

# تحلیل شعاع سنجش حس گرها برای رهگیری اهداف سریع در شبکه‌های حس گر بی سیم

محمد رضا ذوقی و محمد حسین کهای

گره‌های حس گر است. گره‌های حس گر به جای ارسال دیتای خام به گره‌های مسئول ترکیب داده (پردازش متمرکز)، از قابلیت‌های پردازشی خود برای انجام محاسبات ساده استفاده می‌کنند و تنها داده‌های مورد نیاز و تا اندازه‌ای پردازش شده را ارسال می‌نمایند (پردازش نامتمرکز). خصوصیات توصیف شده بالا، حوزه گسترده‌ای از کاربردهای شبکه‌های حس گر را فراهم می‌آورد. تعدادی از حوزه‌های کاربرد بهداشتی، نظامی و امنیتی است. رهگیری اهداف متحرک یکی از مهم‌ترین کاربردهای شبکه‌های حس گر در سیستم‌های نظامی و دفاعی است. هر چند در زمینه رهگیری هدف با استفاده از شبکه‌های حس گر همراه با گره‌های بزرگ مطالعات وسیعی صورت گرفته و الگوریتم‌های رهگیری به صورت توزیع شده در دسترس هستند [۲]، لیکن رهگیری در شبکه‌های ad hoc همراه با میکرو حس گرها، با چالش‌های مختلفی ناشی از محدودیت‌های مخابرات، پردازش و انرژی روبه‌رو است. برای مقابله با چالش‌های ذکر شده، در این مقاله راهکاری در دو بخش ارائه می‌گردد:

**پردازش نامتمرکز:** بدین معنی که هیچ پردازنده مرکزی وجود ندارد و داده‌ها به صورت محلی پردازش می‌شوند و تلفیق اطلاعات نیز به صورت محلی در هر گره بر مبنای مشاهدات و اطلاعات محلی مبادله شده از گره‌های محلی صورت می‌گیرد. برای یک سیستم ترکیب داده نامتمرکز، گره پردازش یک گره حس گر است که مشاهدات محلی را می‌گیرد و اطلاعات را با گره‌های دیگر به اشتراک می‌گذارد. سپس اطلاعات مبادله شده تلفیق شده و تخمینی محلی صورت می‌گیرد. مزیت روش انتخاب شده در رفع چالش‌های ذکر شده و اهدافی که دنبال می‌کنیم در این است که چون هیچ پردازنده مرکزی وجود ندارد در نتیجه تحمل خرابی سیستم بالا می‌رود؛ همچنین با انجام پردازش محلی در هر گره از ارسال داده‌های خام جلوگیری شده و در مبادله اطلاعات و مصرف انرژی صرفه‌جویی به عمل می‌آید. ولی از سوی دیگر، تلفیق نامتمرکز باعث محدودیت‌هایی می‌شود که ناشی از ارتباط کامل گره‌ها به یکدیگر است. از جمله این محدودیت‌ها تبادل اطلاعات زاید و افزایش تعداد ارتباطات با گسترش شبکه است که باعث می‌شود هم مصرف انرژی بالا رود و هم گسترش‌پذیری شبکه با مشکل مواجه شود. در نتیجه برای رفع این محدودیت‌ها پیشنهاد مدیریت منابع را می‌دهیم.

**مدیریت انتخاب حس گرها:** شبکه‌های حس گر معمولاً می‌خواهند برای دوره طولانی از زمان، همچون ماه‌ها یا حتی سال‌ها دوام بیاورند. با این وجود به خاطر انرژی محدود در دسترس، اگر یک حس گر به صورت دائمی فعال باشد، انرژی‌اش به سرعت تخلیه شده و به زوال خواهد انجامید. تحقق چنین شبکه‌ای از حس گرها با طول عمر قابل توجه بستگی به آگاهی از مصرف انرژی در شبکه دارد [۳]. چنین سیستمی نیازمند یک مدیر حس گر است که بتواند تعیین کند که (۱) چه گره و حس گرهایی باید فعال باشند، (۲) چه داده‌هایی باید بین گره‌ها مبادله گردد و (۳) چه الگوریتم‌هایی باید توسط گره‌ها برای تلفیق اطلاعات و استخراج

چکیده: در شبکه‌های حس گر بی سیم با توجه به آرایش متراکم حس گرها و مسأله افزونگی اطلاعات، نیازی به فعال بودن تمام حس گرها در هر لحظه نیست. در این مقاله، به دنبال انتخاب مجموعه‌ای از حس گرهای فعال هستیم که اولاً انرژی مصرفی در شبکه کنترل گردد و ثانیاً خطای رهگیری یک هدف متحرک از حداکثر مقدار مجازی تجاوز ننماید. بدین منظور تابع هزینه‌ای بر مبنای همبستگی مکانی تعریف شده، از الگوریتم Spatial-Split بر مبنای ویژگی‌های دو پارامتر مؤثر در همبستگی مکانی جهت انتخاب حس گرها و از روش تخمین نامتمرکز بر مبنای فیلتر اطلاعات توسعه یافته برای رهگیری هدف استفاده می‌شود. در ادامه اثر سرعت هدف در انتخاب حس گرهای فعال و رهگیری هدف بررسی شده و سپس راه حلی برای کاهش خطای رهگیری بر مبنای افزایش میزان همبستگی ناحیه سنجش واقعی و ناحیه سنجش تخمینی پیشنهاد می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که دقت رهگیری نه تنها قابل مقایسه با روش‌های تخمین بهینه است، بلکه از سایر الگوریتم‌های انتخاب حس گر خطای رهگیری کمتری دارد. در عین این که با انتخاب تعداد محدودی از حس گرهای انرژی مصرفی شبکه نیز کاهش می‌یابد.

کلید واژه: شبکه‌های حس گر بی سیم، رهگیری هدف سریع، همبستگی مکانی.

## ۱- مقدمه

پیشرفت‌های تکنولوژیکی در سیستم‌های میکروالکترومکانیکی (MEMS) [۱] و مخابرات بی سیم توانایی گسترش شبکه‌های حس گر بی سیم را فراهم نموده‌اند که امکان سنجش در مکان و زمان را که بهتر از روش‌های سنتی سنجش هستند، فراهم می‌آورند. شبکه‌های حس گر بی سیم سیستم‌های بر مبنای رخداد می‌باشند که متکی بر تلاش جمعی چندین گره متراکم از میکرو حس گرها به طور دائمی پدیده فیزیکی را مشاهده می‌نمایند. یک شبکه حس گر ترکیبی از تعداد زیادی گره‌های حس گر است که به صورت متراکم در درون پدیده یا خیلی نزدیک به آن پیاده می‌شوند. لازم نیست موقعیت حس گرها طراحی شده یا از قبل معلوم باشد. این امر اجازه آرایش تصادفی را در نواحی غیر قابل دسترسی یا در عملیات امداد حوادث فراهم می‌آورد. از سوی دیگر این بدین معنی است که پروتکل‌ها و الگوریتم‌های شبکه حس گر باید قابلیت خود-سازماندهی<sup>۲</sup> داشته باشند. مشخصه منحصر به فرد شبکه‌های حس گر فعالیت مشارکتی<sup>۳</sup>

این مقاله در تاریخ ۱۸ اردیبهشت ماه ۱۳۸۷ دریافت و در تاریخ ۴ مهر ماه ۱۳۸۸ بازنگری شد. این تحقیق توسط مرکز تحقیقات مخابرات ایران پشتیبانی شده است. محمد رضا ذوقی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: mrzoghi@iust.ac.ir)

محمد حسین کهای، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، (email: kahaei@iust.ac.ir)

