

# مکان‌یابی اهداف متحرک در شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات بر پایه تابع زیان هوبر

سهیلا اشکذری طوسی<sup>۱\*</sup>، استادیار، محمد نعیم تیموری<sup>۲</sup>، فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، وحیدرضا سبزواری<sup>۳</sup>، استادیار

<sup>۱</sup> دانشکده علوم ریاضی - دانشگاه فردوسی مشهد - مشهد - ایران

<sup>۲</sup> گروه مهندسی کامپیوتر، موسسه آموزش عالی سلمان - مشهد - ایران

<sup>۳</sup> گروه مهندسی پزشکی، واحد مشهد، دانشگاه آزاد اسلامی - مشهد - ایران

چکیده: مکان‌یابی و ردیابی یکی از مباحث مهم در شبکه‌های حسگر بی‌سیم می‌باشد. استفاده از تکنیک‌هایی که بتواند مکان هدف متحرک را با وجود نویز سیستم، با کمترین میزان اختلاف نسبت به مکان واقعی آن تخمین بزند، همواره یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش‌رو در این حوزه بوده است. در این مقاله نسخه مقاومی از الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات که تخمین مکان هدف در آن به صورت توزیع شده برعهده گره‌های شبکه است، پیشنهاد شده که با استفاده از تابع زیان شبه‌هوبر، دقت حاصل از عملیات تخمین در مکان‌یابی و ردیابی هدف هنگام وجود انواع نویز در محیط را افزایش می‌دهد. در این راستا، روابط مکان‌یابی بر پایه دو معیار قدرت سیگنال دریافتی و مدت زمان انتشار سیگنال مبتنی بر الگوریتم پیشنهادی در شبکه‌ای از فیلترهای وفقی ارائه شده است. نتایج به دست آمده از پیاده‌سازی نشان می‌دهد که استفاده از این الگوریتم سبب افزایش دقت عملیات مکان‌یابی و ردیابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم در محیط‌های آغشته به انواع نویز گوسی و غیرگوسی با نسبت سیگنال به نویز (SNR) متفاوت، می‌گردد. واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، نویز گوسی، نویز غیر گوسی، الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات، تابع زیان هوبر.

# Localization of mobile targets in a wireless sensor network using Diffusion Least Mean Square algorithm based on Huber loss function

Soheila Ashkazari-Toussi<sup>1,2\*</sup>, Assistant Professor, Mohammad-Naeem Teimoori<sup>2</sup>, Master's Graduate, Vahid-Reza Sabzevari<sup>3</sup>, Assistant Professor

<sup>1</sup> Faculty of Mathematical Sciences - Ferdowsi University of Mashhad - Mashhad - Iran

<sup>2</sup> Department of Computer Engineering, Salman Institute of Higher Education - Mashhad - Iran

<sup>3</sup> Department of Biomedical Engineering, Mashhad Branch, Islamic Azad University - Mashhad - Iran

**Abstract:** Localization of mobile targets is one of the important topics in wireless sensor networks. The challenge lies in deploying techniques capable of estimating the subject's location amidst system noise, with minimal deviation from the actual location. In this paper, we propose a robust variant of the diffusion least mean square algorithm. This version involves distributing the estimation of the target's location across network nodes, facilitated by the pseudo-Huber's loss function. Through this method, the accuracy of estimation in localization and tracking the target improves even in the presence of various noise types. The paper formulates target location using two criteria: received signal strength and signal propagation time, based on the proposed algorithm within an adaptive filter network. Experimental results highlight the algorithm's capability to enhance the accuracy of localization and tracking operations. This improvement remains consistent across wireless sensor network scenarios influenced by both Gaussian and non-Gaussian noises, with varying signal-to-noise ratios.

**Key words:** localization; Gaussian noise; non-Gaussian noise; least mean square diffusion algorithm; Huber loss function.

\* Soheila Ashkezari-Toussi , sohei.ashkezari@mail.um.ac.ir

## ۱. مقدمه

پایه استفاده می‌گردد. در شبکه‌های سلولی بی‌سیم انرژی مصرفی و توان محاسباتی و ارتباطی گره‌ها، محدود است [۱]. بدین دلیل ممکن است ذخیره انرژی گره‌ها قبل از برقراری ارتباط با ایستگاه پایه، تخلیه گردد و بنابراین طول عمر شبکه به مقدار بسیار زیادی به این مورد بستگی دارد [۲]. این موضوع هنگامی - که اندازه شبکه بی‌سیم افزایش می‌یابد و فاصله بین گره‌ها با

مکان‌یابی، تخمین موقعیت و ردیابی سنسورهای متحرک یکی از مهم‌ترین مباحث مطرح در شبکه‌های سلولی بی‌سیم می‌باشد. برای ایجاد ارتباط و انتقال اطلاعات در شبکه‌های بی‌سیم از پردازش سیگنال‌های ارتباطی بین گره‌های متحرک و ایستگاه‌های

الگوریتم به صورت تطبیقی عمل نموده و منجر به مکان‌یابی سریع می‌گردد و استفاده از آن را در محیط‌های تصادفی متغیر با زمان جذاب می‌نمایاند [۵].

اما همان‌طور که می‌دانیم در هر سیستم ارتباطی و مخابراتی، هنگام انتقال سیگنال توسط فرستنده و یا دریافت سیگنال در گیرنده، مقداری سیگنال ناخواسته به سیستم وارد می‌شود که برای گیرنده نامطلوب است و باعث کاهش کیفیت مخابره اطلاعات می‌شود. وجود این‌گونه نویزها در ارتباطات به-خصوص در شبکه‌های بی‌سیم، جزئی اجتناب‌ناپذیر از سیستم می‌باشد که می‌تواند محاسبات و عملیات لازم در تخمین مکان هدف متحرک را تحت الشعاع قرار دهد. لذا در این مقاله سعی شده است با ارائه الگوریتمی که نسبت به نویز مقاوم است، مقدار خطای حاصل از تأثیر این‌گونه نویزها در عملیات تخمین مکان‌یابی و ردیابی هدف متحرک کمینه گردد. بنابراین برای افزایش دقت مکان‌یابی گره‌ها در شبکه بی‌سیم، در این مقاله از الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات مقاوم [۶] به عنوان پایه استفاده شده است و از مزایای آن در شرایط وجود نویز گوسی و غیرگوسی بهره برده‌ایم. در این راستا روابط مربوط به مکان-یابی گره‌های متحرک با استفاده از این الگوریتم و بر پایه سنجش و اندازه‌گیری دو پارامتر قدرت سیگنال دریافتی (RSS)<sup>۲</sup> و مدت زمان انتشار سیگنال (SPT)<sup>۳</sup> در کانال ارتباطی ارائه شده است. در نهایت با تلفیق توابع هدف پیشنهادی بر پایه این دو معیار، الگوریتم مکان‌یابی در شبکه‌ای از حسگرهای بی‌سیم در محیط نویزی ارائه شده است که نتایج آن نشان می‌دهد روش پیشنهادی سبب افزایش مقاومت الگوریتم در برابر انواع نویز و در نتیجه باعث افزایش دقت در تخمین مکان هدف متحرک می-گردد.

در ادامه این مقاله، بخش ۲ به بررسی کارهای انجام شده در این حوزه و بیان الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات استاندارد و نحوه به‌کارگیری آن برای مکان‌یابی می‌پردازد. در بخش ۳ ریاضیات و روابط روش پیشنهادی با طراحی تابع هدف و سپس حل آن با استفاده از روش گرادینان نزولی بیان

ایستگاه پایه زیاد می‌گردد اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. سیگنال-های ارتباطی بین گره‌های متحرک و ایستگاه پایه همواره دارای نویز می‌باشد، در نتیجه می‌بایست راه‌کارهایی جهت پردازش سیگنال‌های ارتباطی برای تخمین موقعیت و مکان‌یابی گره‌های بی‌سیم در نظر گرفت که این محدودیت‌ها را به صورت بهینه رفع نماید و دقت حاصل از تخمین مکان‌یابی را افزایش دهد. بدین منظور جهت دستیابی به یک تخمین موثر، دو راه‌حل وجود دارد. راه‌حل اول انتقال داده‌های بدست آمده از گره‌ها به یک پردازنده مرکزی و انجام پردازش‌ها به صورت متمرکز در آن محل می‌باشد. راه‌حل دوم انجام پردازش‌ها بر روی گره‌های شبکه به صورت غیر متمرکز و توزیع شده است.

الگوریتم‌های متمرکز در شبکه‌های بی‌سیم کوچک مقیاس که محدودیت منابع در خصوص میزان مصرف انرژی و پهنای باند وجود ندارد، و با توجه به کوچک بودن اندازه شبکه، گره‌ها از هم دور نبوده و مقدار انرژی که صرف ارتباط بین گره‌ها می-گردد اندک می‌باشد، عملکرد مناسبی دارند. اما هنگامی که اندازه شبکه بزرگ می‌شود و ارسال و انتقال سیگنال‌های ارتباطی در کانال مستلزم پیمایش مسافت و مصرف انرژی بیشتری است، استفاده از این الگوریتم‌ها باعث ایجاد گلوگاه ارتباطی و در نتیجه افزایش هزینه ارتباط می‌گردد. علاوه بر این، در الگوریتم-های متمرکز با توجه به وجود یک واحد پردازش مرکزی که کلیه بار محاسباتی بر عهده آن می‌باشد، در صورت بزرگ بودن اندازه شبکه بیشتر مستعد بروز شکست و حصول خطا در ارتباط است [۳] و در نتیجه مساله مقیاس‌پذیری مطرح می‌گردد. بنابراین در شبکه‌های با مقیاس بزرگ، الگوریتم‌های توزیع شده (غیرمتمرکز) دارای مقبولیت بیشتری می‌باشند. در این الگوریتم-ها بار محاسباتی به جای اینکه بر دوش یک گره باشد به صورت توزیع شده در بین همه گره‌ها پخش می‌گردد [۴]. الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات [۴] که با نام DLMS<sup>۱</sup> شناخته می‌شود، دارای ساختاری ساده بوده و منابع محاسباتی کمی نیاز دارد. بنابراین راه‌حلی جذاب برای کاربرد در شبکه‌های بی‌سیم است که در آن‌ها قدرت محاسباتی گره‌ها محدود و منابع رادیویی و توان مصرفی شبکه نیز اندک می‌باشد. همچنین این

<sup>2</sup> Received Signal Strength

<sup>3</sup> Signal Propagation Time

<sup>1</sup> Diffusion Least Mean Squares

می‌گیرد. این روش نیز کمبودهای خود را دارد، به طوری که در شبکه‌های با مقیاس بزرگ به خوبی توسعه نمی‌یابد و ممکن است به خاطر شرایط محیطی با مشکلاتی مواجه شود. همچنین، وابستگی به توپولوژی شبکه و نیاز به موقعیت دقیق گره‌های لنگرگاه از مشکلات این روش است. در مکان‌یابی بر پایه تقریب و تخمین، گره‌ها با بهره‌گیری از گره‌های همسایه، مکان خود را مشخص می‌کنند، سپس به‌عنوان لنگرگاه برای گره‌های دیگر عمل می‌کنند [۸-۹]. حساسیت به نویز و تغییرات محیطی از چالش‌های روش‌های تقریبی برای مکان‌یابی به شمار می‌رود. از فناوری‌های مختلف مانند تصاویر، سیگنال‌های صوتی، میدان‌های مغناطیسی و غیره نیز برای تخمین موقعیت استفاده می‌شود که با توجه به فناوری به کار برده، مزایای و محدودیت‌های ویژه خود را خواهند داشت.

