موقعیت‌یابی سه‌بُعدی یک هدف ناشناخته با استفاده از دو حس‌گر نامتجانس

ولی کاوسی[1]، محمدجواد دهقانی[2و3*] و رضا جاویدان[4]

[1]گروه مهندسی برق و الکترونیک، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران

[2] دانشکده مهندسی برق و الکترونیک، دانشگاه صنعتی شیراز، ایران-[3]مرکزمنطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم وفنآوری، شیراز، ایران

[4] دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی شیراز، شیراز، ایران

چکیده

در شبکه‌های حس‌گرغیرهمگن، برای موقعیت‌یابی هدف از چندین نوع گیرنده استفاده می‌شود و هر گیرنده می‌تواند کمیت متفاوتی از هدف را اندازه‌گیری کند. استفاده از چندین کمیت اندازه‌گیری‌شده از یک هدف باعث می‌شود که تخمین موقعیت آن با سادگی و دقت بیشتری انجام شود. در اینجا، موقعیت‌یابی هدف در یک فضای سه‌بُعدی با استفاده از یک شبکه غیرهمگن شامل یک حس‌گر همه‌جهته و یک حس‌گر برداری مورد نظر است. الگوریتم موجود برای چنین شبکه‌ای، به موقعیت نسبی هدف و حس‌گرها وابسته بوده و در پنجاه درصد موارد نمی‌تواند جوابی برای فاصله هدف ارایه کند. در الگوریتم پیشنهادی در این مقاله برای به‌دست‌آوردن یک تخمین بدون ابهام از فاصله هدف در هندسه مورد نظر، تنها از توان‌های اندازه‌گیری‌شده در دو حس‌گر استفاده می‌شود. در این راستا، ابتدا یک تحلیل تئوری از مسأله انجام گرفته و سپس به‌منظور یافتن فاصله هدف یک الگوریتم جست‌وجوی ساده و مؤثر مبتنی بر روش ریشه‌یابی تصنیف پیشنهاد می‌شود. در الگوریتم ارایه‌شده، دست‌یابی به یک تخمین یکتا از فاصله هدف مستقل از موقعیت مکانی آن تضمین می‌شود. شبیه‌سازی‌های انجام‌شده، سرعت و دقت الگوریتم ارایه‌شده و همچنین مقاوم‌بودن آن در برابر تغییرات فاصله هدف و موقعیت‌های مختلف دو حس‌گر را اثبات می‌کند.

واژگان کلیدی: شبکه غیر همگن، موقعیت‌یابی بدون ابهام، حس‌گر برداری، شدت سیگنال دریافتی، الگوریتم تصنیف.

Three Dimensional Localization of an Unknown Target Using Two Heterogeneous Sensors

Vali Kavoosi[1], Mohammad Javad Dehghani[2,3*]& Reza Javidan[4]

[1]Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran

[2]Faculty of Electrical and Electronics Engineering, Shiraz University of Technology, Iran

[3]Regional Information Center for Science and Technology (RiCeST), Shiraz, Iran

[4]Faculty of Computer and Information Technology Engineering, Shiraz University of Technology, Shiraz, Iran

Abstract

Heterogeneous wireless sensor networks consist of some different types of sensor nodes deployed in a particular area. Different sensor types can measure different quantity of a source and using the combination of different measurement techniques, the minimum number of necessary sensors is reduced in localization problems. In this paper, we focus on the single source localization in a heterogeneous sensor network containing two types of passive anchor-nodes: Omni-directional and vector sensors. An omni-directional sensor can simply measure the received signal strength (RSS) without any additional hardware. In other side, an acoustic vector sensor (AVS) consists of a velocity-sensor triad and an optional acoustic pressure-sensor, all spatially collocated in a point-like geometry. The velocity-sensor triad has an intrinsic ability in

* Corresponding author

*نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۲/۶ • تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۲۹ • تاریخ انتشار: ۱۳۹۹/۰۴/۰۱ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

direction finding process. Moreover, despite its directivity, a velocity-sensor triad can isotropically measure the received signal strength and has a potential to be used in RSS-based ranging methods.

Employing a heterogeneous sensor-pair consisting of one vector and one omni-directional sensor, this study tries to obtain unambiguity estimation for the location of an unknown source in a three-dimensional (3D) space. Using a velocity-sensor triad as an AVS, it is possible to determine the direction of arrival (DOA) of the source without any restriction on the spectrum of the emitted signal. However, the range estimation is a challenging problem when the target is closer to the omnidirectional sensor than the vector sensor. The existence method proposed for such configuration suffers from a fundamental limitation, namely the localization coverage. Indeed, this algorithm cannot provide an estimate for the target range in 50 percent of target locations due to its dependency to the relative sensor-target geometry.

In general, our proposed method for the considered problem can be summarized as follows: Initially, we assume that the target's DOA is estimated using the velocity-sensor triad's data. Then, considering the estimated DOA and employing the RSS measured by two sensors, we propose a computationally efficient algorithm for uniquely estimation of the target range. To this end, the ratio of RSS measured by two sensors is defined and, then, shown that this power ratio can be expressed as a monotonic function of the target range. Finally, the bisection search method is proposed to find an estimate for the target range. Since the proposed algorithm is based on bisection search method, a solution for the range of the target independent of its location is guaranteed. Moreover, a set of future aspects and trends is identified that might be interesting for future research in this area. Having a low computational complexity, the proposed method can enhance the coverage area mostly two times of that explored by the existence method. The simulated data confirms the speed and accuracy of developed algorithm and shows its robustness against various target ranges and different sensor spacing.

Keywords: Heterogeneous network, Unambiguous localization, Vector sensor, RSS, Bisection algorithm.

۱- مقدمه

در سال‌های اخیر شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم به‌طور گسترده در علوم مختلف و به منظورهای متفاوتی از جمله موقعیت‌یابی مورد استفاده قرار گرفته‌اند [1]. یک شبکه حس‌گر بی‌سیم شامل گروهی از حس‌گرهاست که در یک منطقه توزیع شده و به منظور حل یک مسأله پردازش سیگنال به‌صورت بی‌سیم با یکدیگر مرتبط شده و با هم مشارکت دارند. این شبکه‌ها می‌توانند به‌صورت همگن یا غیرهمگن باشند. در شبکه‌های همگن، گیرنده‌های توزیع‌شده در محیط، از یک نوع بوده و قابلیت اندازه‌گیری یک کمیت را دارند. کمیت اندازه‌گیری‌شده در این شبکه‌ها می‌تواند فاصله هدف یا زاویه سیگنال دریافتی[1] (AOA) از آن باشد. در روش‌های وابسته به فاصله، کمیت‌هایی مانند زمان دریافت سیگنال[2] (TOA)، اختلاف زمانی در دریافت سیگنال[3] (TDOA) یا شدت سیگنال دریافتی[4] (RSS) اندازه‌گیری می‌شود. در این روش‌ها، کمینه تعداد حس‌گر لازم برای تعیین بدون ابهام موقعیت یک هدف در یک محیط سه‌بُعدی، چهار حس‌گر است که همگی آنها نباید در یک صفحه قرار داشته باشند [2].

در روش‌های مبتنی بر AOA برای موقعیت‌یابی هدف در یک محیط سه‌بُعدی باید راستای سیگنال دریافتی از هدف در بیش از دو نقطه اندازه‌گیری شود. برای اندازه‌گیری زاویهٔ دریافت سیگنال به آرایه‌ای از گیرنده‌ها احتیاج است.در این راستا، استفاده از حس‌گرهای برداری می‌تواند در تخمین زوایای دریافتی از هدف بسیار راه‌گشا باشد. این حس‌گرها که ترکیبی از حس‌گرهای همه‌جهته و سرعت هستند، به‌طور ذاتی جهت دار بوده و به‌کمک آنها می‌توان تخمینی از زوایای افقی و عمودی سیگنال ورودی را به‌دست آورد. اینکار بدون هیچ محدودیتی در مشخصات زمان- فرکانس سیگنال ارسالی از هدف انجام می‌گیرد. با استفاده از این حس‌گرها می‌توان جهت ورود سیگنال را مستقل از فرکانس مرکزی، پهنای باند یا طیف فرکانسی سیگنال مشخص کرد [3]. در سالیان گذشته الگوریتم‌های متنوعی برای تخمین زاویه دریافت سیگنال با استفاده از این حس‌گرها ارایه شده است [4-7]. از دیگر مزایای استفاده از این نوع حس‌گرها این است که برخلاف جهت‌داربودن، می‌توانند شدت سیگنال دریافتی از هدف را به‌صورت همسان[5] اندازه‌گیری کنند؛ درنتیجه می‌توان از آنها در روش‌های مبتنی بر RSS نیز استفاده کرد.