1. Wireless Sensor Networks
2. Self-Organizing
3. Cooperative

مستقیم حالت و کواریانس‌های متناظرشان است. همچنین این فیلتر به فرم کواریانس معکوس فیلتر کالمن هم شناخته می‌شود. هرچند این فیلتر از لحاظ جبری معادل فیلتر کالمن است، لیکن نشان داده شده است که در کاربردهای تلفیق داده چندحس‌گری مزایایی نسبت به فیلتر کالمن دارد. این مزایا شامل کاهش محاسبات، فرایند مقداردهی اولیه آسان و کاهش پیچیدگی است. به‌ویژه این که این خصوصیات، فیلتر اطلاعات را برای تفکیک بین اجزای نامتمرکزسازی<sup>۵</sup> و توزیع کردن<sup>۶</sup> اجزای یک سیستم آسان‌تر می‌سازد. اینها مشخصه‌های مهم فیلتر در تلفیق چندحس‌گری داده هستند که استفاده از تخمین فضای اطلاعات را در این مقاله توجیه می‌نمایند. سیستم خطی در فضای حالت به صورت زیر مدل می‌شود [۱۵]

$$x(t) = F(t)x(t-1) + G(t)v(t) \quad (۱)$$

که در آن  $x(t)$  بردار حالت مورد نظر در زمان  $t$ ،  $F(t)$  ماتریس انتقال حالت از زمان  $t-1$  به  $t$  و  $v(t)$  بردار نویز فرایند جمع‌شونده را بیان می‌کند. معادله مشاهدات سیستم در حالت گسسته خطی نیز به صورت زیر است

$$z(t) = H(t)x(t) + w(t) \quad (۲)$$

که در آن  $z(t)$  بردار مشاهدات در زمان  $t$ ،  $H(t)$  مدل یا ماتریس مشاهدات خطی و  $w(t) \sim N(0, R(t))$  نویز مشاهدات است که به صورت دنباله‌ای ناهمبسته با متوسط صفر و سفید مدل می‌شود.  $R(t)$  ماتریس کواریانس نویز مشاهدات است. تخمین حالت  $x(i)$  در زمان  $i$  با استفاده از اطلاعات تا زمان  $j$  عبارت است از

$$\hat{x}(i|j) = E[x(i)|z(1), \dots, z(j)] \quad (۳)$$

این تخمین شرطی، تخمین حداقل متوسط مربع خطا است و کواریانس متناظرش عبارتست از

$$P(i|j) = E[(x(i) - \hat{x}(i|j))(x(i) - \hat{x}(i|j))^T | z(1), \dots, z(j)] \quad (۴)$$

دو متغیر کلیدی تحلیلی اطلاعات ماتریس اطلاعات و بردار حالت اطلاعات هستند که ماتریس حالت، معکوس ماتریس کواریانس است

$$Y(t|t') \triangleq P^{-1}(t|t') \quad (۵)$$

بردار حالت اطلاعات حاصل ماتریس اطلاعات و بردار تخمین حالت است

$$\hat{y}(t|t') \triangleq P^{-1}(t|t')\hat{x}(t|t') = Y(t|t')\hat{x}(t|t') \quad (۶)$$

اکنون فیلتر کالمن خطی را می‌توان بر حسب بردار حالت اطلاعات و ماتریس اطلاعات نوشت:

پیش‌بینی:

$$\hat{y}(t|t-1) = L(t|t-1)\hat{y}(t-1|t-1) \quad (۷)$$

$$Y(t|t-1) = [F(t)Y^{-1}(t-1|t-1)F^T(t) + G(t)Q(t)G^T(t)]^{-1} \quad (۸)$$

تخمین:

$$\hat{y}(t|t) = \hat{y}(t|t-1) + i(t) \quad (۹)$$

$$Y(t|t) = Y(t|t-1) + I(t) \quad (۱۰)$$

5. Decouple
6. Decentralize
7. Distribute

مشخصه‌ها فراخوانده شوند. الگوریتم‌های مختلفی در زمینه انتخاب حس‌گرهای فعال ارائه شده است. برای مثال انتخاب حس‌گرها می‌تواند بر مبنای نزدیکی آنها به هدف [۴]، میزان اطلاعات حس‌گرها [۵]، یا در الگوریتم‌های  $INS^1$  [۶]،  $M-INS^2$  [۷] و  $Spatial-Split$  [۸] بر مبنای همبستگی مکانی حس‌گرها صورت گیرد. با توجه به محدودیت مهم توان در شبکه‌های حس‌گر که مانع از استفاده از برد ارسال بلند می‌شود، به‌همراه قیمت پایین حس‌گرها، لازم است حس‌گرها آرایش متراکمی داشته باشند. در نتیجه انتظار می‌رود که همبستگی مکانی زیاد در داده‌های شبکه حس‌گر پارامتر مناسبی برای استفاده در مسأله مدیریت انتخاب حس‌گرها باشد. الگوریتم‌های بسیاری برای بیان این همبستگی و استفاده از آن پیشنهاد شده‌اند. برای مثال، همبستگی مکانی در الگوریتم‌های تراکم<sup>۳</sup> داده و مسیریابی [۹]، ذخیره و بازیابی<sup>۴</sup> اطلاعات [۱۰]، انتخاب حس‌گر [۱۱]، طراحی پروتکل MAC [۱۲]، کدینگ و فشرده‌سازی اطلاعات [۱۳] و کالیبره کردن [۱۴] به‌کار برده شده است.

در این مقاله از روش تخمین نامتمرکز برای رهگیری هدف و از الگوریتم  $Spatial-Split$  [۸] بر مبنای همبستگی مکانی حس‌گرها برای یافتن تعداد حس‌گرهای فعال در هر لحظه استفاده می‌نماییم. در الگوریتم  $Spatial-Split$  ناحیه سنجش یا ناحیه‌ای که در آن حس‌گرها می‌توانند برای انتخاب به‌عنوان حس‌گر فعال نامزد شوند به مرکزیت مکان تخمینی هدف و شعاع ۵۰ متر تعریف شده است که در حقیقت تخمینی از ناحیه سنجش واقعی است و برای سرعت‌های پایین که این دو ناحیه همپوشانی کافی دارند مناسب است. لیکن برای هدف سرعت بالا، خطای تخمین ناحیه سنجش واقعی افزایش یافته و در نتیجه به‌علت انتخاب حس‌گرهای فعال در خارج از حوزه سنجش خطای رهگیری تشدید می‌شود. بنابراین در این مقاله، ضمن بررسی اثر سرعت بر الگوریتم  $Spatial-Split$  راه حلی پیشنهاد می‌گردد که در آن با اصلاح شعاع سنجش، همپوشانی دو ناحیه سنجش تخمینی و واقعی را افزایش دهد.

ساختار مقاله بدین صورت است که در بخش ۲ الگوریتم تخمین تماماً نامتمرکز را برای رهگیری یک هدف معرفی می‌نماییم. بخش ۳ انتخاب حس‌گرها بر مبنای همبستگی مکانی را بیان نموده و بررسی اثر سرعت هدف و راه حل پیشنهادی برای بهبود الگوریتم  $Spatial-Split$  را در بخش ۴ ارائه می‌کنیم. نتایج شبیه‌سازی در بخش ۵ آمده است. نهایتاً در بخش ۶ به نتیجه‌گیری می‌پردازیم.

## ۲- تخمین نامتمرکز در سیستم‌های دینامیک

تخمین نامتمرکز مزایایی چند از قبیل مدولاریتی، قابلیت باززیستی و مقاوم‌بودن، انعطاف‌پذیری و گسترش‌پذیری را دارا می‌باشد. این الگوریتم‌ها که در ادامه به‌طور خلاصه بیان می‌شوند، بر مبنای روش‌های تخمین در فضای اطلاعات به‌جای فضای حالت [۱۵] استوار هستند. همچنین برای رهگیری هدف از مدل حرکت غیر خطی استفاده می‌شود.

