



University of Kashan

مجله محاسبات نرم

SOFT COMPUTING JOURNAL

تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir



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

سهیلا اشکذری طوسی^{۱*}، استادیار، محمد نعیم تیموری^۲، کارشناسی ارشد، وحیدرضا سبزواری^۳، استادیار

^۱ دانشکده علوم ریاضی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، موسسه آموزش عالی سلمان، مشهد، ایران.

^۳ 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 رویکردهایی که بتوانند مکان هدف متحرک را با وجود نویز سیستم، با کمترین میزان اختلاف نسبت به مکان واقعی آن تخمین بزنند، 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 بر عهده 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 متفاوت، می‌گردد.

© ۱۴۰۲ نویسندگان. مقاله با دسترسی آزاد تحت مجوز CC-BY

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۱۵ فروردین ماه ۱۴۰۲

پذیرش ۱۳ شهریور ماه ۱۴۰۲

کلمات کلیدی:

مکان‌یابی

شبکه حسگر بی‌سیم

نویز گوسی

نویز غیرگوسی

الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات

تابع زیان هوبر

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 ایستگاه پایه زیاد می‌گردد، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. سیگنال‌های ارتباطی بین گره‌های متحرک و ایستگاه پایه همواره دارای نویز می‌باشند، در نتیجه می‌بایست راه‌کارهایی جهت پردازش سیگنال‌های ارتباطی برای تخمین موقعیت و مکان‌یابی گره‌های بی‌سیم در نظر گرفت

مکان‌یابی، تخمین موقعیت و ردیابی حسگرهای 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

✧ نوع مقاله: پژوهشی

* نویسنده مسئول

پست(های) الکترونیک: sohei.ashkezari@mail.um.ac.ir (اشکذری طوسی)

naeem.teymoori@gmail.com (تیموری)

sabzevari@mshdiau.ac.ir (سبزواری)

نحوه ارجاع به مقاله: سهیلا اشکذری طوسی، محمد نعیم تیموری، وحیدرضا سبزواری، «مکان‌یابی اهداف متحرک در شبکه حسگر بی‌سیم مبتنی بر الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات بر پایه تابع زیان هوبر»، مجله محاسبات نرم، جلد ۱۳، شماره ۱، صفحات ۷۵-۵۸، بهار و تابستان ۱۴۰۳.

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 به دست 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 غیرمتمرکز 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 می‌گردد 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 الگوریتم‌های 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 الگوریتم‌ها 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^۱ 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 الگوریتم به صورت تطبیقی عمل نموده و منجر به مکان‌یابی سریع می‌گردد و استفاده از آن را در محیط‌های تصادفی متغیر با زمان جذاب می‌نماید [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 این گونه 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 تاثیر این گونه 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 مکان‌یابی گره‌های متحرک با استفاده از این الگوریتم و بر پایه سنجش و اندازه‌گیری دو متغیر قدرت سیگنال دریافتی (RSS)^۲ و مدت زمان انتشار سیگنال (SPT)^۳ 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 می‌گردد.

در ادامه این مقاله به این شکل سازماندهی شده است: بخش ۲ به بررسی کارهای انجام شده در این حوزه و بیان الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات استاندارد و نحوه بکارگیری آن برای مکان‌یابی می‌پردازد. در بخش ۳ ریاضیات و روابط روش پیشنهادی با طراحی تابع هدف و سپس حل آن با استفاده از روش گرادیان نزولی بیان شده است. نتایج آزمایش‌ها در بخش ۴ مورد بررسی قرار گرفته و در نهایت، بخش ۵ به بحث و نتیجه‌گیری مقاله می‌پردازد.

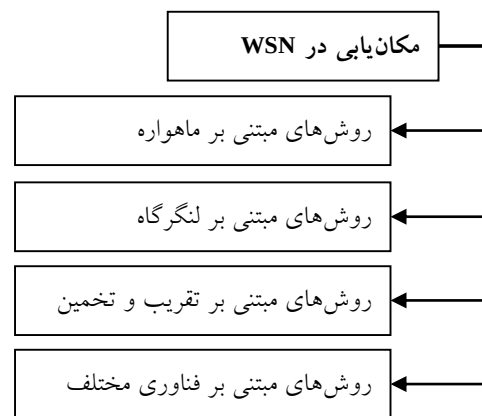
^۲ Received Signal Strength

^۳ Signal Propagation Time

^۱ Diffusion Least Mean Squares

۲. مروری بر کارهای گذشته

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، کاربردهای متنوعی دارند که می‌توان به نظارت از راه دور محیط و ردیابی اهداف اشاره نمود [۷]. در شبکه‌های حسگر بی‌سیم، گره‌های حسگری که در محیط به صورت اقتضایی پخش شده‌اند، دانش قبلی از مکان خود ندارند. مساله تعیین موقعیت گره‌ها، مبحث مربوط به حوزه مکان‌یابی است. روش‌های موجود برای مکان‌یابی عبارتند از: سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS)^۱، گره‌های لنگرگاه^۲، مکان‌یابی مبتنی بر تقریب و تخمین و استفاده از فناوری‌های مختلف (شکل (۱)) را مشاهده کنید.



شکل (۱): دسته‌بندی روش‌های مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم

یک راه‌حل ساده برای این مساله، تجهیز گره‌های حسگر به یک گیرنده GPS است. سیستم‌هایی که برپایه 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 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 برپایه تقریب و تخمین، گره‌ها با بهره‌گیری از گره‌های همسایه، مکان خود را مشخص می‌کنند، سپس به عنوان 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 بکار برده، مزایای و محدودیت‌های ویژه خود را خواهند داشت.

متغیرهای مختلفی جهت مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم استفاده می‌شود که از جمله آنها می‌توان به مکان‌یابی بر اساس زمان ورود سیگنال (TOA)^۳ [۱۰]–[۱۱]، زمان رفت و برگشت سیگنال (RTT)^۴، زمان پرواز سیگنال (TOF)^۵ [۱۲]، اختلاف زمان ورود سیگنال (TDOA)^۶ [۱۳]، زاویه ورود سیگنال (AOA)^۷ [۱۴]، قدرت سیگنال دریافتی (RSS) [۱۵]–[۱۷]، فاز ورود سیگنال (POA)^۸، اطلاعات وضعیت کانال (CSI)^۹ و مکان‌یابی مبتنی بر اثر انگشت اشاره نمود که هر کدام دارای مزایا و معایبی می‌باشند که در مرجع [۱۰] به صورت مشروح مورد مطالعه قرار گرفته است.

از دیدگاه پردازش سیگنال نیز رویکردهای مکان‌یابی به دو گروه الگوریتم‌های متمرکز و غیرمتمرکز دسته‌بندی می‌شوند (شکل (۲)) را مشاهده کنید. از الزامات الگوریتم‌های متمرکز، وجود یک واحد 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 مرجع [۱۸]، الگوریتم‌های مکان‌یابی مختلف مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است.

³ Time of arrival

⁴ Round-trip time

⁵ Time of flight

⁶ Time Difference of Arrival

⁷ Angle of arrival

⁸ Phase of arrival

⁹ Channel state information

¹ Global Positioning System

² Beacon Nodes

۱.۲. الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات (DLMS)

این الگوریتم توسعه‌ای از الگوریتم حداقل میانگین مربعات است 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 متغیر مورد نظر (تعیین موقعیت مکان هدف متحرک در این مقاله) دخیل می‌باشند. این الگوریتم با دو رویکرد ترکیب-سپس-تطبیق (CTA)^۱ و تطبیق-سپس-ترکیب (ATC)^۲ قابل اجرا خواهد بود که در ادامه به مرور رویکرد CTA می‌پردازیم.

