

علمی-پژوهشی

مکان‌یابی منبع تشعشع با استفاده از کمترین مربعات خطی در مشاهدات DRSS جدید

حسن نظری^۱، میثم رئیس دانایی^{۲*}۱- دانشجوی ۲- استادیار دانشگاه امام حسین^(ع)، تهران، ایران

(دریافت: ۱۳۹۸/۰۵/۲۳، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۳/۳۰)

چکیده

مکان‌یابی با استفاده از اندازه‌گیری توان سیگنال دریافتی ارزان است و پیچیدگی محاسباتی کمی دارد از این رو سبب افزایش طول عمر حسگرها در شبکه حسگر بی‌سیم می‌گردد. نمونه انتشار متداول برای RSS دارای توزیع لگ-نرمال است و چون تابع چگالی احتمال معلوم است بهترین تخمین‌گر برای مکان‌یابی ML است. تخمین‌گر ML غیرخطی است و در مقالات برای حل آن روش‌های بهینه‌سازی محدب و گوس-نیوتن ارائه شده‌اند. این روش‌ها پیچیدگی زیادی به سامانه تحمیل می‌کنند و سبب کاهش عمر باطری می‌گردند. در این مقاله برای حل تخمین‌گر غیرخطی ML، یک تخمین‌گر خطی در دو مرحله به کار گرفته شده است. در مرحله اول یک نمونه DRSS جدید ارائه شده است و در ادامه این مرحله ترم‌های غیرخطی تابع هزینه ML با متغیر خطی جایگزین شده‌اند، همچنین برخلاف تخمین‌گرهای بر اساس نمونه DRSS متداول، عملکرد این تخمین‌گر با انتخاب تصادفی گره مرجع شماره ۱ افت نمی‌کند. در مرحله دوم به کمک سری تیلور خطا ناشی از تقریب مرحله اول به حداقل کاهش یافته است و بدین ترتیب دقت تخمین مکان افزایش می‌یابد. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد جذر متوسط انرژی خطا این تخمین‌گر در مقایسه با تخمین‌گرهای موجود تا ۱۳ درصد کاهش یافته است.

کلید واژه‌ها: تفاضل توان سیگنال دریافتی، مکان‌یابی منبع، کمترین مربعات خطی، مکان‌یابی متمرکز، شبکه حسگر بی‌سیم، تخمین‌گر حداکثر درست‌نمایی.

تخمین‌گر حداکثر درست‌نمایی است و این به دلیل این است که دقت این تخمین‌گر با تعداد نمونه زیاد به $CRLB$ می‌رسد [۶]. در مسئله مکان‌یابی با توان سیگنال دریافتی تابع هزینه تخمین‌گر حداکثر درست‌نمایی غیرخطی و غیرمحدب است و تعداد زیادی کمینه محلی دارد.

یکی از روش‌هایی که برای تقریب تخمین‌گر حداکثر درست‌نمایی استفاده می‌شود بهره‌گیری از تخمین‌گر خطی است [۴]، [۷]. استفاده از تخمین‌گر خطی در نمونه توان سیگنال دریافتی با مشکلاتی مواجه است. یکی از مشکلات این است که این نمونه ذاتاً خطی نیست و دارای ترم غیرخطی θ_3 است. از طرفی پارامتر توان ارسالی هدف در این نمونه باید معلوم باشد و اطلاع غیر دقیق از مقدار آن سبب تخمین مکان غیردقیق می‌شود. در [۷] توان هدف از پیش معلوم است و تنها متغیر مکان هدف است. در [۷] نمونه توان سیگنال دریافتی با روش LS حل شده است و ترم غیرخطی θ_3 با یک متغیر خطی تقریب زده شده است، در مرحله دوم در شرایطی که تخمین مکان مرحله اول به مکان هدف نزدیک باشد با روش

۱- مقدمه

امروزه تحقیقات بسیاری در زمینه مکان‌یابی در شبکه حسگر بی‌سیم انجام می‌شود و این به دلیل کاربردهای گسترده این شبکه است [۱]. سامانه‌های مکان‌یابی از اندازه‌گیری‌های زاویه انتشار سیگنال [۲]، زمان انتشار سیگنال [۳]، توان سیگنال دریافتی [۴] و یا ترکیب این روش‌ها [۵] استفاده می‌کنند. استفاده از سه روش اول اگرچه دقت بالایی دارد ولی به دلیل پیچیدگی زیاد در روش‌های وابسته به زمان و گران بودن آنتن در روش وابسته به زاویه با مشکلاتی مواجه است. روش توان سیگنال دریافتی به دلیل استفاده از آنتن‌ها و سخت‌افزارهای ساده‌تر به‌عنوان یک زمینه جذاب برای پژوهشگران مطرح است.