### ۲-۱ فیلتر اطلاعات

فیلتر اطلاعات اساساً یک فیلتر کالمن [۱۶] بیان شده بر حسب اندازه‌های اطلاعات پارامترهای (حالت) مورد علاقه به‌جای تخمین

1. Iterative Node Selection
2. Modified INS
3. Aggregation
4. Querying

پیش‌بینی:

$$\hat{y}_s(t|t-1) = Y_s(t|t-1)f(t, \hat{x}_s(t-1|t-1)) \quad (17)$$

$$Y_s(t|t-1) = [\nabla f(t)Y_s^{-1}(t-1|t-1)\nabla f^T(t) + G(t)Q(t)G^T(t)]^{-1} \quad (18)$$

تخمین:

$$\hat{y}_s(t|t) = \hat{y}_s(t|t-1) + \sum_{j=1}^S i_j(t) \quad (19)$$

$$Y_s(t|t) = Y_s(t|t-1) + \sum_{j=1}^S I_j(t) \quad (20)$$

که در آن  $\nabla f$ ، ژاکوبین تابع غیر خطی  $f$  می‌باشد. همچنین ماتریس اطلاعات مربوطه و سهم اطلاعات حالت از مشاهدات محلی به ترتیب به صورت زیر قابل بیان هستند

$$I_j(t) = \nabla h^T(t)R_j^{-1}\nabla h(t) \quad (21)$$

$$i_j(t) = \nabla h^T(t)R_j^{-1}(t)[v_j(t) + \nabla h(t)\hat{x}_j(t|t-1)] \quad (22)$$

که در آن  $\nabla h$ ، ژاکوبین تابع  $h$  است و نهایتاً بردار  $v_j(t)$  نیز به صورت زیر بیان می‌شود

$$v_j(t) = z_j(t) - h_j(\hat{x}_j(t|t-1)) \quad (23)$$

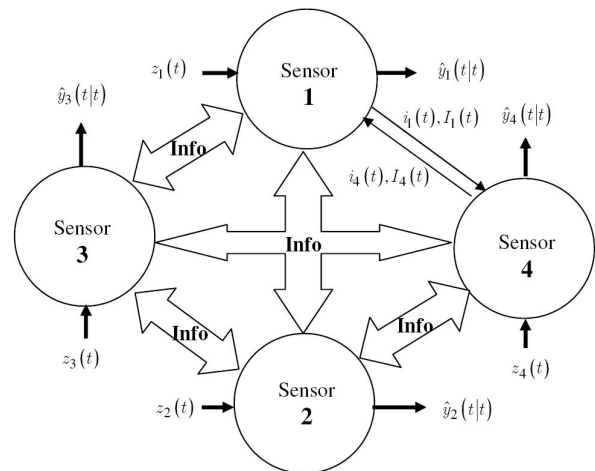
بدین ترتیب الگوریتم DEIF که امکان تحقق تخمین نامتمرکز را می‌دهد، کامل می‌گردد. شکل ۱ شبکه‌ای از ۴ حس گر را همراه با ارتباط کامل بین حس گرها نشان می‌دهد. همچنان که تعداد حس گرها در شبکه افزایش می‌یابد، با مشکلاتی در زمینه ارتباطات، محاسبات و محدودیت‌های سخت‌افزاری مواجه می‌شویم. در بخش بعد با استفاده از راهکار انتخاب حس گرهای فعال بر اساس همبستگی مکانی آنها تلاش می‌شود تا این محدودیت‌ها کاهش یابند.

### ۳- انتخاب حس گرها

یکی از اهداف اصلی بسیاری از شبکه‌های حس گر فراهم‌نمودن اطلاعات دقیق در مورد ناحیه سنجش برای مدت زمانی طولانی است. این کار ممکن است به وسیله جمع‌آوری اطلاعات بیشتر از تعداد زیادتری از حس گرها صورت گیرد. هر چند به خاطر محدودیت‌های شبکه‌های تمام‌متصل<sup>۲</sup> و همچنین تمایل ما در افزایش طول عمر شبکه، باید تعداد حس گرهای فعال را حداقل نمود. یافتن راه حل میانی برای این دو هدف متقابل انگیزه‌ای برای تحقیقات بیشتر روی روش‌های انتخاب حس گر شده است. در این بخش از همبستگی مکانی بین حس گرها برای انتخاب مجموعه‌ای از آنها در هر لحظه استفاده می‌نماییم به طوری که خطای رهگیری از حداکثر اعوجاج مجاز کمتر باشد.

#### ۳-۱ همبستگی مکانی

کاربردهای مرسوم WSN به منظور دستیابی به پوشش رضایت‌بخش، نیازمند آرایش مکانی متراکمی از حس گرها هستند [۱۸]. در نتیجه، چندین حسگر اطلاعات مربوط به یک رخداد را ثبت می‌نمایند. به خاطر تراکم بالا در توپولوژی شبکه، مشاهدات حس گرهای نزدیک به هم شدیداً همبسته‌اند که این همبستگی با کاهش فاصله افزایش می‌یابد.



شکل ۱: مثالی از فیلتر اطلاعات نامتمرکز که در آن ۴ حس گر با یکدیگر مبادله اطلاعات دارند.

که در آن ضریب انتشار اطلاعات  $L(t|t-1)$  مستقل از مشاهدات ساخته می‌شود و  $i(t)$  سهم اطلاعات حالت از مشاهده  $z(t)$ ، و  $I(t)$  ماتریس اطلاعات متناظر آن به صورت زیر تعریف می‌شوند

$$L(t|t-1) = Y(t|t-1)F(t)Y^{-1}(t-1|t-1) \quad (11)$$

$$i(t) \triangleq H^T(t)R^{-1}(t)z(t) \quad (12)$$

$$I(t) \triangleq H^T(t)R^{-1}(t)H(t) \quad (13)$$

### ۲-۲ فیلتر اطلاعات توسعه‌داده نامتمرکز<sup>۱</sup> (DEIF)

فیلتر اطلاعات قابل توسعه به الگوریتم تخمین خطی شده [۱۷] برای سیستم‌های غیر خطی است. این امر منجر به یک فیلتر، فیلتر اطلاعات بسط‌یافته [۱۵]، می‌شود که اطلاعات پارامترهای حالت غیر خطی را از مشاهدات غیر خطی و سیستم غیر خطی پیش‌بینی نموده و تخمین می‌زند. چنین سیستم غیر خطی به وسیله معادله انتقال حالت گسسته زمان به شکل زیر توصیف می‌شود

$$x(t) = f[x(t-1), t] + G(t)v(t) \quad (14)$$

در حالی که مشاهدات بر طبق معادله حالت زیر ساخته می‌شوند

$$z(t) = h[x(t), t] + w(t) \quad (15)$$

که در آن  $f(\cdot)$  و  $h(\cdot)$  به ترتیب تابع انتقال حالت و مدل مشاهدات غیر خطی هستند. EIF چندین مشخصه عملی جذاب دارد: معادلاتی که آسان‌تر تفکیک و غیر متمرکز می‌شوند، مقداردهی اولیه آسان‌تر فیلتر، کارایی محاسباتی، و قابلیت به کار بردن برای هر دو معادلات دینامیکی و مشاهدات. با نامتمرکزسازی EIF و توزیع مدل، فیلتر اطلاعات بسط داده شده نامتمرکز حاصل می‌شود. نقطه شروع در ایجاد الگوریتم‌های تخمین نامتمرکز تفکیک مدل مشاهده و معادلات مشاهده متناظر برای ارائه مشاهده‌کننده نامتمرکز است. شبکه‌ای دارای  $S$  حس گر به همراه مدل مشاهده مرکب در نظر گرفته می‌شود. بردار مشاهده  $z(t)$  به  $S$  زیر بردار با ابعاد  $S_i$  متناظر با مشاهدات انجام‌شده به وسیله هر حس گر مجزا تفکیک می‌شود

$$z(t) = [z_1^T(t), \dots, z_S^T(t)]^T \quad (16)$$

خلاصه الگوریتم DEIF به صورت زیر طرح‌ریزی می‌شود [۱۵]:

فاصله دور از منبع رخداد منجر به مشاهدات غیر دقیق و در نتیجه اعوجاج بالاتر می‌شود.