در مقابل، در شبکه‌های غیر همگن از چندین نوع گیرنده استفاده شده و هر گیرنده می‌تواند کمیت متفاوتی از هدف را اندازه‌گیری کند. استفاده از چندین کمیت اندازه‌گیری‌شده از یک هدف باعث می‌شود که تخمین موقعیت آن با سادگی و دقت بیشتری انجام شود [8]؛ همچنین، نشان داده شده است که استفاده از چند نوع اندازه‌گیری در یک شبکه توزیع‌شده، حد CRLB[6] در تخمین

[1] Angle of Arrival
[2] Time of Arrival
[3] Time Difference of Arrival
[4] Received Signal Strength
[5] Isotropic
[6] Cramer Rao Lower Bound

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

موقعیت هدف را کاهش می‌دهد [9,10]. در [11] نشان داده شده است در حالتی که شبکه غیر همگن تنها شامل یک حس‌گر فاصله و یک حس‌گر زاویه باشد و فاصله حس‌گر فاصله از هدف، کوچکتر از فاصله این حس‌گر از حس‌گر زاویه باشد، نمی‌توان موقعیت هدف را به‌طور یکتا مشخص کرد. بنابراین، یک ناحیه ابهام در موقعیت‌یابی هدف در این هندسه وجود خواهد داشت. ناحیه ابهام را می‌توان با یک کره به مرکز حس‌گرفاصله و شعاعی معادل با فاصله دو حس‌گر ترسیم کرد. همچنین، برای داشتن یک تخمین بدون ابهام برای موقعیت سه‌بُعدی هدف، لازم است که دست‌کم سه حس‌گر غیرهمگن (دو حس‌گر زاویه و یک حس‌گر فاصله یا دو حس‌گر فاصله و یک حس‌گر زاویه) مورد استفاده قرار گیرند؛ اما در [11] تنها چیدمان بهینه حس‌گرها در شبکه‌های غیر همگن مورد نظر بوده و هیچ الگوریتمی برای موقعیت‌یابی هدف ارایه نشده است. از طرف دیگر، در بیشتر مقالات ارایه‌شده در این حوزه، استفاده از کمینه تعداد حس‌گرها در موقعیت‌یابی هدف مورد توجه قرار نداشته و الگوریتم‌های پیشنهادی بر اساس تعداد حس‌گرهای بیشتر بنا شده‌اند. نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد این است که بیش‌تر الگوریتم‌های موجود در موقعیت‌یابی هدف، الگوریتم‌های پیچیده‌ای هستند که نیاز به محاسبات سنگین و میزان حافظه زیادی داشته و نمی‌توان آنها را به‌راحتی در کاربردهای عملی مورد استفاده قرار داد؛ بنابراین، وجود الگوریتم ساده‌ای که بتواند با استفاده از کمینه تعداد حس‌گرها، یک تخمین دقیق و یکتا از موقعیت هدف در فضای سه بعدی ارایه کند، یکی از الزامات اساسی در بسیاری از کاربردهای عملی است.

در [3] روشی برای تعیین موقعیت یک هدف در فضای سه‌بُعدی با استفاده از یک حس‌گر برداری و یک حس‌گر معمولی ارایه شده است؛ اما درصورتی‌که فاصله هدف تا حس‌گر برداری بزرگ‌تر از نصف فاصله بین حس‌گرها باشد، الگوریتم ارایه‌شده نمی‌تواند هدف را موقعیت‌یابی نماید. در شکل (۱) ناحیه جواب برای این الگوریتم به‌صورت یک ناحیه رنگی نمایش داده شده است. اگر مکان هدف بطور یکنواخت در محیط در نظر گرفته شود، این روش به‌طور متوسط برای پنجاه درصد موقعیت‌هایی که یک هدف می‌تواند در فضای سه‌بُعدی داشته باشد، جوابی نخواهد داشت.

هدف اصلی این مقاله، موقعیت‌یابی یک هدف در یک فضای سه‌بُعدی با استفاده از یک شبکه غیر همگن شامل دو حس‌گراست که یکی به‌صورت همه‌جهته و معمولی بوده و دیگری از نوع برداری است. نوآوری انجام‌شده در این مقاله به شرح زیر است:

(۱) موقعیت‌یابی سه‌بُعدی هدف با استفاده از ترکیب کمیت‌های AOA وRSS در یک شبکه غیرهمگن با کمینه سخت‌افزار ممکن. این شبکه کمینه سخت‌افزار مورد نیاز یک شبکه غیرهمگن را دارد که از ترکیب کمیت‌های AOA و RSS تشکیل شده است. درواقع با استفاده از قابلیت جهت‌داربودن حس‌گر برداری و ترکیب روش‌های AOA و RSS کمینه تعداد حس‌گر لازم برای موقعیت‌یابی هدف نسبت به شبکه‌های همگنی که قادر به اندازه‌گیری یکی از این کمیت‌ها هستند، کاهش داده شده است. همچنین، ترکیب هیدروفون‌های معمولی و برداری می‌تواند ضعف‌های موجود در روش‌های موقعیت‌یابی مبتنی بر پارامترهای RSS و AOA را برطرف کند. در ادامه از این ساختار با عنوان SVSO[1] نام برده می‌شود.

(۲) ارایه یک الگوریتم ساده برای تخمین موقعیت یک هدف، بدون وابستگی به موقعیت آن در فضای سه بعدی. در الگوریتم پیشنهادی برای به‌دست‌آوردن یک تخمین بدون ابهام از فاصله هدف در هندسه SVSO، تنها از RSS اندازه‌گیری‌شده در دو حس‌گر استفاده می‌شود. ابتدا یک تحلیل تئوری از مسأله انجام گرفته و سپس یک روش جست‌وجو بر اساس یک الگوریتم ریشه‌یابی مشهور و ساده ریاضی پیشنهاد می‌شود. در روش پیشنهادی، دست‌یابی به یک تخمین یکتا از فاصله هدف مستقل از موقعیت مکانی آن تضمین می‌شود.

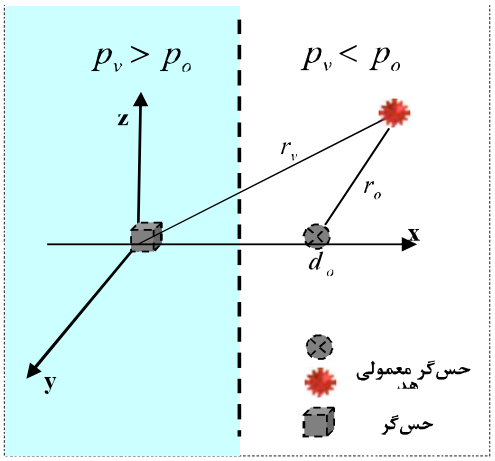
۲- موقعیت‌یابی هدف مبتنی بر ترکیب کمیت‌هایRSS و AOA

اندازه‌گیری شدت سیگنال دریافتی که در روش‌های مبتنی بر RSS انجام می‌گیرد از نظر میزان مصرف انرژی، پهنای باند مورد نیاز و سادگی در پیاده‌سازی بر دیگر روش‌ها ارجحیت دارد. هرچند کمینه تعداد حس‌گرهای مورد نیاز در این روش برای موقعیت‌یابی یک هدف در فضای سه بعدی چهار حس‌گر می‌باشد، اما با استفاده از حس‌گرهای برداری می‌توان تعداد کمینه حس‌گرها را کاهش داد. تاکنون مقالات زیادی از ترکیب کمیت‌های AOA و RSS برای موقعیت‌یابی یک هدف در فضای دو یا سه‌بُعدی استفاده کرده‌اند، اما در بیش‌تر آنها، حس‌گرهای مورد استفاده از یک جنس هستند. به‌عبارت دیگر، هر چند این مقالات از ترکیب دو نوع کمیت

