



تخمین زاویه ورود مبتنی بر فاز در آرایه های خطی

وحید عبداللهی ، هادی زبانی ، روزبه رجبی

کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی قم

کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی قم

کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی قم

چکیده

در این مقاله، به سه الگوریتم تخمین زاویه ورود بر اساس فاز پرداخته شده است. الگوریتم اول، روشی است که بر اساس اختلاف فازی که بین حسگر اول (مرجع) و سایر حسگرها وجود دارد، کار می کند. در این روش، با در نظر گرفتن این اختلاف فاز و اعمال آن به سیگنال رسیده به حسگر اولیه، می توان سیگنال رسیده به دیگر حسگرها را به دست آورد و سیگنال بازسازی شده را ساخت. سپس با مقایسه ی سیگنال اصلی رسیده به حسگرها و سیگنال بازسازی شده، می توان زاویه ورود را تخمین زد. الگوریتم پیشنهادی دوم، مشابه الگوریتم پیشنهادی اول است، با این تفاوت که بر اساس اختلاف فاز بین حسگرهای مجاور کار می کند. مزیت روش پیشنهادی دوم، این است که با دچار خطا شدن حسگر اول، الگوریتم دچار اشکال نمی شود. در الگوریتم پیشنهادی سوم، با تفریق سیگنال رسیده به هر حسگر از حسگر قبلی و با ضرب در اختلاف فاز بین دو حسگر می توان ماتریس جاروب و سیگنال بازسازی شده ای را ایجاد کرد و به وسیله ی آنها زاویه ورودی را تخمین زد. سپس الگوریتم های پیشنهادی با الگوریتم های معروفی چون الگوریتم L1-SVD و الگوریتم MUSIC مقایسه شده اند. نتایج حاصل از این مقایسه ها، نشان گر تخمینی دقیق تر در سیگنال به نویزهای بالا و پیچیدگی محاسباتی کمتر نسبت به روش های مطرح قبلی برای دو الگوریتم پیشنهادی اول است. همچنین این دو روش، در حالتی که از چندین منبع سیگنال استفاده شود و منابع نزدیک به هم باشند، می تواند قدرت تفکیک پذیری بالاتری نسبت به الگوریتم های مقایسه شده، داشته باشند. این موارد از جمله ی مهمترین ویژگی های الگوریتم های این دو الگوریتم پیشنهادی است. الگوریتم پیشنهادی سوم، دارای پایداری بیشتر در سیگنال به نویزهای پایین است. همچنین دارای تخمینی دقیق تر نسبت به الگوریتم های مطرح شده است.

کلیدواژه ها: تخمین زاویه ورود، اختلاف فاز، تنکی، آرایه خطی

1- مقدمه

تخمین زاویه ورود سیگنال که با نام اختصاری (DOA¹) شناخته می شود. در این مساله، به تشخیص و تخمین زاویه ورود سیگنال پرداخته می شود. نحوه ی انجام کار به این صورت است که با استفاده از سیگنال رسیده به آنتن های آرایه ای، زاویه هایی که منابع سیگنال با آنتن آرایه ای دارند، تخمین زده می شوند. تا کنون،

¹ Direction of arrival



روش های زیادی برای تخمین زاویه ورود سیگنال مطرح شده است که در میزان دقت، پیچیدگی محاسباتی و شرایط محیطی خاص به نتایج مختلفی دست پیدا می کنند. تخمین زاویه ورود سیگنال دارای کاربردهای فراوانی از جمله در مخابرات، رادار، استفاده های نظامی و ... می باشد. روش های متعددی برای تخمین زاویه ورود به کار رفته اند که از جمله آنها می توان به روش CAPON (موجدات (2005))، روش MUSIC (استویکا (1989))، روش ESPRIT (روی، (1989))، روش های مبتنی بر تنکی (سرینواس و کلیجین (2010)) اشاره کرد. در بخش 3 به طور خلاصه بعضی از روش هایی که مقایسه را با آنها انجام شده است، آورده خواهد شد. همچنین در این مقاله دو الگوریتم معرفی شده است که به وسیله محاسبه ی میزان اختلاف فازی که بر اساس وجود فاصله بین حسگرها به وجود می آید، سیگنال رسیده به حسگرها را بازسازی می کنند. در نهایت سیگنال بازسازی شده با سیگنال اصلی مقایسه می شود. با این مقایسه، زاویه ورود تخمین زده می شود. سپس، شبیه سازی ها نشان گر دقت بالای تخمین زاویه ورود پیشنهادی نسبت به دیگر الگوریتم های مقایسه شده است. همچنین، الگوریتم های پیشنهادی با توجه به میزان سیگنال به نویز با دیگر الگوریتم ها مقایسه شده اند. نتایج نشان دهنده ی توانایی قابل قبول این الگوریتم های پیشنهادی در سیگنال به نویزهای بالا است.