۲) ضریب همبستگی بین هر حس گر  $n_i$  با حس گر  $n_j$ ،  $\rho_{i,j}$ ، روی تابع اعوجاج اثر مثبت دارد. همچنان که فاصله بین حس گرهای افزایش می‌یابد، اعوجاج کاهش پیدا می‌کند. چون حس گرهای دور از یکدیگر داده‌های همبسته کمتری مشاهده می‌نمایند، بنابراین اگر این حس گرها انتخاب شوند اعوجاج کاهش می‌یابد.

در [۱۲] از همبستگی مکانی برای تحقق پروتکل‌های کنترل دستیابی محیط بهینه از نظر انرژی و انتقال مطمئن اطلاعات رخداد در شبکه WSN استفاده شده است. بر این اساس به‌خاطر همبستگی مکانی بین مشاهدات حس گرها، با انتخاب تعدادی گره از میان گره‌های حاضر در حوزه رخداد، بدون تنزل اعوجاج از حد قابل تحمل می‌توان انرژی را ذخیره نمود. در نتیجه مهم یافتن تعداد گره‌هایی است که بتوانند حد اعوجاج را نگهدارند. این تعداد حداقل را می‌توان طبق (۲۷) به‌دست آورد

$$M^* = \arg \min_M \{D(M) < D_{\max}\} \quad (27)$$

که در آن  $D_{\max}$  حداکثر اعوجاج مجاز می‌باشد. نکته حائز اهمیت این است که این تعداد حداقل گره‌ها،  $M^*$ ، به مکان گره‌ها وابسته است.

### ۳-۲ الگوریتم Spatial-Split برای انتخاب حس گرهای فعال

نکته حائز اهمیت روش حل (۲۷) یا به‌عبارت دیگر جستجو برای یافتن بهترین ترکیب حس گرها از میان مجموعه حس گرهای موجود در حوزه سنش است. ساده‌ترین روش، روش جستجوی جامع است که در آن کل ترکیب‌های ممکن مورد بررسی قرار می‌گیرند. به‌عبارت دیگر اگر  $N_s$  کل حس گرهای موجود در حوزه سنش و  $N_a$  تعداد حس گرهای فعال باشند، تعداد ترکیب‌های  $N_a$  تایی برابر است با

$$N = \frac{N_s!}{N_a!(N_s - N_a)!} \quad (28)$$

بر این اساس روش جستجوی جامع برای  $N$  های کوچک قابل استفاده است و با بزرگ شدن  $N$  این روش غیر عملی می‌شود. بنابراین باید به دنبال روش‌های زیربینه برای حل تابع اعوجاج باشیم.

هدف ما در این بخش ارائه روش جستجویی در دو مرحله بر اساس ویژگی‌های ضرایب همبستگی  $\rho_{i,j}$  و  $\rho_{s,j}$  ذکر شده در بخش ۳ می‌باشد. بنابراین اگر ناحیه سنش را به‌صورت دایره‌ای به مرکز مختصات تخمینی هدف و به شعاع حداکثر برد سنش در نظر بگیریم، در مرحله اول با توجه اثر منفی  $\rho_{i,j}$  بر روی تابع اعوجاج و کاهش یافتن اعوجاج با انتخاب حس گرهای دور از یکدیگر، فضای ۳۶۰ درجه‌ای حوزه سنش را به برش‌هایی به تعداد حس گرهایی که باید انتخاب شوند تقسیم می‌نماییم. در مرحله دوم، با توجه به اثر مثبت  $\rho_{s,j}$  بر روی تابع اعوجاج و افزایش یافتن اعوجاج با انتخاب حس گرهای دور از هدف، از میان حس گرهای موجود در هر برش ایجادشده در مرحله قبل، نزدیک‌ترین حس گر به میانگین مکانی مجموعه حس گرهای هر برش را انتخاب می‌نماییم. شکل ۲ مثالی از اجرای این دو مرحله جستجو را نشان می‌دهد.

در ادامه، (۲۷) را با مجموعه حس گرهای انتخاب‌شده بررسی نموده و در صورتی که اعوجاج حاصل، از حداکثر اعوجاج مجاز کمتر باشد مسأله انتخاب حس گرها را متوقف و در غیر این صورت تعداد حس گرها را اضافه کرده و دو مرحله قبل را تکرار می‌نماییم. این روش را "Spatial-Split" می‌نامیم [۸]. مراحل الگوریتم به‌طور خلاصه در زیر بیان می‌شوند:

همبستگی مکانی منجر به افزونگی<sup>۱</sup> در اطلاعات رخداد مورد نظر می‌شود. هرچند ما علاقه‌مند به تخمین هدف،  $S$ ، با محدوده اعوجاج<sup>۲</sup> مشخص هستیم، لیکن این حد از اعوجاج با استفاده از تعداد کمتری از گره‌های حس گر نسبت به کل حس گرها در حوزه رخداد نیز قابل حصول است. در [۱۲] از همبستگی مکانی و زمانی برای تحقق پروتکل‌های کنترل دستیابی محیط<sup>۳</sup> بهینه از نظر انرژی و انتقال مطمئن اطلاعات رخداد در شبکه WSN استفاده شده است. بر این اساس، به‌خاطر همبستگی مکانی بین مشاهدات حس گرها، با انتخاب تعدادی گره از میان گره‌های حاضر در حوزه رخداد، بدون تنزل اعوجاج از حد قابل تحمل می‌توان انرژی را ذخیره نمود. واضح است که کاهش تعداد گره‌هایی که اطلاعات را ارسال می‌نمایند باعث کاهش رقابت در دسترسی به محیط بی‌سیم شده و در نتیجه مصرف انرژی را کاهش می‌دهد.

به‌منظور تعریف تابع هزینه‌ای با استفاده از همبستگی مکانی بین حس گرها فرض می‌کنیم که تنها  $M$  تا از کل  $N$  حس گر موجود در حوزه رخداد به‌کار گرفته شوند. در نتیجه اعوجاج صورت‌گرفته به‌صورت زیر قابل بیان است

$$D(M) = E[(S - \hat{S}(M))^2] \quad (29)$$

که در آن  $\hat{S}(M)$  تخمین رخداد با استفاده از  $M$  حس گر می‌باشد. معیار ما در اندازه‌گیری اعوجاج،  $D$ ، MSE می‌باشد. مرجع [۱۲] در بررسی تابع اعوجاج با استفاده از همبستگی مکانی دو نوع همبستگی مکانی تعریف نموده است: همبستگی بین اطلاعات مشاهده‌شده گره حس گر  $i$  و هر یک از گره‌های حس گر دیگر  $j$ ،  $\rho_{i,j}$ ، و همبستگی بین گره حس گر  $i$  و پدیده فیزیکی مورد مشاهده،  $\rho_{s,j}$ . فرض می‌شود که تابع همبستگی غیر منفی و به‌صورت یکنواخت بر حسب فاصله  $d = \|s_i - s_j\|$ ، با مقادیر محدودکننده یک در  $d = 0$  و صفر در  $d = \infty$  کاهش بیابد. مدل استفاده‌شده برای همبستگی مکانی در [۱۲] نمایی می‌باشد که به‌صورت زیر قابل بیان است:

$$\rho_{ij}^{PE}(d) = e^{\frac{-d}{\theta_1}} \theta_2, \quad \theta_1 > 0, \theta_2 \in (0, 2] \quad (30)$$