پارامترهای مختلفی جهت مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بی-سیم استفاده می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به مکان‌یابی بر اساس زمان ورود سیگنال<sup>۶</sup> (TOA) [۱۰-۱۱]، زمان رفت و برگشت سیگنال<sup>۷</sup> (RTT)، زمان پرواز سیگنال<sup>۸</sup> (TOF) [۱۲]، اختلاف زمان ورود سیگنال<sup>۹</sup> (TDOA) [۱۳]، زاویه ورود سیگنال<sup>۱۰</sup> (AOA) [۱۴] قدرت سیگنال دریافتی (RSS) [۱۵-۱۷]، فاز ورود سیگنال<sup>۱۱</sup> (POA)، اطلاعات وضعیت کانال<sup>۱۲</sup> (CSI)، و مکان‌یابی مبتنی بر اثر انگشت اشاره نمود که هر کدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند که در [۱۰] به صورت مشروح مورد مطالعه قرار گرفته است.

از دیدگاه پردازش سیگنال نیز تکنیک‌های مکان‌یابی به دو گروه الگوریتم‌های متمرکز و غیرمتمرکز دسته‌بندی می‌شوند (شکل ۲). از الزامات الگوریتم‌های متمرکز، وجود یک واحد

شده است. نتایج آزمایش‌ها در بخش ۴ مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت، بخش ۵ به بحث و نتیجه‌گیری مقاله می‌پردازد.

## ۲. مروری بر کارهای گذشته

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاربردهای متنوعی دارند که می‌توان به نظارت از راه دور محیط و ردیابی اهداف [۷] اشاره نمود. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره‌های حسگری که در محیط به صورت اقتضایی پخش شده‌اند، دانش قبلی از مکان خود ندارند. مسئله تعیین موقعیت گره‌ها، مبحث مربوط به حوزه مکان‌یابی است.



شکل ۱- دسته‌بندی روش‌های مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

روش‌های موجود برای مکان‌یابی عبارتند از: سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS)<sup>۴</sup>، گره‌های لنگرگاه<sup>۵</sup>، مکان‌یابی مبتنی بر تقریب و تخمین، و استفاده از فناوری‌های مختلف (شکل ۱). بر راه‌حل ساده برای این مسئله، تجهیز گره‌های حسگر به یک گیرنده GPS است. سیستم‌هایی که بر پایه GPS هستند، ممکن است هنگامی که حسگرها در محیطی با موانعی مانند ساختمان یا شاخ و برگ‌های انبوه پخش شده باشند، به درستی کار نکنند. تداخلات فرکانسی و تاخیرهای زمانی نیز از دیگر مشکلات این دسته است. روش لنگرگاه، از گره‌های لنگر که موقعیت خود را می‌دانند، برای کمک به دیگر حسگرها برای تعیین موقعیت، بهره

<sup>6</sup> Time of arrival

<sup>7</sup> Round-trip time

<sup>8</sup> Time of flight

<sup>9</sup> Time Difference of Arrival

<sup>10</sup> Angle of arrival

<sup>11</sup> Phase of arrival

<sup>12</sup> channel state information

<sup>4</sup> Global Positioning System

<sup>5</sup> Beacon Nodes

روشی که در این مقاله در خصوص همکاری بین گره‌ها و ارتباط آن‌ها مدنظر قرار گرفته بر مبنای همکاری بین سنسورها بر پایه الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات می‌باشد. برای آشنایی با این روش، ادامه‌ی این بخش به مرور الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات و نحوه‌ی کاربرد آن در بحث مکان‌یابی می‌پردازد.

## ۱.۲. الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات (DLMS)

این الگوریتم توسعه‌ای از الگوریتم حداقل میانگین مربعات می‌باشد که به صورت توزیع شده عمل می‌نماید. در این راستا همه گره‌های موجود در شبکه بی‌سیم، با انتشار تخمین‌های خود برای سایر گره‌هایی که همسایه آنها محسوب می‌شوند، و با در نظر گرفتن ضرایب همکاری بین گره‌ها، در فرآیند تخمین پارامتر مورد نظر (تعیین موقعیت مکان هدف متحرک در این مقاله) دخیل می‌باشند. این الگوریتم با دو رویکرد ترکیب-سپس-تطبیق (CTA)<sup>۱۳</sup> و تطبیق-سپس-ترکیب (ATC)<sup>۱۴</sup> قابل اجرا خواهد بود که در ادامه به مرور رویکرد CTA می‌پردازیم.

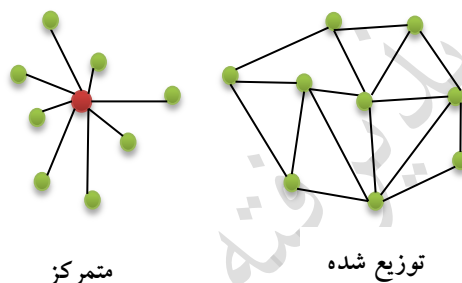
## ۱.۱.۲. الگوریتم انتشار توزیع شده با رویکرد ترکیب-سپس-تطبیق

شبکه‌ای از گره‌های متصل را مانند شکل ۳ در نظر بگیرید. همسایگی هر گره  $k$  شامل گره‌هایی از شبکه است که می‌تواند با آنها ارتباط داشته باشد و با  $N_k$  نمایش داده می‌شود. اگر بین هر دو گره  $k$  و  $l$  یالی در گراف وجود داشته باشد، این دو گره می‌توانند به نسبت وزن  $a_{kl}$  با یکدیگر تبادل داشته باشند. ضرایب  $a_{kl}$  اعدادی نامنفی هستند که نشان‌دهنده مقدار جریان اطلاعات از گره‌های همسایه  $l \in N_k$  به سمت گره  $k$  است و داریم:

$$\sum_{l \in N_k} a_{lk} = 1 \quad a_{lk} \geq 0 \quad (1)$$

در الگوریتم DLMS برای بدست آوردن تخمین محلی در هر گره  $k$ ، ابتدا این گره، تخمین محلی گره‌های همسایه‌اش یعنی  $\psi_l(n)$ ،  $l \in N_k$  را جمع‌آوری می‌کند. سپس تخمین میانی

پردازشگر مرکزی است که وظایف محاسباتی را عهده‌دار می‌باشد. از جمله الگوریتم‌های متمرکز می‌توان به الگوریتم‌های مکان‌یابی با استفاده از بیشینه درست‌نمایی برای تخمین متغیرها [۱۷] اشاره نمود. در [۱۸] الگوریتم‌های مختلف مکان‌یابی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

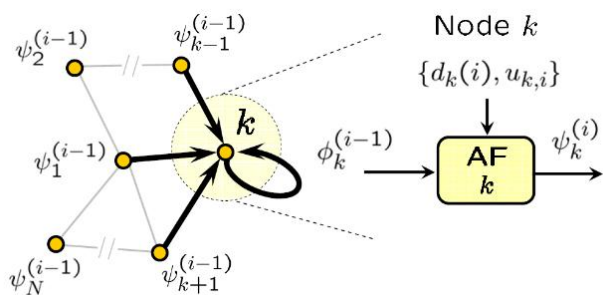


شکل ۲- نمونه‌ای از توپولوژی شبکه در یادگیری توزیع شده در مقابل روش متمرکز

همانطور که در مقدمه اشاره شد، الگوریتم‌های متمرکز در شبکه‌های بی‌سیم کوچک مقیاس که محدودیت منابع در خصوص میزان مصرف انرژی و پهنای باند وجود ندارد، عملکرد مناسبی دارند اما هنگامی که اندازه شبکه بزرگ شده و تعداد گره‌ها افزایش یابد، استفاده از این الگوریتم‌ها باعث کاهش کارایی، ایجاد گلوگاه ارتباطی و در نتیجه افزایش هزینه ارتباط می‌گردد و احتمال بروز شکست در شبکه نیز افزایش می‌یابد. اگر بنا به دلایلی پردازنده مرکزی مختل شود، پردازش‌های سازگار قطع شده و عملیات تخمین دچار مشکل خواهد شد. در مقایسه، هنگام استفاده از الگوریتم‌های توزیع شده به دلیل پردازش‌های توزیع شده و عدم نیاز به پردازنده مرکزی، در صورت خرابی یک گره یا مختل شدن یک مسیر، عملیات تخمین قطع نشده و انجام پردازش‌ها با توجه به گره‌های باقیمانده امکان‌پذیر است. بنابراین در شبکه‌های با مقیاس بزرگ، الگوریتم‌های توزیع شده (غیرمتمرکز) دارای مقبولیت بیشتری می‌باشند. در این الگوریتم‌ها بار محاسباتی به جای اینکه بر دوش یک گره باشد به صورت توزیع شده در بین همه گره‌ها پخش می‌شود. امروزه روش‌های متنوعی برای مکان‌یابی توزیع شده وجود دارد، مانند [۱۹-۲۰] که هر یک با توجه به شرایط و محیط کانال ارتباطی، راه حل مختص به خود را دارند.

<sup>13</sup> Combine-Then-Adapt

<sup>14</sup> Adapt-Then-Combine



شکل ۴- یادگیری با الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات [۴]

## ۲.۲. استفاده از الگوریتم انتشار حداقل میانگین

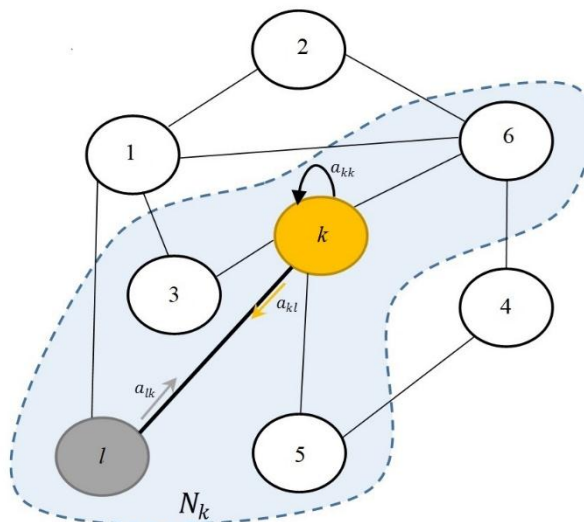
### مربعات در ردیابی و مکان‌یابی هدف متحرک

یک شبکه سلولی بی‌سیم را با منطقه تحت پوشش آن به صورت سلول‌های شش ضلعی منظم در نظر بگیرید که در مرکز هر سلول یک برج رادیویی قرار دارد و به سه ایستگاه پایه مجهز است. هر یک از ایستگاه‌های پایه (گره) از آنتن‌های جهت‌یابی استفاده می‌نمایند که هر یک از این آنتن‌ها با زاویه صد و بیست درجه به کاربران سرویس می‌دهد. این ایستگاه‌های پایه به‌عنوان لنگرگاه با مکان مشخص می‌باشند و دو مجموعه از پارامترهای سیگنال را اندازه‌گیری می‌کنند. این دو مجموعه شامل قدرت سیگنال دریافتی (RSS) و مدت زمان انتشار سیگنال (SPT) در کانال ارتباطی، برای موقعیت‌یابی پایانه متحرک می‌باشند. پایانه‌های متحرک از آنتن‌های همه‌جهته استفاده می‌نمایند بنابراین سیگنال مخابره شده از آن‌ها در همه جهات منتشر می‌گردد.