[1] Single Vector Single Omni-directional

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

اندازه‌گیری‌شده در موقعیت‌یابی هدف سود می‌برند، اما این کمیت‌ها از یک شبکه همگن استخراج شده‌اند. به‌عنوان نمونه، در [12] برای مکان‌یابی هدف از اندازه‌گیری هر دو کمیت RSS و AOA در چند حس‌گر توزیع‌شده سود برده شده است، اما با این فرض که در کلیه حس‌گرها موقعیت سه‌بُعدی هدف (هم زوایای افقی و عمودی و هم فاصله) در دسترس هستند. واضح است که اندازه‌گیری زاویه هدف در همه حس‌گرها تنها با استفاده از آرایه‌ای از حس‌گرها مثل حس‌گرهای برداری در محل‌های مورد نظر امکان‌پذیر است. درنتیجه، ساختار غیر همگن پیشنهادی در این مقاله با هندسه همگن استفاده‌شده در [12] متفاوت و البته ساده‌تر و ارزان‌تر است؛ از طرف دیگر، برای داشتن تخمینی از فاصله هدف به‌کمک RSS اندازه‌گیری‌شده در یک نقطه لازم است که میزان توان ارسالی هدف معلوم باشد. بر خلاف آنچه که در [12] فرض شده، در اینجا توان ارسالی هدف که از پارامترهای مهم در روش‌های مبتنی بر RSS است، نامعلوم فرض شده است. البته سادگی الگوریتم پیشنهادی را در مقاله حاضر در مقایسه با روش‌های مبتنی بر بهینه‌سازی که در [12] به‌منظور بهبود عملکرد موقعیت‌یابی ارایه شده است، نباید از یاد برد.



(شکل-۱): ناحیه پاسخ برای الگوریتم ارایه‌شده در [3]
(Figure-1): The region in which [3] has a solution

تعداد مقالات محدودی وجود دارد که در آنها از یک شبکه غیرهمگن برای موقعیت‌یابی هدف استفاده شده است؛ به‌عنوان مثال، دو الگوریتم موقعیت‌یابی بر اساس بیشینه تابع راستنمایی (ML[1]) و کمینه مربعات خطی (LLS[2]) با استفاده از اطلاعات اندازه‌گیری‌شده در یک شبکه غیرهمگن در [13] ارایه شده است. این الگوریتم‌ها با ترکیب کمیت‌های AOA و RSS می‌توانند یک فرستنده را در فضای دوبُعدی تعیین موقعیت کنند. وجود دست‌کم دو حس‌گر از هر جنس برای اندازه‌گیری کمیت‌های زاویه یا فاصله از ملزومات این روش‌ها است. در [14] الگوریتمی برای تعیین موقعیت یک کاربر در یک شبکه سیار با استفاده از ترکیب اطلاعات زاویه و فاصله گزارش شده است. در این مقاله، از یک ایستگاه پایه که توانایی اندازه‌گیری زاویه و فاصله را دارد، به همراه اطلاعات RSS اندازه‌گیری‌شده در دو نقطه دیگر در موقعیت‌یابی هدف استفاده شده است. اما این الگوریتم برای موقعیت‌یابی در فضای دوبُعدی و با فرض معلوم‌بودن توان ارسالی فرستنده به‌دست آمده است. همچنین، به‌منظور موقعیت‌یابی یک کاربر در شبکه سیار نسل چهار، در [15] از اطلاعات زاویه دو ایستگاه پایه و اطلاعات RSS اندازه‌گیری‌شده در چهار موقعیت معلوم استفاده شده است. هر چند که الگوریتم پیشنهادی با فرض نامشخص‌بودن توان ارسالی طراحی شده است، اما باز هم یک فضای دوبعدی برای عملکرد الگوریتم در نظر گرفته شده است.

در [3] روشی برای موقعیت‌یابی سه‌بُعدی هدف با استفاده از هندسه SVSO ارائه شده است. در این روش، ابتدا زوایای افقی و عمودی هدف به‌کمک سیگنال‌های دریافت‌شده در حس‌گر برداری تعیین شده و در ادامه با توجه به نسبت انرژی دریافت‌شده در دو حس‌گر، فاصله هدف نیز تخمین زده می‌شود. محدودیت الگوریتم ارایه‌شده در این مقاله این است که تا زمانی می‌توان یک هدف را در محیط سه‌بُعدی تعیین موقعیت کرد که هدف به حس‌گر برداری نزدیک‌تر باشد. به‌منظور تعیین موقعیت بدون ابهام هدف در فضای سه‌بُعدی، در [16] استفاده از یک آرایه خطی شامل دو حس‌گر معمولی و یک حس‌گر برداری پیشنهاد شده است. در این هندسه، حس‌گر برداری نسبت به کمینه یکی از حس‌گرهای معمولی دارای فاصله کمتری از هدف بوده و محاسبه فاصله هدف مستقل از محل قرارگرفتن آن در فضای سه‌بُعدی امکان‌پذیر می‌شود. در هندسه پیشنهادشده در این مقاله، ضعف موجود در الگوریتم ارایه‌شده در [3] با استفاده از یک حس‌گر اضافی رفع شده است؛ به‌طوری که با استفاده از هندسه معرفی‌شده در [16] و با به‌کارگیری الگوریتم موجود در [3] همواره می‌توان جواب یکتایی برای موقعیت یک هدف در فضای سه‌بُعدی به‌دست آورد. همچنین، در شرایطی که حس‌گر برداری نسبت به هر دو حس‌گر معمولی دارای فاصله کمتری تا هدف است، در

[1] Maximum Likelihood
[2] Linear Least Square

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

[16] روشی ارایه شده است که به‌کمک آن می‌توان با انتخاب حس‌گر معمولی که کمترین خطا را در تخمین فاصله ایجاد می‌کند، دقت موقعیت‌یابی را افزایش داد.

در این مقاله روشی ارایه می‌شود که می‌تواند نقص موجود در الگوریتم [3] را بدون افزودن هیچ حس‌گری به ساختار SVSO برطرف کند. تاکنون در مقالات ارایه‌شده در این حوزه، برای شرایطی که هدف به حس‌گر معمولی نزدیکتر باشد، هیچ الگوریتم تخمین فاصله‌ای در هندسه SVSO ارایه نشده و الگوریتم حاضر در این مقاله برای نخستین‌بار پیشنهاد شده است.

۳- مدل سیستم

در حالت کلی، یک حس‌گر برداری در مبدأ مختصات $(x_v, y_v, z_v) = (0,0,0)$ و یک حس‌گر معمولی در مختصات معلوم $(x_o, y_o, z_o) = d_o(u_o, v_o, w_o)$ و یک هدف در میدان نزدیک با موقعیت نامعلوم $(x_t, y_t, z_t) = r_t(u_t, v_t, w_t)$ در محیط فرض می‌شود. بردارهای (u_t, v_t, w_t) و (u_o, v_o, w_o) بردارهای یکه‌ای هستند که به‌ترتیب راستای هدف و راستای حس‌گر معمولی را در فضای سه‌بُعدی نشان می‌دهند. همچنین زوایای افقی و عمودی هدف به‌ترتیب با ϕ_t و ψ_t نشان داده می‌شوند. فاصله حس‌گر معمولی تا مبدأ d_o بوده و فاصله حس‌گرهای برداری و معمولی از هدف به‌ترتیب با $r_v = r_t$ و r_o نشان داده می‌شود. سیگنال ارسالی از هدف یک سیگنال باند باریک با توان p_t، فرکانس ω_t و فاز اولیه θ_t در نظر گرفته می‌شود؛ به‌طوری‌که فرکانس، توان ارسالی و فاز اولیه سیگنال نامعلوم فرض می‌شوند. در شکل (۱)، هندسه مربوط به ساختار SVSO با این شرط که حس‌گر معمولی در راستای محور x قرار داشته باشد، نمایش داده شده است.