2- طرح مساله

مدل روش های تخمین زاویه ورود، به این صورت است که، k منبع سیگنال درجهت q_k داریم که $k=1, \dots, K$ است و آرایه حسگری شامل M سنسور است که به صورت خطی است. بردار ورودی هر حسگر به صورت (1) است.

$$\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ \mathbf{L} \ x_M(t)]^T \quad (1)$$

که t بیانگر زمان است. سیگنال رسیده به حسگرها با رابطه (2) مدل میشود.

$$\mathbf{x}(t) = \mathbf{A}(q)\mathbf{s}(t) + \mathbf{n}(t) \quad (2)$$

$\mathbf{s} = [s_1(t) \ s_2(t) \ \mathbf{L} \ s_N(t)]^T$ بردار منابع است (زیبانی و زمانی (2016)).

$\mathbf{n}(t) = [n_1(t) \ n_2(t) \ \mathbf{L} \ n_M(t)]^T$ بردار نویز حسگرها است. بردار جاروب $\mathbf{a}(q)$ را به صورت (3) است [8].

$$\mathbf{A}(q) = [\mathbf{a}(q_1) \ \mathbf{a}(q_2) \ \mathbf{L} \ \mathbf{a}(q_K)]^T \quad (3)$$

$$\mathbf{a}(q_k) = [1, e^{-j^f}, \dots, e^{-j(M-1)j}]^T \quad (4)$$

$$j = 2p \frac{d}{l} \cos(q_k) \quad (5)$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \mathbf{M} \\ x_M \end{bmatrix} = [a(q_1) a(q_2) \mathbf{L} a(q_K)] \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \mathbf{M} \\ S_N \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} n_1 \\ n_2 \\ \mathbf{M} \\ n_M \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\mathbf{x} = \mathbf{A}\mathbf{s} + \mathbf{n}$$

q نماد زاویا است و $0 \leq q \leq 180^\circ$.



پس از معرفی مدل سیستم، به وسیله سیگنال مشاهده شده هریک از حسگرها به تخمین زاویه ی ورود پرداخته می شود. روش هایی برای تخمین زاویه ورود وجود دارد که در قسمت بعد به برخی از آنها معرفی پرداخته شده است.

3- بعضی روش های موجود برای تخمین زاویه ورود

3-1- روش CAPON :

این روش برای تخمین زاویه ورود از حل مسئله بهینه سازی زیر استفاده میکند .

$$\begin{aligned} \min E[|\mathbf{x}|^2] &= \min_{\mathbf{w}} \mathbf{w}^H \mathbf{R}_{uu} \mathbf{w} \\ \text{subject to } &|\mathbf{w}^H \mathbf{a}(j_0)| = 1 \end{aligned} \quad (7)$$

که بردار وزن از طریق رابطه ی (8) و طیف توان خروجی از رابطه ی (9) بدست می آید و \mathbf{R}_{uu} ماتریس کواریانس است.

(8)

$$\mathbf{w} = \frac{\mathbf{R}_{uu}^{-1} \mathbf{a}(j)}{\mathbf{a}^H(j) \mathbf{R}_{uu}^{-1} \mathbf{a}(j)} \quad (9)$$

$$\mathbf{P}_{capon}(j) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(j) \mathbf{R}_{uu}^{-1} \mathbf{a}(j)}$$

در نهایت زاویه ورود را براساس بالاترین میزان بدست آمده توان، تخمین میزند.

