مکان‌یابی منبع سیگنال مبتنی بر TDOA در رادار پسیو

مهران غریبی مرزنکلا1، محمدرضا تابان2 ، علی‌اکبر تدین تفت3

1دانشجوی کارشناسی ارشد مخابرات سیستم دانشگاه یزد، m\_gharibi@stu.yazd.ac.ir

2دانشیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان ، mrtaban@cc.iut.ac.ir

3 دانشیار دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه یزد ، tadaion@yazd.ac.ir

چکيده – در این مقاله بابیان مزیت‌های استفاده از روش اختلاف‌زمانی سیگنال‌های رسیده (TDOA) در مکان‌یابی پسیو، روش‌هایی تکرارشونده مبتنی بر سری تیلور، و فرم بسته‌ مبتنی بر حداقل مربعات خطی با توجه به چالش‌های موجود در اقدامات پشتیبانی الکترونیک (ESM) برای مکان‌یابی پسیو مورد بررسی‌ قرار گرفته و برای بهبود عملکرد این روش‌ها رویکردی بر پایه استفاده از BFGS ارائه شده است. مکان‌یابی پسیو درواقع به دسته‌ای از روش‌های مکان‌یابی اطلاق می‌گردد که با استفاده از گیرنده شنود در رهگیری پسیو منتشرکننده سیگنال و یا مکان‌یابی پسیو اخلال‌گر بکار می‌روند. با فرض معلوم بودن ماتریس کواریانس نویز TDOA و اعمال وزن‌هایی بر اساس آن در مسئله مکان‌یابی، بهبود قابل‌توجهی در دقت تخمین موقعیت ایجاد می‌گردد. حال آن‌که در مکان‌یابی پسیو، تخمین نویز TDOA بدلیل عدم اطلاع از مشخصات سیگنال دریافتی و نویز محیط، با دقت کم و دشواری‌های بسیار همراه است. بر این اساس توسعه روش‌‌های مکان‌یابی که بدون نیاز به مشخصات آماری نویز TDOA، قادر به مکان‌یابی هستند ضروری است. در مقاله با استفاده از فن شبه نیوتن BFGS روشی در مکان‌یابی پسیو ارائه می‌شود که نتایج و شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد این روش با دارابودن دقت مناسب، از سرعت خوبی هم برای کاربردهای بلادرنگ برخوردار است.

کلیدواژه- رادار پسیو، گیرنده پسیو، مکان‌یابی پسیو، BFGS ، TDOA

# مقدمه

امروزه مکان‌یابی مبتنی بر TDOA در رادار پسیو یکی از موضوعات مهم در پدافند غیرعامل است. در این مقاله به مجموعه‌ای از گیرنده‌های شنود که برای مکان‌یابی مورد استفاده قرار می‌گیرند رادار پسیو می‌گوییم؛ این رادار دارای مقاومت بیشتری در مقابل اقدامات جنگ الکترونیک دشمن است و همچنین قادر به مکان‌یابی منابع سیگنال بکار رفته در هدایت موشک، برخی لینک‌های داده، ارتفاع‌سنج‌ها، گسیل‌های ناوبری[[1]](#footnote-2) و سامانۀ تشخیص دوست و دشمن است. از دیگر ضرورت‌های پرداختن به امر مکان‌یابی در ELINT[[2]](#footnote-3) و ESM[[3]](#footnote-4)، بهره‌گیری از آن برای پی‌بردن به قابلیت‌های رادار تهدید مانند حاصل‌ضرب توان ارسالی رادار در بهره آنتن آن است، که نیازمند داشتن مکان هدف است [[1](#_ENREF_1)].