توان واقعی دریافت‌شده از سیگنال تشعشع‌یافته از هدف در حس‌گرهای برداری و معمولی به‌ترتیب با p_v و p_o و کل توان اندازه‌گیری شده در این دو حس‌گر به‌ترتیب با $\hat{p}_v$ و $\hat{p}_o$ نشان داده می‌شود. کل توان اندازه‌گیری‌شده در هر حس‌گر برابر است با مجموع توان دریافتی از هدف و توان نوفه. بنابراین رابطه زیر برقرار خواهد بود:

$$\hat{p}_o = p_o + \sigma_o^2, \quad \hat{p}_v = p_v + \sigma_v^2 \qquad (۱)$$

در این رابطه σ_v^2 و σ_o^2 به ترتیب واریانس نوفه در حس‌گر برداری و حس‌گر معمولی بوده و نامعلوم هستند. فرض می‌شود که زوایای افقی و عمودی هدف با استفاده از روش ارایه‌شده در [16] تخمین زده شده و مسأله مورد نظر به‌دست‌آوردن تخمینی از فاصله هدف (r_t) است. درصورتی‌که یک محیط آزاد و همگن داشته باشیم و هدف نیز در میدان نزدیک نسبت به حس‌گرها قرار داشته باشد، می‌توان توان انتشاریافته از هدف را در قالب یک مدل کاهشی که با عکس فاصله حس‌گر تا هدف متناسب است بیان کرد [17]. با توجه به مدل در نظر گرفته‌شده برای محیط، توان دریافت‌شده در هر حس‌گر (p_r)، از رابطه زیر به‌دست می‌آید [17]:

$$p_r = \frac{p_t}{k r^n} \qquad (۲)$$

در این رابطه، p_t توان ارسالی از هدف، k ضریب ثابت وابسته به محیط، n درجه تضعیف نسبت به فاصله و r فاصله حس‌گر تا هدف است. هدف مسأله یافتن تخمین یکتایی از فاصله هدف مستقل از موقعیت نسبی آن در فضای سه‌بُعدی است. در این مسأله فرض می‌شود که موقعیت زاویه‌ای هدف مشخص بوده و تنها اطلاعات موجود جهت یافتن فاصله هدف، RSS اندازه‌گیری‌شده در هندسه SVSO است.

۴- الگوریتم پیشنهادی

به‌منظور یافتن تخمینی از موقعیت سه‌بُعدی هدف، ابتدا با استفاده از اطلاعات حس‌گر برداری زوایای افقی و عمودی هدف تخمین زده می‌شود. در ادامه با توجه به توان‌های دریافتی از هدف در دو حس‌گر، تخمینی از فاصله هدف نیز به‌دست می‌آید. در این مقاله فرض می‌شود که موقعیت زاویه‌ای هدف با استفاده از روش‌های موجود جهت‌یابی که در مقالات زیادی مورد بررسی قرار گرفته به انجام رسیده و تنها فاصله هدف مورد نظر است. در الگوریتم پیشنهادی، برای تخمین فاصله هدف از RSS اندازه‌گیری‌شده در حس‌گرها استفاده می‌شود. ابتدا به‌منظور حذف توان ارسالی از هدف که در اینجا نامعلوم فرض می‌شود، توان حس‌گرها را به یکدیگر تقسیم نموده و کمیت جدید α تعریف می‌شود:

$$\alpha = \left(\frac{\hat{p}_v}{\hat{p}_o}\right)^{\frac{2}{n}} \qquad (۳)$$

با جایگذاری توان‌های اندازه‌گیری‌شده حس‌گرها از رابطه (۲) در رابطه (۳)، رابطه (۴) به‌دست می‌آید:

$$\alpha \cong \left(\frac{r_o}{r_v}\right)^2 \qquad (۴)$$

درصورتی‌که توان نوفه نسبت به توان سیگنال کوچک باشد، تقریب بالا به تساوی تبدیل می‌شود. در رابطه بالا، تنها

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

به دانستن ضریب کاهش توان نسبت به فاصله احتیاج بوده و نیازی به دانستن توان ارسالی هدف و ضریب k نیست. با توجه به رابطه (۴)، در شرایطی که هدف در فاصله یکسانی از هر دو حس‌گر قرار داشته باشد، $r_v = r_o$، مقدار α برابر با یک و درصورتی‌که هدف به حس‌گر برداری نزدیک‌تر باشد، $r_v < r_o$، مقدار α کوچکتر از یک است. در غیر این‌صورت، α بزرگ‌تر از یک خواهد بود. بدین ترتیب می‌توان کل فضای سه‌بُعدی را توسط صفحه فرضی که بر خط واصل بین دو حس‌گر عمود است به دو قسمت مساوی تقسیم کرد.

با توجه به موقعیت حس‌گرها و هدف در فضای سه‌بُعدی، رابطه زیر بین فاصله‌ها وجود دارد:

$$r_o^2 = r_v^2 - 2r_v d_o (u_t u_0 + v_t v_0 + w_t w_0) + d_o^2 \qquad (۵)$$

پس از جایگذاری r_o در رابطه (۴) داریم:

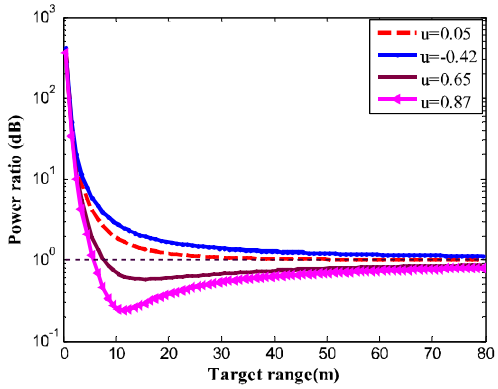
$$\alpha = 1 - 2(\frac{d_o}{r_v})u + (\frac{d_o}{r_v})^2 \qquad (۶)$$

که $u = (u_t u_0 + v_t v_0 + w_t w_0)$ است.

با توجه به معلوم‌بودن راستای هدف و موقعیت حس‌گر معمولی، رابطه بالا تنها تابعی از فاصله هدف است. بنابراین، می‌توان با درنظرداشتن نسبت توان‌های اندازه‌گیری‌شده در حس‌گرها، تخمینی برای فاصله هدف به‌دست آورد. این مسأله در [3] انجام گرفته و بر اساس آن یک رابطه بسته برای r_v محاسبه شده اما این رابطه تنها زمانی دارای پاسخ حقیقی است که $\alpha \geq 1$ باشد و برای حالت $\alpha < 1$ هیچ جوابی برای فاصله هدف به‌دست نمی‌آید. در این مقاله برای به‌دست‌آوردن تخمینی از فاصله هدف در تمامی حالاتی که امکان به‌دست‌آوردن این تخمین وجود دارد، یک روش جست‌وجوی ساده و مؤثر پیشنهاد می‌شود.

برای این منظور ابتدا تغییرات تابع α بر حسب فاصله هدف از مبدأ مختصات مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۲) این تابع را به‌ازای چهار جهت مختلف برای هدف و فاصله ده متری بین حس‌گرها نشان می‌دهد. برای محاسبه تخمینی از فاصله هدف باید نقطه برخورد خط α مساوی با یک مقدار ثابت را با این منحنی‌ها مشخص کرد. در ناحیه $p_v \geq p_o$ یا $\alpha \geq 1$که هدف به حس‌گر برداری نزدیک‌تر است، تابع α یک تابع یکنوای نزولی است. برخلاف این ناحیه، در ناحیه $p_v < p_o$ که $\alpha < 1$ است، به‌ازای یک مقدار ثابت برای نسبت توان‌های دریافتی در حس‌گرها، دو پاسخ برای فاصله هدف به‌دست می‌آید. بنابراین، تخمین فاصله در این ناحیه می‌تواند با ابهام همراه باشد. در اینجا فرض می‌شود که هدف در ناحیه ابهام قرار نداشته باشد؛ درنتیجه، می‌توان در ناحیه $\alpha < 1$که هدف به حس‌گر معمولی نزدیک‌تر است، تابع α را یک تابع یکنوای صعودی دانست.