در این مقاله نیز مشابه [۵] از مدل از دست رفتن داده‌ها در مسیر (هزینه مسیر) استفاده می‌شود تا مکان پایانه متحرک با استفاده از توان سیگنال دریافت شده بیان گردد و همچنین فرض می‌شود که ایستگاه‌های پایه و پایانه‌های متحرک همگام‌سازی (زمانی) شده‌اند. بنابراین مدت زمان انتشار سیگنال (SPT) را می‌توان با استفاده از مکانیزم زمان ورود سیگنال (TOA) با کمترین خطا محاسبه نمود. با فرض همگام‌سازی، با استفاده از تکنیک اختلاف زمان ورودی (TDOA) سیگنال‌ها، می‌توان زمان انتشار سیگنال را اندازه‌گیری نمود.

فرض می‌کنیم  $g_k(\theta)$  نشان‌دهنده قدرت آنتن جهت‌دار گره  $k$  در جهت زاویه  $\theta$  می‌باشد. برای یک آنتن جهت‌دار با توان 3dB

با ترکیب تخمین‌های محلی گره‌های همسایه  $\Phi_l(n)$  محاسبه می‌گردد. در گام بعدی، گره  $k$  با استفاده از تخمین میانی بدست آمده و اطلاعات محلی  $d_k(n)$  و  $X_k(n)$  الگوریتم وفقی محلی خود را جهت تنظیم پارامتر مجهول اجرا می‌کند. قبل از آغاز اجرای الگوریتم نیز تخمین محلی، گره‌های شبکه مقداردهی اولیه شده و داریم  $\psi_k(0) = 0$ . سپس با توجه به توضیحات برای هر گره  $k$  در هر لحظه  $n > 0$  محاسبات زیر تکرار می‌گردد:



شکل ۳- توپولوژی یک شبکه نمونه با نمایش ناحیه همسایگی گره  $k$

$$\Phi_k(n) = \sum_{l \in N_k} a_{lk} \psi_l(n), \quad (\text{combination}) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \psi_k(n+1) = & \\ \Phi_k(n) + \mu X_k(n)(d_k(n) - & X_k(n)^T \Phi_k(n)) \end{aligned} \quad (\text{adaptation}) \quad (3)$$

این نسخه از الگوریتم DLMS با نام ترکیب-سپس-تطبیق (CTA) شناخته می‌شود و در شکل ۴ نشان داده شده است. شیوه دیگر اجرای الگوریتم به نام ATC به این صورت است که در مرحله نخست گام وفقی نمودن انجام شده و سپس گام ترکیب اجرا می‌شود. تحلیل همگرایی الگوریتم DLMS در [۴] بررسی شده است.

گیری شده با میانگین صفر می‌باشد. برای مدل‌سازی حرکت پایانه متحرک در طول زمان، معادله غیرخطی زیر را در نظر می‌گیریم.

$$w_i^o = w_{i-1}^o + v[\cos(\phi(i)) \sin(\phi(i))]^T \Delta T \quad (7)$$

که در آن  $v$  نشان‌دهنده سرعت پایانه متحرک،  $\phi(i)$  بیانگر جهت پایانه متحرک در زمان  $i$  و  $\Delta T$  زمان نمونه‌گیری می‌باشد. تابع حرکت (مسیر)، بر اساس رابطه (7) تعریف شده که در واقع مدل حرکت گوس-مارکوف با سرعت ثابت می‌باشد. جهت پایانه متحرک متغیر با زمان،  $\phi(i)$  تصادفی بوده و از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\phi(i) = \beta\phi(i-1) + (1-\beta)\bar{\phi} + 2\pi\sqrt{1-\beta^2}u(i) \quad (8)$$

که در آن  $\bar{\phi}$  میانگین زاویه جهت و  $u(i)$  متغیرگوسی تصادفی با میانگین صفر و واریانس  $\sigma_u^2$  می‌باشد.

فرض کنید مختصات هدف متحرک در لحظه  $i$  توسط بردار  $w = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$  نمایش داده می‌شود. هدف مسئله، ردیابی هدف و تعیین موقعیت آن در هر لحظه یا به بیان دیگر، تخمین پارامتر مجهول  $w$  می‌باشد. مقدار واقعی این پارامتر با  $w_i^o$  نشان داده می‌شود که برای حفظ سادگی در بیان الگوریتم، شاخص  $i$  از  $w_i^o$  حذف و از  $w^o$  استفاده می‌شود. اگر فرض شود پردازش‌ها به صورت متمرکز انجام می‌شود، یک مرکز کنترل خواهیم داشت که اندازه‌گیری‌ها توسط  $N$  ایستگاه پایه به آن ارسال می‌گردد تا موقعیت هدف توسط اطلاعات دریافتی از گره‌ها با استفاده از تابع هزینه زیر و محاسبه بردار پارامتر مجهول  $w$  تخمین زده شود [5]:

$$J^{ctrl}(w) = \sum_{k=1}^N ((1-\eta)J_k^{(p)}(w) + \eta v J_k^{(t)}(w)) \quad (9)$$

عبارت  $J_k^{(p)}(w)$  تابع هزینه‌ی محلی مرتبط با گره  $k$  بر اساس پارامتر مربوط به قدرت سیگنال دریافت شده و  $J_k^{(t)}(w)$  تابع هزینه مربوط به سنسور زمان انتشار سیگنال دریافتی از سنسور متحرک در ایستگاه پایه می‌باشد. ثابت  $\eta \in [0, 1]$  میزان مشارکت دو پارامتر RSS و SPT در تعیین موقعیت هدف متحرک را مشخص می‌کند. پارامتر  $v$ ، ضریبی است که

شدت پرتو به صورت  $\theta_{3dB}$  نمایش داده می‌شود. این مقدار قدرت آنتن با استفاده از رابطه زیر تقریب زده می‌شود [5]:

$$g_k(\theta) = \max \left\{ 10 \log \left( \frac{2\pi}{\theta_{3dB}} \right) - 12 \left( \frac{\theta - \theta_p}{\theta_{3dB}} \right)^2, g_{min} \right\} \quad (4)$$

که  $-\pi \leq \theta \leq \pi$  می‌باشد،  $\theta_p$  به زاویه آنتن اشاره می‌کند و  $g_{min}$  حداقل قدرت گیرندگی و بهره آنتن می‌باشد و  $p_k(i)$  به معنای قدرت سیگنال دریافت شده از پایانه متحرک با واحد dB مربوط به گره  $k$  در زمان  $i$  می‌باشد. قدرت سیگنال دریافت شده از پایانه متحرک به فاصله آن از گره  $k$  وابسته است که به صورت زیر تعیین می‌گردد [5]:

$$p_k(i) = p_t + g_k(\theta_u(i)) - 10 \log \left( \frac{d_k(i)}{d_0} \right)^\alpha + l_k(i) + n_k^{(p)}(i) \quad (5)$$

به طوری که  $p_t$  قدرت انتقال پایانه متحرک می‌باشد و  $g_k(\theta_u(i))$  قدرت گیرندگی آنتن در جهت پایانه متحرک  $\theta_u(i)$  در زمان  $i$  و  $d_0$  میزان فاصله و دوری آنتن می‌باشد و  $d_k(i)$  بیانگر فاصله بین پایانه متحرک و گره  $k$  در زمان  $i$  است. در رابطه فوق،  $\alpha$  توان هزینه مسیر که در واقع همان مقدار تضعیف صورت گرفته توان سیگنال می‌باشد و  $l_k(i)$  هزینه انسداد و تضعیف ایجاد شده بین پایانه متحرک و ایستگاه پایه بدلیل غیرخطی بودن دید می‌باشد (NLOS) و  $n_k^{(p)}(i)$  یک متغیرگوسی با میانگین صفر است که نشانگر هزینه ناشی از سایه زدن<sup>15</sup> می‌باشد.

تفاوت مکان ناشی از فاصله اقلیدسی بین گره  $k$  و پایانه متحرک با  $d_k(i) = \|w_i^o - S_k\|$  نشان داده می‌شود که  $S_k$  مکان شناخته شده گره  $k$  در فضای دو بعدی و  $w_i^o$  مکان کاربر یا پایانه متحرک در زمان  $i$  می‌باشد.

علاوه بر اندازه‌گیری قدرت سیگنال دریافتی (RSS)، هر گره زمان انتشار سیگنال را نیز ثبت می‌کند.  $t_k(i)$  زمان انتشار سیگنال از پایانه متحرک تا گره  $k$  می‌باشد. اگر سرعت نور را با  $c$  نمایش دهیم، آنگاه  $t_k(i)$  می‌تواند به صورت رابطه زیر بیان گردد [5]:

$$t_k(i) = \frac{d_k(i)}{c} + b_k(i) + n_k^{(t)}(i) \quad (6)$$

که در آن  $b_k(i)$  یک خطای تصادفی با توزیع نمایی است که ناشی از دید غیرخطی (NLOS) بوده و  $n_k^{(t)}(i)$  نویز اندازه-

<sup>15</sup> shadowing

$$e_k^{(\ell)}(i) = t_k(i) - \frac{\|w - s_k\|}{c} \quad (16)$$

که  $e_l^{(p)}(i)$  و  $e_l^{(t)}(i)$  در  $w_{k,i-1}$  ارزیابی می‌شوند. علاوه بر این، پارامترهای  $\{a_{l,k}\}$  ورودی‌های نامنفی از ماتریس تصادفی  $A$  چپ  $A$  هستند به طوری که  $A \in R^{N \times N}$  و اگر  $a_{lk} = 0$  اگر  $l \notin N_k$  و  $\sum_{l \in N_k} a_{lk} = 1$ . در رابطه (۱۳)، اولین عبارت مرحله تطبیق است که در آن ایستگاه پایه  $k$  تخمین میانی از  $w_{k,i-1}$  یعنی مقدار  $\psi_{k,i}$  را با استفاده از اندازه‌گیری داده‌های  $\{p_l(i), t_l(i)\}_{l \in N}$  بدست می‌آورد. عبارت دوم مرحله ترکیب می‌باشد که ایستگاه پایه  $k$  تخمین میانی  $\psi_{k,i}$  را با سایر همسایگانش ترکیب می‌کند تا از آن طریق  $w_{k,i}$  بدست آید. ساختار الگوریتم ارائه شده در [۵] جهت عملیات مربوط به تخمین موقعیت مکانی هدف متحرک، ساده بوده و با توجه به این که به صورت انتشار همکارانه عمل می‌نماید نیازمند منابع محاسباتی اندکی می‌باشد و به همین دلیل سبب تسریع در مکان‌یابی نیز می‌گردد. اما چالشی که این روش با آن روبه‌رو است فرض گوسی بودن نویز مخابره شده از سیگنال‌های ارتباطی است و الگوریتم تنها در این صورت عملکرد مناسبی دارد. اما با توجه به کارهای تحقیقاتی متعدد مانند [۲۱-۲۳] می‌توان گفت که نویز وارده به سیستم همواره به صورت گوسی نیست و در موارد گوناگونی سیگنال-های ارتباطی در شبکه به نویزهای غیرگوسی آغشته می‌باشند که در این صورت عملکرد این الگوریتم به سوی واگرا شدن میل می‌نماید و در نتیجه دقت حاصل از تخمین موقعیت مکانی هدف متحرک کاهش می‌یابد. لذا در این مقاله سعی شده است الگوریتمی مقاوم در مواجهه با انواع نویزهای گوسی و غیر گوسی پیشنهاد گردد تا دقت در تخمین مکان هدف متحرک دچار کاهش نگردد. بخش بعدی به تشریح الگوریتم پیشنهادی می‌پردازد.