روش اختلاف‌زمانی رسیدن سیگنال[[4]](#footnote-5) (TDOA) با توجه به دراختیار نبودن اطلاعات پیشین از سیگنال دریافتـی و استفاده از آنتن همه‌سویه برای افزایش احتمال شنود در گیرنده‌هایی مانند گیرنده‌های ویدئو کریستال ((CVR[[5]](#footnote-6)، یکی از روش‌های مؤثر در مکان‌یابی پسیو است. زیرا روش‌هایی مانند توان سیگنال دریافتی[[6]](#footnote-7) (RSS) ، زاویه ورود سیگنال[[7]](#footnote-8) (AOA)، زمان رسیدن سیگنال[[8]](#footnote-9) (TOA) و اختلاف فرکانس دریافتی[[9]](#footnote-10) (FDOA) به ترتیب نیازمند توان ارسالی سیگنال، آنتن آرایه‌ای، همزمانی فرستنده و گیرنده و فرکانس سیگنال دریافتی می‌باشند. برای تخمین TDOA روش‌های گوناگونی ارائه‌شده است که بر پایه استفاده از تابع همبستگی متقابل و تعمیم آن عمل می‌نمایند [[2](#_ENREF_2)] . درزمینۀ مکان‌یابی مبتنی بر TDOA، مرجع [[3](#_ENREF_3)] معادلات پایه‌ای مکان‌یابی TDOA را طرح و حل نموده است. روش‌های مختلفی برای حل مسئله مکان‌یابی تاکنون ارائه‌شده ‌است. از آن جمله می‌توان به روش‌های مبتنی بر حداقل مربعات خطی[[10]](#footnote-11)(LLS) اشاره کرد. این روش‌ها یک فرم بسته برای تخمین موقعیت هدف ارائه می‌دهند [[4](#_ENREF_4)]. از میان این روش‌ها با صرف‌نظر از روش‌هایی‌ که به ماتریس کواریانس خطای TDOA نیازمند هستند، می‌توان به روش اصلاح خطی حداقل مربعات[[11]](#footnote-12) (LCLS) اشاره نمود [[5](#_ENREF_5)]. دسته دیگری از روش‌های مکان‌یابی، روش‌های مبتنی بر الگوریتم‌های تکرارشونده هستند [[6](#_ENREF_6)]. در این دسته می‌توان به ‌روش‌هایی مانند‌ نیوتن[[12]](#footnote-13)، گوس-نیوتن[[13]](#footnote-14)، تندترین کاهش[[14]](#footnote-15) (SD)، لونبرگ- مارکارد[[15]](#footnote-16) (LM) و حداکثر درستنمایی[[16]](#footnote-17) (ML) اشاره کرد. روش آخر به دلیل نیازمند بودن به توزیع آماری خطا قابلیت استفاده در مکان‌یابی پسیو مطرح‌شده را ندارد.

در ادامه در بخش 2 معادلات ریاضی حاکم بر سیستم مکان‌یابی مبتنی بر TDOA ارائه می‌شود. در بخش 3 روش‌های مکان‌یابی و مزایا و معایب آن‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. در بخش 4 روش پیشنهادی برای بهبود نقاط ضعف سایر روش‌ها ارائه‌شده و با استفاده از روش پیمایش معکوس و شرط ولف این روش را برای کاربرد آنی مورداستفاده قرار می‌دهیم. بخش 5 شامل شبیه‌سازی‌ و نتایج به‌دست‌آمده از به‌کارگیری این روش برای مکان‎یابی در رادار پسیو است. در بخش 6 نیز به نتیجه­گیری خواهیم پرداخت.

نمادهای بکار رفته در این مقاله عبارت‌اند از: ترانهاده: ، نرم2(نرم اقلیدسی): ، گرادیان: ، مثبت معین: ، تعداد گیرنده: ، برداری تمام یک:، سرعت نور:، گیرنده مرجع: ، فاصله هدف تا گیرنده مرجع: ، بعد فضای مکان‌یابی:  و ضریب لاگرانژ:  .

# روابط حاکم بر مکان‌یابی مبتنی بر TDOA

با فرض قرارگیری فرستنده در مختصات  و گیرنده  ام در ، اختلاف فاصله گیرنده  ام تا فرستنده بافاصله گیرنده مرجع  تا فرستنده عبارت است از:

(1) , 

که در آن  است. درصورتی‌که  معرف زمان رسیدن سیگنال به گیرنده  ام باشد،  به‌صورت زیر تعریف می‌گردد:

(2) ,  

که در آن  اختلاف فواصل اندازه‌گیری شده گیرنده‌های  ام و مرجع با فرستنده بوده که به‌عنوان مشاهده برای تخمین موقعیت فرستنده از روی TDOA ها استفاده می‌شود. با توجه به وجود خطا در محاسبۀ TDOA ها رابطه مقدار مشاهده با اختلاف فاصله‌ فوق‌الذکر به‌صورت زیر است.