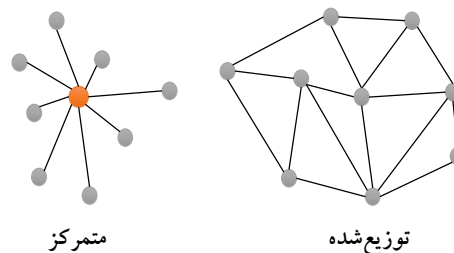
۱.۱.۲. الگوریتم انتشار توزیع شده با رویکرد ترکیب-سپس-

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 به دست آوردن تخمین محلی در هر گره k ، ابتدا این گره تخمین محلی گره‌های همسایه‌اش یعنی $\psi_l(n)$ را وقتی $l \in N_k$ جمع‌آوری می‌کند. سپس تخمین میانی $\phi_l(n)$ با ترکیب تخمین‌های محلی گره‌های همسایه $\psi_l(n)$ محاسبه می‌گردد. در گام بعدی، گره k با استفاده از تخمین میانی به دست آمده و اطلاعات محلی $d_k(n)$ و $X_k(n)$ الگوریتم وفقی محلی خود را جهت تنظیم متغیر مجهول اجرا می‌کند.



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 مراجع [۱۹]–[۲۰] که هر یک با توجه به شرایط و محیط کانال ارتباطی، راه‌حل مختص به خود را دارند. روشی که در این مقاله در خصوص همکاری بین گره‌ها و ارتباط آنها مدنظر قرار گرفته بر مبنای همکاری بین حسگرها بر پایه الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات می‌باشد. برای آشنایی با این روش، ادامه این بخش به مرور این الگوریتم و نحوه کاربرد آن در بحث مکان‌یابی می‌پردازد.

¹ Combine-Then-Adapt

² Adapt-Then-Combine

۲.۲. استفاده از الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات

در ردیابی و مکان‌یابی هدف متحرک

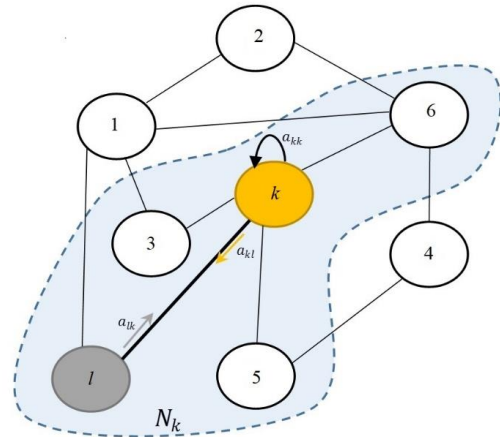
یک شبکه سلولی بی‌سیم را با منطقه تحت پوشش آن به صورت سلول‌های شش ضلعی منظم در نظر بگیرید که در مرکز هر سلول یک برج رادیویی قرار دارد و به سه ایستگاه پایه مجهز است. هر یک از ایستگاه‌های پایه (گره) از آنتن‌های جهت‌یابی استفاده می‌نمایند که هر یک از این آنتن‌ها با زاویه صد و بیست درجه به کاربران سرویس می‌دهد. این ایستگاه‌های پایه به عنوان لنگرگاه با مکان مشخص می‌باشند و دو مجموعه از متغیرهای 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 می‌کنند، بنابراین سیگنال مخابره شده از آنها در همه جهات منتشر می‌گردد.

در این مقاله نیز مشابه مرجع [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 روش زمان ورود سیگنال (TOA) با کمترین خطا محاسبه نمود. با فرض همگام‌سازی، با استفاده از رویکرد 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 θ باشد. برای یک آنتن جهت‌دار با توان 3dB شدت پرتو به صورت θ_{3dB} نمایش داده می‌شود. این مقدار قدرت آنتن با استفاده از رابطه (۴) تقریب زده می‌شود [۵].

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

در این رابطه θ_p زاویه آنتن، g_{min} حداقل قدرت گیرندگی و بهره آنتن و $p_k(i)$ قدرت سیگنال دریافت شده از پایانه متحرک با واحد dB مربوط به گره k در زمان i



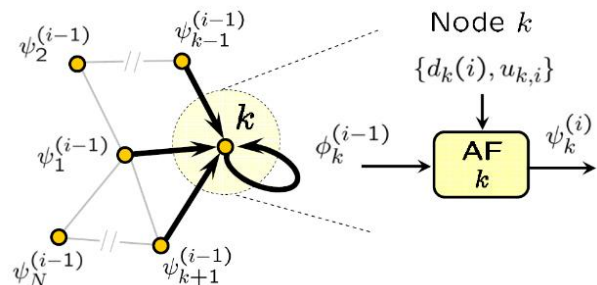
شکل (۳): توپولوژی یک شبکه نمونه با نمایش ناحیه همسایگی گره k

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:

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

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

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 مرجع [۴] بررسی شده است.



شکل (۴): یادگیری با الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات [۴]

حرکت (مسیر)، بر اساس رابطه (۷) 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 (۸) به دست می‌آید:

$$\phi(i) = \beta\phi(i-1) + (1-\beta)\bar{\phi} + 2\pi\sqrt{1-\beta^2}u(i) \quad (۸)$$

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

فرض کنید مختصات هدف متحرک در لحظه i توسط بردار $w = \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$ نمایش داده می‌شود. هدف مساله، ردیابی هدف و تعیین موقعیت آن در هر لحظه یا به بیان دیگر، تخمین متغیر مجهول w می‌باشد. مقدار واقعی این متغیر 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 (۹) و محاسبه بردار متغیر مجهول w تخمین زده شود [۵]:

$$J^{ctrl}(w) = \sum_{k=1}^N ((1-\eta)J_k^{(p)}(w) + \eta v J_k^{(t)}(w)) \quad (۹)$$

عبارت $J_k^{(p)}(w)$ تابع هزینه محلی مرتبط با گره k بر اساس متغیر مربوط به قدرت سیگنال دریافت شده و $J_k^{(t)}(w)$ تابع هزینه مربوط به سنجش زمان انتشار سیگنال دریافتی از حسگر متحرک در ایستگاه پایه می‌باشد. ثابت $\eta \in [0, 1]$ میزان مشارکت دو متغیر RSS و SPT در تعیین موقعیت هدف متحرک را مشخص می‌کند. متغیر v ، ضریبی است که $J_k^{(t)}(w)$ را بزرگ می‌کند تا تقریباً در همان محدوده عددی $J_k^{(p)}(w)$ باشد. توابع هزینه محلی به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$J_k^{(p)}(w) = \mathbb{E}[p_k(i) + 10\alpha \log\|w - s_k\| - h_k(i)]^2 \quad (۱۰)$$

$$J_k^{(t)}(w) = \mathbb{E}[t_k(i) - \|w - s_k\|/c]^2 \quad (۱۱)$$

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

می‌باشد. قدرت سیگنال دریافت شده از پایانه متحرک به فاصله آن از گره k وابسته است که به صورت زیر تعیین می‌گردد [۵]:

$$p_k(i) = p_t + g_k(\theta_u(i)) - 10 \log\left(\frac{d_k(i)}{d_0}\right)^\alpha + l_k(i) + n_k^{(p)}(i) \quad (۵)$$

به طوری که p_t قدرت انتقال پایانه متحرک، $g_k(\theta_u(i))$ قدرت گیرندگی آنتن در جهت پایانه متحرک $\theta_u(i)$ در زمان i ، d_0 میزان فاصله و دوری آنتن و $d_k(i)$ بیانگر فاصله بین پایانه متحرک و گره k در زمان i است. در رابطه فوق، α 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 به دلیل غیرخطی بودن دید می‌باشد و $n_k^{(p)}(i)$ یک متغیرگوسی با میانگین صفر است که نشانگر هزینه ناشی از سایه زدن^۱ 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 که $t_k(i)$ زمان انتشار سیگنال از پایانه متحرک تا گره k است. اگر سرعت نور را با c نمایش دهیم، آنگاه $t_k(i)$ می‌تواند به صورت رابطه (۶) بیان شود [۵]:

$$t_k(i) = \frac{d_k(i)}{c} + b_k(i) + n_k^{(t)}(i) \quad (۶)$$

که در آن $b_k(i)$ یک خطای تصادفی با توزیع نمایی است که ناشی از دید غیرخطی بوده و $n_k^{(t)}(i)$ نویز اندازه‌گیری شده با میانگین صفر می‌باشد. برای مدل‌سازی حرکت پایانه متحرک در طول زمان، معادله غیرخطی (۷) را در نظر می‌گیریم.

