

ارائه روشی جدید در بهبود خطای الگوریتم های مکان یابی منابع تشعشع کننده به وسیله سایت های متحرک در حضور خطای ناوبری

هومن اکبرزاده^۱، روح الله عبدالهی^۲، سعید طلعتی^۳، وحیدرضا سلطانی نیا^۴

۱-۴۳۳-دانشکده جنگ الکترونیک، دانشگاه علوم و فنون هوایی شهید ستاری

۲- دانشکده مهندسی برق، جنگ الکترونیک و سایبری، دانشگاه جامع امام حسین(ع)

چکیده

الگوریتم های مکان یابی متداول با در نظر گرفتن خطای مشاهدات به دست آمده از هدف با حداقل سازی اثر خطای مشاهدات در دقت مکان یابی، طراحی شده اند. در مکان یابی با یک حس گر متحرک به گزارش سیستم های ناوبری از مکان حس گر نیاز است. بنابراین الگوریتم های مکان یابی در این روش باید به نحوی تغییر کنند تا خطای ناوبری در کنار مشاهدات خطا دار از هدف نیز در معادلات لحاظ شود و اثر این خطا در دقت مکان یابی حداقل شود. هدف این مقاله روش های مکان یابی غیرفعال با حس گرهای متحرک و تحلیل و طراحی روشی است که می توان به وسیله آن ها سرعت و دقت الگوریتم های مکان یابی را افزایش داد و اثر خطاهای موجود در مشاهدات و گزارشات مکان یابی ناوبری را به حداقل رسانید. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که الگوریتم تک مرحله ای حداقل مربعات تعمیم یافته، در تمام سناریوها دقیق ترین نتایج را داشته و استفاده از آن در شرایط واقعی مناسب است. برای افزایش سرعت همگرایی، الگوریتم مبتنی بر فیلترهای وفقی طراحی شده است. همچنین عوامل تأثیر گذار در سرعت همگرایی تحلیل شده و راه حل افزایش سرعت همگرایی ارائه شده است. با تحلیل حدود باند کرامر راتو در روش های مختلف، چهار چوبی جدید به وجود آمده که در این مقاله از دو الگوریتم تقاطع و دوران برای ترکیب روش های مبتنی بر جهت یابی و زمان ارسال سیگنال استفاده می شود. ویژگی های مهم این الگوریتم ها، دقت بالا، حجم پردازش کم و مقاومت آن ها در برابر نویزهای اندازه گیری است. این روش ها با شبیه سازی مورد ارزیابی قرار گرفته اند که این ارزیابی نشان دهنده مزیت روش پیشنهادی در کیفیت عملکرد آن در مقایسه با روش های موجود است.

کلید واژه ها: مکان یابی، سنسور متحرک، ناوبری، حداقل مربعات تعمیم یافته.

Presenting a New Method in Improving the Error of Radiative Source Localization Algorithms by Moving Sites in the Presence of Navigation Error.

Houman Akbarzadeh¹, Ruhollah Abdulahi², Saeed Talati³, Vahidreza Soltaninia⁴

1-3-4-Faculty of Electronic Warfare, Shahid Sattari University of Aeronautical Engineering, Tehran, Iran.

2-PhD Candidate, Faculty of Electrical Engineering Department, Imam Hossein University, Tehran, Iran

Abstract

Conventional localization algorithms are designed by considering the error of observations obtained from the target by reducing the effect of observation error on accurate localization. In positioning with a moving sensor, navigation systems report the sensor locations. Therefore, the finding locations in this method must be changed in some way so that the navigation error is calculated in the equations along with the erroneous observations of the target, and this error in the positioning accuracy is reduced. This paper aims to use passive positioning methods with moving sensors and analysis and design a method by which we can increase the speed and positioning algorithms and update the errors in the observations and

navigation positioning reports. The simulation results show that the single-stage generalized least squares algorithm has the most accurate results in all scenarios and is used in appropriate conditions. The algorithm is designed for adaptive filters to increase the convergence speed. Also, the effective factors in the convergence speed are analyzed and the solution to increase the convergence speed is presented. By analyzing Kramer Rao's band in different methods, a new framework has been created, in this article, the intersection and rotation algorithm is used to combine methods based on orientation and time of energy transmission. The important features of these algorithms are high accuracy, low processing volume, and resistance to measurement noises. These methods have been evaluated by simulation, which evaluates the proposed method in its performance quality compared to existing methods.

Keywords: Localization, moving sensor, Navigation, MSE.

۱- مقدمه

که نیاز به مقدار اولیه ای برای شروع الگوریتم دارد و با کاهش دقت مقدار اولیه، امکان واگرایی الگوریتم افزایش می یابد. در رویکرد دوم، معادلات غیر خطی را با چینی جدید و استفاده از چند پارامتر واسطه، تبدیل به معادلاتی خطی کرده و آنها را در چند مرحله با روش های متنوع تخمین مانند حداکثر شباهت^۶ و وزن کم ارزش^۷ حل مینمایند[۹].

در این مقاله ابتدا روش های به دست آوردن بهترین حد تخمین در تئوری تخمین تحلیل می شود؛ سپس الگوریتم های ترکیب روش ها مورد بررسی قرار می گیرند، روشی که در این بخش برای ترکیب داده های AOA, TOA به کار رفته است روشی رایج در تخمین نیست. این روش یک ایده ی کلی برای ترکیب انواع داده های مختلف بیان میکند، و داده هایی که از این ویژگی تبعیت کند می توان به این روش با یکدیگر ترکیب شوند. این روش ساده بوده و حجم پردازش آن در مقایسه با هر یک از روش های AOA, TOA تفاوتی ندارد، در ادامه الگوریتم های دوران و تقاطع تشریح شده و پس از ترکیب این دو روش به بررسی دقت و بایاس روش پیشنهادی می پردازیم.

روش جدید از تفاوت ذاتی هر کدام از الگوریتم های AOA, TOA استفاده میکند، که در این بخش با نام دوگان بودن معرفی شده است. در این بخش ابتدا اثبات می گردد که عملکرد روش AOA, TOA دو گان یکدیگر است به این معنی که اگر دقت مکانیابی یک روش در یک راستا دقت مناسبی نباشد دقت روش دیگر در همان راستا دقت بسیار بالایی است و در نتیجه می توان ضعف یک روش را به وسیله ی قدرت یک روش پوشش داد. تحلیل به وسیله شبیه سازی با سناریوهای مختلف در ادامه بررسی می شود و نتیجه گیری بخش پایانی این مقاله را در بر می گیرد.