(3) ,  , 

که در آن  نویزی گوسی با متوسط صفر و واریانس  است. با توجه به مکان‌یابی در 3 بعد، تعداد گیرنده‌ها باید 3 یا بیشتر باشد. بر همین اساس دستگاه معادلات هذلولی (3) (شامل مجهولات ) دارای دو حالت همواره معین[[17]](#footnote-18) و فرا معین[[18]](#footnote-19) خواهد بود، که در هر دو حالت در برخی از موارد دستگاه ناسازگار[[19]](#footnote-20) می‌گردد. راه‌حل مناسب برای مقابله با بدحالتی استفاده از معیارهای مبتنی بر حداقل سازی متوسط خطاها است. برای این منظور تابع هزینه حداقل مربعات غیرخطی[[20]](#footnote-21) (NLS) به‌صورت رابطه (4) تعریف می‌گردد [[7](#_ENREF_7)].

(4) , 

که در آن  و تخمین موقعیت از رابطه (5) به دست می‌آید.

(5) .

با فرض پیوسته بودن و دو بار مشتق‌پذیری تابع (4) می‌توان تخمین موقعیت فرستنده را با استفاده از (6) محاسبه نمود.

(6) .

اگر  یک برآورد اولیه از حل (6) باشد، برای یافتن ریشه معادله (6) بسط تیلور حول  به‌صورت رابطه (7) است.

(7) .

هسین تابع هزینه به‌صورت رابطه (8) تعریف می‌گردد.

(8) .

باکمی ساده‌سازی (7)، تخمین موقعیت هدف از رابطه (9) محاسبه می‌گردد [[6](#_ENREF_6)].

(9) .

همان‌طور که در رابطه (9) مشاهده می‌شود، درصورتی‌که ماتریس  وارون‌پذیر باشد، در امتداد کاهشی تابع هزینه حداقل مربعات غیرخطی انتخاب می‌شود.

# بررسی روش‌های مکان‎یابی

در این بخش روش‌های مکان‌یابی در قالب دودستۀ، روش‌های تکرارشونده و روش‌های فرم بسته و خطی ارائه می‌گردند.

در روش‌های تکرارشونده هدف تولید دنبالۀ نقاط  با نرخ همگرایی مناسب است. دو استراتژی مهم بیان‌شده در [[6](#_ENREF_6)]، راهبرد جستجوی خطی[[21]](#footnote-22) و ناحیۀ مطمئن[[22]](#footnote-23) است.

در جستجوی خطی در هر تکرار ابتدا یک امتداد جستجو  تعیین و سپس طول گام  مشخص می‌شود. امتداد کاهشی معمولاً دارای شکل  است. چنانچه ، در این صورت تندترین کاهش و چنانچه  باشد، روش نیوتن که همان فرم تکرارشونده رابطه (9) است، برقرار می‌گردد. انتخاب طول گام مناسب نیز از حل دقیق مسئله مینیمم‌سازی (10) حاصل می‌شود [[6](#_ENREF_6)].

(10) .

روش گوس- نیوتن باهدف کاهش حجم محاسبات، ماتریس هسین موجود در (9) را، برحسب ژاکوبین  به‌صورت رابطه (11) بازنویسی نموده و دیگر نیازی به محاسبۀ مشتقات مرتبه دوم ندارد [[6](#_ENREF_6)].

(11) 

که در آن ژاکوبین به‌صورت رابطه (12) تعریف می‌گردد.

(12) 

و  از رابطه (1) به دست می‌آید. روش‌های نیوتن و گوس-نیوتن در صورت مثبت معین نبودن ، به نقطه بهینه همگرا نمی‌شوند. در راهبرد ناحیۀ مطمئن، برخلاف جستجوی خطی عمل می‌گردد؛ بدین‌صورت که ابتدا ناحیۀ مطمئن (طول گام) تعیین‌شده و سپس جهت کاهشی به دست می‌آید. یکی از این روش‌ها لونبرگ-مارکارد است که در امتداد روش گوس-نیوتن شکل‌گرفته است. این روش با افزودن مقدار عددی  به  باعث می‌گردد تا مقدار ویژه آن مثبت گردیده، فلذا همگرایی تضمین‌شده‌ای داشته باشد. گام‌های این روش در رابطه (13) نمایش داده‌شده است.