$$w_i^o = w_{i-1}^o + v[\cos(\phi(i)) \sin(\phi(i))]^T \Delta T \quad (۷)$$

که در آن v نشان‌دهنده سرعت پایانه متحرک، $\phi(i)$ بیانگر جهت پایانه متحرک در زمان i و ΔT زمان نمونه‌گیری می‌باشد. تابع

^۱ Shadowing

با توجه به مشکلاتی که برای روش‌های متمرکز ذکر شد، الگوریتم انتشار حداقل میانگین مربعات برای مکان‌یابی و ردیابی هدف در مرجع [۵] ارائه شده است و تابع هدف آن به صورت رابطه (۱۲) می‌باشد.

$$\min_w \left\{ \sum_{l \in N_k} c_{l,k} \left[(1-\eta) J_k^{(p)}(w) + \eta v J_k^{(t)}(w) \right] + \sum_{l \in N_k \setminus \{k\}} p_{l,k} \|w - \psi_l\|^2 \right\} \quad (12)$$

که در آن N_k نشان‌دهنده مجموعه همسایه‌های گره k و شامل خود گره k نیز می‌باشد. ψ_l 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، $\{p_{l,k}\}$ متغیرهایی نامنفی هستند و اگر $l \notin N_k$ و $\sum_{k=1}^N c_{l,k} = 1$ راست^۱ می‌باشد که نشان‌دهنده میزان همکاری گره‌ها است. برای دست یافتن به پاسخ این مساله از روش گرادیان نزولی استفاده می‌شود که در آن مشتق تابع هدف نسبت به متغیر w محاسبه می‌گردد. رابطه تکراری برای به دست آوردن مقدار w در لحظه i و در گره k در رویکرد تطبیق-سپس-ترکیب برابر خواهد بود با:

$$\begin{aligned} \psi_{k,i} &= w_{k,i-1} - \mu_k \sum_{l \in N_k} c_{l,k} \hat{\nabla}_w J_l(w_{k,i-1}) \\ w_{k,i} &= \sum_{l \in N_k} a_{l,k} \psi_{l,i} \end{aligned} \quad (13)$$

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

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

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

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

که $e_l^{(p)}(i)$ و $e_l^{(t)}(i)$ در $w_{k,i-1}$ ارزیابی می‌شوند. علاوه بر این،

متغیرهای $\{a_{l,k}\}$ ورودی‌های نامنفی از ماتریس تصادفی چپ^۲ A هستند به طوری که $A \in R^{N \times N}$ و اگر $l \notin N_k$ و $a_{l,k} = 0$ 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 اندازه‌گیری داده‌های $\{p_l(i), t_l(i)\}_{l \in N}$ به دست می‌آورد. عبارت دوم مرحله ترکیب می‌باشد که ایستگاه پایه k تخمین میانی $\psi_{k,i}$ را با سایر همسایگان خود ترکیب می‌کند تا از آن طریق $w_{k,i}$ به دست آید. ساختار الگوریتم ارائه شده در مرجع [۵] جهت عملیات مربوط به تخمین موقعیت مکانی هدف متحرک، ساده بوده و با توجه به اینکه 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 کارهای انجام شده در مراجع [۲۱]–[۲۳] می‌توان گفت که نویز وارده به سیستم همواره به صورت گوسی نیست و در موارد گوناگونی سیگنال‌های 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 غیرگوسی پیشنهاد شود تا دقت در تخمین مکان هدف متحرک دچار کاهش نگردد. بخش بعدی به تشریح الگوریتم پیشنهادی می‌پردازد.

۳. روش پیشنهادی

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.

² Left stochastic

¹ Right stochastic

تبدیل به تابع زیان MSE خواهد شد. از آنجایی که مقادیر مختلف δ تابع زیان را تغییر می‌دهد، باید در انتخاب مقدار مناسب برای این متغیر 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 گرادین 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.

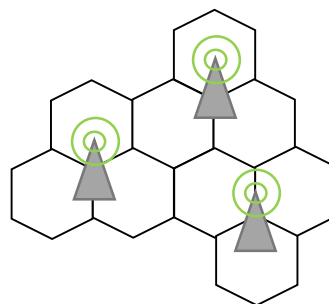
در ادامه از تقریب هموار و مشتق‌پذیر از تابع هوبر به نام تابع شبه‌هوبر^۴ استفاده می‌نماییم که به صورت رابطه (۱۸) تعریف می‌شود.

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

در این رابطه متغیرهای y و $\hat{y}$ به ترتیب نشان‌دهنده مقدار واقعی و تخمین زده شده متغیر مطلوب است و می‌توان شیب خط را با متغیر δ 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 امکان‌پذیر است. در ادامه مباحث این بخش، ابتدا براساس متغیرهای RSS و SPT به ساخت دو تابع زیان محلی بر پایه تابع زیان شبه‌هوبر می‌پردازیم. سپس روش تخمین متغیر مجهول و به دست آوردن مکان هدف متحرک با ترکیب این دو تابع و با استفاده از الگوریتم گرادین نزولی مطرح می‌شود.

۱.۳. تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب متغیر RSS

با در نظر گرفتن تابع شبه‌هوبر در رابطه (۱۸)، تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب RSS در گره k ام به صورت رابطه (۱۹) تعریف می‌شود.



شکل (۵): نمایی از شبکه سلولی بی‌سیم با سلول‌های شش ضلعی منظم

ایستگاه‌های پایه با مکان ثابت s_k مشخص شده‌اند و متغیرهای 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 گرادین آنها برای به دست آوردن قاعده بروزرسانی با استفاده از الگوریتم گرادین نزولی، محاسبه شده و در نهایت روابط بروزرسانی مکان به دست آمده است.

تابع زیان شبه‌هوبر^۱ نسبت به تابع زیان میانگین مربعات خطا^۲ (MSE) کمتر تحت تاثیر داده‌های نویزی است و برخلاف تابع زیان میانگین قدرمطلق خطا^۳ (MAE)، مشتق‌پذیر بوده و کمینه‌سازی آن به راحتی امکان‌پذیر است. رابطه کلی در تابع زیان هوبر استاندارد به ازای متغیر y و $\hat{y}$ که به ترتیب نشان‌دهنده مقدار واقعی و تخمین زده شده متغیر مطلوب می‌باشند، به صورت زیر است:

$$L_{\delta}(y, \hat{y}) = \begin{cases} \frac{1}{2} (y - \hat{y})^2 & |y - \hat{y}| \leq \delta \\ \delta |y - \hat{y}| - \frac{1}{2} \delta^2 & |y - \hat{y}| > \delta \end{cases} \quad (19)$$

روشن است با کوچک‌تر بودن خطا (میزان فاصله بین y و $\hat{y}$) از مقدار δ ، 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 بر حسب مقدار δ تغییر می‌کند. اگر $\delta \sim 0$ باشد، تابع زیان هوبر به تابع زیان MAE نزدیک می‌شود و در صورتی که $\delta \sim \infty$ باشد این تابع زیان،

¹ Huber

² Mean Square Error

³ Mean Absolute Error

⁴ Pseudo Huber

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

$$\begin{aligned} \nabla_w J_k^{rss} &= E \left\{ \frac{1}{2} \delta^2 \frac{\nabla e_{rss_k^2} / \delta^2}{\sqrt{1 + e_{rss_k^2} / \delta^2}} \right\} \\ &= E \left\{ \frac{1}{2} \frac{\nabla e_{rss_k^2}}{\sqrt{1 + e_{rss_k^2} / \delta^2}} \right\} \quad (26) \\ &= \frac{10\alpha}{\ln 10} E \left\{ \frac{(w - S_k)}{\|w - S_k\|^2 \left(\sqrt{1 + \frac{e_{rss_k^2}}{\delta^2}} \right)} e_{rss_k}(i) \right\} \end{aligned}$$