۲- تحلیل روش ها

در تئوری تخمین بهترین حد تخمین یک پارامتر توسط باند کرامر راتو^۸ مشخص می گردد. در نتیجه اگر هدف تخمین مکان یک تشعشع کننده باشد و مشاهدات موردنظر از آن AOA یا TOA باشند می توان بهترین حد تخمین مکان هدف توسط هر دو روش را به دست آورد. به طور کلی اگر پارامتر مورد تخمین را با θ و مشاهدات را با y نمایش دهیم ماتریس کوواریانس پارامتر تخمین زده شده در (رابطه ی ۱) صدق می کند [۱۰]:

به علت نیاز روز افزون به دقت بالاتر گزارش مکان سیستم های تشعشع کننده، روش های بسیاری برای بالابردن دقت مکانیابی در حضور انواع خطای مختلف در کاربردهای متفاوت، ابداع شده است [۱]. یکی از این روش ها ترکیب ۱ کردن داده های مختلف است. [۲]. واضح است که با در اختیار داشتن داده های بیشتر، بالقوه می توان مکان دقیق تری از مکان ارسال سیگنال بدست آورد. در نتیجه فعالیت های بسیاری در یافتن الگوریتم های ترکیب داده های مختلف با یکدیگر صورت گرفته است، تا بتوان این دقت بالا را بدست آورد و قدرت مکانیابی را هر چه بیشتر افزایش داد [۳].

از جمله داده هایی که به صورت عمومی می توان در انواع کاربردها آن را در اختیار داشت و از آن برای مکانیابی بهره برد، داده های زمان ورود^۲ و زاویه ورود^۳ هستند، که برای ترکیب این روش ها تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است [۴ و ۵]. به صورت ذاتی دقت مکانیابی روش های مبتنی بر TOA خیلی بالاتر از روش های AOA است [۶]. که در نتیجه باعث می گردد عملاً ترکیب این روش ها فایده چندانی نداشته باشد و استفاده از روش TOA به تنهایی کافی باشد. در نتیجه اکثر موضوعات در شرایطی مطرح شده است که سیگنال به صورت NLOS^۴ موجود باشد و در نتیجه خطای اندازه گیری TOA افزایش یابد و قابل مقایسه با روش AOA باشد. همچنین در کاربردهایی مانند SLAM^۵ به علت استفاده از روش های پردازش تصویر نیاز به دقت جهت یابی بالاست [۷]. همچنین در این کاربرد به علت نزدیک بودن نودهای تشعشع کننده و سنسورهای گیرنده، دقت روش های مبتنی بر جهت یابی افزایش و دقت روش های TOA کاهش می یابد. بنابراین در سناریوهایی که جهت یابی به روش های پردازش تصویر صورت می پذیرد و نودها نزدیک است نیز، خطای عملکرد این دو روش در یک اندازه است و از ترکیب این روش ها می توان بهره برد [۸].

الگوریتم های متنوعی برای ترکیب روش های AOA, TOA طراحی گردیده است که در هر کدام سعی می کند دقت مکانیابی به نحوی افزایش یابد. اکثر روش های معرفی شده، سعی در حل کردن معادلات غیر خطی بدست آمده از روش های AOA, TOA با دو رویکرد عمومی است. در رویکرد اول از الگوریتم های بازگشتی که مبتنی بر خطی سازی معادلات و بسط تیلور هستند استفاده می گردد

^۸ ML: maximum likelihood

^۷ WLS: the Weighted Least Square

^۶ CRLB: Cramer-Rao lower bound

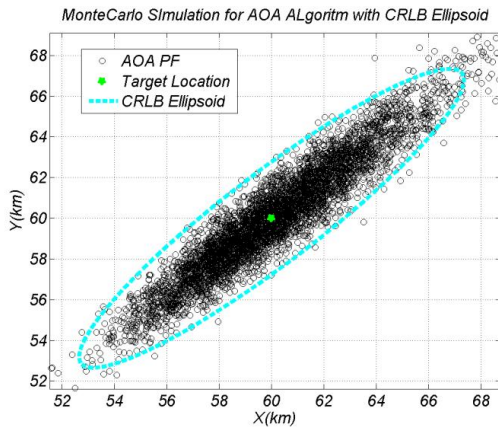
^۱ fusion

^۲ TOA: Time Of Arrival

^۳ AOA: Angle Of Arrival

^۴ Non Line of Sight

^۵ Simultaneous Localization and Mapping



شکل ۲- نمایش ارتباط بیضی کرامر رانو و شبیه سازی مونت کارلو

به سادگی شکل ۲ می توان دریافت که نتایج بیضی های الگوریتم های TOA و AOA به یکدیگر عمود هستند. اگر یک هدف دارای تشعشع از تعدادی گیرنده دارای فاصله ی نسبتاً زیادی باشد، در نتیجه هدف نسبت به گیرنده های مختلف در یک جهت قرار دارد و همچنین گیرنده ها نسبت به هدف در یک نقطه دیده می شوند. در نتیجه حاصل دفعات زیاد مکان یابی این هدف به روش AOA یک بیضی کشیده است که قطر بزرگ آن در راستای بردار جهت هدف به گیرنده است. نتیجه مکان یابی این هدف در روش TOA نیز به علت اینکه گیرنده ها از دید هدف، تقریباً در یک نقطه قرار دارند، روی دایره ای به مرکز سایت های گیرنده و به شعاع فاصله سایت ها از هدف است. در نتیجه نتایج مکان یابی به این دو روش نسبت به یکدیگر عمود است، زیرا نتیجه مکان یابی به روش AOA روی شعاع دایره و به روش TOA روی خود دایره است. این شرایط زمانی پیش خواهد آمد که هدف از گیرنده ها بسیار دور باشد.

همچنین می توان به صورت کلی و با بررسی ماتریس های CRLB هر دو روش به صورت تحلیلی به مقایسه ی روش های TOA، AOA، پرداخت. فرم FIM در این دو روش به صورت (روابط ۲ تا ۴) است.

$$\text{if } : \Sigma_{\hat{\theta}} = E\{\theta \cdot \theta^T\}$$

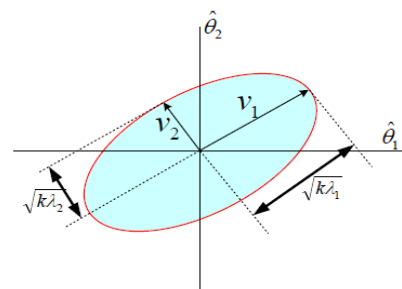
$$\Sigma_{\hat{\theta}} \geq \text{CRLB}(\theta) = M I_{\theta}^{-1} M$$

$$M = [m_{ij}] \rightarrow m_{ij} = \frac{\partial}{\partial \theta_i} E\{\hat{\theta}_j | \theta\} \Rightarrow M = I$$

$$I_{\theta} = -E \left\{ \frac{\partial}{\partial \theta_i \partial \theta_j} \ln(p(Y | \theta)) \right\} \quad (1)$$

که در آن ماتریس I_{θ} ماتریس اطلاعات فیشر^۹ است. همچنین مشخص است که اگر ماتریس M ماتریسی همانی باشد، واریانس پارامترهای تخمین از معکوس FIM همواره بزرگ تر است. در واقع حد CRLB در شرایطی که تخمین گر بدون بایاس است، همان معکوس FIM است. اکنون اگر حد CRLB تخمین مکان هدف را در صفحه ی دوبعدی نمایش دهیم (شکل ۱)، یک بیضی حاصل می شود که اندازه و جهت بردارهای تشکیل دهنده ی قطرهای بزرگ و کوچک بیضی آن بر حسب مکان هدف و مکان گیرنده ها قابل محاسبه است. بردارهای تشکیل دهنده ی قطرها برابر بردارهای ویژه ماتریس CRLB است (V_1, V_2). و اندازه ی هر کدام از این بردارها نیز متناسب با رادیکال مقادیر ویژه متناظر مشخص می گردد (λ_1, λ_2) [۱۱].