3-2- روش MUSIC¹:

این الگوریتم برای یافتن زاویه ورود، به یک جستجوی یک بعدی بر روی فضای مربوطه می پردازد. در این روش ماتریس کواریانس حسگرها تشکیل می شود و با علامت مشخص شده است. با تعریف حد آستانه ای جهت جدا سازی زیر فضای نویز و سیگنال و سپس رسم تابع بر حسب زاویه و جداسازی پیک های آن، زوایای مورد نظر تخمین زده می شوند (کایتکار (2005)). لذا در مرحله اول مدل داده ورودی به آنتن آرایه ای را تشکیل، سپس ماتریس کواریانس را تعریف می کنیم. رابطه (6) سیگنال دریافتی بر روی m المان آرایه، به همراه نویز می باشند. بردار جاروب به وسیله ی رابطه ی (3) ایجاد می شود. در نهایت توان به ازای زوایای مختلف رسم می شود و پیک های توان، به عنوان زاویه ورود سیگنال تشخیص داده می شود (شقایق (2014)).

(10)

$$\mathbf{P}_{MU}(q) = \frac{1}{\mathbf{a}^H(q) \mathbf{Q}_n \mathbf{Q}_n^H \mathbf{a}(q)}$$

که \mathbf{Q}_n ماتریس کواریانس نویز است.

¹ Multi Signal Classification

3-3- روش $L1-SVD^1$:

از جمله الگوریتم‌هایی که از نمونه برداری فشرده استفاده می‌کند، روش $L1-SVD$ است (مالیاتوف (2003)). در این روش انرژی سیگنالها بعنوان تابعی از جهت تخمین زده میشود. میتوان این مسئله را مانند مسائل سیگنالهای تنک با استفاده از بهینه سازی نرم واحد حل کرد. فرم برداری رابطه بصورت زیر قابل بیان است که:

$$x(t) = A(q)p(t) + n(t) \quad (11)$$

X بردار معلوم ناشی از سیگنالهای حسگرها، A ماتریس معلوم ناشی از دیکشنری جهت‌ها و مکان حسگرها و P بردار ناشی از سیگنال‌های بالقوه است که مجهول میباشد. با توجه به تناظر یک‌به‌یک بین دیکشنری جهت‌ها و سیگنالهای بالقوه، اگر مقادیر بردار P تخمین زده شوند، جهت منابع را می‌توان از روی آنها تعیین نمود. در روش ($L1_SVD$) برای اندازه‌گیری مقدار تنکی، از حداقل سازی نرم واحد و برای حذف اثر نویز جمع شده در مدل، از حداقل سازی نرم دو استفاده شده است. بر این اساس برای حل مدل تنک از مساله بهینه سازی زیر استفاده شده است.

$$\min \|p\|_1, \text{ subject to } \|x - A(q)p\|_2^2 \leq e \quad (12)$$

e پارامتری است که میزان نویز مجاز سیستم را نشان میدهد. پس از مشخص شدن مقادیر P و قرار گرفتن در رابطه بالا به ازای درجات مشخصی که رابطه‌ی بالا برقرار باشد میتوان آن زوایا را به عنوان زاویه ورودی سیگنال در نظر گرفت. تقریباً در تمام مراجع مربوط به جهت‌یابی مبتنی بر تنکی، از این روش بعنوان روشی با دقت بالا یاد شده است. دلیل این امر را میتوان استفاده بهینه روش ($L1_SVD$) از تمام اطلاعات موجود حسگرها دانست. ولی مهمترین عیب روش فوق حجم محاسبات زیاد میباشد که ناشی از تعداد زیاد متغیرهای تخمینی می‌باشد (مالیاتوف، ستین و ویلسکی (2005)).

