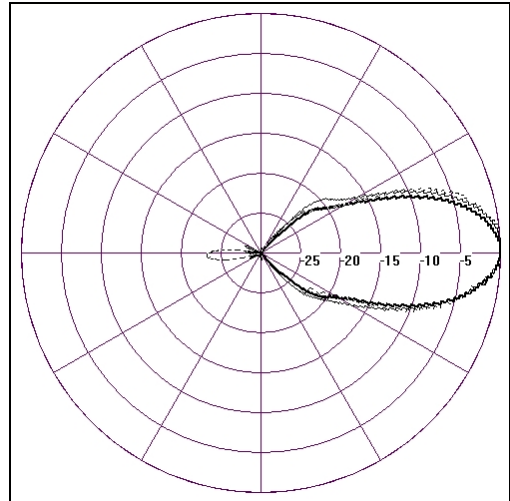
در این حالت آنتن را در اتاقی که در آن اندازه سیگنال‌های انعکاسی در جهت‌های ۱۲۱، ۱۷۲ و ۳۰۳ درجه به ترتیب ۰/۵، ۰/۴ و ۰/۳ برابر اندازه

- [2] D. A. Leatherwood and B. Joy, "Plane wave, pattern subtraction, range compensation," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 49, no. 12, pp. 1843-1851, Dec. 2001.
- [3] W. Burnside and J. Gupta, "A method to reduce stray signal errors in antenna pattern measurement," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 42, no. 3, pp. 399-405, Mar. 1994.
- [4] B. Fourestie and Z. Altman, "Gabor schemes for analyzing antenna measurements," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 49, no. 9, pp. 1245-1253, Sep. 2001.
- [5] B. Fourestie, "On the use of the matrix-pencil method to correlate measurements at different test sites," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 47, no. 10, pp. 1569-1573, Oct. 1999.
- [6] M. D. Migliore, "Filtering environmental reflection in far-field antenna measurement in semi-anechoic chambers by an adaptive pattern strategy," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 52, no. 4, pp. 1112-1115, Apr. 2004.
- [7] P. S. Leather and D. Parsons, "Equalization for antenna pattern measurements: established technique-new application," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 45, no. 2, pp. 1112-1115, Apr. 2003.
- [8] B. Farhang, *Adaptive Filters: Theory and Application*, John Wiley & Sons, England, 1998.
- [9] M. L. Honig and D.G. Messerschmitt, *Adaptive Filters*, Boston: Kluwer Academic Publishers, 1984..

جواد دیانت تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق در سال ۱۳۸۳ از دانشگاه کرمان و کارشناسی ارشد مهندسی برق در سال ۱۳۸۵ از دانشگاه ارومیه ایران به پایان رسانده است و در صنایع الکترونیک ایران به عنوان مهندس برق در زمینه طراحی سیستم‌های تست دستی و کنترل‌شونده توسط کامپیوتر شروع به کار کرد. وی هم‌اکنون به عنوان مهندس ارشد در همان شرکت مشغول به کار می‌باشد. مسئولیت‌های وی آنالیز دستگاه‌های الکترومغناطیس، مدل‌سازی و طراحی مدارهای میکروویو است.

چنگیز قبادی متولد ۱۳۳۸، مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق مخابرات خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان و در سال ۱۳۷۷ مدرک دکترای مهندسی برق مخابرات خود را از دانشگاه بس در انگلستان دریافت نمود. و هم‌اکنون دانشیار گروه مهندسی برق دانشگاه ارومیه می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی آنتن، سیستم‌های رادار، فیلترهای وقتی.

جواد نوری‌نیا متولد ۱۳۴۸، تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی مهندسی برق الکترونیک در سال ۱۳۷۱ از دانشگاه شیراز و کارشناسی ارشد و دکترای مهندسی برق مخابرات، به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۴ و ۱۳۷۹ از دانشگاه علم و صنعت ایران به پایان رسانده است و هم‌اکنون دانشیار گروه مهندسی برق دانشگاه ارومیه می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: طراحی آنتن، روش‌های عددی در الکترومغناطیس، ادوات و مدارات میکروویو.



شکل ۴: نمودار پترن تشعشی آنتن مورد آزمایش، پترن تشعشی اندازه‌گیری شده در ITRC (ممتد و ضخیم)، اندازه‌گیری شده در اتاق معمولی (نقطه‌چین) و اصلاح شده (ممتد و نازک).

حوزه قطعی پیاده‌سازی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها دقت‌های بالای ۶۵- دسیبل را نشان می‌داد. در عمل به علت عدم اندازه‌گیری فاز توسط سیستم نمونه‌برداری، از آنتن مرجع دارای فاز مشابه با آنتن مورد آزمایش استفاده شد. در عمل به دقت‌های بسیار زیاد شبیه‌سازی دسترسی پیدا نشد اما به دقت‌هایی در حد ۳۰- دسیبل دسترسی یافتیم. یکی از عیوب این روش حساسیت به مرکز فاز است که این عیب در فرکانس‌های بالا اهمیت بیشتری می‌یابد اما همان‌گونه که در محدوده‌های فشرده می‌توان مشکل حساسیت به مرکز فاز را حل نمود در اینجا نیز می‌توان آن را حل نمود. از ویژگی‌های این روش ارزان بودن اندازه‌گیری آنتن است و دقت بالای روش است. همچنین این روش می‌تواند سطح سیگنال مزاحم را در اتاق‌های ضدانعکاس کاهش دهد تا اندازه‌گیری دقیق‌تری را در آنها داشته باشیم. در حین این پروژه الگوریتم وقتی بهبودیافته SRLS ارائه گردید که خود تحولی در امر پیاده‌سازی فیلترهای وقتی قطعی محسوب می‌گردد و مهندسين و کاربران آینده می‌توانند با بکارگیری آن نرم‌افزارهای لازم را فوق‌العاده سریع‌تر پیاده‌سازی کنند.

مراجع

- [1] D. N. Black and B. Joy, "Test zone field compensation," *IEEE Trans. on Antennas Propag.*, vol. 43, no. 4, pp. 362-368, Apr. 1995.