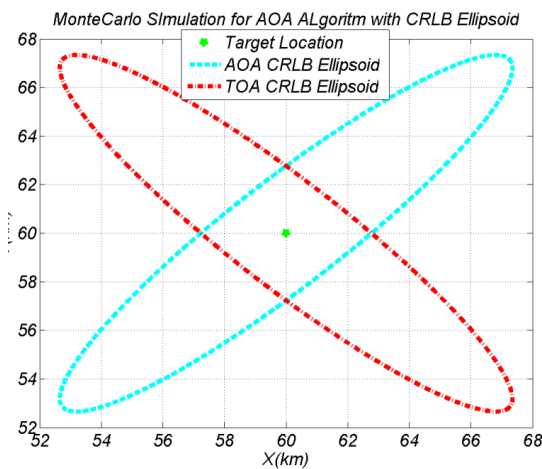
همچنین می توان اثبات کرد که بردارهای ویژه ماتریس CRLB و FIM یکسان و مقادیر ویژه آن عکس یکدیگر هستند. این نتیجه از اهمیت بالایی برخوردار است. زیرا دیگر نیاز به محاسبات مربوط به معکوس ماتریس نیست و مستقیماً از روی FIM به تحلیل بردارها و مقادیر ویژه پرداخته می شود.



شکل ۱- نمایش جهت قرارگیری بیضی باند کرامر رانو این بیضی نمایانگر حداکثر قدرت تخمین مکان هدف توسط یک الگوریتم است، یعنی اگر الگوریتم مورد نظر قابلیت رسیدن به حد CRLB را داشته باشد و به دفعات زیاد با الگوریتم مورد نظر، مکان یابی از هدف را انجام دهیم نتایج مکان یابی در داخل این بیضی قرار خواهد گرفت (شکل ۲).

^۹ FIM: Fisher Information Matrix

در نتیجه عناصر روی قطر اصلی به صورت ضربدری برابر هستند و آن‌ها نیز تنها در یک ضریب ثابت تفاوت دارند. در نتیجه بردارهای ویژه‌ی این دو ماتریس یکسان بوده و تنها جای مقادیر ویژه متناظر با هر یک از بردارها با یکدیگر عوض می‌شود. بنابراین همانند (شکل ۳) اگر حاصل بیضی احتمال روش AOA مشخص باشد، در روش TOA نیز جهت قطرهای اصلی همان جهت‌ها است با این تفاوت که قطرهای بزرگ و کوچک جابجا می‌شود. همچنین در شرایط دیگری مانند اینکه هدف در یک فاصله‌ی یکسان از تمام سیستم‌های غیرفعال باشد نیز این شرایط برقرار است و بیضی‌های احتمال دو روش کاملاً بر هم عمود هستند. ولی به صورت کلی، این تعامد، تقریبی است و می‌توان گفت که بیضی‌های احتمال این دو روش با یکدیگر همواره متقاطع هستند. این نتیجه از اهمیت بالایی برخوردار است. در واقع این نتیجه بیان می‌کند که این روش‌ها تقریباً مکمل یکدیگر هستند، یعنی اگر دقت مکان‌یابی یک روش در یک راستا دقت خوبی نباشد، دقت روش دیگر در آن راستا بالا است. در نتیجه می‌توان با توجه به نتیجه روش دیگر، نقص روش اول در تخمین نادقیق در آن راستا را پوشش داد.



شکل ۴- نمایش تقاطع بیضی‌های کران‌های روش‌های مبتنی بر جهت و زمان

همان‌طور که در (شکل ۳) مشخص است به نحوی با این روش نقطه‌ی تقاطع این بیضی‌ها مکانی می‌شود که به عنوان خروجی الگوریتم معرفی می‌گردد.

۳- الگوریتم ترکیب روش‌ها

همان‌طور که در بخش تحلیل روش‌ها توضیح داده شد، نتایج دقت الگوریتم‌های AOA و TOA به صورت مکمل هستند. یعنی دقت عملکرد الگوریتم‌ها عکس یکدیگر است و به این صورت

$$if : R_{ii}^2 = (y_i - y_i)^2 + (x_i - x_i)^2 \quad (2)$$

$$(3)$$

$$FIM_{AOA} = \frac{1}{\sigma_a^2} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N \left(\frac{y_i - y_i}{R_{ii}}\right)^2 & \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y_i)(x_i - x_i)}{R_{ii}^4} \\ \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y_i)(x_i - x_i)}{R_{ii}^4} & \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - x_i)^2}{R_{ii}^2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$FIM_{TOA} = \frac{1}{c \cdot \sigma_t^2} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - x_i)^2}{R_{ii}} & \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y_i)(x_i - x_i)}{R_{ii}^2} \\ \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y_i)(x_i - x_i)}{R_{ii}^2} & \sum_{i=1}^N \frac{(y_i - y_i)^2}{R_{ii}} \end{bmatrix}$$

که در آن x_t, y_t مکان هدف، x_i, y_i $i = 1, 2, \dots, N$ مکان سایت‌های گیرنده، σ_a برابر خطای جهت‌یابی و σ_t برابر خطای اندازه‌گیری زمان و c برابر سرعت حرکت نور است.

برای بررسی عملکرد الگوریتم‌های AOA, TOA، در حالتی که در ابتدا بررسی شد، یعنی حالتی که هدف خیلی از گیرنده‌های فاصله دارد، از فرم خاص FIM این دو روش می‌توان استفاده کرد. در این حالت فاصله هدف از سایت‌های مختلف تقریباً برابر با یکدیگر است یعنی $R_{ii} = R$ و در نتیجه می‌توان این مقدار ثابت را از ماتریس‌ها بیرون آورد و بنابراین FIM‌ها به صورت (روابط ۵ تا ۷) تعبیر می‌کنند.

$$if : R = R_{ii} \quad (5)$$

$$(6)$$

$$FIM_{AOA} = \frac{1}{R^4 \cdot \sigma_a^2} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)^2 & \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)(x_i - x_i) \\ \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)(x_i - x_i) & \sum_{i=1}^N (x_i - x_i)^2 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$FIM_{TOA} = \frac{1}{R^2 \cdot c \cdot \sigma_t^2} \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)^2 & \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)(x_i - x_i) \\ \sum_{i=1}^N (y_i - y_i)(x_i - x_i) & \sum_{i=1}^N (x_i - x_i)^2 \end{bmatrix}$$