(13) .

اما افزودن  از دو منظر بار محاسباتی را افزایش خواهد داد. برای محاسبۀ  لازم است تا در هر گام  بودن ماتریس  بررسی‌شده و از روی آن مقادیر  محاسبه گردد. از منظر دیگر افزودن  سبب بزرگ شدن مقادیر ویژه می‌شود و درنتیجه حداکثر طول گام طبق رابطه (14) کوچک‌تر شده و تعداد گام‌های بیشتری برای همگرایی موردنیاز است [[8](#_ENREF_8)].

(14) 

که در آن  کوچک‌ترین مقدار ویژه ماتریس هسین تابع هزینه در گام  ام است. دستۀ دیگری از روش‌های مکان‌یابی بر پایه تابع هزینه حداقل مربعات خطی عمل می‌نمایند. برای این منظور با گرفتن مجذور از دو طرف معادله (3) و ساده‌سازی، آن را به فرم ماتریسی (15) تبدیل می‌کنند[[4](#_ENREF_4)].

(15) 

که در آن  و:

(16) .

(17). 

تابع هزینه حداقل مربعات خطی برحسب  به‌صورت رابطه (18) است.

(18) .

تخمین  بر اساس مینیمم‌سازی تابع هزینه (18) به‌صورت (19) به دست می‌آید.

(19) .

البته شرط وجود  ، وارون‌پذیری و مثبت معین بودن  است. درنهایت تخمین موقعیت فرستنده به فرم (20) هست [[4](#_ENREF_4)].

(20) 

که  اشاره به درایه *i*ام  دارد. به‌عنوان یک روش اصلاح خطی شده می‌توان به LCLS اشاره نمود. این روش تابع هزینه (18) و قید غیرخطی (21) را با استفاده از روش ضرایب لاگرانژ، به یک مسئله بهینه‌سازی غیر مقید تبدیل می‌نماید [[5](#_ENREF_5)].

(21) 

که در آن  است. این قید مجموعه نقاط شدنی را به نقاطی که فاصله تخمین‌زده شده آن‌ها تا مبدأ مختصات برابر بافاصله تخمین‌زده شده هدف تا گیرنده مرجع(واقع در مبدأ مختصات) است، محدود می‌نماید. و درنهایت یک تخمین دومرحله‌ای به فرم (22) ارائه می‌دهد.

(22) 

که  همان تخمین (19) است. این دسته از روش‌ها با چالش بدحالتی[[23]](#footnote-24) روبرو هستند. در تخمین (22) نیز همان‌طور که برای (19) اشاره‌شد، وجود تخمین منوط به مثبت معین بودن  است. در روش‌های تکرارشونده مانند تیخونوف[[24]](#footnote-25)و یا LM تا حد زیادی با بدحالتی مقابله می‌شود و تخمین‌هایی با واریانس کمتر اما با بایاس ارائه می‌گردد [[9](#_ENREF_9)].

# روش پیشنهادی

در این بخش روشی ارائه می‌شود، که وارون ماتریس هسین تابع هزینه حداقل مربعات غیرخطی (4) را در هر گام به‌صورت یک ماتریس مثبت معین تخمین می‌زند و دارای همگرایی فوق خطی است. می‎گوییم که نرخ همگرایی فوق خطی[[25]](#footnote-26) است درصورتی‌که رابطه زیر برقرار باشد [[6](#_ENREF_6)].

(23) .

از [[10](#_ENREF_10)] تقریب (24) راداریم.

(24) .

چنانچه  و  تعریف گردند، در این صورت ماتریس هسین  باید به‌گونه‌ای تخمین زده شودکه در معادله سکانت (25) یا همان تقریب خطی هسین تابع صدق نماید.

(25) .

با تعریف  به‌عنوان وارون ماتریس هسین  به‌صورت زیر:

(26) 

یک روش برای تخمین  از روی  ، با فرض مثبت معین بودن  حل مسئله بهینه‌سازی مقید (27) است.