### ۳. روش پیشنهادی

را بزرگ می‌کند تا تقریباً در همان محدوده عددی  $J_k^{(p)}(w)$  باشد. توابع هزینه محلی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$J_k^{(p)}(w) = \mathbb{E}[p_k(i) + 10\alpha \log\|w - s_k\| - h_k(i)]^2 \quad (10)$$

$$j_k^{(t)}(w) = \mathbb{E}[t_k(i) - \|w - s_k\|/c]^2 \quad (11)$$

که  $h_k(i) = P_i + g_k(\theta_u(i)) + 10\alpha \log(d_o)$  می‌باشد.

با توجه به مشکلاتی که برای روش‌های متمرکز ذکر شد، الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات برای مکان‌یابی و ردیابی هدف در [۵] ارائه شده است و تابع هدف آن به صورت زیر می‌باشد:

$$\min_w \left\{ \sum_{l \in N_k} c_{l,k} \left[ (1 - \eta) J_k^{(p)}(w) + \eta v J_k^{(t)}(w) \right] + \sum_{l \in N_k \setminus \{k\}} p_{l,k} \|w - \psi_{l,i}\|^2 \right\}$$

که در آن  $N_k$  نشان‌دهنده مجموعه همسایه‌های گره  $k$  و شامل خود گره  $k$  نیز می‌باشد.  $\psi_{l,i}$  یک متغیر محلی است که تخمین میانی را ذخیره می‌کند و  $N_k \setminus \{k\}$  نیز نمایانگر مجموعه همسایه‌های گره  $k$  به استثنای خود گره  $k$  می‌باشد. در این فرمول،  $\{p_{l,k}\}$  پارامترهایی نامنفی هستند و اگر  $l \notin N_k$  و  $\sum_{k=1}^N c_{l,k} = 1$  نمایانگر ورودی‌های نامنفی ماتریس تصادفی راست  $C$  می‌باشد که نشان‌دهنده میزان همکاری گره هاست. برای دست یافتن به پاسخ این مسئله از روش گرادین نزولی استفاده می‌شود که در آن مشتق تابع هدف نسبت به پارامتر  $w$  محاسبه می‌گردد. رابطه تکراری برای بدست آوردن مقدار  $w$  در لحظه  $i$  و در گره  $k$  در رویکرد تطبیق-سپس-ترکیب برابر خواهد بود با:

$$\psi_{k,i} = w_{k,i-1} - \mu_k \sum_{l \in N_k} c_{l,k} \hat{\nabla}_w j_l(w_{k,i-1})$$

$$w_{k,i} = \sum_{l \in N_k} a_{l,k} \psi_{l,i} \quad (13)$$

در این الگوریتم،  $\mu_k > 0$  اندازه گام حرکت در گره  $k$  می‌باشد و  $\{w_{k,i}, \psi_{k,i}\}$  تخمین‌هایی از  $w^o$  می‌باشند و داریم:

$$\hat{\nabla}_w j_l(w_{k,i-1}) = \left[ \alpha(1 - \eta)e_l^{(p)}(i) - \eta v e_l^{(t)}(i) \right] \times (w_{k,i-1} - s_l) \quad (14)$$

$$e_k^{(p)}(i) = p_k(i) + 10\alpha \log\|w - s_k\| - h_k(i) \quad (15)$$



$$L_{\delta}(y, \hat{y}) = \begin{cases} \frac{1}{2} (y - \hat{y})^2 & |y - \hat{y}| \leq \delta \\ \delta |y - \hat{y}| - \frac{1}{2} \delta^2 & |y - \hat{y}| > \delta \end{cases} \quad (17)$$

روشن است با کوچکتر بودن خطا (میزان فاصله بین  $y$  و  $\hat{y}$ ) از مقدار  $\delta$ ، تابع زیان شبیه تابع زیان MSE است و در غیر این صورت شبیه تابع زیان MAE خواهد شد. در نتیجه همانطور که مشخص است، رفتار تابع زیان هوبر برحسب مقدار  $\delta$  تغییر می‌کند. اگر  $\delta \sim 0$  باشد، تابع زیان هوبر به تابع زیان MAE نزدیک می‌شود. در صورتی که  $\delta \sim \infty$  باشد این تابع زیان، تبدیل به تابع زیان MSE خواهد شد. از آنجایی که مقادیر مختلف  $\delta$  تابع زیان را تغییر می‌دهد، باید در انتخاب مقدار مناسب برای این پارامتر دقت نمود. یکی از مشکلات عمده، هنگام استفاده از تابع زیان MAE، بزرگ بودن مشتق است که ممکن است باعث عدم حصول به کمینه مقدار تابع زیان در پایان مراحل یادگیری بوسیله الگوریتم گرادیان کاهشی گردد. در مقابل، استفاده از تابع زیان هوبر باعث می‌شود زمانی که میزان خطا کاهش می‌یابد، مشتق کاهش یافته و دسترسی به کمینه مقدار تابع زیان هوبر میسر شود.

در ادامه از تقریب هموار و مشتق‌پذیر از تابع هوبر به نام تابع شبه‌هوبر<sup>۲۱</sup> استفاده می‌نمائیم که به صورت رابطه (۱۸) تعریف می‌شود.

$$L_{\delta}(y - \hat{y}) = \delta^2 (\sqrt{1 + ((y - \hat{y})/\delta)^2} - 1) \quad (18)$$

در این رابطه پارامترهای  $y$  و  $\hat{y}$  به ترتیب نشان دهنده مقدار واقعی و تخمین زده شده‌ی پارامتر مطلوب است و می‌توان شیب خط را با پارامتر  $\delta$  تنظیم نمود. بنابراین تابع زیان شبه‌هوبر از مزایای هر دو تابع زیان MSE و MAE بهره برده و معایب آن‌ها را ندارد. به این ترتیب این تابع زیان، زمانی که داده‌های نویزی وجود داشته باشد، اثر آن‌ها را در محاسبات کم می‌کند و زمانی که خطا کاهش یابد، امکان کمینه‌سازی تابع زیان هوبر به راحتی امکان پذیر است.

در این بخش الگوریتم پیشنهادی برای مکان‌یابی در شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات بر پایه تابع زیان شبه‌هوبر ارائه شده است. با توجه به توضیحات بخش ۲،۲ منطقه‌ای تحت پوشش یک شبکه سلولی بی‌سیم مانند شکل ۵ در نظر بگیرد.



شکل ۵- نمایی از شبکه سلولی بی‌سیم با سلول‌های شش ضلعی منظم

ایستگاه‌های پایه با مکان ثابت  $S_k$  مشخص شده‌اند و پارامترهای RSS و SPT هدف متحرک را اندازه‌گیری می‌نمایند. اکنون می‌خواهیم با استفاده از روش پیشنهادی مسیر حرکت هدف متحرک را تخمین بزنیم. بنابراین در ادامه ابتدا بر اساس مقادیر RSS و SPT اندازه‌گیری شده، توابع هدف طراحی شده‌اند. سپس گرادیان آنها برای بدست آوردن قاعده بروزرسانی با استفاده از الگوریتم گرادیان نزولی، محاسبه شده و در نهایت روابط به‌روز رسانی مکان بدست آمده است.

تابع زیان شبه‌هوبر<sup>۱۸</sup> نسبت به تابع زیان میانگین مربعات خطا<sup>۱۹</sup> (MSE) کمتر تحت تأثیر داده‌های نویزی است و برخلاف تابع زیان میانگین قدرمطلق خطا<sup>۲۰</sup> (MAE)، مشتق‌پذیر بوده و کمینه‌سازی آن به راحتی امکان‌پذیر است.

رابطه کلی در تابع زیان هوبر استاندارد به ازای پارامتر  $y$  و  $\hat{y}$  که به ترتیب نشان‌دهنده مقدار واقعی و تخمین زده شده‌ی پارامتر مطلوب می‌باشند، به صورت زیر است:

<sup>18</sup> Huber

<sup>19</sup> Mean Square Error

<sup>20</sup> Mean Absolute Error

<sup>21</sup> Pseudo Huber

در ادامه به محاسبه مشتق  $\|w - S_k\|$  می‌پردازیم. می‌دانیم برای بردار  $w = \begin{bmatrix} w_x \\ w_y \end{bmatrix}$ ، بردار گرایان به صورت  $\nabla_w = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial w_x} \\ \frac{\partial}{\partial w_y} \end{bmatrix}$  محاسبه می‌گردد. بنابراین خواهیم داشت  $\frac{\partial \|w - S_k\|}{\partial w_x} = \frac{w_x - S_{k,x}}{\|w - S_k\|}$  و  $\frac{\partial \|w - S_k\|}{\partial w_y} = \frac{w_y - S_{k,y}}{\|w - S_k\|}$ . در نتیجه:

$$(\|w - S_k\|)' = \begin{bmatrix} \frac{w_x - S_{k,x}}{\|w - S_k\|} \\ \frac{w_y - S_{k,y}}{\|w - S_k\|} \end{bmatrix} = \frac{w - S_k}{\|w - S_k\|} \quad (23)$$

با جایگذاری این عبارت در رابطه (۲۲) خواهیم داشت:

$$\nabla_w e_k^2 = \frac{20\alpha}{\ln 10} \times \frac{w - S_k}{\|w - S_k\|^2} \times e_{RSS_k} \quad (24)$$

اکنون به محاسبه بردار گرایان تابع هدف پیشنهادی بر حسب RSS در رابطه (۱۹) می‌پردازیم.

$$\nabla_w J_k^{RSS} = E \left\{ \frac{1}{2} \delta^2 \frac{\nabla e_{RSS_k}^2 / \delta^2}{\sqrt{1 + e_{RSS_k}^2 / \delta^2}} \right\} = E \left\{ \frac{1}{2} \frac{\nabla e_{RSS_k}^2}{\sqrt{1 + e_{RSS_k}^2 / \delta^2}} \right\}$$

$$= \frac{p_k(i)}{\ln 10} \left\{ p_t - 10 \log \left( \frac{d_k(i)}{d_0} \right)^\alpha + n_{RSS_k}(i) \right\} \quad (25)$$

(ب) تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب پارامتر SPT:

با توجه به تابع زیان شبه‌هوبر در رابطه (۱۸)، تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب SPT در گره  $k$  ام به شکل زیر تعریف می‌گردد:

$$J_{e_{RSS_k}}^{SPT}(w) = \delta^2 \left( \frac{1}{\sqrt{1 + \left( \frac{e_{SPT_k}}{p_k(i)} \right)^2}} - 1 \right) \quad (26)$$

که منظور از  $e_{SPT_k}$  در آن، اختلاف بین مقدار SPT دریافتی و تخمین آن می‌باشد و پارامتر  $\delta$  بیانگر شیب خط می‌باشد.

$$e_{SPT_k}^2(i) = (t_k(i) - \hat{t}_k(i))^2 \quad (27)$$

همان‌طور که در رابطه (۶) مشخص شد، مقدار SPT به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$t_k(i) = \frac{d_k(i)}{c} + b_k(i) + n_k^{(t)}(i)$$

در ادامه مباحث این بخش، ابتدا بر اساس پارامترهای RSS و SPT به ساخت دو تابع زیان محلی بر پایه تابع زیان شبه‌هوبر می‌پردازیم. سپس روش تخمین پارامتر مجهول و به دست آوردن مکان هدف متحرک با ترکیب این دو تابع و با استفاده از الگوریتم گرایان نزولی مطرح می‌شود.