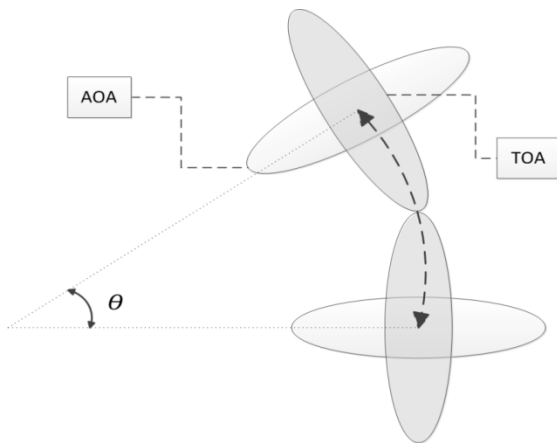
همان‌طور که از (روابط ۵ تا ۷) دیده می‌شود، عناصر غیر از قطر اصلی با یکدیگر برابر بوده و تنها در یک ضریب تفاوت دارند.

$$\begin{aligned}\hat{\theta}_{aoa} &= [\hat{x}_a \quad \hat{y}_a]^T \\ \hat{\theta}_{toa} &= [\hat{x}_t \quad \hat{y}_t]^T\end{aligned}\quad (9)$$

مرحله ی بعدی مطابق (رابطه ۱۰) چگونگی استفاده از عملکرد دوگان روش ها است.

$$\text{RotationMatrix} : \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

همان طور که در (شکل ۴) نمایش داده شده است، با دوران بیضی های احتمال هر دو روش سعی می گردد تا قطر بزرگ روش AOA در راستای محور طول و قطر بزرگ روش TOA در محور عرض قرار بگیرد.



شکل ۴- نمایش عملکرد روش دوران

همان طور که در (شکل ۴) دیده می شود، اگر دوران به نحوی باشد که بیضی ها بر محور x قرار بگیرند می توان مختص x هدف را از روشی انتخاب نمود که تغییرات آن روش در راستای x کم است و مختص y هدف را نیز از روشی انتخاب نمود که تغییرات y در آن راستا کم باشد. سپس نتیجه به دست آمده را خلاف جهتی که دوران انجام شده است دوران می دهیم تا مختصات بهینه ی هدف به دست آید. خلاصه ی الگوریتم دوران به صورت زیر قابل بیان است.

یافتن مکان هدف به هر دو روش AOA, TOA

به دست آوردن جهت قرار گرفتن بیضی

دوران مکان های به دست آمده در مرحله ی ۱

می توان نقص دقت الگوریتمی را با دقت بالای الگوریتم دیگر پوشش داد. روشی هایی که در ادامه بیان خواهد شد، شیوه های مختلفی است که عملیات ترکیب الگوریتم ها را محقق می سازد.

۳-۱- الگوریتم دوران ۱۰

در این روش ابتدا نیاز است تا جهت قرار گرفته بیضی AOA به دست آید که با توجه به آن تقریباً جهت قرار گرفتن بیضی دیگر نیز استخراج می شود. به این منظور ابتدا از FIM مربوط به روش AOA استفاده نماییم که تابعی از مکان هدف و مکان گیرنده ها است، در نتیجه باید با کمک یکی از روش ها نقطه ی مناسبی را برای مکان اولیه هدف در نظر بگیریم. نکته ای که در این بخش باید به آن توجه کرد این است که جهت قرار گرفتن هر بیضی با توجه به مکانی که از همان روش به دست آمده، دارای دقت مناسبی است. به عنوان مثال اگر به دنبال به دست آوردن جهت قرار گرفتن بیضی احتمال روش زاویه ورود ۱۱ باشیم باید مکان اولیه ی هدف توسط روش AOA به دست آید و اگر توسط روش زمان ورود ۱۲ TOA مکان اولیه به دست آید، تقریب مناسبی برای بیضی احتمال روش AOA نخواهیم داشت. علت نیز مشخص است، زیرا عملکرد این دو روش خلاف یکدیگر است و اگر مکان اولیه ای از روش AOA انتخاب گردد محل قرارگیری آن در راستای قطر اصلی بیضی آن روش است. بنابراین در مکانی خارج از بیضی CRLB روش AOA قرار می گیرد و به وسیله ی آن نمی توان تخمین مناسبی از بیضی روش AOA به دست آورد. اکنون با انتخاب مقداری اولیه از روشی مانند TOA به تقریب زدن بیضی احتمال همان روش می پردازیم. سپس با توجه به فرمول های موجود، بردارهای تشکیل دهنده ی قطرهای بیضی و جهت قرار گرفتن بیضی به دست می آید.

$$\theta = \tan^{-1}(V_{1y} / V_{1x}) \quad (8)$$

که در (رابطه ۸) جهت بردار بزرگ تر بیضی را نشان می دهد. با توجه به تحلیل بخش قبل می توان گفت که بیضی دیگر در راستای همین بردارها قرار داشته و تنها جای قطر بزرگ و کوچک عوض می شود. اکنون باید به نحوی از متعامد بودن این بیضی ها بهره برد. به این منظور ابتدا به وسیله ی هر کدام از روش های AOA, TOA نقاطی را به عنوان تخمین اولیه از مکان هدف به دست می آوریم. سپس مطابق (رابطه ۹) دونقطه ی به دست آمده را توسط جهتی که برای بیضی ها به دست آمد دوران می دهیم تا به نحوی مرکز بیضی ها روی یکی از محورهای مختصات قرار بگیرد.

^{۱۱} time of arrival

^{۱۲} Rotation

^{۱۳} Angle of arrival

انتخاب x از یک روش و y از روش دیگر

مطابق (رابطه ۱۲) تشکیل می دهیم.

$$\hat{\theta}'_{aoa-toa} = \begin{bmatrix} \hat{X}_{toa} \\ \hat{Y}_{toa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_t \cos \alpha + \hat{y}_t \sin \alpha \\ -\hat{x}_a \sin \alpha + \hat{y}_a \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (12)$$

سپس با دوران مختصات جدید به دست آمده در خلاف جهت دوران اولیه، مختصات هدف، مطابق (رابطه ۱۳) به دست خواهد آمد.

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_{aoa-toa} \\ \hat{Y}_{aoa-toa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_t \cos^2 \alpha + \hat{x}_a \sin^2 \alpha + (\hat{y}_t - \hat{y}_a) \sin \alpha \cos \alpha \\ \hat{y}_a \cos^2 \alpha + \hat{y}_t \sin^2 \alpha + (\hat{x}_t - \hat{x}_a) \sin \alpha \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (13)$$

همان طور که در رابطه ۱۳ دیده می شود مقادیر تخمین زده شده برای X, Y نهایی وابسته به مقادیر تخمین مختصات در روش های AOA, TOA و همچنین جهت قرارگیری بیضی ها وابسته است. با به دست آوردن محل تقاطع معادلات خطوط گذرنده از نقاط تخمین زده شده به روش های AOA, TOA مطابق (روابط ۱۴ و ۱۵) داریم.