3-4- روش OMP^2 :

ایده اصلی الگوریتم‌های ، تصویر بردارهای دریافتی در راستای بردارهای ماتریس اندازه‌گیری است. در مرحله اول، بردار دریافتی را در تمامی بردارهای اندازه‌گیری ضرب می‌کند و با مقایسه نرمالیزه شده این عبارت‌ها، مکان مولفه‌ی غیرصفر را پیدا کرده و سپس با کمینه کردن نرم 2 تفاضل بردار دریافتی در مقدار مجهول، مقدار این عنصر غیر صفر را نیز تخمین می‌زند. در مرحله‌ی بعد، تاثیر این مولفه تخمین زده را حذف کرده و در نهایت سیگنال اصلی را با دقت بالا تخمین می‌زند (ژوبین (2013)).

¹ Singular Value Decomposition

² Orthogonal Matching Pursuit



4- روش های پیشنهادی مبتنی بر اختلاف فاز

4-1- روش پیشنهادی اول: اختلاف فاز حسگر اول با بقیه حسگرها

در این روش سیگنال رسیده به هر یک از حسگرها بر اساس فاصله ی بین حسگرها، که با علامت d مشخص شده است محاسبه می شود. در نتیجه بین سیگنال وردی هر حسگر، با حسگر بعدی، میزانی اختلاف فاز خواهیم داشت. با احتساب این اختلاف فاز، سیگنال را بازسازی می کنیم. همانطور که می دانیم اختلاف فاز تابعی از میزان فاصله است. پس با دانستن فاصله ی بین حسگرها، می توان میزان اختلاف فازی که سیگنال، پس از پیمودن فاصله d ، با آن رو به رو شده است را به دست آورد. روند کلی این الگوریتم به این صورت است که برای بازسازی سیگنال های رسیده، سیگنال حسگر اول را که با علامت x_1 مشخص شده است در رابطه ی (13) جایگزین می کنیم. به این ترتیب سیگنال بازسازی شده \mathcal{X}_q به دست می آید. را به ازای تمامی زوایای q محاسبه می کنیم:

$$\begin{aligned}\mathcal{X}_1(q) &= x_1 \\ \mathcal{X}_2(q) &= x_1 e^{-j\left(\frac{2pd \cos q}{l}\right)} = x_1 e^{-j(2f)} \\ \mathcal{X}_3(q) &= x_1 e^{-j\left(\frac{4pd \cos q}{l}\right)} = x_1 e^{-j(4f)} \\ \mathcal{X}_4(q) &= x_1 e^{-j\left(\frac{6pd \cos q}{l}\right)} = x_1 e^{-j(6f)} \\ \mathcal{X}_M(q) &= x_1 e^{-j\left(\frac{M-1 \cdot 2pd \cos q}{l}\right)} = x_1 e^{-j(M-1)f}\end{aligned}\quad (13)$$

$$\begin{aligned}\mathcal{X}_q &= [\mathcal{X}_1(q), \mathcal{X}_2(q), \dots, \mathcal{X}_M(q)] \\ \mathcal{X} &= [\mathcal{X}_{q_1}, \mathcal{X}_{q_2}, \dots, \mathcal{X}_{q_N}] \\ \mathbf{X} &= [\mathbf{x} \ \mathbf{x} \dots \ \mathbf{x}]\end{aligned}\quad (14)$$

که ماتریس \mathbf{X} از تکرار بردار سیگنال حسگرها، در ستون های آن به دست آمده است. حال که سیگنال واقعی رسیده به حسگرها و همچنین سیگنال باز سازی شده حسگرها را به ازای همگی زوایا بدست آوردیم، با تقسیم درایه به درایه \mathcal{X} به \mathbf{X} ، ماتریس \mathbf{C} بدست می آید.

$$C_{ij} = \frac{\mathcal{X}_{ij}}{x_{ij}}\quad (15)$$

برای پیدا شدن زاویه ورود اهداف نسبت به آرایه کافی است به جستجو در ماتریس \mathbf{C} بپردازیم. اگر زاویه ورود سیگنال اصلی و سیگنال باز سازی شده یکسان باشد، با تقسیم درایه به درایه \mathcal{X} به \mathbf{X} ، جواب درایه قطری (i, i) برابر 1 خواهد شد، به این دلیل که سیگنال اصلی و بازسازی شده با یکدیگر برابر هستند. ولی در دیگر زوایا، درایه های (i, i) مساوی با یک نخواهد شد. به این ترتیب، می توان زوایایی که به ازای آنها، درایه (i, i) ماتریس \mathbf{C} برابر مقدار 1 شدند را جداسازی کرد و به این ترتیب زوایای ورود سیگنال را تشخیص داد.