۲.۳. تابع هدف برای محاسبه خطا بر حسب متغیر 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 می‌شود:

$$J_k^{spt}(w) = \delta^2 \left(\sqrt{1 + \left(\frac{e_{spt_k}}{\delta} \right)^2} - 1 \right) \quad (27)$$

که منظور از e_{spt_k} در این رابطه، اختلاف بین مقدار SPT دریافتی و تخمین آن و متغیر δ بیانگر شیب خط است.

$$e_{spt_k^2}(i) = (t_k(i) - \hat{t}_k(i))^2 \quad (28)$$

همان‌طور که در رابطه (۶) مشخص شد، مقدار SPT به صورت $t_k(i) = \frac{d_k(i)}{c} + b_k(i) + n_k^{(t)}(i)$ محاسبه می‌شود و تخمین آن نیز با استفاده از رابطه (۲۹) به دست می‌آید:

$$\hat{t}_k(i) = \frac{\|w - S_k\|}{c} + b_k(i) \quad (29)$$

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

$$e_{spt_k^2}(i) = \left(t_k(i) - \frac{\|w - S_k\|}{c} \right)^2 \quad (30)$$

و گرادیان خطا به صورت زیر حاصل می‌شود:

$$\begin{aligned} \nabla e_{spt_k^2} &= 2e_{spt_k} \left(\frac{-1}{c} \right) (\|w - S_k\|)' \\ &= \frac{-2e_{spt_k}}{c} \times \frac{w - S_k}{\|w - S_k\|} \quad (31) \end{aligned}$$

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

که در این رابطه متغیر δ مشخص‌کننده شیب خط است و منظور از e_{rss_k} مقدار خطای حاصل از تفاضل مقدار واقعی و مقدار تخمین زده شده متغیر RSS در گره k می‌باشد. همان‌طور که در رابطه (۵) توضیح داده شد، مقدار RSS با استفاده از رابطه (۲۰) محاسبه می‌گردد:

$$p_k(i) = p_t - 10 \log \left(\frac{d_k(i)}{d_0} \right)^\alpha + n_k \quad (20)$$

که p_t قدرت انتقال پایانه متحرک و α توان هزینه مسیر است. تخمینی که برای مقدار RSS به دست می‌آید برابر است با:

$$\hat{p}_k(i) = p_t - 10\alpha \log \frac{\|w - S_k\|}{d_0} \quad (21)$$

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

$$\begin{aligned} e_{rss_k^2}(i) &= (p_k(i) - \hat{p}_k(i))^2 \\ &= (p_k(i) - p_t - 10\alpha \log \frac{\|w - S_k\|}{d_0})^2 \quad (22) \end{aligned}$$

گرادیان تابع $e_{rss_k^2}$ نیز به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$\begin{aligned} \nabla_w e_{rss_k^2} &= \frac{2e_{rss_k}}{\ln 10} \times 10\alpha \frac{\left(\frac{\|w - S_k\|}{d_0} \right)'}{\frac{\|w - S_k\|}{d_0}} \\ &= \frac{20\alpha}{\ln 10} e_{rss_k} \times \frac{(\|w - S_k\|)'}{\|w - S_k\|} \quad (23) \end{aligned}$$

در ادامه به محاسبه مشتق $\|w - S_k\|$ می‌پردازیم. می‌دانیم برای

$$\begin{aligned} \text{بردار } w &= \begin{bmatrix} w_x \\ w_y \end{bmatrix} \text{ برادر گرایان به صورت } \nabla_w = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial w_x} \\ \frac{\partial}{\partial w_y} \end{bmatrix} \text{ محاسبه} \\ \text{می‌گردد. بنابراین خواهیم داشت } \frac{\partial \|w - S_k\|}{\partial w_x} &= \frac{w_x - S_{k,x}}{\|w - S_k\|} \text{ و } \frac{\partial \|w - S_k\|}{\partial w_y} = \frac{w_y - S_{k,y}}{\|w - S_k\|} \end{aligned}$$

$$(\|w - S_k\|)' = \frac{\begin{bmatrix} w_x - S_{k,x} \\ w_y - S_{k,y} \end{bmatrix}}{\|w - S_k\|} = \frac{w - S_k}{\|w - S_k\|} \quad (24)$$

با جایگذاری این عبارت در رابطه (۲۳) خواهیم داشت:

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

ضرب و تقسیم و $(1 + |N_k|)2$ عمل جمع و تفریق می‌باشد. در مقابل الگوریتم RDLMS [۶] که پایه روش پیشنهادی این مقاله را تشکیل می‌دهد، دارای $6 + 2(|N_k| + 2)$ عمل ضرب و تقسیم و $1 + (1 + |N_k|)2$ 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 RDLMS برای مکان‌یابی در شبکه حسگر بی‌سیم

N : تعداد حسگرها

n : تعداد تکرار

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

μ : گام حرکت در الگوریتم گرادین

p_k : قدرت سیگنال دریافتی در گره k

t_k : زمان انتشار سیگنال دریافتی در گره k

s_k : مکان ایستگاه پایه k ام

η : وزن در تابع گرادین

تا زمانی که $i < n$ است

- محاسبه مقدار $\nabla_{w_k}^{RSS}$ با استفاده از رابطه (۲۶)

- محاسبه مقدار $\nabla_{w_k}^{SPT}$ با استفاده از رابطه (۳۲)

- محاسبه مقدار نهایی گرادین $\nabla_{w_k}^{RDLMS}$ با استفاده از رابطه (۳۳)
- به دست آوردن تخمین میانی موقعیت هدف متحرک در گره k ام

با استفاده از رابطه (۳۴)

- محاسبه مکان تخمینی هدف متحرک بر اساس تجميع

تخمین‌های میانی همسایگان گره k با استفاده از رابطه (۳۵)

موقعیت تخمینی هدف متحرک با میانگین‌گیری پاسخ‌های به دست آمده از گره‌ها (w_k)

۴. تحلیل و ارزیابی نتایج

در این بخش نتایج ارزیابی الگوریتم‌های پیشنهادی در مساله مکان‌یابی و ردیابی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم و مقایسه آنها با

بردار گرادین تابع هدف پیشنهادی برحسب SPT در رابطه (۲۷) به صورت رابطه (۳۲) محاسبه می‌گردد.

$$\begin{aligned} \nabla_{w_k}^{SPT} &= E \left\{ \frac{1}{2} \delta^2 \frac{\nabla e_{spt_k^2} / \delta^2}{\sqrt{1 + e_{spt_k^2} / \delta^2}} \right\} \\ &= E \left\{ \frac{1}{2} \frac{\nabla e_{spt_k^2}}{\sqrt{1 + e_{spt_k^2} / \delta^2}} \right\} \\ &= E \left\{ \frac{-e_{spt_k} (w - s_k)}{c \|w - s_k\|^2 (\sqrt{1 + e_{spt_k^2} / \delta^2})} \right\} \end{aligned} \quad (32)$$

۳.۳. ترکیب دو تابع هدف RSS و SPT و تشکیل تابع

هدف پیشنهادی

بردار گرادین بر اساس تلفیق RSS و SPT به شکل رابطه (۳۳) تعریف می‌گردد:

$$\nabla_{w_k}^{RDLMS}(w_{k,i-1}) = (1 - \eta) \nabla_{w_k}^{RSS}(w_{k,i-1}) + (\eta) \nabla_{w_k}^{SPT}(w_{k,i-1}) \quad (33)$$

در این رابطه، η یک مقدار ثابت بین $0 < \eta < 1$ بوده و نسبت مشارکت هر یک از این دو متغیر را در تخمین موقعیت مشخص می‌کند. بنابراین دو گام تطبیق و ترکیب در الگوریتم روش پیشنهادی که آن را مکان‌یابی مبتنی بر Robust Diffusion LMS می‌نامیم و با نام RDLMS نمایش می‌دهیم، به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\psi_{k,i} = w_{k,i-1} - \mu_k \sum_{l \in N_k} c_{l,k} \nabla_{w_k}^{RDLMS}(w_{k,i-1}) \quad (34)$$

$$w_{k,i} = \sum_{l \in N_k} a_{l,k} \psi_{l,i} \quad (35)$$

با توجه به محاسبات فوق، مراحل روش پیشنهادی برای یافتن مکان هدف متحرک در شبکه حسگر بی‌سیم، در الگوریتم (۱) نشان داده شده است.