درنهایت می‌توان نتیجه‌گیری کرد که درصورت عدم قرارگرفتن هدف در ناحیه ابهام، تغییرات α در هر دو ناحیه $p_v < p_o$ و $p_v \geq p_1$ به‌صورت یکنوا خواهد بود. بنابراین، می‌توان از روش‌های مؤثر جست‌وجو برای محاسبه فاصله هدف استفاده کرد و تخمین یکتایی از فاصله هدف به‌دست آورد. بخش‌های مختلف الگوریتم پیشنهادی در شکل (۳) آورده شده است.



(شکل-۲): تغییرات نسبت توان‌های دریافتی بر حسب فاصله هدف

(Figure-2): The variation of received power ratio with respect to the target range

در این الگوریتم از روش ریشه‌یابی تصنیف[1] [18] استفاده شده است. این روش یک الگوریتم ساده و مقاوم در ریشه‌یابی توابع است که رسیدن به یک جواب برای ریشه معادله مورد نظر را تضمین می‌کند. جست‌وجو برای یافتن تخمینی از فاصله هدف با شرط تساوی پارامترهای α و β انجام می‌گیرد که β با رابطه (۷) تعریف می‌شود:

$$\beta = \left(\frac{r_o}{r_v}\right)^2 \qquad (۷)$$

مقایسه مقادیر α و β در هر مرحله، میزان خطا را مشخص کرده و درصورت بیشتربودن خطا از یک حد معین، الگوریتم دوباره تکرار می‌شود. فضای مورد جست‌وجو جهت محاسبه فاصله هدف در الگوریتم تصنیف برابر است با

[1] Bisection

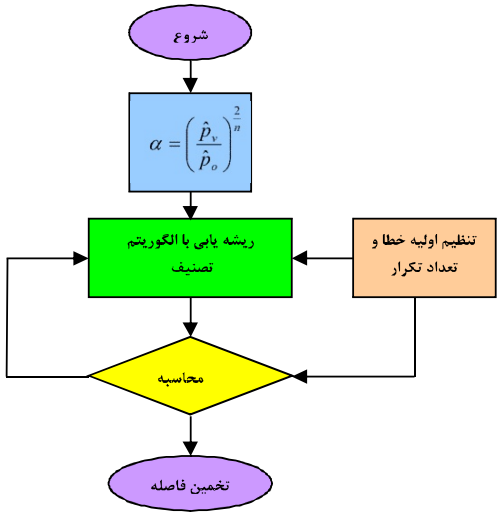
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

$\left[r_v^{\min}, r_v^{\max}\right]$، که در شروع الگوریتم در محدوده $[0, R_{\max}]$ تنظیم می‌شود که $R_{\max}$ بیشینه فاصله قابل اندازه‌گیری حس‌گرها است. در هر بار اجرای الگوریتم، محدوده جست‌وجو برای یافتن تخمینی از فاصله هدف کوچک‌تر شده و تا زمانی که تعداد دفعات تکرار کمتر از مقدار تنظیم‌شدهٔ اولیه شود یا این‌که مقدار خطای تخمین بزرگ‌تر از مقدار مورد نظر باشد، الگوریتم تکرار می‌شود.

مراحل جست‌وجو برای یافتن پاسخی برای فاصله هدف با استفاده از الگوریتم تصنیف در جدول (۱) با نام الگوریتم (۱) درج شده است. پس از هر بار اجرا، خطای تخمین از رابطه (۸) محاسبه می‌شود.

$$error = r_v^{\max} - r_v^{\min} \qquad (۸)$$



(شکل-۳): نمودار گردشی الگوریتم پیشنهادی در تخمین فاصله
(Figure-3): Flowchart of the proposed range estimator

(جدول-۱): تخمین فاصله مبتنی بر الگوریتم تصنیف
(Table-1): Range estimation based on Bisection method

الگوریتم ۱: جستجو برای یافتن تخمینی از فاصله هدف

محاسبه $r_v = \frac{r_v^{\min} + r_v^{macx}}{2}$

محاسبه r_o از رابطه (۵)

محاسبه $\beta = (\frac{r_o}{r_v})^2$ از رابطه (۷)

در صورتی که $\alpha \geq 1$

اگر $\beta > \alpha$ در اینصورت $r_v^{\min} = r_v$

اگر $\beta < \alpha$ در اینصورت $r_v^{\max} = r_v$

اگر $\beta = \alpha$ در اینصورت $r_v^{\max} = r_v^{\min} = r_v$

در صورتی که $\alpha < 1$

اگر $\beta > \alpha$ در اینصورت $r_v^{\max} = r_v$

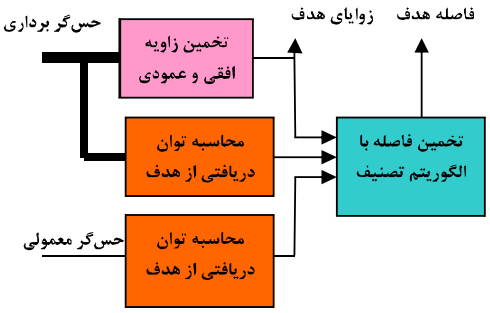
اگر $\beta < \alpha$ در اینصورت $r_v^{\min} = r_v$

اگر $\beta = \alpha$ در اینصورت $r_v^{\max} = r_v^{\min} = r_v$

درنهایت، فاصله تخمین زده‌شده برای هدف از رابطه (۹) به‌دست می‌آید.

$$r_v = \frac{r_v^{\min} + r_v^{macx}}{2} \qquad (۹)$$

تخمین به‌دست‌آمده برای فاصله هدف، مستقل از موقعیت نسبی آن در شبکه مورد نظر بوده و به‌همراه زاویای تخمین زده‌شده توسط حس‌گر برداری، می‌تواند به‌عنوان پاسخ یکتایی برای موقعیت سه‌بُعدی هدف در فضای سه‌بُعدی در نظر گرفته شود.



(شکل-۴): تعیین موقعیت سه‌بُعدی هدف در هندسه پیشنهادی
(Figure-4): 3D source localization by the proposed geometry

شکل (۴) نمای کاملی از موقعیت‌یابی سه‌بُعدی هدف با استفاده از اندازه‌گیری‌های انجام‌گرفته در دو حس‌گر غیر همجنس را نشان می دهد.

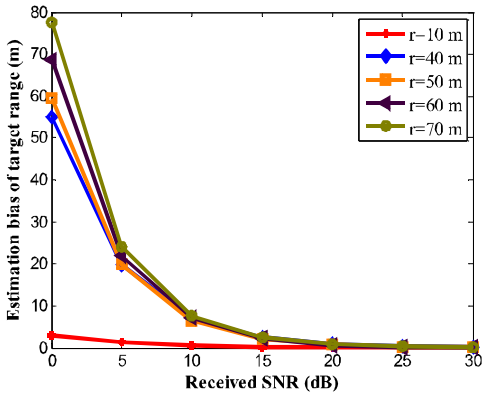
۵- شبیه‌سازی

به‌منظور بررسی الگوریتم پیشنهادی، چند مثال مختلف با استفاده از نرم‌افزار MATLAB شبیه‌سازی شده و خلاصه‌ای از نتایج در این بخش ارایه می‌شود. در این شبیه‌سازی‌ها یک حس‌گر برداری در مبدأ مختصات و یک حس‌گر معمولی در امتداد محور x در فاصله‌ای مشخص از حس‌گر برداری درنظر گرفته شده است. در شکل (۴) بایاس ایجادشده در تخمین فاصله برای چندین موقعیت متفاوت از هدف ترسیم شده است. درحالت نخست فرض می‌شود که حس‌گر معمولی در فاصله ۲۵ متری از مبدأ قرار داشته، موقعیت زاویه‌ای هدف در مختصات قطبی $(\phi_t, \psi_t) = (32°, 68°)$ ثابت بوده و فاصله آن در پنج مقدار مختلف ۱۰، ۴۰، ۵۰، ۶۰ و ۷۰ متری تغییر کرده است. هدف واقع در فاصله ده متری، به حس‌گر برداری نزدیک‌تر بوده و فاصله آن با خطای ناچیزی توسط الگوریتم پیشنهادی تخمین زده شده است. مختصات چهار هدف دیگر به‌گونه‌ای است که همه آنها به حس‌گر معمولی نزدیکتر

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

هستند. هر چند که الگوریتم‌های موجود در مقالات نمی‌توانند تخمینی برای فاصله این اهداف به‌دست آورند، اما الگوریتم پیشنهادی تخمین‌های به‌نسبه دقیقی برای فاصله این اهداف ارایه کرده است. برای مقادیر SNR بزرگ‌تر از ۲۰dB، تخمین‌های به‌دست‌آمده برای فاصله هدف دقت بسیار خوبی دارند.