این توضیحات برای حالت ایده آل بود. ولی برای حالت‌هایی که با نویز رو به رو هستیم، تنها کافی است که درایه (i, i) ماتریس C را با رابطه‌ی زیر مقایسه کنیم:

$$1 - e \leq c_{ii} \leq 1 + e \quad (16)$$

اگر شرط (16) برقرار باشد، زاویه مورد نظر یعنی q_i ، زاویه ورود سیگنال است. نحوه‌ی انتخاب e در قسمت آزمایش‌ها بیان شده است.

2-4- روش پیشنهادی دوم: اختلاف فاز بین سنسورهای مجاور

در این روش همانند روش پیشنهادی اول، سیگنال رسیده به حسگرها مشخص است و با علامت \mathbf{x} مشخص شده است. برای جهت‌یابی کافی است، سیگنال مشاهده شده‌ی حسگرها براساس اختلاف فاز بازسازی شود. میزان فاصله‌ی بین حسگرها را به اندازه‌ی ضریبی از طول موج در نظر می‌گیریم و از طریق رابطه‌ی $j = 2p \frac{d}{l} \cos q$ به دست می‌آید. برای بازسازی سیگنال حسگر اول، از رابطه (17) استفاده می‌کنیم و با علامت \bar{x}_1 نمایش می‌دهیم.

$$\bar{x}_1 = x_1 \quad (17)$$

به طور کلی برای بازسازی کلیه سیگنال‌های رسیده به حسگرها رابطه‌ی (18) به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\bar{x}_r = x_r - x_{r-1}, \quad 2 \leq r \leq M \quad (18)$$

سپس، به ازای زوایای مختلف، مقدار رابطه‌ی فوق بر اساس مدل در نظر گرفته شده، محاسبه می‌شود و زاویه‌ی آن که به ازای آن بیشترین میزان شباهت بدست آمده است، به عنوان زاویه ورود در نظر گرفته می‌شود. در عین حال سادگی استفاده از این روش دلیلی قابل قبول برای استفاده از این روش می‌باشد.

3-4- روش پیشنهادی سوم

بردار \mathbf{x} سیگنال رسیده به حسگرها است و M بیانگر تعداد حسگرها می‌باشد.

$$\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_M]^T \quad (19)$$

دو بردار \mathbf{x}_a و \mathbf{x}_b را به صورت مقادیر مشخص شده در رابطه‌ی (29) می‌سازیم.

$$\mathbf{x}_a = [x_1, x_2, \dots, x_{M-1}]^T = \mathbf{A}_a s + n_a \quad (20)$$

$$\mathbf{x}_b = [x_2, x_3, \dots, x_M]^T = \mathbf{A}_b s + n_b$$

با تفریق این دو بردار از هم و با ضرب \mathbf{x}_b در $e^{-j 2p \frac{d}{l} \cos q}$ بردار \mathbf{x} تشکیل خواهد شد که برداری $(1 \times M - 1)$ است.

$$\mathbf{x} = \mathbf{x}_a - (e^{-j 2p \frac{d}{l} \cos q}) \mathbf{x}_b, \quad j = 2p \frac{d}{l} \cos q \quad (21)$$

نمایش برداری \mathbf{x} به صورت زیر مشخص شده است.



$$\begin{aligned} \mathcal{X} &= (\mathbf{A}_a s + n_a) - (e^{-ij}) (\mathbf{A}_b s + n_b) \\ &= (\mathbf{A}_a - (e^{-ij}) \mathbf{A}_b) s + (n_a + (e^{-ij}) n_b) \end{aligned} \quad (22)$$

با استفاده از رابطه (23) به تخمین جدیدی از ماتریس جاروب و بردار نویز می‌رسیم.

$$\begin{aligned} \mathcal{X} &= (\mathbf{A}_a - (e^{-ij}) \mathbf{A}_b) s \\ \mathcal{N} &= (n_a + (e^{-ij}) n_b) \end{aligned} \quad (23)$$