هنگام استفاده از مشاهدات توان سیگنال دریافتی تخمین‌گرهای متعددی می‌توانند جهت استخراج مولفه‌های موقعیت هدف به کار گرفته شوند که از جمله محبوب‌ترین آن‌ها

*ایمانه نویسنده مسئول: mrdanaee@alum.sharif.edu

¹ Cramer Rao Lower Bound (CRLB)

مرحله اول به دست می‌آید. برخلاف تخمین‌گرهای مبتنی بر DRSS عملکرد این تخمین‌گر با انتخاب تصادفی گره مرجع شماره ۱ افت نمی‌کند. در تخمین‌گرهای موجود معمولاً در مرحله دوم با استفاده از روش correction technique دقت را افزایش می‌دهند که این روش با افزایش توان نوفه خطای زیادی تولید می‌کند. در روش پیشنهادی در مرحله دوم برای بهبود دقت از روشی بر اساس سری تیلور مرتبه اول در حول تخمین مرحله قبل استفاده شده است. دقت بالای این روش در مقایسه با سایر روش‌های خطی با نتایج تجربی اثبات شده است. ادامه این مقاله به صورت زیر است. در بخش ۲ بیان مسئله مکان‌یابی بر اساس اندازه‌گیری‌های تفاضل توان سیگنال دریافتی ارائه شده است. در بخش ۳ تخمین‌گر خطی جدید در حالت توان ارسالی نامعلوم به دست آمده است. در بخش ۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها تحلیل شده‌اند و در بخش ۵ نتیجه مقاله مطرح شده است.

۲- بیان مسئله

یک شبکه حسگر بی‌سیم با N گره مرجع و یک گره هدف فرض می‌شود. موقعیت گره‌های مرجع از قبل معلوم هستند و در حالی که موقعیت گره هدف نامعلوم است و هدف محاسبه مکان آن است. موقعیت گره‌های مرجع و هدف به ترتیب به صورت $s_i = [x_i, y_i]^T \in \mathbb{R}^2$ و $\theta = [x, y]^T \in \mathbb{R}^2$ به‌ازای $i = 1, \dots, N$ نمایش داده می‌شوند. P_i دریافتی (در dBm) در گره i ام است و بر اساس نمونه انتشار بی‌سیم، در محوشدگی سایه با توزیع لگ-نرمال $[8]$ به صورت زیر بیان می‌شود:

$$P_i = P_0 - 10\gamma \log_{10} \frac{\|\theta - s_i\|}{d_0} + v_i, \quad i = 1, \dots, N \quad (1)$$

که P_i توان دریافتی در گره مرجع i ام است و P_0 توان دریافتی در فاصله $d_0 = 1 \text{ m}$ از هدف است. γ ضریب تلف مسیر است و با توجه به نوع محیط متغیر است. v_i یک متغیر تصادفی گوسی با میانگین صفر و واریانس σ_i^2 است و به صورت $v_i \sim \mathcal{N}(0, \sigma_i^2)$ نمایش داده می‌شود. در این مقاله از وجود همبستگی بین v_i ها صرف نظر کرده‌ایم و آن‌ها را به صورت نوفه مستقل و با توزیع مشابه در نظر گرفته‌ایم. تخمین‌گر ML برای نمونه ارائه شده در رابطه (۱) از حل تابع هزینه زیر به دست می‌آید:

$$\hat{\theta}_{ML} = \arg \min_{\theta \in \mathbb{R}^2} \sum_{i=1}^N \frac{1}{\sigma_i^2} (P_i - P_0 + 10\gamma \log_{10} \frac{\|\theta - s_i\|}{d_0})^2 \quad (2)$$