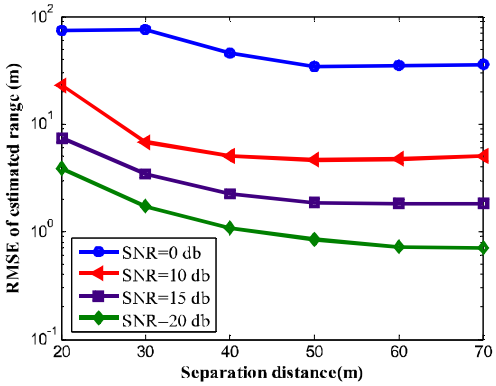
در مقایسه با هدف واقع در فاصله ده متری، تخمین‌های به‌دست‌آمده برای چهار هدف دیگر از دقت پایین‌تری برخوردار است. علت این امر، موقعیت نسبی متفاوت اهداف در شبکه حس‌گر در نظر گرفته شده است. موقعیت نسبی هدف و حس‌گر تأثیر بسیار زیادی در تعیین موقعیت آن خواهد داشت. برای هندسه در نظر گرفته‌شده در این مقاله، هر چه که هدف به حس‌گر برداری نزدیک‌تر باشد، تعیین موقعیت آن با دقت بیشتری انجام خواهد شد. بهترین حالت زمانی رخ می‌دهد که هدف و دو حس‌گر، همگی در امتداد یک خط راست قرار داشته باشند [11].



(شکل-۵): بایاس در تخمین فاصله هدف در موقعیت‌های متفاوت.

(Figure-5): The bias of range estimation for different target locations.

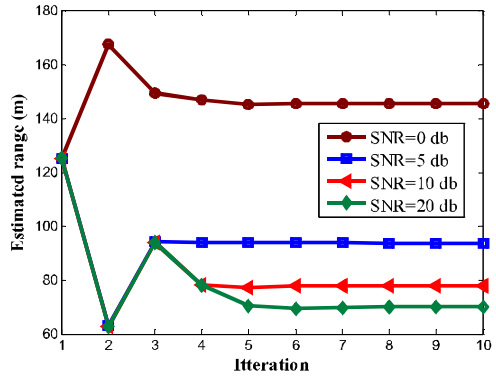
در حالت دیگر، موقعیت هدف ثابت بوده و فاصله بین حس‌گرها متغیر فرض می‌شود. تأثیر فاصله بین حس‌گرها در تخمین فاصله یک هدف با مختصات قطبی $(r_t,\phi_t,\psi_t)=(65,78^\circ,14^\circ)$ برای چهار SNR مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. چنان‌که دیده می‌شود، در فواصل کم بین حس‌گرها، تخمین فاصله با دقت پایین‌تری صورت می‌گیرد؛ اما باز هم به‌ازای موقعیت‌های نسبی متفاوت حس‌گرها و هدف، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند برای تخمین فاصله مورد استفاده قرار گیرد.



(شکل-۶): اثر فاصله بین حس‌گرها در تخمین فاصله هدف.

(Figure-6): The effect of sensor separation on the range estimation.

شکل (۶) میزان هم‌گرایی الگوریتم پیشنهادی را در تکرارهای مختلف نشان می‌دهد. در این شبیه‌سازی، مختصات هدف $(r_t,\phi_t,\psi_t)=(70,32^\circ,68^\circ)$ و فاصله بین حس‌گرها ۲۵ متر فرض شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، در SNRهای مختلف، الگوریتم پیشنهادی با سرعت قابل قبولی به مقدار نهایی همگرا شده و در کمتر از ده تکرار، تخمینی از فاصله هدف به‌دست آمده است.



(شکل-۷): سرعت همگرایی الگوریتم تصنیف.

(Figure-7): Speed convergence of Bisection algorithm.

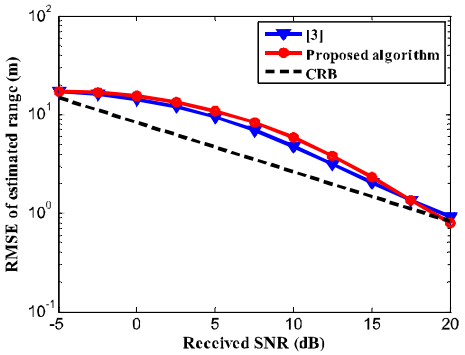
ارایه یک موقعیت یکتا از مکان هدف در فضای سه‌بُعدی با الگوریتم پیشنهادی، مزیت ممتازی است که در الگوریتم‌های موجود برای چنین شبکه غیر همگنی دیده نمی‌شود. با توجه به اینکه الگوریتم [3] دارای محدودیت اساسی در مکان‌یابی هدف است، هدفی در موقعیت $(r_t,\phi_t,\psi_t)=(40,130^\circ,24^\circ)$ در نظر گرفته می‌شود. در شکل (۸) مقایسه‌ای بین الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم [3] با معیار ریشه میانگین مربع خطا[1] (RMSE) انجام شده است. علاوه‌براین، حد CRB[2] که پایین‌ترین حد ممکن برای

[1] Root Mean Square Error
[2] Crammer-Rao Bound

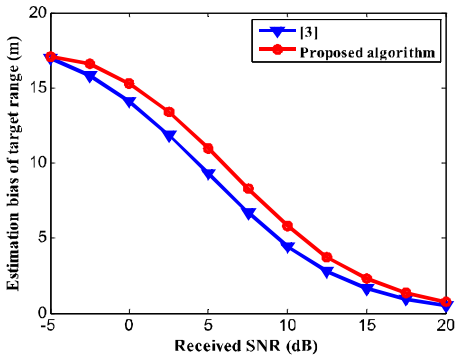
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

خطای ایجادشده توسط هر تخمین‌گر بدون بایاس را مشخص می‌کند نیز ترسیم شده است. تفاوت ناچیزی بین الگوریتم‌ها در خطای ایجادشده در تخمین فاصله هدف دیده می‌شود. همچنین، مقایسه بایاس ایجادشده در تخمین فاصله که در شکل (۹) به تصویر کشیده شده است، پاسخ نزدیک دو الگوریتم به یکدیگر را نشان می‌دهد. به‌منظور مقایسه بیشتر، متوسط زمان اجرای الگوریتم‌ها در ده‌هزار بار اجرا در جدول (۲) درج شده است. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود، هر چند تفاوت ناچیزی بین زمان اجرای الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم [3] وجود دارد، اما در مقایسه با یک جست‌وجوی جامع[1] در روش ML، الگوریتم پیشنهادی زمان اجرای بسیار کمتری دارد.



(شکل-۸): مقایسه RMSE الگوریتم‌ها بر حسب SNR دریافتی
(Figure-8): RMSE comparison with respect to received SNR



(شکل-۹): مقایسه بایاس ایجادشده در تخمین فاصله هدف
(Figure-9): Comparing the estimation bias of the source range

(جدول-۲): مقایسه زمان اجرای الگوریتم‌ها بر حسب میکروثانیه
(Table-2): Run time comparison (microseconds)

الگوریتم	زمان اجرا
الگوریتم پیشنهادی	۱۱
الگوریتم [3]	۱۷۵
الگوریتم ML	۴۴۰۰

[1] Exhaustive search

بنابراین، الگوریتم پیشنهادی نه‌تنها به‌ازای موقعیت‌های نسبی متفاوت هدف دارای جواب خواهد بود، بلکه با سرعت و دقت قابل قبولی می‌تواند موقعیت هدف را در شبکه حس‌گر مورد نظر مشخص کند.