(۱۴)

$$\begin{aligned} AOA_line : y - \hat{y}_a &= \tan \alpha (x - \hat{x}_a) \\ TOA_line : y - \hat{y}_t &= -\cot \alpha (x - \hat{x}_t) \\ \Rightarrow \begin{cases} \hat{X}_{aoa-toa} = \frac{\hat{y}_t - \hat{y}_a + \hat{x}_a \tan \alpha + \hat{x}_t \cot \alpha}{\tan \alpha + \cot \alpha} \\ \hat{Y}_{aoa-toa} = \frac{\hat{x}_t - \hat{x}_a + \hat{y}_t \tan \alpha + \hat{y}_a \cot \alpha}{\tan \alpha + \cot \alpha} \end{cases} \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{bmatrix} \hat{X}_{aoa-toa} \\ \hat{Y}_{aoa-toa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{x}_t \cos^2 \alpha + \hat{x}_a \sin^2 \alpha + (\hat{y}_t - \hat{y}_a) \sin \alpha \cos \alpha \\ \hat{y}_a \cos^2 \alpha + \hat{y}_t \sin^2 \alpha + (\hat{x}_t - \hat{x}_a) \sin \alpha \cos \alpha \end{bmatrix}$$

همان طور که دیده می شود نتایج هر دو روش شبیه یکدیگر است. تنها در معادلات روش دوم فرض تعامد بیضی ها اعمال گردیده بود. اکنون با به دست آمدن نقاط نتیجه، به بررسی بایاس روش پیشنهادی خواهیم پرداخت. با بررسی امید ریاضی نتایج به دست آمده مطابق (رابطه ۱۶) داریم:

(۱۶)

دوران x, y جدید به دست آمده در خلاف جهت دوران در مرحله ۳

۳-۲- الگوریتم تقاطع ۱۳

این روش نتیجه ای تقریباً برابر با روش قبل خواهد داشت با این تفاوت که در این روش نیازی به دوران نیست و در نتیجه نیاز نیست مبدأ مختصات به نحوی مناسب انتقال پیدا کند تا دوران به نحو صحیح صورت گیرد. همچنین در این روش، فرض متعامد بودن بیضی ها الزامی نیست. در این روش از الگوریتم های AOA بهره گرفته می شود. به این صورت که ابتدا توسط هر دو الگوریتم مکان های اولیه ای از هدف به دست می آید (رابطه ۹) و متناظر با هر مکان اولیه، یک جهت نیز در اختیار داریم که همان جهت قرارگیری بیضی $CRLB$ هر روش است. یعنی برای نقطه اندازه گیری AOA جهت بیضی AOA و برای نقطه TOA جهت قرارگیری بیضی TOA در اختیار است. در نتیجه دو خط در اختیار داریم که از هر کدام یک نقطه و شیب آن را میدانیم. بنابراین کافی است که محل تقاطع این دو خط را به دست آوریم. البته به جای استخراج محل تقاطع خطوط کافی است که از یک الگوریتم مکان یابی به روش AOA استفاده کنیم. به این صورت که مکان های اولیه به دست آمده برای هدف و جهت های متناظر به دست آمده را وارد یک الگوریتم ساده ای مکان یابی به روش AOA نماییم و خروجی محل تقاطع جهت ها است. خلاصه ای الگوریتم تقاطع به صورت زیر قابل بیان است:

یافتن مکان اولیه ای برای هدف توسط هر دو روش AOA, TOA .

پیدا کردن جهت بیضی های $CRLB$ هر دو روش.

وارد کردن داده های مرحله ۱ و ۲ در یک الگوریتم AOA .

بررسی دقت و بایاس روش پیشنهادی

با در اختیار داشتن نقاط روش های AOA و TOA (که از رابطه ۹ به دست آمده اند) را باشیم، مطابق (رابطه ۱۱) خواهیم داشت :

$$\begin{aligned} \hat{\theta}'_{aoa} &= \begin{bmatrix} \hat{X}_{aoa} \\ \hat{Y}_{aoa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_a \\ \hat{y}_a \end{bmatrix} \\ \hat{\theta}'_{toa} &= \begin{bmatrix} \hat{X}_{toa} \\ \hat{Y}_{toa} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha \\ -\sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_t \\ \hat{y}_t \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (11)$$

بعد از دوران دادن با انتخاب X_{toa}, Y_{aoa} مختصات جدید را

^{۱۳} Intersection

درست نیست، ولی به علت اینکه بایاس این روش بسیار کم است می توان از آن صرف نظر کرد و خطای این روش ها را با باند کرامر راثوی بدون بایاس مقایسه کرد.

۴- شبیه سازی

در این بخش به مقایسه ی دقت و بایاس روش پیشنهادی برای ترکیب الگوریتم های AOA, TOA با باند کرامر راثو و همچنین دقت تک تک هر یک از روش های AOA, TOA خواهیم پرداخت. همان طور که در مقدمه توضیح داده شد برای اینکه بتوان از ترکیب این روش ها بهره برد و دقت بیشتری به دست آورد نیاز است که دقت عملکرد روش های AOA, TOA در یک اندازه باشد و اگر دقت یک روش خیلی بیشتر از روش دیگر باشد ترکیب این روش ها بهبودی در دقت مکان یابی حاصل نمی کند. همچنین به صورت کلی سیستم هایی که زمان ارسال سیگنال را گزارش و دریافت می کنند سنکرون هستند و دقت گزارش زمان آن ها بسیار بالا است (در حد چند نانوثانیه). در نتیجه به صورت کلی دقت عملکرد روش TOA دقتی بسیار بالا است. ولی در روش های TOA هر چه مکان حس گرهای دریافت سیگنال به یکدیگر نزدیک تر باشد و هدف نیز به حس گرها نزدیک تر باشد خطای اندازه گیری TOA خود را در مکان یابی نشان خواهد داد. عملکرد سیستم های جهت یاب تقریباً خلاف سیستم های ثابت زمان است و هر چه هدف دور تر قرار بگیرد خطای جهت یابی اثر بیشتری خواهد داشت و هر چه هدف نزدیک تر باشد دقت مکان یابی به این روش افزایش می یابد.

در نتیجه سناریوی مکان یابی به وسیله ی جهت یابی با ایده ی پردازش تصویر که دارای دقت بالایی است در فضایی تقریباً نزدیک به یکدیگر، یک سناریوی مناسب برای ترکیب این الگوریتم ها است. بدین منظور در این شبیه سازی ها تعدادی حس گر نزدیک به یکدیگر که جهت و زمان ثبت شده از هدف را با دقتی بالا ثبت می کنند، فرض شده است و در دو سناریوی مختلف بایاس و دقت روش های پیشنهادی مقایسه گردیده است.