correction technique ارتباط بین ترم غیرخطی $[\theta]_3$ و متغیر اضافی فرض شده در مرحله اول بررسی شده است. در $[8]$ از اندازه‌گیری‌های توان سیگنال دریافتی^۱ استفاده شده است ولی توان ارسالی هدف نامعلوم فرض شده است و به صورت همزمان با هدف تخمین زده شده است. همچنین در مرحله دوم به کمک technique correction دقت مرحله اول بهبود یافته است. برای حذف توان ارسالی از معادلات می‌توان از نمونه تفاضل سیگنال دریافتی استفاده کرد. در $[9]$ از اندازه‌گیری‌های تفاضل توان سیگنال دریافتی^۲ استفاده شده است و توان ارسالی هدف نامعلوم فرض شده است و تنها متغیر مکان هدف است. ترم غیرخطی $[\theta]_3$ با یک متغیر خطی جایگزین شده است و در مرحله دوم نیز به کمک correction technique دقت مرحله اول بهبود یافته است. $[10]$ در نمونه تفاضل توان سیگنال دریافتی ترم غیرخطی $[\theta]_3$ با یک متغیر خطی تقریب زده شده است و همچنین تخمین توان هدف و ضریب تلف مسیر نیز ارائه شده است. در $[4]$ ابتدا نمونه تفاضل توان سیگنال دریافتی، سفید شده است، پس از آن نمونه خطی ارائه شده و تابع هزینه متناظر با آن به دست آمده است در $[4]$ نمونه تفاضل توان سیگنال دریافتی با روش BLUE حل شده است. در مرحله اول ترم غیرخطی $[\theta]_3$ با یک متغیر خطی تقریب زده شده است و در مرحله دوم به جای استفاده از روش correction technique از سری تیلور مرتبه اول در حول تخمین مکان مرحله اول استفاده شده است. در $[11]$ در نمونه تفاضل توان سیگنال دریافتی ابتدا ترم غیرخطی $[\theta]_3$ با یک متغیر خطی تقریب زده شده است سپس با توجه نوفه ای بودن ماتریس و بردار مشاهدات از روش TLS استفاده شده است. در $[12]$ در نمونه تفاضل توان سیگنال دریافتی ابتدا ترم غیرخطی $[\theta]_3$ با یک متغیر خطی تقریب زده شده است سپس با توجه به نوفه ای بودن ماتریس و بردار مشاهدات و همبسته بودن آن‌ها از روش GTLS استفاده شده است.

در این مقاله، مسئله مکان‌یابی در حالت عدم اطلاع از توان ارسالی مورد بررسی قرار می‌گیرد. ابتدا تخمین‌گر حداکثر درست‌نمایی برای مسئله مکان‌یابی مطرح می‌شود پس از آن تابع هزینه متناظر با تخمین‌گر حداکثر درست‌نمایی به دست می‌آید و این تابع هزینه با روش کمترین مربعات دو مرحله‌ای حل می‌شود. در مرحله اول یک نمونه DRSS جدید ارائه می‌شود و در ادامه با حل نمونه جدید و تقریب خطی ترم غیرخطی $[\theta]_3$ تخمین‌گر

¹ Received Signal Strength (RSS)

² Differential Received Signal Strength (DRSS)

به صورت $\epsilon \sim \mathcal{N}(0, Q)$ نمایش داده می‌شود. Q برابر است با:

$$[Q]_{ij} = \begin{cases} 2\sigma^2 \left(\frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma}\right)^2 & \text{for } i = j \\ \sigma^2 \left(\frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma}\right)^2 & \text{for } i \neq j \\ i, j = 1, \dots, N-1 \end{cases} \quad (8)$$

با بسط نرم‌ها در سمت چپ رابطه (۶) خواهیم داشت:

$$(\lambda_i - \lambda_1)\theta^T \theta - 2(\lambda_i s_i^T - \lambda_1 s_1^T)\theta + \lambda_i s_i^T s_i - \lambda_1 s_1^T s_1 = \epsilon_i \quad (9)$$

که در آن λ_i برابر است با:

$$\lambda_i = 10^{\frac{P_i - P_0}{5\gamma}} / d_0^2 \quad (10)$$

از آنجا که تابع هزینه بر حسب انرژی خطا معرفی می‌گردد،

تابع هزینه برابر است با:

$$\min_{\theta} \epsilon^T Q^{-1} \epsilon = \min_{\theta} (A\theta - b)^T Q^{-1} (A\theta - b) \quad (11)$$