(الف) تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب پارامتر RSS:

با در نظر گرفتن تابع شبه‌هوبر در رابطه (۱۸)، تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب RSS در گره  $k$  ام به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$J_k^{RSS}(w) = \delta^2 \left( \sqrt{1 + \left( \frac{e_{RSS_k}}{\delta} \right)^2} - 1 \right) \quad (19)$$

که در این رابطه پارامتر  $\delta$  مشخص کننده شیب خط است و منظور از  $e_{RSS_k}$  مقدار خطای حاصل از تفاضل مقدار واقعی و مقدار تخمین زده شده‌ی پارامتر RSS در گره  $k$  می‌باشد. همان‌طور که در رابطه (۵) توضیح داده شد، مقدار RSS با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

که  $p_t$  قدرت انتقال پایانه متحرک و  $\alpha$  توان هزینه مسیر است. تخمینی که برای مقدار RSS بدست می‌آید برابر است با:

$$\hat{p}_k(i) = p_t - 10\alpha \log \frac{\|w - S_k\|}{d_0} \quad (20)$$

بنابراین توان دوم تابع خطای تخمین RSS برابر خواهد بود با:

$$= (p_k(i) - p_t + 10\alpha \log \frac{\|w - S_k\|}{d_0})^2 \quad (21)$$

گرایان تابع  $e_{RSS_k}^2$  نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\nabla_w e_{RSS_k}^2 = \frac{2e_{RSS_k}}{\ln 10} \times 10\alpha \frac{\left( \frac{\|w - S_k\|}{d_0} \right)'}{\frac{\|w - S_k\|}{d_0}} = \frac{20\alpha}{\ln 10} e_{RSS_k} \times \frac{(\|w - S_k\|)'}{\|w - S_k\|} \quad (22)$$

و تخمین آن نیز با استفاده از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$\hat{t}_k(i) = \frac{\|w - s_k\|}{c} + b_k(i) \quad (28)$$

به طوری که  $b_k(i) = 0$  در نتیجه با جایگذاری خواهیم داشت

$$e_{spt_k^2}(i) = \left( t_k(i) - \frac{\|w - s_k\|}{c} \right)^2 \quad (29)$$

و گرادیان خطا به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\nabla e_{spt_k^2} = 2e_{spt_k} \left( \frac{-1}{c} \right) (\|w - s_k\|)' = \frac{-2e_k}{c} \times \frac{w - s_k}{\|w - s_k\|} \quad (30)$$

بردار گرادیان تابع هدف پیشنهادی بر حسب SPT در رابطه

(۲۶) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \nabla_w J_k^{spt} &= E \left\{ \frac{1}{2} \delta^2 \frac{\nabla e_{spt_k^2} / \delta^2}{\sqrt{1 + e_{spt_k^2} / \delta^2}} \right\} = E \left\{ \frac{1}{2} \frac{\nabla e_{spt_k^2}}{\sqrt{1 + e_{spt_k^2} / \delta^2}} \right\} \\ &= E \left\{ \frac{-e_{spt_k} (w - s_k)}{c \|w - s_k\|^2 \left( \sqrt{1 + e_{spt_k^2} / \delta^2} \right)} \right\} \quad (31) \end{aligned}$$

ج) ترکیب دو تابع هدف RSS و SPT و تشکیل تابع هدف

پیشنهادی:

در نهایت بردار گرادیان بر اساس تلفیق RSS و SPT به-

صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$\nabla_w J_k^{RDMLS}(w_{k,i-1}) = (1 - \eta) \nabla_w J_k^{RSS}(w_{k,i-1}) + (\eta) \nabla_w J_k^{SPT}(w_{k,i-1}) \quad (32)$$

که  $\eta$  یک مقدار ثابت بین  $0 < \eta < 1$  بوده و نسبت مشارکت

هر یک از این دو پارامتر را در تخمین موقعیت مشخص می‌کند.

بنابراین دو گام تطبیق و ترکیب در الگوریتم روش پیشنهادی که

آن را مکان یابی مبتنی بر Robust Diffusion LMS می‌نامیم و

با نام RDMLS نمایش می‌دهیم، به صورت زیر بدست می‌آید:

$$\psi_{k,i} = w_{k,i-1} - \mu_k \sum_{l \in N_k} c_{l,k} \nabla_w J_k^{RDMLS}(w_{k,i-1}) \quad (33)$$

$$w_{k,i} = \sum_{l \in N_k} a_{l,k} \psi_{l,i} \quad (34)$$

با توجه به محاسبات فوق، مراحل روش پیشنهادی برای

یافتن مکان هدف متحرک در شبکه حسگر بی سیم، در الگوریتم

۱ نشان داده شده است.

الگوریتم استاندارد DLMS [۱] که برای مکان‌یابی در [۵]

مورد استفاده قرار گرفته، دارای  $2(|N_k| + 2) + 1$  عمل ضرب

و تقسیم و  $2(|N_k| + 1)$  جمع و تفریق می‌باشد. در مقابل

الگوریتم RDLMS [۶] که پایه روش پیشنهادی این مقاله را

تشکیل می‌دهد دارای  $2(|N_k| + 2) + 6$  عمل ضرب و تقسیم و

$2(|N_k| + 1) + 1$  عمل جمع و تفریق و یک عمل جذر می‌باشد

و نشان می‌دهد تلاش صورت گرفته برای مقاوم‌سازی این

الگوریتم در برابر نویز، بار محاسباتی قابل توجهی به آن اضافه

نکرده است.

الگوریتم ۱ - روش پیشنهادی RDMLS برای مکان‌یابی در شبکه حسگر بی سیم

N: تعداد حسگرها

m: تعداد تکرار

$a_{lk}$ : وزن همکاری بین هر دو گره l و k در شبکه

$\mu$ : گام حرکت در الگوریتم گرادیان

$p_k$ : قدرت سیگنال دریافتی در گره k

$t_k$ : زمان انتشار سیگنال دریافتی در گره k

$s_k$ : مکان ایستگاه پایه کام

$\eta$ : وزن در تابع گرادیان

تا زمانی که  $i < n$

- محاسبه مقدار  $\nabla_w J_k^{RSS}$  با استفاده از رابطه (۲۵)

- محاسبه مقدار  $\nabla_w J_k^{SPT}$  با استفاده از رابطه (۳۱)

- محاسبه مقدار نهایی گرادیان  $\nabla_w J_k^{RDMLS}$  با استفاده از رابطه

(۳۲)

- به دست آوردن تخمین میانی موقعیت هدف متحرک در گره k

ام با استفاده از رابطه (۳۳)

- محاسبه مکان تخمینی هدف متحرک بر اساس تجمیع تخمین-

های میانی همسایگان گره k با استفاده از رابطه (۳۴)

موقعیت تخمینی هدف متحرک با میانگین‌گیری پاسخ-

رددی و

و

۸۰

هر یک از این دو معیار به شدت انواع نویز مورد بررسی قرار گیرد: نسبت سیگنال به نویز برای الف) هر دو پارامتر RSS و SPT (بالا، ب) هر دو پارامتر RSS و SPT (پایین، ج) پارامتر RSS بالا و پارامتر SPT (پایین و د) پارامتر RSS پایین و پارامتر SPT بالا. برای هر آزمایش متوسط ۱۰۰ تکرار هر الگوریتم گزارش شده است. جهت انجام پیاده‌سازی عادلانه همه روش‌ها، شرایط الگوریتم‌ها از جمله گام حرکت برای هر یک از الگوریتم‌ها و پارامتر  $\delta$  در روش RDLMS به گونه‌ای تنظیم شده است که سرعت همگرایی اولیه مشابه باشد. همچنین برای هر حالت دو نمودار MSD و مسیر ردیابی هدف متحرک به‌عنوان خروجی نمایش داده شده است.

الف) نویز گوسی و چند گوسی: نتایج حاصل برای نویز گوسی در شکل ۶ و برای نویز چند گوسی در شکل ۷ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در همه حالات با SNR های مختلف در هر دو پارامتر RSS و SPT نتایج حاصل از پیاده‌سازی، بیانگر کاهش خطا در نمودار MSD و افزایش دقت تخمین ردیابی در روش پیشنهادی RDLMS نسبت به روش‌های [۵] و [۲۴] می‌باشد.

ب) نویز یکنواخت و ضربه: در حالات مربوط به نویز یکنواخت و ضربه‌ای نتایج حاصل از پیاده‌سازی بیانگر این است که روش پیشنهادی RDLMS در مواجهه با سیگنال‌هایی که دارای SNR بالا در هر دو پارامتر RSS و SPT باشند (شکل ۸-الف و شکل ۹-الف) و یا SNR بالا در سیگنال مربوط به پارامتر SPT باشند (شکل ۸-ب و شکل ۹-ب) میزان خطا در نمودار MSD کاهش و دقت در نمودار ردیابی نسبت به روش‌های [۵] و [۲۴] افزایش یافته است. اما در مواجهه با سیگنال‌هایی که دارای SNR پایین در هر دو پارامتر RSS و SPT باشند (شکل ۸-ب و شکل ۹-ب) و یا هنگامی که SNR سیگنال در پارامتر SPT پایین باشد (شکل ۸-د و شکل ۹-د) نتایج حاصل از پیاده‌سازی نشان‌دهنده عدم موفقیت هر سه الگوریتم در ردیابی است.