الگوریتم استاندارد DLMS [۱] که برای مکان‌یابی در مرجع [۵] مورد استفاده قرار گرفته است، دارای $1 + 2(|N_k| + 2)$ عمل

است. جهت انجام پیاده‌سازی عادلانه همه روش‌ها، شرایط الگوریتم‌ها از جمله گام حرکت برای هر یک از الگوریتم‌ها و پارامتر δ 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 به عنوان خروجی نمایش داده شده است.

الف) نویز گوسی و چندگوسی: نتایج حاصل برای نویز گوسی در شکل (۶) و برای نویز چندگوسی در شکل (۷) نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود، در همه حالات با SNR های مختلف در هر دو متغیر 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 مراجع [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 متغیر RSS و SPT باشند (شکل (۸)-الف و شکل (۹)-الف) و یا SNR بالا در سیگنال مربوط به متغیر SPT باشند (شکل (۸)-د و شکل (۹)-د) میزان خطا در نمودار MSD کاهش و دقت در نمودار ردیابی نسبت به روش‌های مراجع [۵] و [۲۴] افزایش یافته است. اما در مواجهه با سیگنال‌هایی که دارای SNR پایین در هر دو متغیر RSS و SPT باشند (شکل (۸)-ب و شکل (۹)-ب) و یا هنگامی که SNR سیگنال در متغیر 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 به نویز ضربه‌ای و یا یکنواخت با SNR پایین باشد، مکان هدف متحرک به درستی ردیابی نمی‌شود.

سایر الگوریتم‌های دیگر در این حوزه ارائه می‌گردد. پیاده‌سازی با استفاده از نرم‌افزار متلب انجام و برای ارزیابی از معیار میانگین مربع انحراف (MSD)^۱ استفاده شده است که بیانگر متوسط میزان اختلاف بردار متغیر تخمین زده شده نسبت به بردار متغیر مطلوب می‌باشد و به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

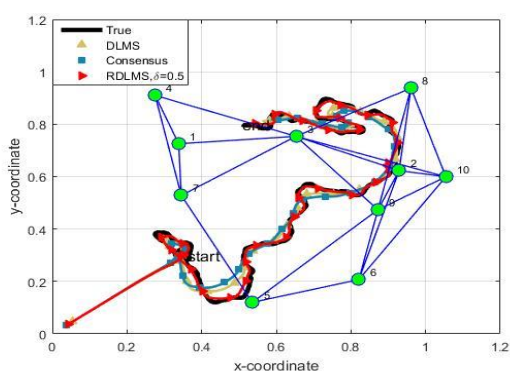
$$MSD = 10 \times \log_{10} \left(\frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \|w_k - w_o\|_2^2 \right) \quad (36)$$

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

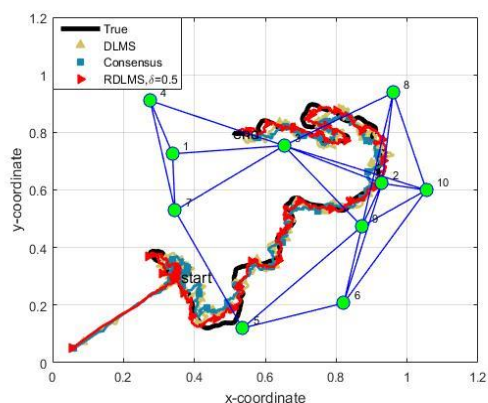
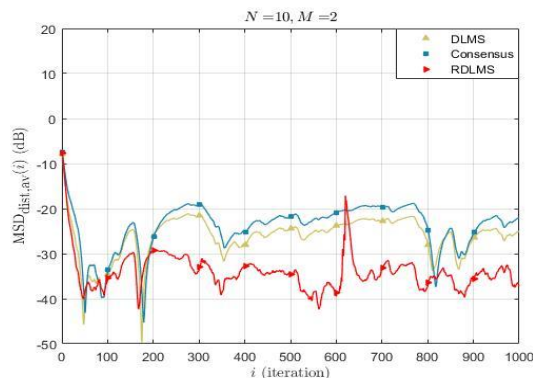
کارآیی الگوریتم پیشنهادی RDLMS با الگوریتم‌های DLMS [۵] و Consensus [۲۴] مورد مقایسه قرار گرفته است. ذکر این نکته نیز ضروری است که جهت اجرا و پیاده‌سازی روش Consensus در کاربرد مکان‌یابی و ردیابی، ابتدا تابع هدف الگوریتم براساس معیارهای RSS و SPT بازنویسی شده تا قابل استفاده و مقایسه با دیگر روش‌های مورد بررسی باشد. با توجه به شرایط مساله ردیابی در این مقاله، محیط به صورت غیرایستاد است. کارآیی الگوریتم پیشنهادی در حضور چهار نوع سیگنال نویزی مقایسه شده است. شرایط نویز موجود در متغیرهای 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)^۲ جهت مشخص نمودن میزان نویز هر یک از متغیرهای 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 هر یک از این دو معیار به شدت انواع نویز مورد بررسی قرار گیرد: نسبت سیگنال به نویز برای (الف) هر دو متغیر RSS و SPT بالا، (ب) هر دو متغیر RSS و SPT پایین، (ج) متغیر RSS بالا و متغیر SPT پایین و (د) متغیر RSS پایین و متغیر SPT بالا. برای هر آزمایش متوسط ۱۰۰ تکرار هر الگوریتم گزارش شده

^۱ Mean Squared Deviation

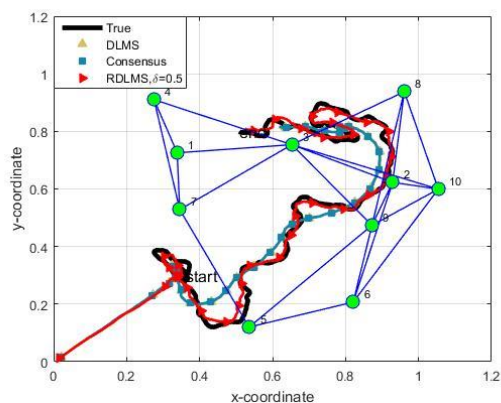
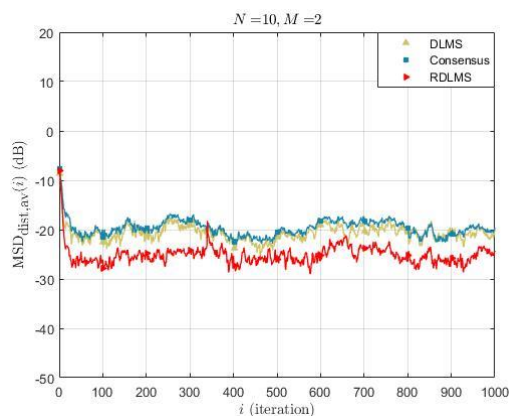
^۲ Signal-to-Noise Ratio



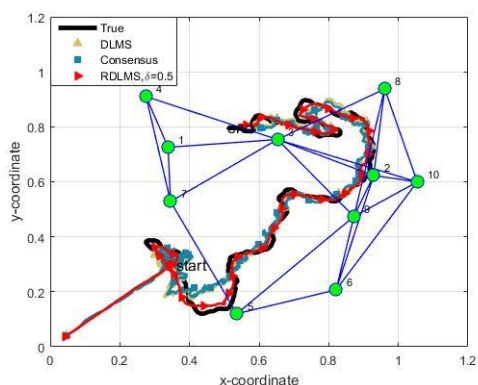
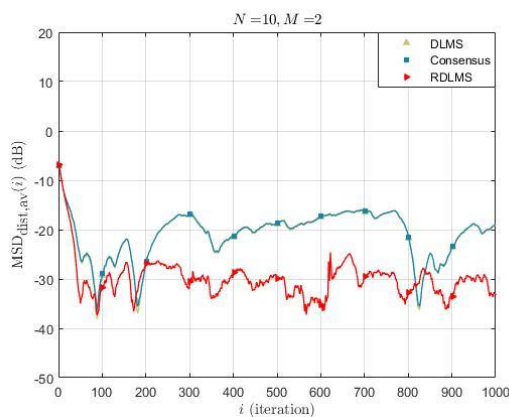
(الف)