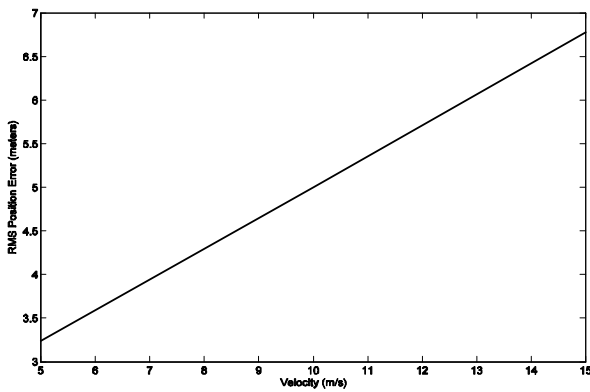
برای  $\theta_1 = 1$  مدل نمایی و برای  $\theta_2 = 2$  نمایی مربع می‌شود. سرانجام رابطه‌ای که برای تابع اعوجاج به‌دست می‌آید به‌صورت زیر قابل بیان است

$$D(M) = \sigma_s^2 - \frac{\sigma_s^2}{M(\sigma_s^2 + \sigma_N^2)} \left( 2 \sum_{i=1}^M \rho_{s,i} - 1 \right) + \frac{\sigma_s^2}{M^2(\sigma_s^2 + \sigma_N^2)^2} \sum_{i=1}^M \sum_{j \neq i}^M \rho_{i,j} \quad (31)$$

که در آن  $\sigma_s^2$  و  $\sigma_N^2$  به‌ترتیب واریانس پدیده مورد مشاهده و نویز مشاهدات می‌باشند. بر مبنای (۲۶) به‌غیر از تعداد حس گرها، دو فاکتور دیگر نیز روی اعوجاج اثر می‌گذارند:

۱) ضریب همبستگی بین هر حس گر  $n_i$  و منبع رخداد  $S$ ،  $\rho_{s,j}$ ، اثر منفی روی تابع اعوجاج دارد. با افزایش فاصله بین حس گر  $n_i$  و منبع  $S$ ، اعوجاج نیز افزایش می‌یابد. بنابراین انتخاب حس گری با

1. Redundancy
۲. معیار در اندازه‌گیری اعوجاج، متوسط مربع خطا (MSE) می‌باشد.
3. Medium Access Control
4. Power Exponential

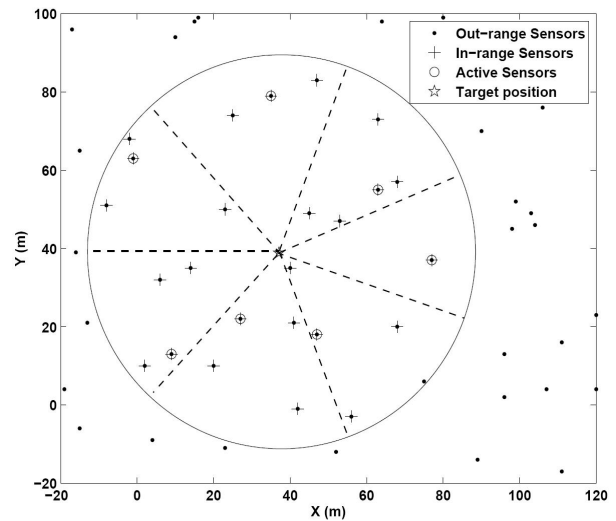


شکل ۴: نمودار تغییرات خطای تخمین موقعیت نسبت به سرعت هدف.

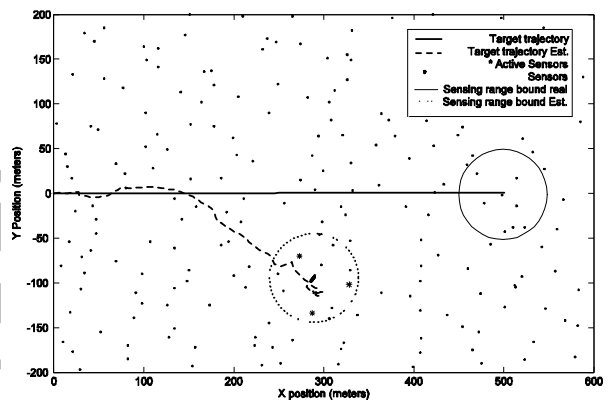
سنجش تخمینی و ناحیه سنجش واقعی همپوشانی کافی دارند. در نتیجه حس گرهایی که به‌عنوان حس گرهای فعال انتخاب می‌گردند چون در برد سنجش قرار دارند امکان سنجش برایشان فراهم می‌باشد. اما موقعی که سرعت هدف زیاد باشد خطای تخمین موقعیت هدف نیز بیشتر شده و در نتیجه با دور شدن مرکزیت ناحیه سنجش تخمینی از ناحیه سنجش واقعی میزان همپوشانی این دو ناحیه کاهش می‌یابد. در نتیجه ممکن است حس گرهایی از مجموعه حس گرهای فعال انتخاب شده در برد واقعی سنجش قرار نداشته باشند. این مسأله باعث تشدید خطای تخمین موقعیت هدف در لحظات زمانی بعد شده، تا جایی که بعد از چند گام زمانی دیگر هیچ همپوشانی بین دو ناحیه سنجش تخمینی و واقعی وجود نداشته باشد. این مسأله در شکل ۳ به‌خوبی نشان داده شده است که در آن یک هدف در حال حرکت روی مسیر مستقیم با سرعت ۱۰ متر بر ثانیه است ولی تخمین حرکت هدف به‌واسطه عدم همپوشانی بین ناحیه واقعی سنجش و ناحیه تخمین زده شده، مخدوش شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که چون حس گرهای فعال انتخاب شده در برد سنجش قرار ندارند قادر به تخمین مناسب موقعیت هدف نیستند و در حالی که هدف واقعی در مسیری مستقیم در حال حرکت است، لیکن هدف تخمین زده شده در یک نقطه متوقف شده است.

برای روشن تر شدن موضوع به ارزیابی نتایج ارائه شده در شکل ۴ مربوط به رهگیری هدف و محاسبه خطای موقعیت به‌ازای سرعت‌های مختلف می‌پردازیم. در این شکل مشاهده می‌شود که هرچه سرعت هدف افزایش یابد، متناسب با آن خطای موقعیت هدف نیز افزایش می‌یابد. بدین ترتیب با فرض ثابت بودن شعاع ناحیه سنجش به‌ازای سرعت‌های مختلف، برای سرعت‌های بالاتر به‌علت خطای بیشتر و افزایش فاصله موقعیت واقعی (یا مرکز ناحیه سنجش واقعی) از موقعیت تخمین زده شده (یا مرکز ناحیه سنجش تخمینی)، میزان انحراف ناحیه سنجش تخمینی از ناحیه سنجش واقعی نیز بیشتر می‌شود و این امر باعث اثر منفی روی تخمین موقعیت هدف در گام بعدی شده و روند افزایش خطای موقعیت هدف به همین صورت ادامه می‌یابد.

راه حل مناسب برای مقابله با این مشکل افزایش میزان همپوشانی دو ناحیه سنجش واقعی و تخمین زده شده است. این کار را می‌توان با افزایش شعاع دو ناحیه مزبور متناسب با افزایش سرعت حرکت هدف انجام داد. در شکل ۵ تأثیر این راه حل بر روی عملکرد انتخاب حس گرهای فعال و رهگیری هدف نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که با وجود خطا در تخمین موقعیت هدف، به‌علت افزایش شعاع ناحیه سنجش همپوشانی دو ناحیه سنجش واقعی و تخمینی نیز افزایش یافته و احتمال انتخاب حس گرهای فعال در محدوده سنجش واقعی بیشتر شده است.



شکل ۵: مثالی از تقسیم حوزه سنجش بر اساس Spatial-Split.



شکل ۶: مثالی از رهگیری ناموفق هدف با سرعت ۱۰ m/s به‌علت خطای تخمین ناحیه سنجش واقعی.

مقداردهی اولیه تعداد حس گرهای فعال ( $M$ ):

(۱) تقسیم حوزه سنجش به تعداد  $M$  برش.