بنابراین می‌توان نتیجه گرفت در همه موارد حساسیت نسبت به نویزی بودن SPT بیش از RSS است و اگر سیگنال SPT آغشته

#### ۴. تحلیل و ارزیابی نتایج

در این بخش نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی در مسئله مکان‌یابی و ردیابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مقایسه آن‌ها با سایر الگوریتم‌های دیگر در این حوزه ارائه می‌گردد. پیاده‌سازی با استفاده از نرم افزار متلب انجام و برای ارزیابی از معیار میانگین مربع انحراف (MSD)<sup>۲۲</sup> استفاده شده است که بیانگر متوسط میزان اختلاف بردار پارامتر تخمین زده شده نسبت به بردار پارامتر مطلوب می‌باشد و به‌صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$MSD = 10 \times \log_{10} \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \|w_k - w_o\|_2^2 \right) \quad (35)$$

که در این رابطه  $w_k$  مکان تخمین زده شده هدف متحرک در گره  $k$  ام و  $w_o$  مکان واقعی آن می‌باشد.

کارایی الگوریتم پیشنهادی RDLMS با الگوریتم‌های DLMS [۵] و Consensus [۲۴] مورد مقایسه قرار گرفته است. ذکر این نکته نیز ضروری است که جهت اجرا و پیاده‌سازی روش Consensus در کاربرد مکان‌یابی و ردیابی، ابتدا تابع هدف الگوریتم بر اساس معیارهای RSS و SPT بازنویسی شده تا قابل استفاده و مقایسه با دیگر روش‌های مورد بررسی باشد. با توجه به شرایط مسئله ردیابی در این مقاله، محیط به‌صورت غیرایستاد است. کارایی الگوریتم پیشنهادی در حضور چهار نوع سیگنال نویزی مقایسه شده است. شرایط نویز موجود در پارامترهای RSS و SPT به گونه‌ای انتخاب شده است که شامل چهار نویز گوسی، چندگوسی، یکنواخت و ضربه‌ای باشد. همچنین از مفهوم نسبت سیگنال به نویز (SNR)<sup>۲۳</sup> جهت مشخص نمودن میزان نویز هر یک از پارامترهای RSS و SPT استفاده شده است که بالا بودن آن به مفهوم تمیز بودن سیگنال و پایین بودن آن نیز به مفهوم بیشتر آغشته بودن سیگنال به نویز می‌باشد. آزمایش‌ها بر اساس میزان نسبت SNR هر یک از سیگنال‌های نویزی RSS و SPT برای چهار حالت مختلف تنظیم شده است تا حساسیت

<sup>22</sup> Mean Squared Deviation

<sup>23</sup> Signal-to-Noise Ratio

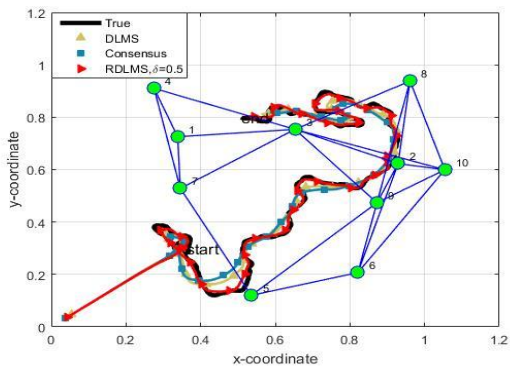
از خود نشان می‌دهد و می‌تواند مسیر هدف را ردیابی نماید. اما چنانچه میزان SNR نویز در SPT پایین باشد و این سیگنال کیفیت مناسبی نداشته باشد، هیچ کدام از الگوریتم‌ها نمی‌توانند مکان‌یابی خوبی داشته باشند و حتی ممکن است به سمت واگرایی میل نمایند.

بنابراین باتوجه به نتایج حاصل می‌توان گفت، حساسیت الگوریتم پیشنهادی به وجود نویز با SNR پایین در سیگنال SPT بیشتر از سیگنال RSS است و چنانچه این سیگنال به مقدار زیادی آغشته به نویز باشد تأثیر نامطلوبی در تخمین جواب می‌گذارد. لذا در کارهای آتی می‌توان با اصلاح رفتار الگوریتم به کاهش تأثیر مخرب نویز شدید در پارامتر SPT در تخمین موقعیت مکانی هدف، جهت الگوریتم پیشنهادی اقدام نمود. این بهبود می‌تواند با وفق نمودن پارامترهای مسئله در روابط روش پیشنهادی و یا با استفاده از توابع هدفی که در مواجهه با نویزهای ضربه‌ای و یکنواخت در سیگنال‌هایی با SNR پایین عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند، بدست آید.

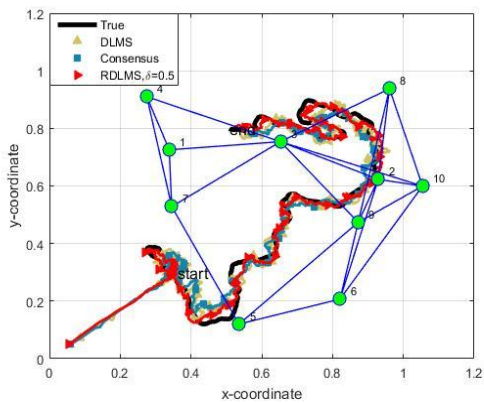
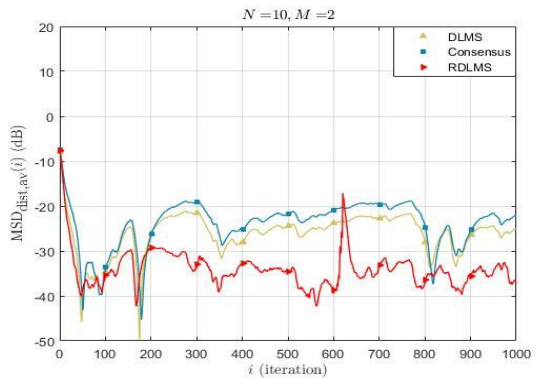
به نویز ضربه‌ای و یا یکنواخت با SNR پایین، مکان هدف متحرک به درستی ردیابی نمی‌شود.

## ۵- نتیجه گیری

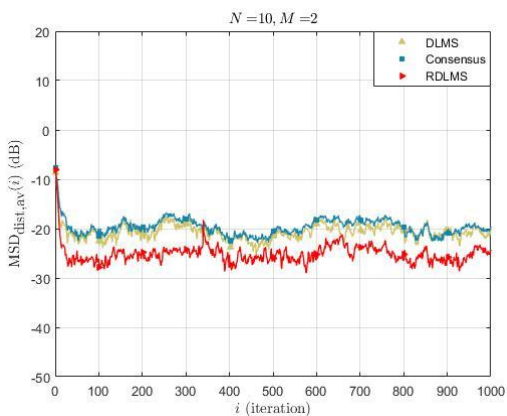
در این مقاله روشی برای تخمین موقعیت و ردیابی اهداف (سنسورهای) متحرک در شبکه‌ای سلولی از حسگرهای بی‌سیم با استفاده از الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات خطای مقاوم به نویز ارائه شده است. با توجه به تعریف معیارهای قدرت سیگنال دریافتی و مدت زمان انتشار سیگنال، تابع هدف الگوریتم پیشنهادی بر اساس میزان خطا در تخمین این دو پارامتر، تعریف شده و سپس با استفاده از روش گرادیان نزولی، روابط به روز رسانی پارامتر مجهول که در واقع موقعیت هدف متحرک می‌باشد، تخمین زده شده است. بررسی آزمایش‌های انجام شده بیانگر موفقیت الگوریتم‌های مورد مقایسه و البته عملکرد بهتر روش پیشنهادی در ردیابی در حضور نویزهای گوسی و غیرگوسی در همه حالات است. همچنین مشخص شد هنگام مواجهه با نویز ضربه‌ای و یکنواخت، چنانچه سیگنال SPT کیفیت مناسبی داشته باشد، روش پیشنهادی عملکرد بهتری

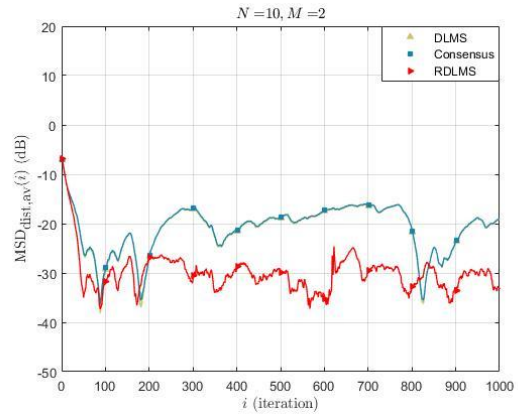
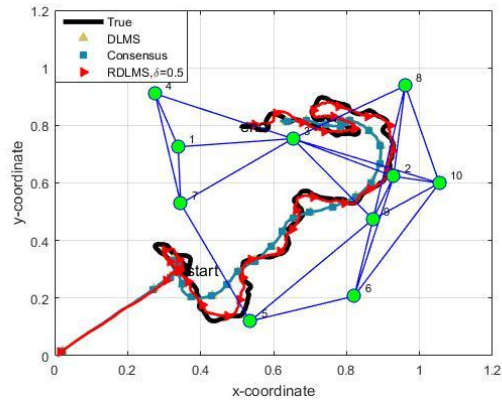


(الف)

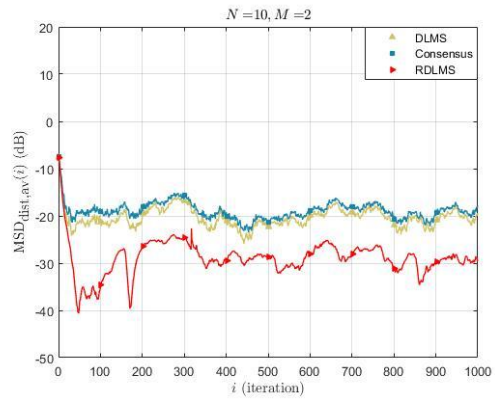
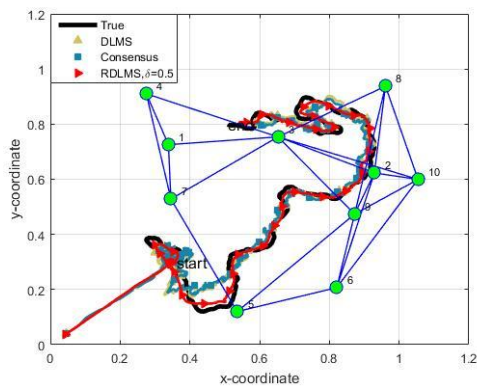


(ب)



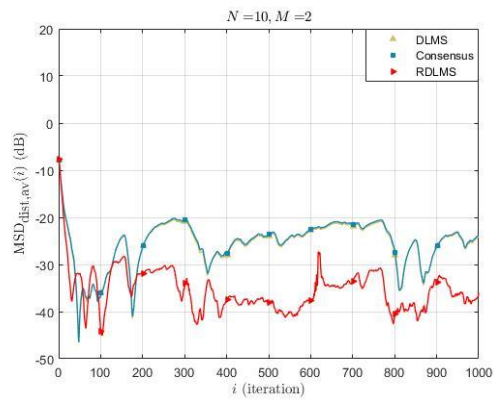
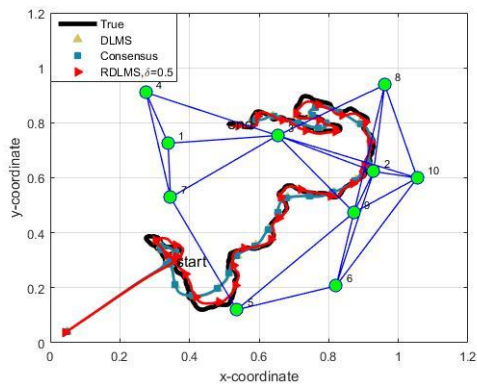