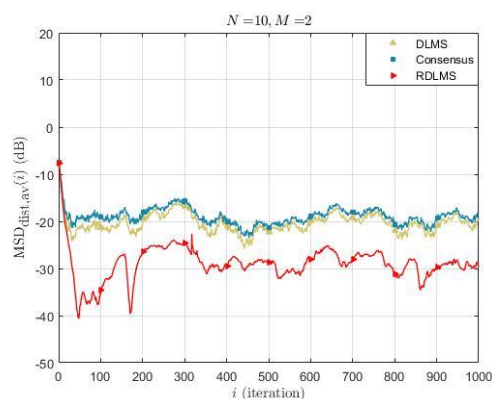
(ب)



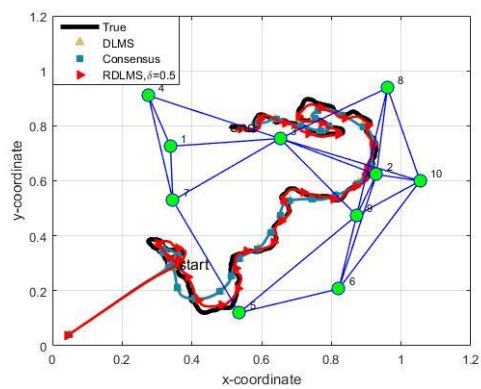
(ج)



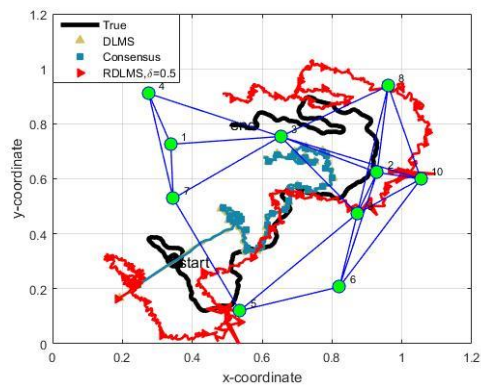
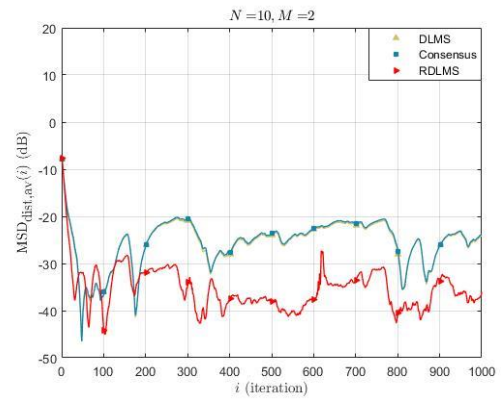
(د)



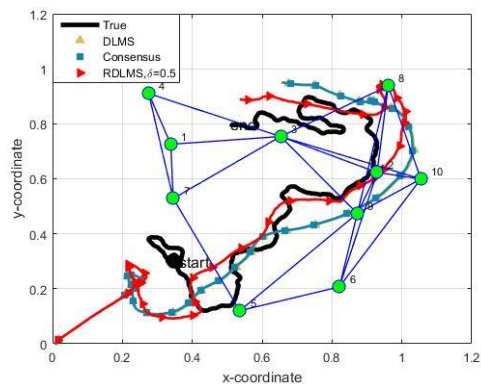
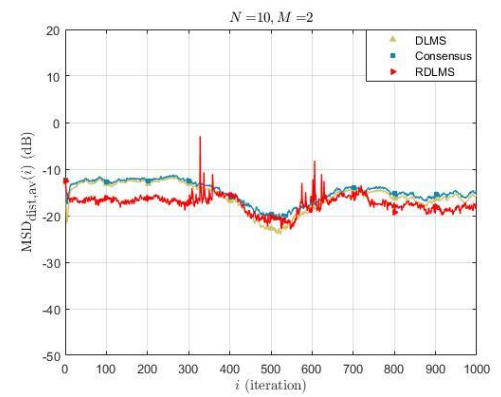
شکل (۶): نمودار MSD و ردیابی نویز گوسی برای الگوریتم‌ها با الف) SNR بالا برای هر دو متغیر RSS و SPT (ب) SNR پایین برای هر دو متغیر RSS و SPT (ج) SNR بالا برای RSS و SNR پایین برای SPT (د) SNR پایین برای RSS و SNR بالا برای SPT



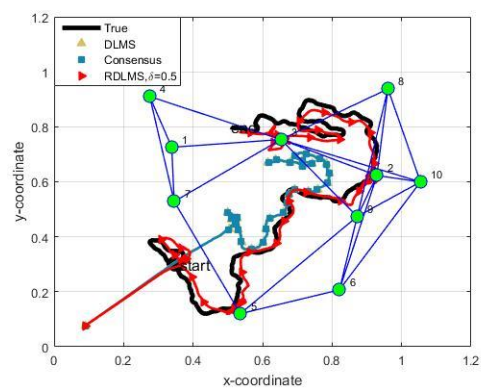
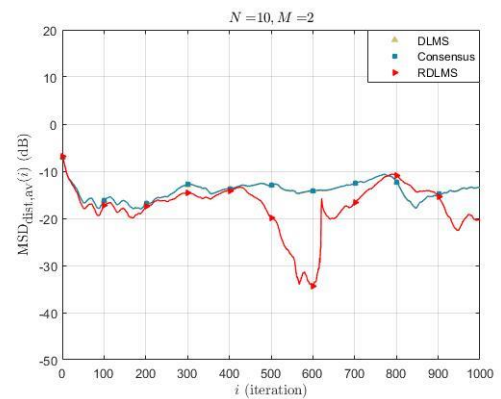
(الف)



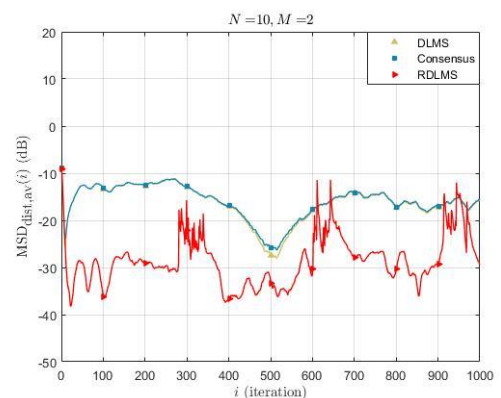
(ب)