۶- بحث و ارزیابی

الگوریتم پیشنهادشده برای مسأله موقعیت‌یابی با استفاده از یک حس‌گر برداری و یک حس‌گر معمولی، الگوریتم ساده‌ای است که می‌تواند همواره یک تخمین یکتا از موقعیت هدف را صرف نظر از فاصله آن تا حس‌گرها به‌دست آورد. الگوریتمی که در [3] برای چنین ساختاری طراحی شده است، تنها در شرایط خاصی می‌تواند موقعیت هدف را تشخیص دهد؛ اما مزیت مهم الگوریتم پیشنهادشده در این مقاله این است که این الگوریتم می‌تواند موقعیت هدف را مستقل از محل قرارگرفتن آن در فضای سه‌بُعدی تخمین بزند. همان‌گونه که در شکل (۱۰) نشان داده شده است، تا زمانی که هدف در ناحیه ابهام کروی شکل (که محدودیت ذاتی استفاده از ساختار SVSO است) قرار نداشته باشد، الگوریتم پیشنهادی می‌تواند عمل موقعیت‌یابی را انجام دهد. به‌دلیل قابلیت حس‌گر برداری در اندازه‌گیری توان به‌صورت همه‌جهته، ناحیه ابهام مربوط به ساختار SVSO حتی از آنچه که در [11] بیان شده هم کوچکتر است.

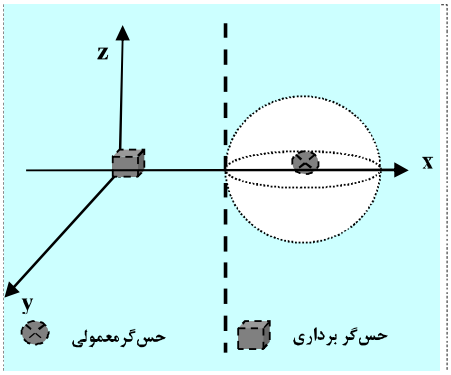
روش ارایه‌شده برای تخمین فاصله یک هدف با استفاده از کمینه تعداد حس‌گر غیرهم‌جنس، درواقع پاسخی است برای مسأله بهینه‌سازی زیر:

$$\hat{r}_v = \arg\min_{r_v} \left| \left(\frac{\hat{p}_v}{\hat{p}_o}\right)^{\frac{2}{n}} - \left(\frac{r_o}{r_v}\right)^2 \right| \qquad (۱۰)$$

برای به‌دست‌آوردن جواب این مسأله می‌توان از روش‌های عددی کمک گرفت که در این مقاله از روش تصنیف استفاده شده است. مزیتی که می توان برای الگوریتم پیشنهادی نام برد، این است که عمل موقعیت‌یابی در این الگوریتم به‌صورت تضمینی و با پیچیدگی محاسباتی به‌نسبه پایینی صورت می‌گیرد. اگر کل فضای مورد جست‌وجو برای یافتن تخمین فاصله به M قسمت تقسیم شده باشد، در هر بار تکرار الگوریتم پیشنهادی که بر اساس روش تصنیف بنا شده است، نیمی از کل فضای مورد جست‌وجو کاهش می‌یابد. اگر پیچیدگی محاسباتی هر تکرار از الگوریتم را واحد فرض کنیم، دراین‌صورت پیچیدگی محاسباتی اجرای کامل الگوریتم پیشنهادی در تخمین فاصله هدف از درجه

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

$O(\log_2(M))$ خواهد بود؛ این در حالی است که اگر الگوریتم ML برای جست‌وجوی جامع فضای مورد نظر استفاده شود، دراین‌صورت پیچیدگی محاسباتی از درجه $O(M)$است که در مقایسه با الگوریتم پیشنهادی بسیار بیشتر است.



(شکل-۱۰): ناحیه جواب در تعیین موقعیت سه بعدی هدف با استفاده از الگوریتم پیشنهادی

(Figure-10): The region in which our proposed algorithm has a solution for source location.

نکته دیگری که باید به آن اشاره کرد این است این الگوریتم به‌منظور موقعیت‌یابی یک هدف با سیگنال ارسالی نامعلوم و بر اساس استفاده از کمینه تعداد حس‌گر غیرهمگن و با هدف پوشش‌دهی بیشینه‌ای فضای سه‌بُعدی بنا شده است. اگر ردیابی هدف یا تعیین موقعیت چندین هدف مورد نظر باشد، باید ملاحظاتی در این زمینه انجام شود. در مورد موقعیت‌یابی چند هدف با استفاده توأم از اطلاعات فاصله و زاویه، باید توجه داشت که صرف نظر از الگوریتم استفاده‌شده، برای موقعیت‌یابی بدون ابهام هر هدف دست‌کم به سه حس‌گر احتیاج است[11]؛ درنتیجه برای تعیین موقعیت چندین هدف با استفاده از هر روشی، در درجه نخست باید تعداد حس‌گرها افزایش یابد. به‌عنوان مثال اگر تعیین موقعیت دو هدف مورد نظر باشد، می‌توان با استفاده از یک حس‌گر برداری، موقعیت زاویه‌ای هر دو هدف را تعیین کرد [19]. علاوه‌براین، توان‌های دریافت‌شده از دو هدف در حس‌گر برداری از یکدیگر قابل تفکیک هستند. از طرف دیگر برای تعیین فاصله اهداف، دست‌کم به دو حس‌گر معمولی احتیاج است. با داشتن موقعیت زاویه‌ای دو هدف و RSS اندازه‌گیری‌شده در دو حس‌گر معمولی، می‌توان مشابه با روش پیشنهادشده برای موقعیت‌یابی یک هدف، مسأله تعیین موقعیت دو هدف را با استفاده از الگوریتم تصنیف دو بعدی [20] انجام داد.

از آنجا که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند با پوشش مناسب، تخمینی از موقعیت هدف در فضای سه‌بُعدی ارایه کند، ردیابی را می‌توان به‌عنوان گزینه‌ای دیگر برای کاربرد آن مطرح کرد؛ البته درصورتی‌که ردیابی هدف مورد نظر باشد برای داشتن دقت مناسب لازم است که تعداد حس‌گرهای مورد استفاده بیش از تعداد حس‌گرهای هندسه SVSO باشد؛ زیرا در ردیابی، علاوه‌بر پارامترهای مکانی هدف، بردار سرعت هدف که مشخص‌کنندهٔ راستای حرکت آن است نیز به مجهولات مسأله اضافه می‌شود. در صورت استفاده از یک شبکه غیر همگن با تعداد حس‌گرهای بیشتر، ضمن به‌کارگیری روش‌های مرسوم ردیابی مانند فیلتر کالمن، می‌توان از ایدهٔ پیشنهادشده در این مقاله نیز استفاده کرد. بدین ترتیب که بر اساس موقعیت فعلی هدف در فضای سه‌بُعدی، می‌توان دو حس‌گر غیر همجنس که فاصله کمتری تا هدف داشته و توان بیشتری را از آن دریافت می‌کنند انتخاب و از اطلاعات آنها در ردیابی هدف استفاده کرد. این کار باعث کاهش اطلاعات ردوبدل‌شده در شبکه شده و کاهش مصرف انرژی حس‌گرها و درنتیجه افزایش عمر شبکه را به‌دنبال دارد. بررسی نتایج ردیابی هدف در یک شبکه غیرهمگن می‌تواند به‌عنوان یک کار مجزا مورد توجه قرار گیرد.