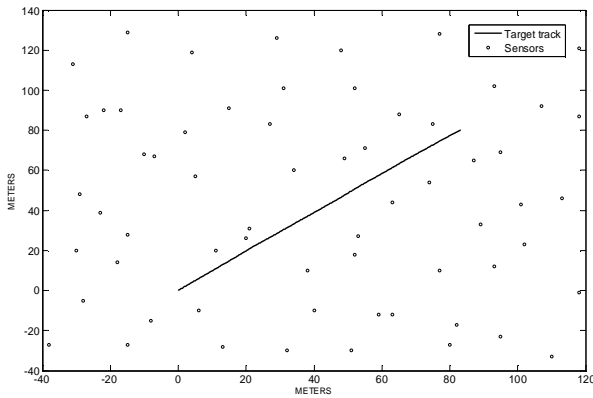
(۲) انتخاب نزدیک‌ترین حس گر به میانگین مکانی مجموعه حس گرهای هر برش.

(۳) محاسبه  $D(M)$  و بررسی (۲۷).

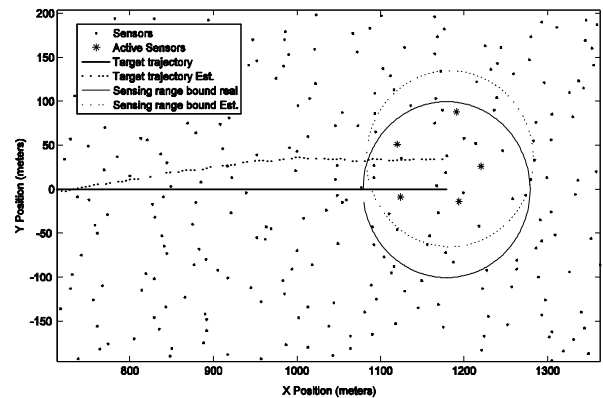
(۴) در صورت برقرار بودن (۲۷)، خاتمه جستجو و در غیر این صورت تغییر  $M$  به  $M + 1$  و تکرار مراحل ۱ تا ۴.

## ۴- بررسی اثر سرعت هدف بر الگوریتم SPATIAL-SPLIT

روش پیشنهادی Spatial-Split که در بخش قبل برای انتخاب حس گرهای فعال ارائه شد، مبتنی بر همبستگی مکانی بین حس گرهای است که خود نیازمند آگاهی از موقعیت مکانی حس گرها نسبت به هدف است. بنابراین علاوه بر معلوم بودن مختصات حس گرها، شبکه باید از موقعیت هدف نیز آگاه باشد. از آنجا که موقعیت هدف جزء پارامترهایی است که در مسأله رهگیری باید تخمین زده شود، روش انتخاب حس گر در عمل از مرحله پیش‌بینی هدف در الگوریتم رهگیری برای تعیین موقعیت نسبی حس گرها (نسبت به هدف) استفاده می‌نماید. بنابراین ناحیه سنجشی هم که در روش Spatial-Split مورد استفاده قرار گرفته است تخمینی از ناحیه سنجش واقعی می‌باشد که در اطراف هدف وجود دارد. موقعی که سرعت هدف کم باشد خطای تخمین موقعیت هدف نیز کم بوده و ناحیه



شکل ۶: مثالی از رهگیری هدف در مسیر مستقیم.



شکل ۵: مثالی از بهبود رهگیری هدف با سرعت ۱۰ m/s به واسطه اصلاح شعاع سنجش.

$$x(t + \Delta\tau) = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sin \rho(t)\Delta\tau}{\rho(t)} & \cdot & \frac{1 - \cos \rho(t)\Delta\tau}{\rho(t)} & \cdot \\ \cdot & \cos \rho(t)\Delta\tau & \cdot & -\sin \rho(t)\Delta\tau & \cdot \\ \cdot & \frac{1 - \cos \rho(t)\Delta\tau}{\rho(t)} & \cdot & \frac{\sin \rho(t)\Delta\tau}{\rho(t)} & \cdot \\ \cdot & \sin \rho(t)\Delta\tau & \cdot & \cos \rho(t)\Delta\tau & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} \frac{\Delta\tau^2}{2} & \cdot & \cdot \\ \Delta\tau & \cdot & \cdot \\ \cdot & \frac{\Delta\tau^2}{2} & \cdot \\ \cdot & \Delta\tau & \cdot \\ \cdot & \cdot & 1 \end{bmatrix} u(t) \quad (29)$$

$$h_d(d) = K - 10\eta \log_{10}(d) \quad (30)$$

$$z_s(t) = h_d(d_s(x(t))) + w_s(t)$$

که در آن،  $w_s(t)$  نویز اندازه‌گیری دارای توزیع مستقل عیناً یکسان<sup>۲</sup> گوسی با متوسط صفر  $N(0, R_s)$  و  $w_s(t)$  که اثرات سایه<sup>۳</sup> و خطاهای دیگر را به حساب می‌آورد،  $K$  توان انتقال و  $\eta \in [2, 5]$  نمای تلفات مسیر است این پارامترها وابسته به محیط رادیویی، مشخصات آنتن، ناهمواری‌های زمین و غیره هستند.

چگالی حس‌گرها در شبکه شامل ۶۴ حس‌گر در هر ناحیه  $170 \times 160$  متر مربع است که به‌طور تصادفی پخش شده‌اند. فرض بر این است که هیچ‌گونه تلفات ارتباطی وجود ندارد و حس‌گرها همگام<sup>۴</sup> شده‌اند. در همه شبیه‌سازی‌ها از پارامترهای زیر استفاده شده است. توان انتقال برای هر حس‌گر برابر با  $K = 9 \text{ dBm}$  و نمای تلفات مسیر  $\eta = 3$  است. گام زمانی، یک ثانیه، کواریانس نویز فرایند  $Q = 0.01 I_p$  و واریانس نویز مشاهدات  $R = 0.5$  است. تخمین اولیه  $x_{bias}(0|0) = x(0) + x_{bias}$  است که در آن  $x_{bias}$  بایاس شدید روی فقط موقعیت است که مقدار آن توزیع یکنواختی روی مربعی به ضلع ۳۰ متر با مرکزیت نقطه  $[0, 0]$  است. مسیر رهگیری برای کل شبیه‌سازی‌ها یکسان در نظر گرفته می‌شود.

برای مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف مسیر خطی برای حرکت هدف در نظر گرفته شده است که در شکل ۶ نشان داده شده است. همچنین ملاک مقایسه، متوسط مربع خطا (MSE) بر روی موقعیت هدف می‌باشد. علاوه بر این متوسط حس‌گرهای فعال و درصد رهگیری ناموفق نیز در الگوریتم‌های مزبور مقایسه شده‌اند. در جدول ۱ نتایج شبیه‌سازی مربوط به الگوریتم‌های مختلف با ۲۰۰۰ بار تکرار برای سرعت پایین ۰.۳ متر آورده شده است. ملاحظه می‌شود که الگوریتم DEIF به علت این که در هر لحظه از تمامی حس‌گرها برای تخمین موقعیت هدف

۵- نتایج شبیه‌سازی

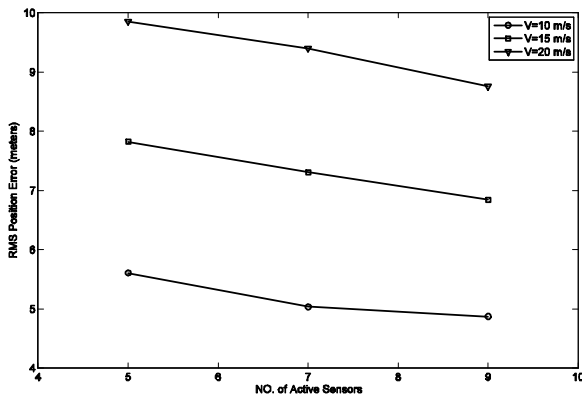
برای رهگیری نامتمرکز هدف با استفاده از فیلتر اطلاعات فرض می‌کنیم که شبکه حس‌گر برای شروع به‌کار آماده شده است، به‌طوری که هر گره حس‌گر به تنهایی توانایی تبادل اطلاعات و اشتراک داده‌های آماری جمع‌آوری شده را دارد. همچنین فرض می‌شود که هر حس‌گر موقعیت خودش را می‌داند و اطلاعات مشترک اولیه (تراکم اولیه، مدل حرکت) در کل شبکه به اشتراک گذارده شده است.