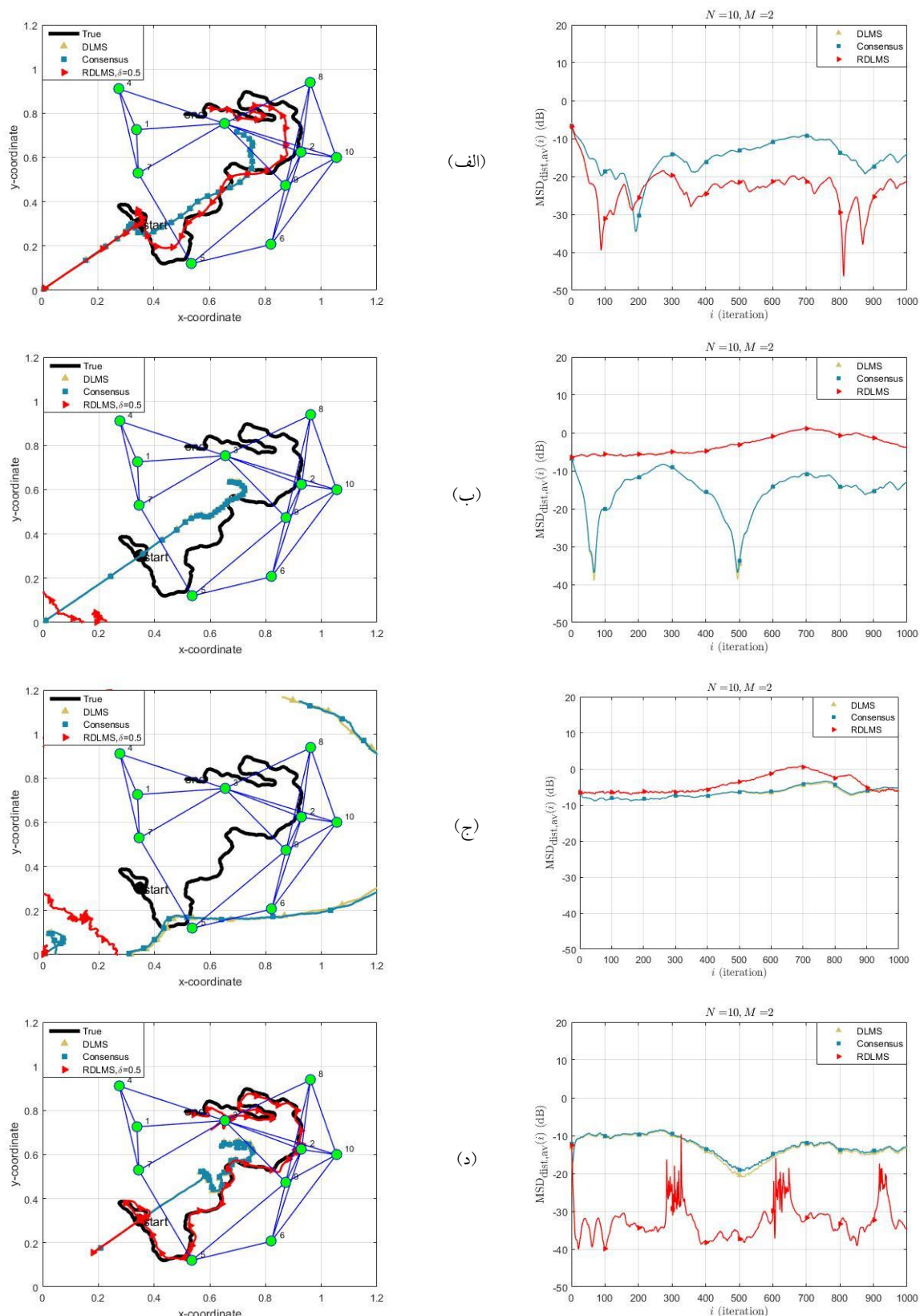
(ج)



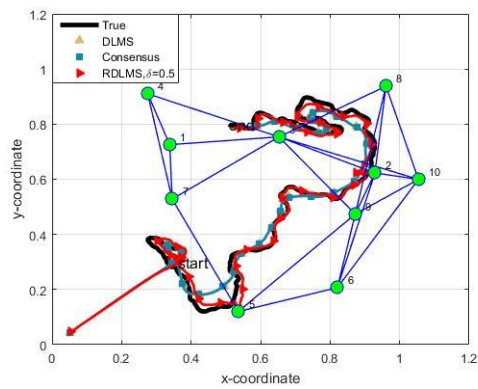
(د)



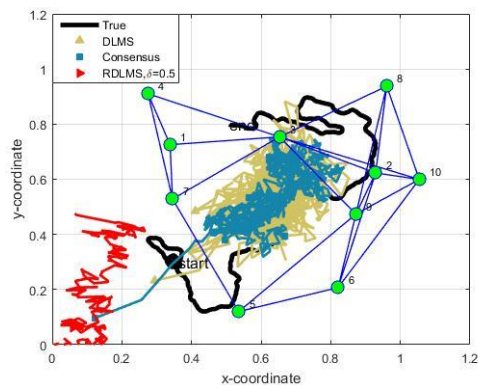
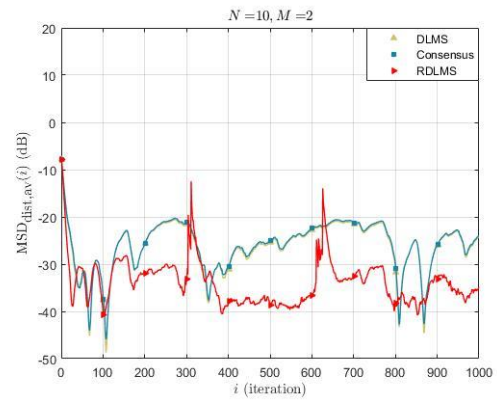
شکل (۷): نمودار MSD و ردیابی نویز چندگوسی برای الگوریتم‌ها با الف) SNR بالا برای هر دو متغیر RSS و SPT (ب) SNR پایین برای هر دو متغیر RSS و SPT (ج) با SNR بالا برای RSS و SNR پایین برای SPT (د) با SNR پایین برای RSS و SNR بالا برای SPT



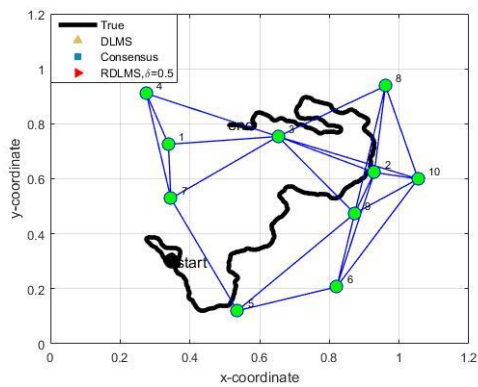
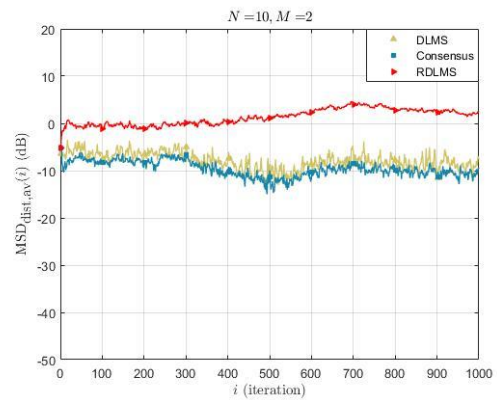
شکل (۸): نمودار MSD و ردیابی نویز یکنواخت برای الگوریتم‌ها با (الف) SNR بالا برای هر دو متغیر RSS و SPT (ب) SNR پایین برای هر دو متغیر RSS و SPT (ج) با SNR بالا برای RSS و SNR پایین برای SPT (د) با SNR پایین برای RSS و SNR بالا برای SPT



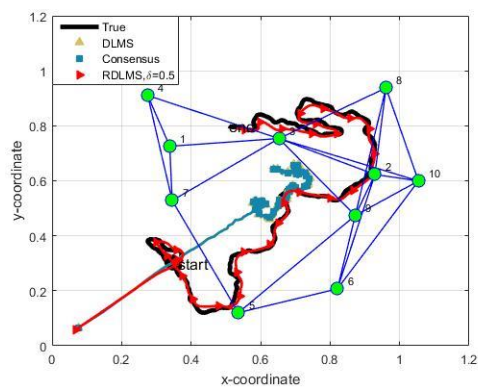
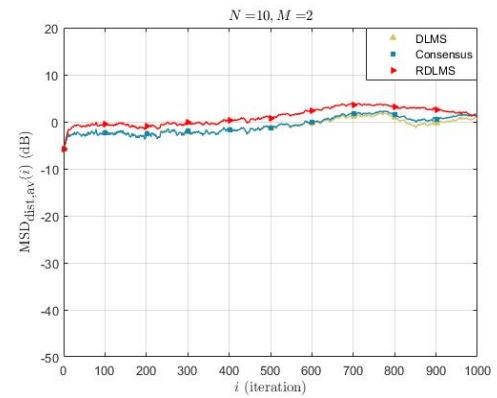
(الف)