۷- نتیجه‌گیری

حس‌گرهای معمولی می‌توانند شدت سیگنال دریافتی از هدف را بدون نیاز به سخت‌افزار خاصی اندازه‌گیری کنند. این حس‌گرها هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد موقعیت زاویه‌ای هدف ارایه نمی‌دهند. از طرف دیگر، حس‌گرهای برداری می‌توانند زاویه سیگنال تشعشع‌یافته از هدف را بدون وابستگی به طیف سیگنال ارسال‌شده و مستقل از فاصله هدف تشخیص دهند. همچنین، بر خلاف جهت‌داربودن، این حس‌گرها می‌توانند شدت سیگنال دریافتی از هدف را به‌طور همه‌جهته اندازه‌گیری کنند؛ درنتیجه، این دو نوع حس‌گر قابلیت استفاده ترکیبی در یک شبکه توزیع‌شده را دارند. با استفاده از چنین شبکه‌ای می‌توان با سهولت و دقت بیشتری موقعیت اهداف را تخمین زد. در این مقاله، موقعیت‌یابی یک هدف در میدان نزدیک با استفاده از ترکیب کمیت‌های AOA و RSS در یک شبکه غیرهمگن با کمینه تعداد حس‌گر مورد بررسی قرار گرفت. الگوریتم موجود برای چنین شبکه‌ای تنها می‌تواند در شرایط خاصی یک هدف را در

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]
[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]

محیط سه‌بُعدی موقعیت‌یابی کند. مزیت الگوریتم پیشنهادی در این مقاله این است که مستقل از وضعیت نسبی حس‌گرها و هدف، همواره می‌توان پاسخ یکتایی برای موقعیت هدف به‌دست آورد. در اینجا، پس از تخمین زوایای هدف، یک الگوریتم جست‌وجوی ساده مبتنی بر روش تصنیف جهت دست‌یابی به تخمینی برای فاصله هدف پیشنهاد شد؛ با توجه به تک‌بُعدی‌بودن روش جست‌وجوی پیشنهادی و به‌کارگیری روش ساده و مؤثر تصنیف، تخمین فاصله هدف با پیچیدگی و حجم محاسبات کم تضمین می‌شود.

8- References ۸- مراجع

[1] G. Han, J. Jiang, L. Shu, Y. Xu, and F. Wang, "Localization algorithms of underwater wireless sensor networks: a survey," Sensors, vol. 12, no.2, pp. 2026–2061. 2012.

[2] D. Li, and Y. H. Hu, "Energy-based collaborative source localization using acoustic microsensor array," *EURASIP Journal on Applied Signal Processing*, Vol. 2003, No. 4, pp. 321-337, 2003.

[3] Y. I. Wu, and K. T. Wong, "Acoustic near-field source-localization by two passive anchor-nodes," IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems, vol. 48, no. 1, 2012.

[4] Z. X Yao, and J. Y. Hui, "Four approaches to DOA estimation based on a single vector hydrophone," *Ocean Engineering*, vol. 24, pp.122-127, 2006.

[5] Y. I. Wu, K. T. Wong and S.-K. Lau, "The acoustic vector-sensor's near-field array-manifold," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 58, no. 7, pp. 3946-3951, July 2010.

[6] X. Zhong and A. B. Premkumar, "Particle filtering approaches for multiple acoustic source detection and 2-D direction of arrival estimation using a single acoustic vector sensor," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 60, no. 9, pp. 4719–4733, 2012.

[7] V. N. Hari, A. B. Premkumar, and X. Zhong, "A decoupled approach for near-field source localization using a single acoustic vector sensor," Circuits, Systems, and signal Processing, vol. 32, no. 2, pp 843-859, 2013.

[8] M. Laaraiedh, "Contributions on hybrid localization techniques for heterogeneous wireless networks," Ph.D. Thesis, University of Rennes, 2010.

[9] Z. M. Saric, D. D. Kukolj, and N. D. Teslic, "Acoustic source localization in wireless sensor network," *Circuits, Systems, and Signal Processing*, vol. 29, no. 5, pp.837-856, 2010.

[10] J. Wang, J. Chen, and D. Cabric, "Cramer-Rao bounds for joint RSS/DoA-based primary-user localization in cognitive radio networks," *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 12, no. 3, pp.1363-1375, 2013.

[11] W. Meng, L. Xie, and W. Xiao, "Optimality analysis of sensor-source geometries in heterogeneous sensor networks," *IEEE Transactions on Wireless Communication*, vol. 12, no. 4, pp. 1958-1967, 2013.

[12] S. Tomic, M. Beko, R. Dinis, and L. Bernardo, "On target localization using combined RSS and AoA measurements," Sensors, vol. 18, no. 4, 2018.

[13] S. Wang, B. R. Jackson, and R. Inkol, "Hybrid RSS/AOA emitter location estimation based on least squares and maximum likelihood criteria," in 26th Biennial Symposium onCommunications (QBSC), 2012, pp. 24-29.

[14] L. Gazzah, L. Najjar, and H. Besbes, "Selective hybrid RSS/AOA weighting algorithm for NLOS intra cell localization," IEEE WCNC. Turkey, Istanbul, 2014, pp. 2546-2551.

[15] L. Gazzah, L. Najjar, and H. Besbes, "Hybrid RSSD/AoA cooperative localization for 4G wireless networks with uncooperative emitters," *in International Wireless Communications and Mobile Computing Conference (IWCMC)*, 2015, pp. 874-879.

[16] V. Kavoosi, M. J. Dehghani, and R. Javidan, "Selective geometry for near-field three-dimensional localization using one-pair sensor," *IET Radar Sonar and Navigation*, vol. 10, no. 5, pp. 844-849, 2015.

[17] X. Sheng, and Y. Hu, "Energy based acoustic source localization," In *IPSN'03: Proceedings of the 6th International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, Springer Berlin Heidelberg, Germany, 2003, pp. 285-300.

[18] A. Quarteroni, R. Sacco, and F. Saleri, Numerical mathematics, Springer Science & Business Media, vol. 37, 2010.

[19] X. Zhong, and A. B. Premkumar, "Particle filtering approaches for multiple acoustic source detection and 2-D direction of arrival estimation using a single acoustic vector sensor," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 60, no. 9, pp. 4719-4733, 2012.

[20] Z. Baoping, G. R. Wood, and W. P. Baritompa, "Multidimensional bisection: the performance and the context," *Journal of Global Optimization*, vol.3, no. 3, pp. 337-358, 1993

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]



ولی کاوسی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی مخابرات به‌ترتیب در سال ۱۳۷۷ و ۱۳۸۱ از دانشگاه شیراز کسب کرد. سپس دوره دکترای خود را در گرایش سیستم در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه صنعتی شیراز به پایان رساند. وی هم‌اکنون استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مرودشت بوده و در زمینه پردازش سیگنال، موقعیت‌یابی و سامانه‌های سونار پژوهش‌های خود را به پیش می‌برد.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
kavoosi@miau.ac.ir



محمد جواد دهقانی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق-مخابرات به‌ترتیب در ۱۳۶۸ و ۱۳۷۱ از دانشگاه صنعتی اصفهان و دکترای تخصصی خود را از انستیتوی فناوری مدرس هندوستان (IITM) در سال ۱۳۸۲ درمهندسی مخابرات-سیستم دریافت نمود. وی هم‌اکنون دانشیار دانشگاه صنعتی شیراز بوده و در زمینه پردازش سیگنال، مخابرات سیار و سامانه‌های سونار تحقیقات خود را به پیش می برد. نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
dehghani@sutech.ac.ir



رضا جاویدان مدرک کارشناسی خود را از دانشگاه اصفهان و کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه شیراز هر دو در رشته مهندسی کامپیوتر کسب کرد. سپس دوره دکترای خود را در گرایش هوش مصنوعی در دانشگاه شیراز به پایان رساند. وی هم‌اکنون دانشیار دانشگاه صنعتی شیراز بوده و در زمینه شبکه‌های کامپیوتری، هوش مصنوعی، حس‌گرهای زیر آب و سامانه‌های سونار پژوهش‌های خود را به پیش می‌برد.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:
javidan@sutech.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2024-03-29]

[DOI: 10.29252/jsdp.17.1.147]