(27) .

روش [[26]](#footnote-27)BFGS با فرض  ، که  متوسط ماتریس هسین است، تخمین  را به فرم (28) ارائه می‌دهد [[6](#_ENREF_6)].

(28) 

که  است. استفاده از (28) نه‌تنها روش تکرار‌شونده بر پایه (9) را از محاسبۀ وارون ماتریس هسین بی‌نیاز می‌سازد بلکه این ماتریس حتی اگر مقدار واقعی هسین تابع هزینه در آن نقطه مثبت معین نباشد، به‌صورت مثبت معین تخمین زده می‌شود. در این قسمت مقدار اولیه ماتریس هسین را به‌صورت  در نظر می‌گیریم. سپس کوچک‌ترین مقدار ویژه آن را تخمین زده و در صورت منفی و یا نزدیک صفر شدن ، یک عدد مثبت به قطر اصلی  به‌گونه‌ای اضافه می‌نماییم که کوچک‌ترین مقدار ویژه را یک کند. این امر با توجه به (14) باعث کاهش تعداد گام و افزایش سرعت همگرایی روش پیشنهادی می‌شود. لازم به ذکر است افزایش اندازه مقادیر ویژه باعث ایجاد بایاس در تخمین می‌گردد. در جدول 1 شبه کد پیاده‌سازی روش پیشنهادی با استفاده از جستجوی خطی ارائه‌شده است. در اینجا به‌جای استفاده از جستجوی دقیق (10) برای افزایش سرعت از شرط ولف به‌صورت زیر بهره می‌بریم.

(29) 

که در آن  و  در نظر گرفته می‌شود [[6](#_ENREF_6)].

جدول1: الگوریتم روش پیشنهادی

|  |
| --- |
| نقطه اولیه  و سطوح آستانه  و  را بگیر.  مقدار اولیه  را به‌صورت  در نظر بگیر  If      While  Do    که  از روش پیمایش معکوس و شرط ولف به دست می‌آید.        End while |

# شبیه‌سازی و بررسی عملکرد روش پیشنهادی

در این قسمت با فرض به‌کارگیری 4 گیرنده با چیدمان Y و تعریف سناریویی بر اساس قرار‌گیری فرستنده در مختصات  و گیرنده‌ها در مختصات  ،  **** ،  **** ،  و نقطه اولیه از LLS به صورت  به مقایسه تخمین صورت گرفته توسط روش نیوتن مبتنی بر BFGS بهبودیافته با روش‌های بیان‌شده در بخش 3 پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است واحدها در این بخش برحسب کیلومتر و نانوثانیه در نظر گرفته‌شده‌اند. همچنین در شبیه‌سازی‌ها حالت‌های تخمین موقعیت فرستنده [x,y,z]، تخمین ارتفاع (z) و تخمین مولفه اول موقعیت فرستنده (x) برای روش‎‌ها در نظر گرفته‌شده و به‌صورت زیرنویس‌های xyz و z و x نمایش داده می‌شود. شکل 1 نمایشی از عملکرد هریک از روش‌ها را بر اساس معیار RMSPE[[27]](#footnote-28) و برحسب مقادیر مختلف خطای محاسبۀ TDOA که به‌صورت واریانس  بیان‌شده است ارائه می‌دهد. همان‌طور که ملاحظه می‌گردد روش پیشنهادی دارای کمترین مقدار خطا است. قابل‌ذکر اینکه RMSPE به‌صورت رابطه (30) محاسبه می‌گردد که در آن L=1000 است.

(30) .

هنگامی‌که مشتق‌های مرتبه دوم ماتریس هسین در نزدیکی نقطه  به‌اندازه کافی نرم باشند، رابطۀ (31) برقرار است [[11](#_ENREF_11)].

(31) 

که (E) امید ریاضی است. با توجه به رابطۀ (31) و استفاده از رابطۀ (9) متوسط تخمین از رابطۀ (32) به دست می‌آید.

(32) .

همچنین کواریانس تخمین نیز از رابطۀ (33) محاسبه می‌شود.

(33) .