۴-۱- سناریوی اول

در این سناریو فاصله ی هدف نسبت به حس گرهای گیرنده فاصله ای نزدیک در نظر گرفته شده است. در (شکل ۵)، حداقل مربعات تعمیم یافته ۱۴، خطای مکان یابی هدف به روش های مختلف بررسی شده است. در این مقایسه خطای اندازه گیری TOA ثابت مانده است و خطای مکان یابی با تغییر خطای اندازه گیری AOA نمایش داده شده است. همچنین خطای مکان یابی به وسیله ی دو

$$E\left\{\begin{bmatrix} \hat{X}_{aaa-toa} \\ \hat{Y}_{aaa-toa} \end{bmatrix}\right\} = E\left\{\begin{bmatrix} \hat{x}_i \cos^2 \alpha + \hat{x}_a \sin^2 \alpha + (\hat{y}_i - \hat{y}_a) \sin \alpha \cos \alpha \\ \hat{y}_a \cos^2 \alpha + \hat{y}_i \sin^2 \alpha + (\hat{x}_i - \hat{x}_a) \sin \alpha \cos \alpha \end{bmatrix}\right\}$$

$$= \begin{bmatrix} E\{\hat{x}_i \cos^2 \alpha\} + E\{\hat{x}_a \sin^2 \alpha\} + E\{(\hat{y}_i - \hat{y}_a) \sin \alpha \cos \alpha\} \\ E\{\hat{y}_a \cos^2 \alpha\} + E\{\hat{y}_i \sin^2 \alpha\} + E\{(\hat{x}_i - \hat{x}_a) \sin \alpha \cos \alpha\} \end{bmatrix}$$

اگر فرض شود که جهت بیضی ها کاملاً مستقل از مقادیر اولیه ای است که توسط روش های AOA, TOA به دست می آید و یا به عبارت بهتر جهت قرارگیری بیضی ها مقداری ثابت است و هیچ گونه ارتباطی به نقطه ی اولیه تخمین زده شده توسط این روش ها ندارد، می توان امید ریاضی آن ها را مطابق (رابطه ۱۷) از یکدیگر تفکیک کرد:

$$(17)$$

$$= \begin{bmatrix} E\{\hat{x}_i\} \cos^2 \alpha + E\{\hat{x}_a\} \sin^2 \alpha + (E\{\hat{y}_i\} - E\{\hat{y}_a\}) \sin \alpha \cos \alpha \\ E\{\hat{y}_a\} \cos^2 \alpha + E\{\hat{y}_i\} \sin^2 \alpha + (E\{\hat{x}_i\} - E\{\hat{x}_a\}) \sin \alpha \cos \alpha \end{bmatrix}$$

به علت اینکه روش های انتخابی برای تخمین اولیه در روش های AOA, TOA روش هایی بودند که از مبنای ML استفاده کرده و بدون بایاس به CRLB می رسند، مطابق (رابطه ۱۸) داریم:

$$\begin{aligned} x &= E\{\hat{x}_i\} = E\{\hat{x}_a\} \\ y &= E\{\hat{y}_a\} = E\{\hat{y}_i\} \end{aligned} \quad (18)$$

بنابراین با استفاده از روابط ۱۷ و ۱۸ داریم:

$$(19)$$

$$\begin{bmatrix} x(\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + (y - y) \sin \alpha \cos \alpha \\ y(\cos^2 \alpha + \sin^2 \alpha) + (x - x) \sin \alpha \cos \alpha \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

در نتیجه این روش دارای بایاس بسیار اندکی است، علت این است که جهت بیضی احتمال وابستگی اندکی به نقطه ی تخمین زده شده دارد. اگر مقادیر اولیه ای که از الگوریتم های AOA, TOA به دست می آید، نزدیک به قطر اصلی بیضی باشند، تخمین بسیار مناسبی از جهت قرارگیری قطر بیضی به دست خواهد آمد و هر چه نقاط از قطر اصلی فاصله بگیرند، این تخمین بدتر خواهد شد و جهت تخمین زده برای بیضی CRLB با جهت اصلی تفاوت خواهد داشت. ولی به علت اینکه بیضی های کشیده هستند، به خودی خود نقاط اولیه نزدیک به قطر اصلی بوده و تخمین قطر بیضی تفاوت چندانی با مقدار اصلی نخواهد داشت. در نتیجه استخراج حد CRLB برای روشی با این مقدار بایاس، کار آسانی نیست و همچنین مقایسه ی شبیه سازی مونت کارلوی این روش با حد CRLB بدون بایاس

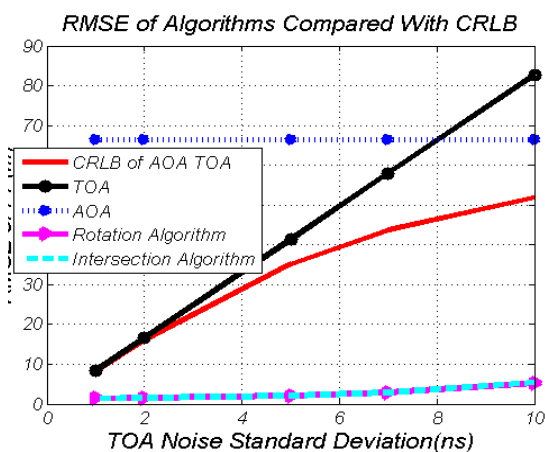
^{۱۳} Root Mean Square

شکل ۶- تغییر بایاس الگوریتم های جدید برحسب تغییر خطای جهت یابی

۴-۲- سناریوی دوم

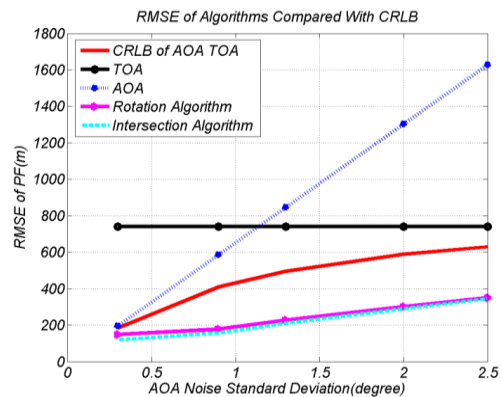
این سناریو برای حالتی است که فاصله ی هدف از حس گر ها بیشتر از فاصله ی حس گر ها از یکدیگر است. نتیجه مقایسه دقت الگوریتم ها در (شکل ۷) نمایش داده شده است. در این شکل دقت هر یک الگوریتم های TOA, AOA, به صورت جداگانه، باند کرامر رانو برای الگوریتم های بدون بایاسی که از ترکیب داده های AOA, TOA استفاده می کنند و خطای مکان یابی هدف موردنظر به وسیله ی دو الگوریتم جدید، برحسب افزایش خطای محاسبه ی TOA نمایش داده شده است.