با ساده سازی روابط بالا فرمول نهایی به صورت زیر خواهد بود.

$$\mathcal{X} = \mathcal{X}s + \mathcal{N} \quad (24)$$

با تشکیل بردار \mathcal{X} می‌توان برای تخمین زاویه ورودی سیگنال از روش بازیابی تنک OMP کمک گرفت. استفاده از این روش، باعث تخمینی دقیقتر و هم در مواردی که با نویز همبسته مواجه هستیم، می‌توان نتایج بهتری را بدست آورد. همچنین این روش، دارای سادگی بیشتر نسبت به روش‌های SVD و OMP است که در بخش آزمایش‌ها با بررسی زمان اجرای الگوریتم نشان داده شده است. در بخش بعد نتایج مقایسه‌ی الگوریتم‌های پیشنهادی، با تعدادی از الگوریتم‌های متداول مقایسه شده است.

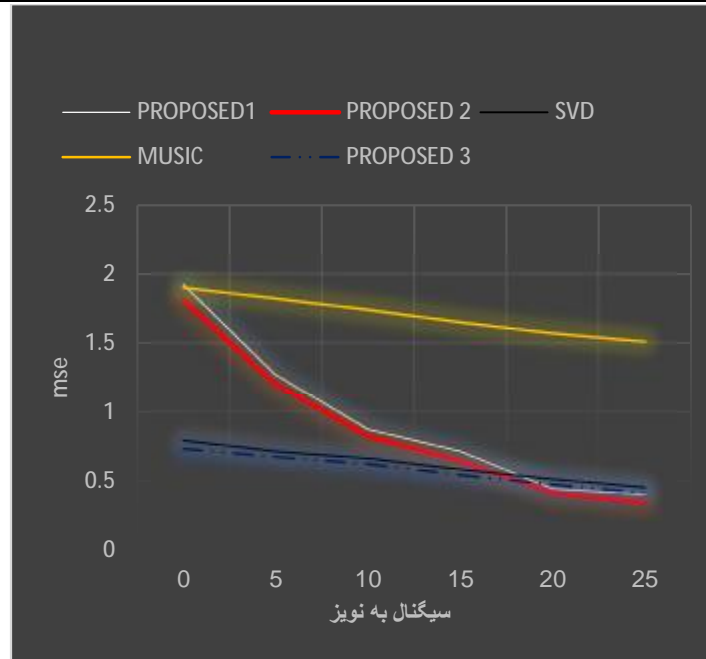
5- نتایج شبیه سازی

در این قسمت از سه آزمایش در شرایط یکسان استفاده می‌کنیم.

آزمایش اول:

در آزمایش اول میزان سیگنال به نویز را تغییر می‌دهیم و الگوریتم‌های MUSIC و L1-SVD را با سه الگوریتم پیشنهادی مقایسه می‌کنیم. میزان MSE اندازه گیری شده، با متوسط گیری روی صد بار آزمایش بدست آمده است. e را برابر 5×10^{-7} در نظر می‌گیریم.

نتایج حاصل از آزمایش اول در شکل 1 نشان داده شده است. این نتایج نشان می‌دهد که دو الگوریتم پیشنهادی اول در سیگنال به نویزهای بالا، کارایی بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارند. همچنین، الگوریتم پیشنهادی سوم، در سیگنال به نویزهای پایین نتایج بهتری نسبت به سایر الگوریتم‌ها دارد.