شکل2 مقادیر بایاس و شکل3 واریانس تخمین  برای روش‌های بیان‌شده را برحسب مقادیر مختلف خطای محاسبۀ TDOA که به‌صورت واریانس  بیان‌شده است ارائه می‌دهند. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی برپایه BFGS تقریباً بدون بایاس است و واریانس آن از LM بهتر است. این امر اثباتی بر مقاومت این روش در برابر بدحالتی است.



شکل1: مقایسه RMSPE برای 4 روش و 2 حالت تخمین موقعیت هدف (xyz) و تخمین ارتفاع هدف (z) که به‌صورت زیرنویس متمایز گردیده‌اند، برحسب .



شکل2: مقایسه بایاس تخمین موقعیت فرستنده برای 4 روش و 2 حالت تخمین مولفه اول موقعیت هدف (x) و تخمین ارتفاع هدف (z) که به‌صورت زیرنویس متمایز گردیده‌اند، برحسب .

با صرف‌نظر از روش LCLS به دلیل خطای بالای آن، جدول 2 به‌عنوان نمایشی از عملکرد روش‌ها به ازای  ارائه گردید. همان‌طور که در این جدول نیز مشخص است، روش پیشنهادی ازلحاظ سرعت و دقت، عملکرد مناسبی دارد.

بیان این نکته ضروری است که حتی با فرض در اختیار بودن ماتریس کواریانس نویز، به دلیل مستطیلی بودن ماتریس A به ازا



شکل3: مقایسه واریانس تخمین موقعیت فرستنده برای 4 روش و 2 حالت تخمین مولفه اول موقعیت هدف (x) و تخمین ارتفاع هدف (z) که به‌صورت زیرنویس متمایز گردیده‌اند، برحسب .

4 گیرنده در مکان‌یابی 3 بعدی وجود و یکتایی جواب به‌طور هم‌زمان در روش‌های مبتنی بر LLS امکان‌پذیر نبوده و حداقل به 5 گیرنده نیاز است. علت تعداد تکرار بیشتر روش لونبرگ-مارکارد در جدول2 را می‌توان بزرگ‌شدن مقادیر ویژه عنوان کرد که خود سبب افزایش خطای گرد کردن و کاهش دقت تخمین موقعیت می‌شود. علت خطای بیشتر روش SD را می‌توان در 4 شرط توقف اعمال‌شده جستجو نمود، برای عملی کردن روش‌ها از 3 شرط کران‌دار کردن فاصله دو گام، فاصله دو افت پیاپی بر روی تابع هزینه و همچنین تعداد محاسبه تابع استفاده‌شده است. محدودیت آخر با توجه به نامحدب بودن تابع هزینه سبب این میزان خطا در تخمین موقعیت توسط SD می‌گردد.

جدول2: ارزیابی روش‌ها برحسب تعداد گام، بهینگی مرتبه اول، RMSPE و درصد خطای مکان‌یابی(%) برای

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| نام روش | تعدادگام |  |  | **%** |
| روش‌پیشنهادی | 25 | 7-e1.72 | 3.046 | 2.38 |
| SD | 64 | 0.00358 | 18.62 | 14.53 |
| LM | 130 | 0.022 | 14.85 | 11.59 |

# نتيجه‌گيري

در این مقاله با توجه محدودیت‌های موجود در ESM برای تخمین آمارگان‌های نویز TDOA در مکان‌یابی پسیو و با استفاده از حداقل تعداد آنتن موردنیاز برای فضای سه‌بعدی که 4 عدد است، نقاط قوت و ضعف روش‌هایی که بدون نیاز به ماتریس کواریانس نویز اقدام به مکان‌یابی می‌نمایند، بررسی گردید و بر اساس نقاط ضعف این روش‌ها با حفظ نقاط قوت، روشی برپایه تخمین مثبت معین وارون ماتریس هسین (8) ارائه شد. روش پیشنهادی با همگرایی فوق خطی، مرتبه پیچیدگی  برای هرگام [[6](#_ENREF_6)] و بدون نیاز به محاسبۀ مشتقات مرتبۀ دوم برای هر گام، قابلیت کاربرد بلادرنگ را داراست.