هدف به‌صورت نقطه‌ای که در فضای دوبعدی حرکت می‌کند در نظر گرفته شده است. مدل حرکت، مدلی کاملاً متداول و غیر خطی است [۱۹]: مدل همراه با نرخ گردش،  $t$  نشانگر زمان گسسته و  $\Delta\tau$  طول یک گام زمانی است. این مدل فرض می‌کند که هدف با سرعت تقریباً ثابت و سرعت دورزدن نامعلوم حرکت می‌نماید.  $x(t)$  و  $u(t)$  به ترتیب به وضعیت هدف و نویز حرکت متناظر با آن اشاره می‌نمایند.  $x(t)$  بیانگر مختصات  $x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), \rho(t)$  سرعت‌های  $\dot{x}_1, \dot{x}_2$  و سرعت دوران  $\rho$  است:  $x(t) \triangleq \{x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), \rho(t)\}$ . در نتیجه (۲۹) به دست می‌آید که در آن  $u(t) \sim N(0, \text{diag}[\sigma_v^2, \sigma_v^2, \sigma_\rho^2])$  است.

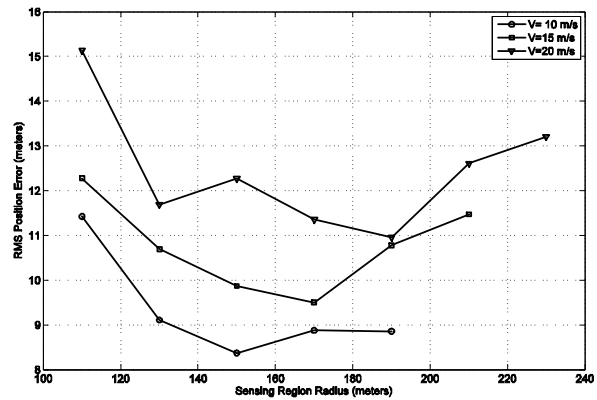
انواع مختلف سیستم‌های سنجش (رادار، حس‌گرهای صوتی، سونار، و غیره) پارامترهایی را مورد سنجش قرار می‌دهند که اندازه آنها تابعی از فاصله نسبی بین حس‌گر و شیء سنجش شده هستند. در حالت عمومی فرض می‌کنیم حس‌گرها توان سیگنال رادیویی ارسال شده از یک شیء را اندازه بگیرند. اگر  $\{x_s^s, x_s^t\}$  را موقعیت حس‌گر  $s$  و  $s$  و هدف در نظر بگیریم، توان دریافتی نوعاً به‌صورت نمایی نسبت به فاصله کاهش می‌یابد. در مقیاس لگاریتمی، اندازه‌گیری‌های مربوط به هدف به‌صورت زیر مدل می‌شوند [۲۰]

2. Independent and Identically Distributed
3. Shadowing
4. Synchronize

1. Coordinated Turn Rate Model



شکل ۸: منحنی تغییرات خطای تخمین موقعیت نسبت به تعداد حس گرهای فعال برای سرعت‌های ۱۰، ۱۵، و ۲۰ m/s.



شکل ۷: منحنی تغییرات خطای تخمین موقعیت نسبت به شعاع ناحیه سنجش برای سرعت‌های ۱۰، ۱۵، و ۲۰ m/s.

جدول ۱: نتایج رهگیری با استفاده از الگوریتم‌های مختلف.

الگوریتم	سرعت (m/s)	شعاع سنجش (m)	متوسط حس گرهای فعال	MSE (m <sup>2</sup> )	درصد رهگیری ناموفق
روش DEIF			۱۸,۲۸	۱,۱۳	۰,۶
روش INS			۴,۵۹	۲,۴۶	۴,۸۵
روش M-INS	۰,۳	۵۰	۴,۷۴	۲,۰۸	۳,۵۷
روش Closest			۵	۳۶,۹	۲,۴
			۴,۵۹	۱,۵۹	۲,۰
	۱۰	۱۵۰	۷,۲۳	۲۵,۳۴	۰,۴۵
روش Spatial-Split	۱۵	۱۷۰	۹,۶۸	۵۰,۵۱	۰,۴۰
	۲۰	۱۹۰	۱۰	۹۵,۳۹	۰,۲۵
	۱۰	۹۰	۱۰	۵۲,۱۳	۱۳
روش INS	۱۵	۹۰	۱۰	۵۳,۶۴	۳۵
	۲۰	۹۰	۱۰	۸۸,۵۵	۴۵

در نتیجه باعث اثر منفی روی الگوریتم رهگیری شده و خطای تخمین موقعیت هدف را افزایش می‌دهد تا جایی که این اثر منفی بر اثر مثبت بهبود همپوشانی ناحیه سنجش واقعی و تخمینی روی تخمین موقعیت غالب شده و مشاهده می‌گردد که شعاع ناحیه سنجش از یک مقدار مشخصی که بیشتر می‌شود نه تنها خطا را کاهش نمی‌دهد بلکه باعث تشدید خطا نیز می‌گردد. همچنین مشاهده می‌گردد که با افزایش سرعت هدف، شعاع بهینه ناحیه سنجش نیز افزایش می‌یابد که این امر مطابق با نتایج به‌دست آمده از بررسی اثر سرعت در بخش ۴ می‌باشد. نکته آخر این که سطح خطای تخمین موقعیت در شکل ۷ بالاتر از خطای مشاهده شده در شکل ۸ می‌باشد که ناشی از در نظر گرفتن نتایج مربوط رهگیری‌های ناموفق در محاسبه خطاست.

همچنین شکل ۸ نتایج بررسی اثر تعداد حس گرهای فعال بر خطای تخمین موقعیت را به‌ازای سرعت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ متر بر ثانیه نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می‌شود که هرچه تعداد حس گرهای فعال بیشتر می‌گردد، دقت رهگیری نیز افزایش می‌یابد و این نتیجه‌گیری در مورد سرعت‌های مختلف صادق است.

## ۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله موضوع انتخاب حس گرهای فعال برای رهگیری هدف در شبکه‌های حس گر بی‌سیم بر اساس همبستگی مکانی بیان شده است. بدین منظور برای رهگیری هدف از تخمین نامتمرکز بر مبنای فیلتر اطلاعات توسعه‌یافته و برای حل مسأله انتخاب حس گرهای فعال از الگوریتم Spatial-Split بر مبنای ویژگی‌های همبستگی مکانی در شبکه

استفاده می‌نماید، از نظر معیار MSE و درصد رهگیری ناموفق نسبت به سایر الگوریتم‌ها بهترین نتیجه را دارد. نتایج به‌دست آمده از این الگوریتم در حقیقت حد پایین قابل دستیابی سایر الگوریتم‌هایی است که از روش انتخاب حس گر استفاده می‌نمایند.

از لحاظ نزدیکی به نتایج الگوریتم بهینه DEIF، الگوریتم Spatial-Split بهترین عملکرد را دارد که دلیل عمده آن را می‌توان بهره‌برداری مؤثر از ویژگی‌های ضرایب همبستگی  $\rho_{S,i}$  و  $\rho_{i,j}$  دانست. الگوریتم‌های INS و انتخاب حس گرها بر اساس نزدیکی به هدف [۴]، به‌علت عدم رعایت دایورسیتی زاویه‌ای مناسب در اطراف هدف عملکرد قابل قبولی ندارند. همچنین مقایسه عملکرد روش‌های مزبور در سرعت‌های بالا نشان می‌دهند که درصد رهگیری ناموفق در روش INS بسیار بالاتر از روش Spatial-Split می‌باشد.