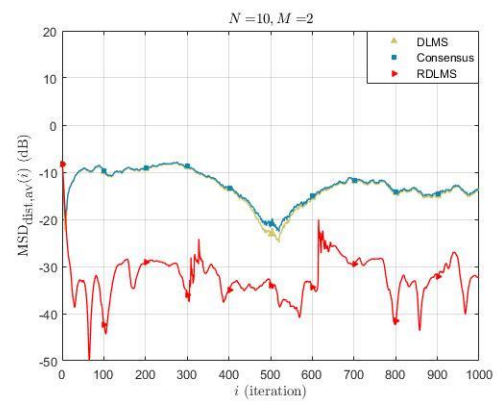
(ب)



(ج)



(د)



شکل (۹): نمودار MSD و ردیابی نویز ضربه‌ای برای الگوریتم‌ها با الف) SNR بالا برای هر دو متغیر RSS و SPT (ب) SNR پایین برای هر دو متغیر RSS و SPT (ج) SNR بالا برای RSS و SNR پایین برای SPT (د) SNR پایین برای RSS و SNR بالا برای SPT

۵. نتیجه‌گیری

پایین در سیگنال SPT بیشتر از سیگنال RSS است و چنانچه این سیگنال به مقدار زیادی آغشته به نویز باشد تاثیر نامطلوبی در تخمین جواب می‌گذارد. لذا در کارهای آتی می‌توان با اصلاح رفتار الگوریتم به کاهش تاثیر مخرب نویز شدید در متغیر SPT در تخمین موقعیت مکانی هدف، جهت الگوریتم پیشنهادی اقدام نمود. این بهبود می‌تواند با وفقی نمودن متغیرهای مساله 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، به دست آید.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می‌کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

در این مقاله روشی برای تخمین موقعیت و ردیابی اهداف (حسگرهای) 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 متغیر، تعریف شده و سپس با استفاده از روش گرادیان نزولی، روابط بروزسانی متغیر 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 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 با توجه به نتایج حاصل می‌توان گفت، حساسیت الگوریتم پیشنهادی به وجود نویز با SNR

مراجع

- [1] S. Doostali and M. Khalily-Dermany, "A multi-hop PSO based localization algorithm for wireless sensor networks," *Soft Comput. J.*, vol. 8, no. 1, pp. 58-69, 2019, doi: 10.22052/8.1.58 [In Persian].
- [2] M. Rezaeenejad, M. Rahiminasab, and S.A. Mousavi, "Energy Aware Routing in Wireless Sensor Networks Using Harmony Search Algorithm," *Soft Comput. J.*, vol. 1, no. 1, pp. 2-15, 2012, doi: 20.1001.1.23223707.1391.1.1.109.6 [In Persian].
- [3] R. Rafeh and M. Totonchy, "Proposing a Distributed Fault Detection Algorithm for Wireless Sensor Networks," *Soft Comput. J.*, vol. 2, no. 2, pp. 26-35, 2014, doi: 20.1001.1.23223707.1392.2.2.55.1 [In Persian].
- [4] C.G. Lopes and A.H. Seyed, "Diffusion Least-Mean Squares over Adaptive Networks: Formulation and Performance Analysis," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 56, no. 7-2, pp. 3122-3136, 2008, doi: 10.1109/TSP.2008.917383.
- [5] R. Abdoolee, S. Saur, B. Champagne, and A. H. Seyed, "Diffusion LMS localization and tracking algorithm for wireless cellular networks," in *IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. (ICASSP)*, Vancouver, BC, Canada, 2013, pp. 4598-4602, doi:

- 10.1109/ICASSP.2013.6638531.
- [6] S. Ashkezari-Toussi and H. Sadoghi-Yazdi, "Robust diffusion LMS over adaptive networks," *Signal Process.*, vol. 158, pp. 201-209, 2019, doi: 10.1016/j.sigpro.2019.01.004.
- [7] I.F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "Wireless sensor networks: a survey," *Comput. Networks*, vol. 38, no. 4, pp. 393-422, 2002, doi: 10.1016/S1389-1286(01)00302-4.
- [8] S. Tabatabaei, "An Energy Efficient Clustering Method using Bat Algorithm and Mobile Sink in Wireless Sensor Networks," *Soft Comput. J.*, vol. 8, no. 2, pp. 102-115, 2020, doi: 10.22052/8.2.102 [In Persian].
- [9] M. Khalily-Dermany, "A multiple criteria algorithm for planning the itinerary of mobile sink in wireless sensor networks," *Soft Comput. J.*, vol. 7, no. 2, pp. 74-83, 2019, dor: 20.1001.1.23223707.1397.7.2.6.7 [In Persian].
- [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, doi: 10.1109/COMST.2019.2911558.
- [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, doi: 10.1109/JSEN.2014.2356857.
- [12] J. Cota-Ruiz, J.-G. Rosiles, P. Rivas-Perea, and E. Sifuentes, "A Distributed Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks Based on the Solutions of Spatially-Constrained Local Problems," in *IEEE Sens. J.*, vol. 13, no. 6, pp. 2181-2191, June 2013, doi: 10.1109/JSEN.2013.2249660.
- [13] X. Qu and L. Xie, "An efficient convex constrained weighted least squares source localization algorithm based on TDOA measurements," *Signal Process.*, vol. 119, pp. 142-152, 2016, doi: 10.1016/j.sigpro.2015.08.001.
- [14] T. Jia, H. Wang, X. Shen, Z. Jiang, and K. He, "Target localization based on structured total least squares with hybrid TDOA-AOA measurements," *Signal Process.*, vol. 143, pp. 211-221, 2018, doi: 10.1016/j.sigpro.2017.09.011.
- [15] S. Tomic, M. Beko, and R. Dinis, "3-D target localization in wireless sensor networks using RSS and AoA measurements," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 66, no. 4, pp. 3197-3210, 2017, doi: 10.1109/TVT.2016.2589923.
- [16] J. Shi, G. Wang, and L. Jin, "Least squared relative error estimator for RSS based localization with unknown transmit power," *IEEE Signal Process. Lett.*, vol. 27, pp. 1165-1169, 2020, doi: 10.1109/LSP.2020.3005298.
- [17] W. Ding, Q. Zhong, Y. Wang, C. Guan, and B. Fang, "Target Localization in Wireless Sensor Networks Based on Received Signal Strength and Convex Relaxation," *Sensors*, vol. 22, no. 3, p. 733, 2022, doi: 10.3390/s22030733.
- [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, doi: 10.1109/MSP.2005.1458275.
- [19] L.L. de Oliveira, G.H. Eisenkraemer, E.A. Carara, J.B. Martins, and J. Monteiro, "Mobile Localization Techniques for Wireless Sensor Networks: Survey and Recommendations," *ACM Trans. Sens. Networks*, vol. 19, no. 2, pp. 1-39, 2023, doi: 10.1145/3561512.
- [20] S. Tomic, M. Beko, L.M. Camarinha-Matos, and L.B. Oliveira, "Distributed localization with complemented RSS and AOA measurements: Theory and Methods," *Appl. Sci.*, vol. 10, no. 1, p. 272, 2020, doi: 10.3390/app10010272.
- [21] P. Yadav and S.C. Sharma, "A Systematic Review of Localization in WSN: Machine Learning and Optimization-Based approaches," *Int. J. Commun. Syst.*, vol. 36, no. 4, 2023, doi: 10.1002/dac.5397.
- [22] X. Zhu, W.-P. Zhu, and B. Champagne, "Spectrum sensing based on fractional lower order moments for cognitive radios in α -stable distributed noise," *Signal Process.*, vol. 111, pp. 94-105, 2015, doi: 10.1016/j.sigpro.2014.12.022.
- [23] C. Soares and J. Gomes, "STRONG: Synchronous and asynchronous robust network localization, under non-Gaussian noise," *Signal Process.*, vol. 185, p. 108066, 2021, doi: 10.1016/j.sigpro.2021.108066.
- [24] S.A. Kassam, *Signal detection in non-Gaussian*

noise, Springer Science and Business Media, 1988,
doi: 10.1007/978-1-4612-3834-8.

- [25] 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, doi:
10.1109/TSP.2009.2016226.