شکل 1: میزان MSE بر حسب سیگنال به نویز

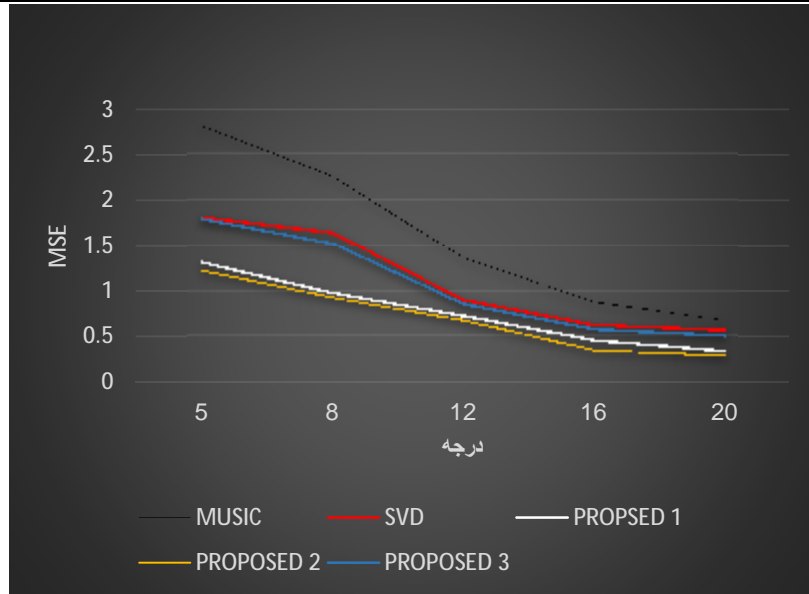
آزمایش دوم

در این آزمایش میزان تفکیک پذیری زوایا در الگوریتم‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. برای این کار، ابتدا میزان سیگنال به نویز را برای تمامی الگوریتم‌ها مقدار 20 dB قرار داده شده است. در مرحله‌ی دوم فاصله‌ی زوایا به ترتیب برابر 5 و 7 و 10 و 13 و 16 در نظر گرفته شده است که زاویه منابع در هر آزمایش در جدول 1 مشخص شده است.

جدول 1: فاصله زوایه ای و مقدار زاویه منابع بر حسب درجه

فاصله زوایا	منبع اول	منبع دوم	منبع سوم
۱۶	۴۹	۶۵	۸۱
۱۳	۵۲	۶۵	۷۸
۱۰	۵۵	۶۵	۷۵
۷	۵۸	۶۵	۷۲
۵	۶۰	۶۵	۷۰

نتایج حاصل از قدرت تفکیک پذیری در شکل 2 نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد، الگوریتم‌های پیشنهادی نسبت به الگوریتم‌های MUSIC و L1-SVD دقت و تفکیک پذیری بهتری دارند.



شکل 2: میزان MSE بر حسب فواصل زاویه ای مختلف

آزمایش سوم :

در این آزمایش زمان اجرای الگوریتم‌های پیشنهادی در مقایسه با دیگر الگوریتم‌ها بررسی شده است. همانطور که از نتایج جدول 2 مشخص است دو الگوریتم پیشنهادی اول، زمان اجرای کمتری نیاز دارند.

جدول 2: زمان اجرای الگوریتم‌ها به ازای تعداد منابع بر حسب ثانیه

تعداد منابع	MUSIC	L1_SVD	روش پیشنهادی اول	روش پیشنهادی دوم	روش پیشنهادی سوم
1	0/047	3/878	0/0246	0/0212	0/118
2	0/048	3/925	0/0259	0/0219	0/122
3	0/049	4/039	0/0268	0/0228	0/131

در نهایت به این نتیجه می‌رسیم که اگرچه دو الگوریتم پیشنهادی اول و دوم در مواقعی که میزان سیگنال به نویز مقدار کمی باشد از دیگر الگوریتم‌ها عملکرد ضعیف تری دارند اما با توجه به قدرت تفکیک پذیری بالا که در آزمایش دوم به اثبات رسید، برای مواقعی که نیاز به تخمین دقیق تر زوایا باشد قابل اعتمادتر هستند و عملکرد دقیقتری را دارا خواهند بود. همچنین در مواردی که سیگنال به نویز پایین باشد الگوریتم پیشنهادی سوم درای نتایج دقیق تری نسبت به سایر الگوریتم‌ها است.