در ادامه به بررسی نتایج شبیه‌سازی الگوریتم Spatial-Split در سرعت‌های بالا می‌پردازیم. شکل ۷ نتایج مربوط به تغییرات شعاع ناحیه سنجش بر روی تخمین موقعیت هدف به‌ازای سرعت‌های مختلف را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با افزایش شعاع ناحیه سنجش و اعمال الگوریتم Spatial-Split برای انتخاب حس گرهای فعال، خطای تخمین موقعیت کاهش می‌یابد که به‌خاطر افزایش میزان همپوشانی دو ناحیه سنجش واقعی و تخمینی رخ می‌دهد. از سوی دیگر مشاهده می‌شود که با ادامه افزایش شعاع ناحیه سنجش، خطای تخمین موقعیت هدف نیز شروع به افزایش می‌نماید. دلیل مسأله این است که با افزایش شعاع ناحیه سنجش و امکان انتخاب حس گرهایی که از هدف دورتر هستند، میزان سیگنال به‌نویز داده‌های سنجش‌شده در این حس گرها کاهش می‌یابد و

- [10] A. Deshpande, C. Guestrin, S. Madden, J. Hellerstein, and W. Hong, "Model driven data acquisition in sensor networks," in *Proc. 30th Int. Conf. on Very Large Data Bases, VLDB*, pp. 588-599, Sep. 2004.
- [11] L. Doherty and K. Pister, "Scattered data selection for dense sensor networks," in *Proc. of IPSN'04*, pp. 369-378, Apr. 2004.
- [12] M. C. Vuran, B. Akan, and I. F. Akyildiz, "Spatio-temporal correlation: theory and applications for wireless sensor networks," *Computer Network*, vol. 45, no. 31, pp. 245-259, Jun. 2004.
- [13] J. Chou, D. Petrovic, and K. Ramchandran, "Tracking and exploiting correlations in dense sensor networks," in *Proc. Conf. 36th Asilomar Conf. on Signals, Systems and Computers*, vol. 1, pp. 39-43, 3-6 Nov. 2002.
- [14] K. Whitehouse and D. Culler, "Calibration as parameter estimation in sensor networks," in *Proc. of WSN'02*, pp. 59-67, Sep. 2002.
- [15] A. G. O. Mutambara, *Decentralized Estimation and Control for Multisensor Systems*, Boca Raton, FL: CRC, 1998.
- [16] H. V. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*, Second ed. New York: Springer-Verlag, 1994.
- [17] Y. B. Shalom and X. Li, *Estimation and Tracking*, Artech House, 1993.
- [18] T. Clouqueur, V. Phipatanasuphorn, P. Ramanathan, and K. Saluja, "Sensor deployment strategy for target detection," in *Proc. ACM WSN'02*, pp. 42-48, Atlanta, US, Sep. 2002.
- [19] T. Vercauteren and X. Wang, "Decentralized sigma-point information filters for target tracking in collaborative sensor networks," *IEEE Trans. on Signal Processing*, vol. 53, no. 8, pp. 2997-3009, Aug. 2005.
- [20] T. Rappaport, *Wireless Communications: Principles and Practice*, Second Ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2002.

**محمدرضا ذوقی** در سال ۱۳۷۶ مدرک کارشناسی مهندسی الکترونیک و در سال ۱۳۷۸ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی مخابرات خود را بترتیب از دانشگاه‌های صنعتی اصفهان و تربیت مدرس تهران دریافت نمود. از سال ۱۳۷۹ الی ۱۳۸۲ نامبرده به عنوان کارشناس ارشد مخابرات در شرکت مخابرات استان اصفهان به کار مشغول بود و پس از آن به دوره دکترای مهندسی مخابرات در دانشگاه علم و صنعت ایران وارد گردید و در سال ۱۳۸۹ موفق به اخذ درجه دکترا از دانشگاه مذکور گردید. دکتر ذوقی از اواخر سال ۱۳۸۹ به عنوان عضو هیئت علمی در دانشکده مهندسی - گروه برق دانشگاه کاشان مشغول به فعالیت می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه نامبرده شامل موضوعاتی مانند شبکه‌های حس گر بی‌سیم، رهگیری منابع متحرک و پردازش سیگنال می‌باشد.

**محمد حسین کهانی** در سال ۱۳۶۴ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی مخابرات از دانشگاه صنعتی اصفهان اخذ و از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۶۹ در مرکز تحقیقات مخابرات ایران مشغول به کار شد. سپس با ادامه تحصیل در کشور ژاپن مدرک کارشناسی ارشد خود را در سال ۱۳۷۳ در گرایش پردازش وقتی سیگنال‌ها از دانشگاه ریوکیو اخذ نمود و به دنبال آن مدرک دکترای خود را در تخصص پردازش آماری سیگنال‌ها در سال ۱۳۷۷ از دانشگاه صنعتی کوئینزلند، استرالیا دریافت کرد. دکتر کهانی از اواخر سال ۱۳۷۷ به عنوان عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی برق دانشگاه علم و صنعت ایران در گروه مخابرات مشغول به فعالیت می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی ایشان کاربردهای متنوع پردازش آرایه‌ای سیگنال‌ها در جداسازی کور سیگنال‌ها، جهت یابی، محل یابی، رهگیری منابع سیگنال، عیب یابی اجزاء مکانیکی و کنترل فعال نویز می‌باشد.

حس گر استفاده شده است. در ادامه اثر سرعت هدف بر الگوریتم مزبور مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به افزایش خطای رهگیری در سرعت‌های بالا، راه حلی برای اصلاح شعاع سنجش و انتخاب حس گرهای فعال در حوزه واقعی سنجش پیشنهاد شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان داده است که برای سرعت‌های پایین، عملکرد رهگیری در هر دو معیار MSE و درصد رهگیری ناموفق نسبت به الگوریتم INS و M-INS بهبود یافته است. همچنین برای سرعت‌های بالا، روش پیشنهادی باعث بهبود عملکرد رهگیری در معیار درصد رهگیری ناموفق شده و دقت تخمین رهگیری نیز متناسب با سرعت هدف بوده است.

## سپاس‌گزاری

نویسندگان مقاله از حمایت‌های مرکز تحقیقات مخابرات ایران تشکر می‌نمایند.

## مراجع

- [1] J. W. Gardner, V. K. Varadan, and O. O. Awadelkarim, *Microsensors, MEMS, and Smart Devices*, New York: Wiley, 2001.
- [2] C. Y. Chong, S. Mori, and K. C. Chang, "Distributed multitarget multisensor tracking," in *Multitarget Multisensor Tracking: Advanced Applications*, Y. Bar-Shalom, ed., Norwood, MA: Artech House, pp. 247-295, 1990.
- [3] V. Raghunathan, C. Schurgers, S. Park, and M. B. Srivastava, "Energy-aware wireless microsensor networks," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 19, no. 2, pp. 40-50, Mar. 2002.
- [4] H. Wang, K. Yao, G. Pottie, and D. Estrin, "Entropy-based sensor selection heuristic for target localization," in *Proc. of 3rd Int. Symp. on Information Processing in Sensor Networks (IPSN)*, Berkeley, pp. 36-45, Apr. 2004.
- [5] M. R. Zoghi and M. H. Kahaei, "Decentralized target tracking in collaborative sensor networks by using sensor selection scheme," in *Proc. 12th Int. Computer Conf. of CSI*, Feb. 2007.
- [6] M. C. Vuran and I. F. Akyildiz, "Spatial correlation-based collaborative medium access control in wireless sensor networks," *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 14, no. 2, pp. 316-329, Apr. 2006.
- [7] M. R. Zoghi and M. H. Kahaei, "Sensor selection for target tracking in WSN using modified INS algorithm," in *Proc. 3th Int. Conf. on Information & Communication Technologies: from Theory to Applications, ICTTA*, pp. 1-6, May 2008.
- [8] M. R. Zoghi and M. H. Kahaei, "Sensor selection in WSN using spatial split algorithm for target tracking," in *Proc. 13th Int. Computer Conf. of CSI*, Mar. 2008.
- [9] A. Goel and D. Estrin, "Simultaneous optimization for concave costs: single sink aggregation or single source buy-at-bulk," *Algorithmica*, vol. 43, no. 1-2, pp. 5-15, Aug. 2003.