(ج)

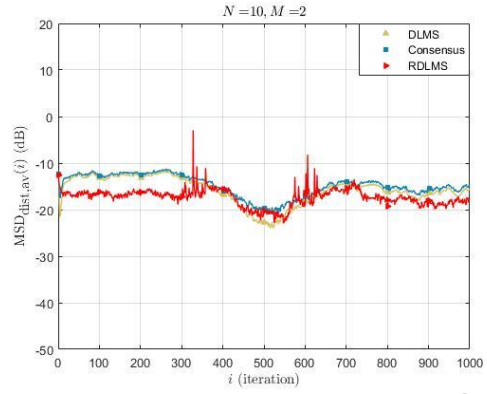
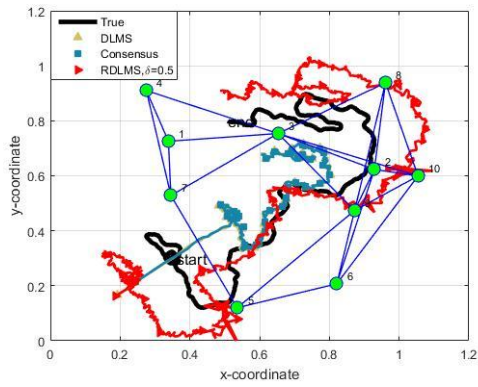


(د)

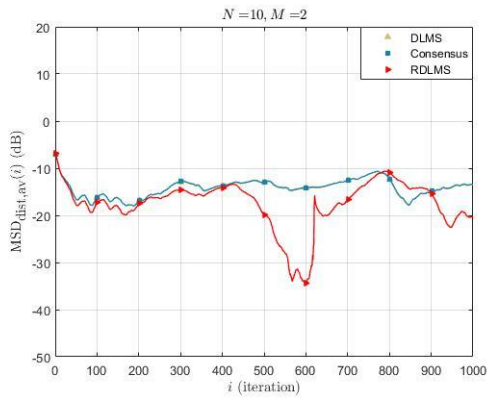
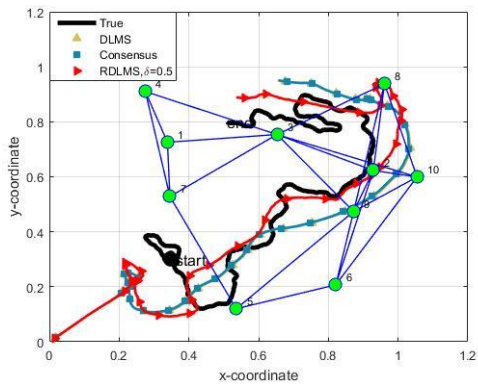
شکل ۶- نمودار MSD و ردیابی نویز گوسی برای الگوریتم‌ها با الف) SNR بالا برای هر دو پارامتر RSS و SPT (ب) SNR پائین برای هر دو پارامتر RSS و SPT (ج) با SNR بالا برای RSS و SNR پائین برای SPT و (د) SNR پائین برای RSS و SNR بالا برای SPT



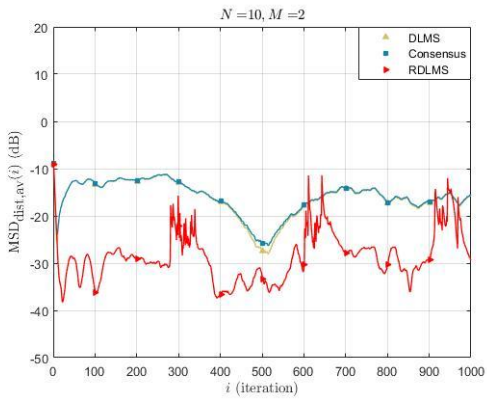
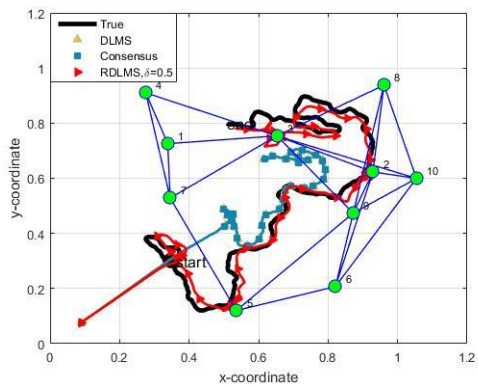
(الف)



(ب)



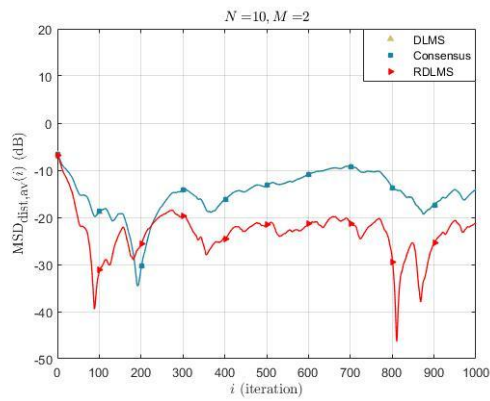
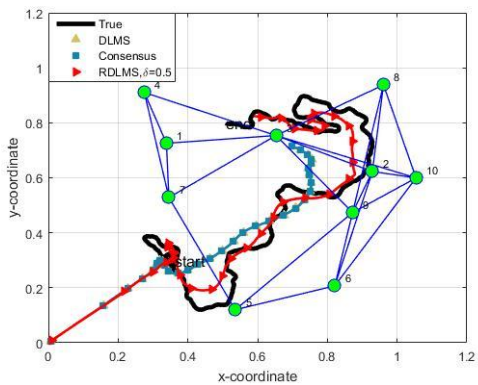
(ج)



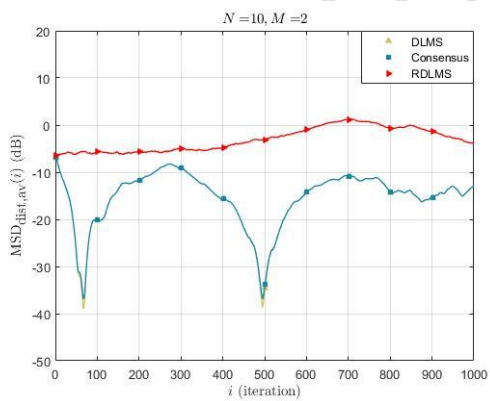
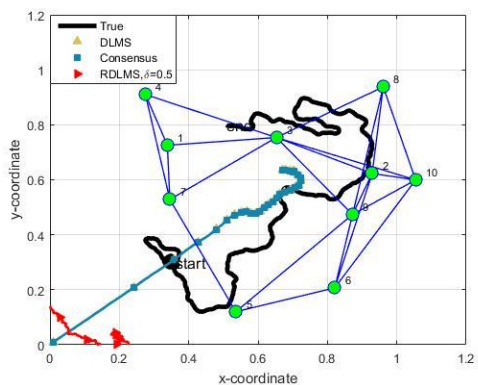
(د)

شکل ۷- نمودار MSD و ردیابی نویز چندگوسی برای الگوریتم‌ها با الف) بالا برای هر دو پارامتر RSS و SPT ب) پایین برای هر دو پارامتر RSS و SPT ج) بالا برای RSS و SPT پایین برای RSS و SPT د) پایین برای RSS و SPT بالا برای RSS و SPT

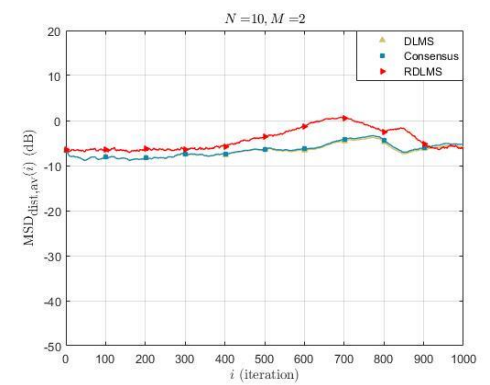
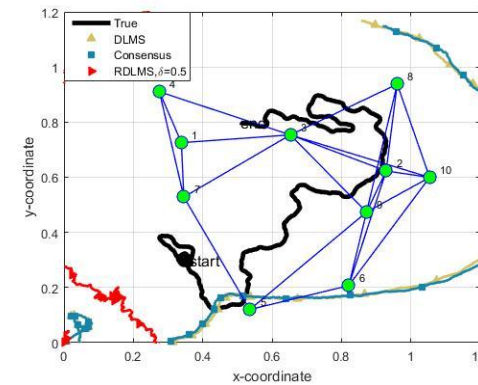




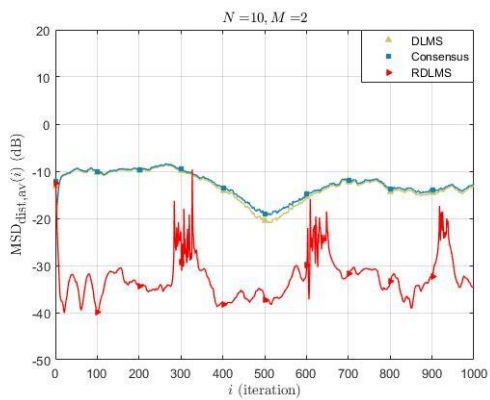
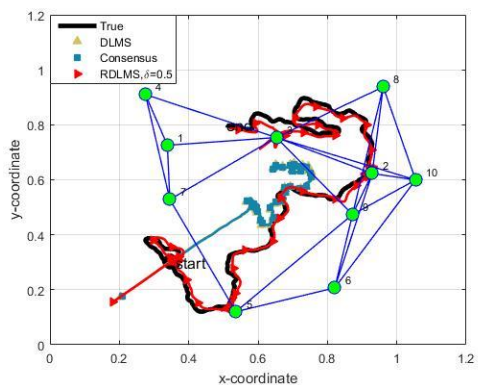
(الف)



(ب)



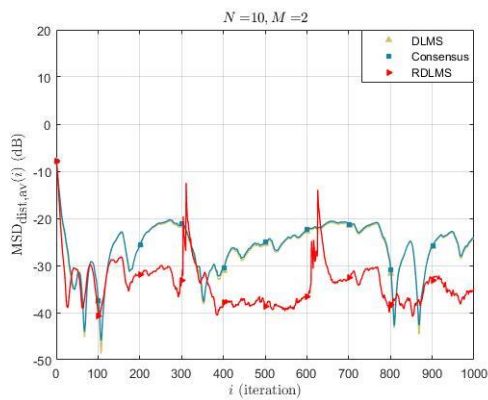
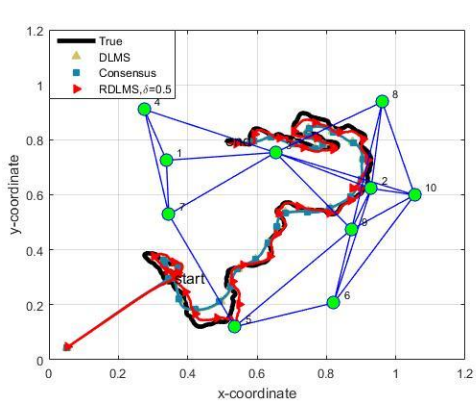
(ج)