# مراجع

[1] R. G. Wiley and I. ebrary, *ELINT: The Interception and Analysis of Radar Signals*: Boston: Artech House, 2006.

[2] E. Cetin, R. R. Thompson, and A. Dempster, "Passive interference localization within the GNSS environmental monitoring system (GEMS): TDOA aspects," *GPS Solutions,* vol. 18, pp. 483-495, 2014/10/01 2014.

[3] D. J. Torrieri, "Statistical Theory of Passive Location Systems," *Aerospace and Electronic Systems, IEEE Transactions on,* vol. AES-20, pp. 183-198, 1984.

[4] J. O. Smith and J. S. Abel, "Closed-form least-squares source location estimation from range-difference measurements," *Acoustics, Speech and Signal Processing, IEEE Transactions on,* vol. 35, pp. 1661-1669, 1987.

[5] K. W. Cheung, H. C. So, W.-K. Ma, and Y. T. Chan, "A constrained least squares approach to mobile positioning: algorithms and optimality," *EURASIP J. Appl. Signal Process.,* vol. 2006, pp. 150-150, 2006.

[6] J. Nocedal and S. J. Wright, "Numerical Optimization, Second Edition," *Numerical optimization,* pp. 497-528, 2006.

[7] L. W. Meng YE, Yu JIANG, Shengdong XIE, "Localization Algorithm Based on Nonlinear Least Square Principle," *Journal of Computational Information Systems,* vol. 10, pp. 6033- 6039 2014.

[8] S. Boyd and L. Vandenberghe, *Convex optimization*: Cambridge university press, 2004.

[9] I. A. Mantilla-Gaviria, M. Leonardi, G. Galati, and J. V. Balbastre-Tejedor, "Time-difference-of-arrival regularised location estimator for multilateration systems," *Radar, Sonar & Navigation, IET,* vol. 8, pp. 479-489, 2014.

[10] E. Dong, "A three-dimensional localization algorithm for wireless sensor networks based on the BFGS optimization," in *Wireless Conference 2011-Sustainable Wireless Technologies (European Wireless), 11th European*, 2011, pp. 1-5.

[11] V. H. MacDonald and P. M. Schultheiss, "Optimum Passive Bearing Estimation in a Spatially Incoherent Noise Environment," *The Journal of the Acoustical Society of America,* vol. 46, pp. 37-43, 1969.

1. Navigation Emissions [↑](#footnote-ref-2)
2. ELectronic INTelligence [↑](#footnote-ref-3)
3. Electronics Support Measures [↑](#footnote-ref-4)
4. Time Difference Of Arrival [↑](#footnote-ref-5)
5. Crystal Video Receiver [↑](#footnote-ref-6)
6. Receive Signal Strength [↑](#footnote-ref-7)
7. Angle Of Arrival [↑](#footnote-ref-8)
8. Time Of Arrival [↑](#footnote-ref-9)
9. Frequency Difference Of Arrival [↑](#footnote-ref-10)
10. Linear Least Squares [↑](#footnote-ref-11)
11. Linear Correction Least Squares [↑](#footnote-ref-12)
12. Newton Method [↑](#footnote-ref-13)
13. Guass-Newton [↑](#footnote-ref-14)
14. Steepest Descent [↑](#footnote-ref-15)
15. Levenberg-Marquardt [↑](#footnote-ref-16)
16. Maximum Likelihood [↑](#footnote-ref-17)
17. Determined :

    تعداد معادلات و مجهولات برابر هستند [↑](#footnote-ref-18)
18. Overdetermined:

    تعداد معادلات از مجهولات بیشتر است [↑](#footnote-ref-19)
19. Inconsistent [↑](#footnote-ref-20)
20. Nonlinear Least Square [↑](#footnote-ref-21)
21. Linear Search [↑](#footnote-ref-22)
22. Trust Region [↑](#footnote-ref-23)
23. Ill condition [↑](#footnote-ref-24)
24. Tikhonov [↑](#footnote-ref-25)
25. Superlinear [↑](#footnote-ref-26)
26. Broyden-Fletcher-Goldfarb-Shanno [↑](#footnote-ref-27)
27. Root Mean Square Position Error [↑](#footnote-ref-28)