همان طور که مشخص است باند کرامر رانو دارای دقتی بهتر از هر یک الگوریتم های TOA, AOA, است. همچنین با افزایش انحراف معیار نوین اندازه گیری زمان خطای مکان یابی به روش AOA تغییر چندانی نمی کند و خطای مکان یابی به روش TOA افزایش می یابد. ولی نتیجه ی الگوریتم ترکیبی تغییر جزئی با افزایش خطای اندازه گیری زمان دارد و کاملاً پایین تر از باند کرامر رانو است. که به علت بایاس دار بودن روش موردنظر است که در (شکل ۸) تغییرات بایاس هر دو الگوریتم برحسب افزایش خطای اندازه گیری زمان نمایش داده شده است.

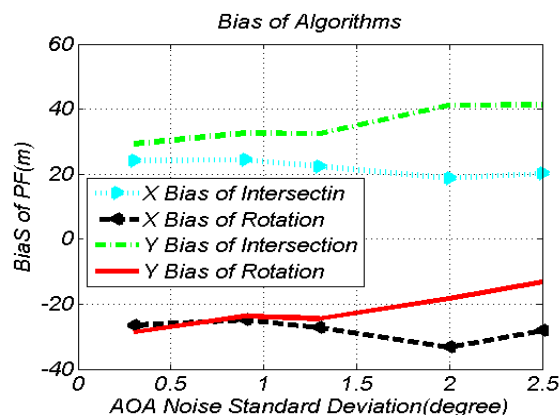


شکل ۷- نمودار مقایسه خطای مکان یابی الگوریتم ها و باند کرامر رانو

الگوریتم جدید، با باند کرامر رانو AOA-TOA مقایسه شده است و دقت مکان یابی به روش های AOA و TOA به صورت جداگانه نیز بررسی شده است. همان طور که مشخص است دقت مکان یابی به روش TOA با تغییرات خطای جهت یابی تغییر نمی کند و دقت مکان یابی به روش AOA با افزایش خطای جهت یابی افزایش می یابد. همچنین همان طور که دیده می شود باند کرامر رانو AOA-TOA از هر دو روش AOA و TOA بهتر است. علت این است که باند کرامر رانو نمایش دهنده بهترین دقت خطای مکان یابی به وسیله ی ترکیب روش های AOA, TOA است و دقت آن باید از خطای الگوریتم هایی که تنها از یک داده ی AOA یا TOA بهره می گیرند بهتر باشد. خطای مکان یابی به روش های جدید پایین تر از باند کرامر رانو قرار دارد، علت نیز این است که باند کرامر رانو مربوط به الگوریتم های بدون بایاس است و الگوریتم های معرفی شده دارای بایاس هستند. (این بایاس در (شکل ۶) کاملاً مشخص است). در این شکل تغییرات بایاس الگوریتم ها با افزایش خطای جهت یابی نمایش داده شده است. همان طور که مشخص است بایاس الگوریتم تقاطع مثبت و بایاس الگوریتم دوران منفی است.

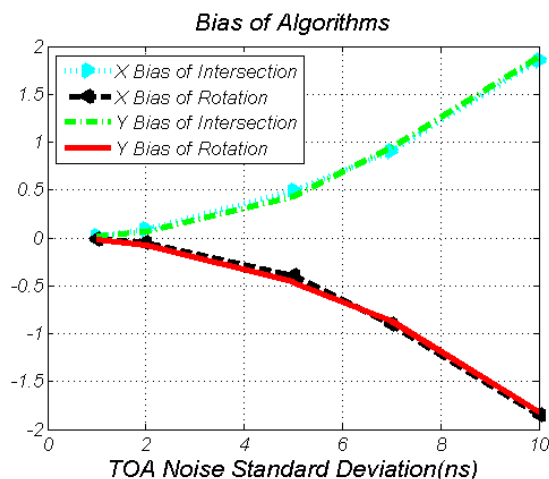


شکل ۸- مقایسه ی خطای الگوریتم موردنظر با باند کرامر رانو



۶- مراجع

- Jia, Tianyi, et al. "Mitigating Sensor Motion Effect for AOA and AOA-TOA Localizations in Underwater Environments." *IEEE Transactions on Wireless Communications*, 2023.
- Liu, Yiming, et al. "Hybrid TOA-AOA WLS Estimator for Aircraft Network Decentralized Cooperative Localization." *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 2023.
- Ding, Weizhong, Shengming Chang, and Jun Li. "A two-steps close-form positioning estimator based on AOA/TOA measurements." *Remote Sensing Letters* 14.1. 45-49, 2023.
- Kegen Yu; Guo, Y.J., "Statistical NLOS Identification Based on AOA, TOA, and Signal Strength," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol.58, no.1, pp.274-286, Jan. 2009.
- H. Tang, Y. Park, and T. Qiu, "A TOA-AOA-based NLOS error mitigation method for location estimation," *European Signal Processing Journal (EURASIP) on advances in signal processing*, vol. 2008, p. 86, 2008.
- C.-S. Chen, Y.-J. Chiu, and J.-M. Lin, "Hybrid TOA/AOA Schemes for Mobile Location in Cellular Communication Systems," *International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC)*, vol. 1, no. 2, pp. 54-64, 2010.
- R. Munguia and A. Grau, "FIDD bearing-only SLAM," in *IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. 1858-1863, 2010.
- Shi, Baihua, et al. "Low-Complexity Three-Dimensional AOA-Cross Geometric Center Localization Methods via Multi-UAV Network." *Drones* 7.5 (2023): 318.
- A.-C. Chang, J.-C. Chang, "Robust Mobile Location Estimation Using Hybrid TOA/AOA Measurements in Cellular Systems," *Wireless Personal Communications*, vol. 65, no. 1, pp. 1-13, 2012. Avanj, Izadi, and Seyed Amin. "An Integrated 8-12 GHz Fractional-N Frequency Synthesizer in 90-nm CMOS." *The Modares Journal of Electrical Engineering* 16.2 (2016): 15-19.
- H. L. Van Trees and K. L. Bell, *Bayesian bounds for parameter estimation and nonlinear filtering/tracking*. IEEE press, 2007. J. Qiu et al., "32.7 A 32kHz-Reference 2.4GHz Fractional-N Oversampling PLL with 200kHz Loop Bandwidth," 2021 *IEEE International Solid-State Circuits Conference (ISSCC)*, 2021, pp. 454-456, doi: 10.1109/ISSCC42613.2021.9365861.
- T. K. Moon and W. C. Stirling, *Mathematical methods and algorithms for signal processing*, vol. 1. Prentice hall Upper Saddle River, 2000.
- Talati, S., Etezadifar, P "Providing an Optimal Way to Increase the Security of Data Transfer using Watermarking in Digital Audio Signals" *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 9(1), pp. 35-46, 2020.
- Talati, S., EtezadiFar, P., Hassani Ahangar, M. R., Molazade, M "Investigation of Steganography Methods in Audio Standard Coders: LPC, CELP, MELP" *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 12(1), pp. 7-15, 2023, doi: 10.30486/mjtd.2022.695928.
- Talati, S., Hassani Ahangar, M, "Analysis, Simulation and Optimization of LVQ Neural Network Algorithm and Comparison with SOM", *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 9(1), pp. 17-22, 2020.
- S. Talati, A. Rahmati, and H. Heidari. (2019) "Investigating the Effect of Voltage Controlled Oscillator Delay on the Stability of Phase Lock Loops", *MJTD*, vol. 8, no. 2, pp. 57-61.
- Hassani Ahangar, M. R., Talati, S., Rahmati, A., & Heidari,