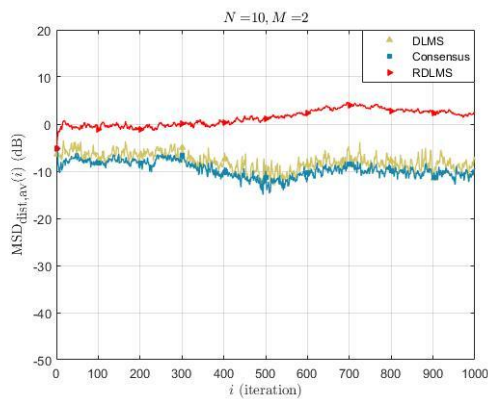
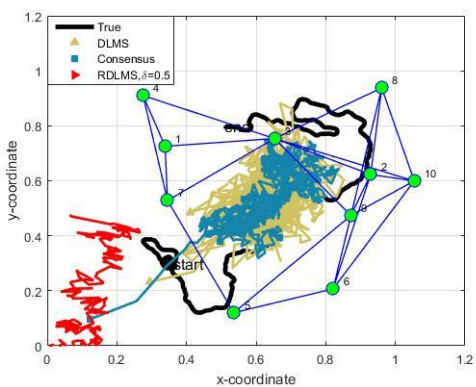


(د)

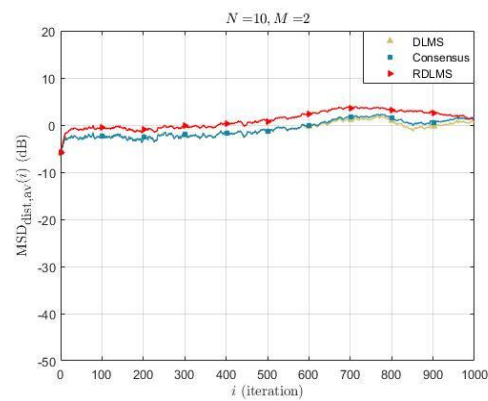
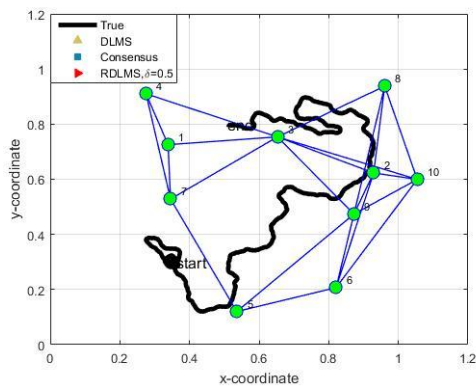
شکل ۸- نمودار MSD و ردیابی نویز یکنواخت برای الگوریتم‌ها با الف) SNR بالا برای هر دو پارامتر RSS و SPT ب) SNR پائین برای هر دو پارامتر RSS و SPT ج) با SNR بالا برای RSS و SNR پائین برای SPT و د) SNR پائین برای RSS و SNR بالا برای SPT



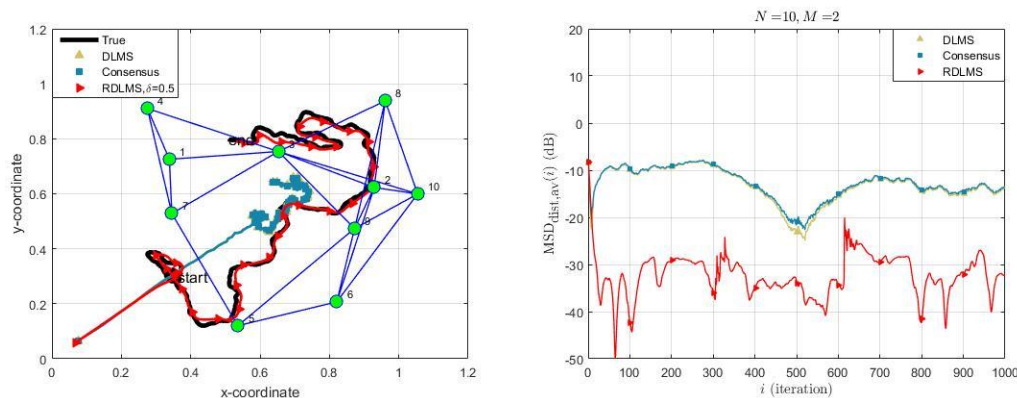
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل ۹- نمودار MSD و ردیابی نویز ضربه‌ای برای الگوریتم‌ها با الف) SNR بالا برای هر دو پارامتر RSS و SPT ب) SNR پائین برای هر دو پارامتر RSS و SPT ج) با SNR بالا برای RSS و SNR پائین برای SPT و د) SNR پائین برای RSS و SNR بالا برای SPT

“Robust diffusion LMS over adaptive networks,”  
*Signal Processing*, vol. 158, pp. 201–209, 2019.

- [7] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. C.-C. networks, and undefined 2002, “Wireless sensor networks: a survey,” *Elsevier*, Accessed: Dec. 20, 2021.

مراجع

- [۱] س. دوست علی، م. خلیلی درمنی، موقعیت‌یابی چندگانه مبتنی بر الگوریتم ازدحام ذرات برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محاسبات نرم، جلد ۸، نسخه ۱، ۵۸-۶۹، ۱۴۰۰، doi: 10.22052/8.1.58
- [۲] م. رضایی نژاد، م. رحیمی نسب، ع. موسوی، مسیریابی انرژی آگاه در شبکه‌های حسگر بی‌سیم با استفاده از الگوریتم جستجوی هارمونی، محاسبات نرم، جلد ۱، نسخه ۱، ۲-۱۵، ۱۴۰۰.
- [۳] ر. رافع، م. توتونچی، ارائه یک روش توزیع شده آشکارسازی خطا برای شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محاسبات نرم، جلد ۲، نسخه ۲، ۲۶-۳۵، ۱۴۰۰.
- [4] C. G. Lopes, S. Member, and A. H. Sayed, “Diffusion Least-Mean Squares Over Adaptive Networks : Formulation and Performance Analysis,” vol. 56, no. 7, pp. 3122–3136, 2008.
- [5] R. Abdolee, S. Saur, B. Champagne, and A. H. Sayed, “Diffusion LMS localization and tracking algorithm for wireless cellular networks,” *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, pp. 4598–4602, 2013, doi: 10.1109/ICASSP.2013.6638531.
- [6] S. Ashkezari-Toussi and H. Sadoghi-Yazdi, [۸] ش. طباطبائی، ارائه یک روش خوشه‌بندی آگاه از انرژی با استفاده از الگوریتم خفاش و چاهک متحرک در شبکه حسگر بی-سیم، محاسبات نرم، جلد ۸، نسخه ۲، ۱۱۵-۱۰۲، ۱۴۰۰، doi: 10.22052/8.2.102
- [۹] م. خلیلی درمنی، الگوریتم چندمعیاره برای تعیین مسیر حرکت گره چاهک در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، محاسبات نرم، جلد ۷، نسخه ۲، ۸۳-۷۴، ۱۴۰۰.
- [10] F. Zafari, A. Gkelias, and K. K. Leung, “A survey of indoor localization systems and technologies,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 21, no. 3, pp. 2568–2599, 2019.
- [11] J. He, Y. Geng, and K. Pahlavan, “Toward accurate human tracking: Modeling time-of-arrival for wireless wearable sensors in multipath environment,” *IEEE Sens. J.*, vol. 14, no. 11, pp. 3996–4006, 2014.
- [12] J. Cota-Ruiz, J. Rosiles, ... P. R.-P.-I. S., and undefined 2013, “A distributed localization algorithm for wireless sensor networks based on the solutions of spatially-constrained local problems,” *ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Mar. 23, 2023.

- [22] C. Soares and J. Gomes, "STRONG: Synchronous and asynchronous robust network localization, under non-Gaussian noise," *Signal Processing*, vol. 185, p. 108066, 2021.
- [23] S. A. Kassam, *Signal detection in non-Gaussian noise*. Springer Science & Business Media, 2012.
- [24] I. D. Schizas, G. Mateos, and G. B. Giannakis, "Distributed LMS for consensus-based in-network adaptive processing," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 57, no. 6, pp. 2365–2382, 2009.
- [13] X. Qu, L. X.-S. Processing, and undefined 2016, "An efficient convex constrained weighted least squares source localization algorithm based on TDOA measurements," *Elsevier*, Accessed: Mar. 23, 2023.
- [14] T. Jia, H. Wang, X. Shen, Z. Jiang, K. H.-S. Processing, and undefined 2018, "Target localization based on structured total least squares with hybrid TDOA-AOA measurements," *Elsevier*, Accessed: Mar. 23, 2023.
- [15] S. Tomic, M. Beko, R. D.-I. T. on Vehicular, and undefined 2016, "3-D target localization in wireless sensor networks using RSS and AoA measurements," *ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Mar. 23, 2023.
- [16] J. Shi, G. Wang, L. J.-I. S. P. Letters, and undefined 2020, "Least squared relative error estimator for RSS based localization with unknown transmit power," *ieeexplore.ieee.org*, Accessed: Mar. 23, 2023.
- [17] W. Ding, Q. Zhong, Y. Wang, C. Guan, B. F.-Sensors, and undefined 2022, "Target Localization in Wireless Sensor Networks Based on Received Signal Strength and Convex Relaxation," *mdpi.com*, Accessed: Mar. 23, 2023.
- [18] A. H. Sayed, A. Tarighat, and N. Khajehnouri, "Network-based wireless location: challenges faced in developing techniques for accurate wireless location information," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 22, no. 4, pp. 24–40, 2005.
- [18] G. H. Oliveira, Leonardo L. de, Eisenkraemer and J. Carara, Everton A., Martins, João B., Monteiro, "Mobile Localization Techniques for Wireless Sensor Networks: Survey and Recommendations.," *ACM Trans. Sens. Networks*, 2022.
- [19] L. B. O. Slavisa Tomic, Marko Beko, Luís M. Camarinha-Matos, "Distributed localization with complemented RSS and AOA measurements: Theory and Methods.," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 1, 2019.
- [20] S. C. S. Preeti Yadav, "A Systematic Review of Localization in WSN: Machine Learning and Optimization-Based approaches," *Int. J. Commun. Syst.*, 2022.
- [21] X. Zhu, W.-P. Zhu, and B. Champagne, "Spectrum sensing based on fractional lower order moments for cognitive radios in  $\alpha$ -stable distributed noise," *Signal Processing*, vol. 111, pp. 94–105, 2015.