نتیجه گیری

در این مقاله سه الگوریتم پیشنهاد شد، که براساس میزان اختلاف فاز حاصل از فاصله‌ی حسگرها، سیگنال اصلی را بازسازی می‌کنند. در الگوریتم اول، سیگنال بازسازی شده، از روی اختلاف فاز بین حسگر اول و سایر حسگرها به دست



می‌آید. در الگوریتم دوم، سیگنال بازسازی شده، بر اساس اختلاف فاز سیگنال هر حسگر با حسگر قبلی به دست می‌آید. در الگوریتم سوم، سیگنال بازسازی شده، بر اساس تفریق سیگنال هر حسگر با حسگر قبلی و با ضرب اختلاف فاز ناشی از فاصله بین حسگرها به دست می‌آید. در نهایت، در دو الگوریتم پیشنهادی اول، سیگنال واقعی و سیگنال بازسازی شده باید دیگر مقایسه می‌شوند و اگر سیگنال بازسازی و سیگنال واقعی مقادیر یکسانی داشتند، به ازای آن زاویه، زاویه ورود تخمین زده می‌شود. با توجه به نتایجی که در بخش آزمایش‌ها به دست آمد، مشخص شد که دو الگوریتم پیشنهادی اول در سیگنال به نویزهای بالا، دقت بیشتری نسبت به دیگر الگوریتم‌های مطرح شده دارند. همچنین هنگامی که زوایای منابع در فواصل زاویه‌ای نزدیک به هم قرار داشته باشند، این دو الگوریتم پیشنهادی دارای تخمین دقیق‌تر هستند. در ضمن دو الگوریتم پیشنهادی اول دارای پیچیدگی محاسباتی کمتر، نسبت به سایر الگوریتم‌ها هستند. الگوریتم پیشنهادی سوم، در سیگنال به نویزهای پایین دارای نتایج دقیق‌تر نسبت به سایر الگوریتم‌ها است.

مراجع

- [1] D. Malioutov, M. Cetin, and A. S. Willsky, "A Sparse Signal Reconstruction Perspective for Source Localization with Sensor Arrays", *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 53, no. 8, pp. 3010–3022, Aug. 2005.
- [2] D. M. Malioutov. A Sparse Signal Reconstruction Perspective for Source Localization with Sensor Arrays. M.S. thesis, MIT. 2003.
- [3] D. M. Mujdat, "A Sparse Signal Reconstruction Perspective for Source Localization With Sensor Arrays", *IEEE Transaction on Signal Propagation*, vol 53, no. 8, pp 346-358, August 2005
- [4] Guibene, W. and Slock, D. ("Cooperative Spectrum Sensing and Localization in Cognitive Radio Systems Using Compressed Sensing," Hindawi Publishing Corporation, 2013
- [5] H.Zamani, H.Zayyani and Farokh Marvasti "An Iterative Dictionary Learning-based algorithm For DOA Estimation," *IEEE Communications Letters* - July 2016
- [6] M. Shaghaghi, S. A. Vorobyov, "Iterative root-MUSIC algorithm for DOA estimation", *Proc of CAMSAP 15–18 Dec. 2013 Saint Martin France*. IEEE, pp. 53-56, 2014.
- [7] R. Roy and T. Kailath, "ESPRIT-estimation of signal parameters via rotational invariance techniques," *IEEE Transactions on Acoustic, Speech and Signal Processing*, vol. 37, no. 7, pp. 984–995, Jul. 1989.
- [8] T.V. Sreenivas and W. B. Kleijn, "Compressive sensing for sparsely excited speech signals", *IEEE Speech and Signal Processing Propagation*, pp. 4125–4128, 2010
- [9] R. G. Baraniuk, "Compressive Sensing", *IEEE Signal Processing Magazine*, pp. 118-124, Jul. 2007
- [10] R. S. Kawitkar and D. G. Wakde, "An approach for MUSIC Algorithm in Smart Antenna System", *IEEE International Workshop on Antenna Technology*. London. Mar 2005.
- [11] P. Stoica and A. Nehorai, "MUSIC, Maximum Likelihood and Cramer-Rao Bound", *IEEE Tran. on Acoustics Speech, and Signal Processing*, vol. 37, no. 5, pp. 720–741, May. 1989.
- [12] T.V. Sreenivas and W. B. Kleijn, "Compressive sensing for sparsely excited speech signals", *IEEE Speech and Signal Processing Propagation*, pp. 4125–4128, 2010