شکل ۸- نمودار تغییر بایاس الگوریتم های مکان یابی

۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای بالا بردن دقت مکان یابی غیرفعال ارائه گردید که با استفاده از ترکیب داده های AOA, TOA می تواند دقتی بالا به دست آورد. با تحلیل روش های AOA, TOA اثبات شد که این دو روش تا حد زیادی مکمل یکدیگر هستند. برای استفاده ی بهینه از این ویژگی، دو روش مختلف دوران و تقاطع ارائه شد. که این الگوریتم ها با ترکیب داده ها اقدام به مکان یابی هدف با دقتی بالا می نمایند. همان طور که در شبیه سازی ها نیز نمایش داده شده است، این الگوریتم در شرایطی که دقت عملکرد روش های AOA, TOA در یک اندازه است، دارای بازده بسیار بالا است. در شبیه سازی اول با ثابت ماندن خطای اندازه گیری TOA، دقت الگوریتم های ترکیب داده افزایش خطای اندازه گیری AOA تغییر زیادی نکرده است و در واقع افزایش نویز AOA هیچ تأثیری بر عملکرد الگوریتم نداشته است. همچنین در شبیه سازی دوم نیز به همین روال با ثابت ماندن نویز مشاهدات AOA، دقت الگوریتم با تغییر نویز TOA تغییر چندانی نکرده است. در نتیجه الگوریتم پیشنهادی نسبت به افزایش نویزهای اندازه گیری AOA, TOA مقاوم است.

- analysis methods and self-organizing and digitized neural networks of the learning vector." *Electronic and Cyber Defense* 9.2 (2021): 1-7.
34. Seyed Morteza Ghazali, Jalil Mazloum, Yasser Baleghid. "Modified binary salp swarm algorithm in EEG signal classification for epilepsy seizure detection" *Biomedical Signal Processing and Control*. Volume 78, September 2022.
 35. Talati, Saeed, Ghazali, Seyed Morteza, SoltaniNia, VahidReza, "Design and construct full invisible band metamaterial-based coating with layer-by-layer structure in the microwave range from 8 to 10 GHz" *Journal of Physics D: Applied Physics*. Volume 56, Number 17. 2023. DOI 10.1088/1361-6463/acb8c7.
 36. Seyed M. Ghazali; Y. Baleghi. "Pedestrian Detection in Infrared Outdoor Images Based on Atmospheric Situation Estimation". *Journal of AI and Data Mining*, 7, 1, 2019, 1-16.
 - H. (2020). "The Use of Electronic Warfare and Information Signaling in Network-based Warfare". *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 9(2), 93-97.
 17. Aslinezhad, M., Mahmoudi, O., & Talati, S. (2020). "Blind Detection of Channel Parameters Using Combination of the Gaussian Elimination and Interleaving". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 9(4), 59-67.
 18. Talati, S., & Amjadi, A. (2020). "Design and Simulation of a Novel Photonic Crystal Fiber with a Low Dispersion Coefficient in the Terahertz Band". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 9(2), 23-28.
 19. Talati, S., Alavi, S. M., & Akbarzade, H. (2021). "Investigating the Ambiguity of Ghosts in Radar and Examining the Diagnosis and Ways to Deal with it". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 10(2).
 20. Etezadifar, P., & Talati, S. (2021). "Analysis and Investigation of Disturbance in Radar Systems Using New Techniques of Electronic Attack". *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 10(2), 55-59.
 21. Talati, Saeed, and Pouria EtezadiFar. "Electronic attack on radar systems using noise interference." *Majlesi Journal of Mechatronic Systems* 10.3, 2021, 7-11.
 22. Talati, S., Abdollahi, R., Soltaninia, V., & Ayat, M. (2021). "A New Emitter Localization Technique Using Airborne Direction Finder Sensor." *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 10(4), 5-16.
 23. S. Talati, A. Rahmati, and H. Heidari, "Investigating the Effect of Voltage Controlled Oscillator Delay on the Stability of Phase Lock Loops", *MJTD*, vol. 8, no. 2, pp. 57-61, May 2019.
 24. Akbarzade, Houman, Seyed Mohammad Alavi, and Saeed Talati. "Investigating the Ambiguity of Ghosts in Radar and Examining the Diagnosis and Ways to Deal with it." *Majlesi Journal of Mechatronic Systems* 10.2 (2021): 17-20.
 25. Hashemi SM, Barati S, Talati S, Noori H. "A genetic algorithm approach to optimal placement of switching and protective equipment on a distribution network." *J Eng Appl Sci* 2016; 11: 1395-1400.
 26. O. Sharifi-Tehrani and S. Talati, "PPU Adaptive LMS Algorithm, a Hardware-Efficient Approach; a Review on", *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, vol. 6, no. 1, Jun. 2017.
 27. Hashemi, Seyed & Abyari, M. & Barati, Shahrokh & Tahmasebi, Sanaz & Talati, S. (2016). "A proposed method to controller parameter soft tuning as accommodation FTC after unknown input observer FDI". *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 11. 2818-2829.
 28. Talati, S., & Alavi, S. M. (2020). "Radar Systems Deception using Cross-eye Technique". *Majlesi Journal of Mechatronic Systems*, 9(3), 19-21.
 29. Talati, Saeed, Akbari Thani, Milad, Hassani Ahangar, Mohammad Reza. 2020. "Detection of Radar Targets Using GMDH Deep Neural Network", *Radar Journal*, 8 (1), pp. 65-74.
 30. Talati, S., & Hassani Ahangar. M. R. (2020) "Combining Principal Component Analysis Methods and Self-Organized and Vector Learning Neural Networks for Radar Data", *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 9(2), 65-69.
 31. Talati, S., Ghazali, S. M., Hassani Ahangar, M., Alavi, S. M. (2021). 'Analysis and Evaluation of Increasing the Throughput of Processors by Eliminating the Lobe's Disorder', *Majlesi Journal of Telecommunication Devices*, 10(3), pp. 119-123. doi: 10.52547/mjtd.10.3.119
 32. Saeed. Talati, Behzad. Ebadi, Houman. Akbarzade "Determining of the fault location in distribution systems in presence of distributed generation resources using the original post phasors". *QUID* 2017, pp. 1806-1812, Special Issue No.1- ISSN: 1692-343X, Medellin-Colombia. April 2017.
 33. Talati, S., and M. R. Hasani Ahangar. "Radar data processing using a combination of principal component