که A و b و θ برابرند با:

$$A = \begin{bmatrix} -2\lambda_i s_i^T - 2\lambda_1 s_1^T & \lambda_i - \lambda_1 \\ \vdots & \vdots \\ -\lambda_i s_i^T - \lambda_1 s_1^T & \lambda_i - \lambda_1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$b = \begin{bmatrix} -\lambda_i s_i^T s_i + \lambda_1 s_1^T s_1 \\ \vdots \\ -\lambda_i s_i^T s_i + \lambda_1 s_1^T s_1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$\theta = [x, y, x^2 + y^2]^T, \quad (14) \quad \text{و}$$

$$i = 2, \dots, N-1. \quad (15)$$

تابع هدف در رابطه (۱۱) به صورت کمترین مربعات خطی

است و یک کمینه سراسری دارد و بنابراین جواب تحلیلی برای

آن به شکل زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{\theta}_{TDRSS-LLS} = (A^T Q^{-1} A)^{-1} A^T Q^{-1} b \quad (16)$$

تخمینگر $TDRSS - LLS$ بدون بایاس است زیرا:

$$\begin{aligned} \hat{\theta}_{TDRSS-LLS} - \theta &= \\ (A^T Q^{-1} A)^{-1} A^T Q^{-1} (A\theta - \epsilon) - \theta &= \\ -(A^T Q^{-1} A)^{-1} A^T Q^{-1} \epsilon \end{aligned} \quad (17)$$

در نتیجه میانگین $\hat{\theta}_{TDRSS-LLS} - \theta$ به صورت زیر به دست

می‌آید:

$$E\{\hat{\theta}_{TDRSS-LLS} - \theta\} = 0 \quad (18)$$

همچنین ماتریس کوواریانس $\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}$ برابر است با:

$$\text{COV}(\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}) =$$

تابع هزینه در رابطه (۲) غیرخطی و غیرمحدب است و حل تحلیلی برای آن وجود ندارد. در ادامه جهت یافتن راه‌حل ۲ تابع هزینه به فرم خطی تبدیل می‌شود.

۳- تخمین گر پیشنهادی دو مرحله‌ای

۳-۱- مرحله اول

در این حالت گره هدف اطلاعات خود را به گره‌های مرجع اعلام می‌کند و بنابراین توان اولیه در فاصله مرجع یک متر یعنی P_0 برای گره‌های مرجع، معلوم است. در بخش قبل تابع هزینه در رابطه (۲) نشان داده شد و برای سادگی در آن $\sigma_i^2 = \sigma^2$ در نظر گرفته می‌شود. رابطه (۲) را می‌توان به شکل زیر بازنویسی کرد:

$$\log_{10} \frac{\|\theta - s_i\|^2}{d_0^2} = \frac{P_0 - P_i + v_i}{5\gamma} \quad (3)$$

برای حذف لگاریتم، از طرفین رابطه (۳) توان ۱۰ گرفته

می‌شود و سپس دو طرف معادله بر $10^{\frac{P_0 - P_i}{5\gamma}}$ تقسیم می‌گردد.

$$10^{\frac{P_i - P_0}{5\gamma}} \frac{\|\theta - s_i\|^2}{d_0^2} = 10^{\frac{v_i}{5\gamma}} \quad (4)$$

حال با اعمال سری تیلور مرتبه اول در سمت راست رابطه

(۴) خواهیم داشت:

$$10^{\frac{P_i - P_0}{5\gamma}} \frac{\|\theta - s_i\|^2}{d_0^2} = 1 + \frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma} v_i \quad (5)$$

از سایر جملات سری تیلور صرف نظر می‌شود. رابطه فوق به

ازای N گره ثابت برقرار است. در ادامه رابطه متناظر با گره A_m را

از رابطه متناظر با گره A_m کم می‌کنیم.

$$\begin{aligned} TDRSS^1: 10^{\frac{P_i - P_0}{5\gamma}} \frac{\|\theta - s_i\|^2}{d_0^2} - 10^{\frac{P_1 - P_0}{5\gamma}} \frac{\|\theta - s_1\|^2}{d_0^2} &= \\ \frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma} v_i - \frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma} v_1 \end{aligned} \quad (6)$$

این کار سبب حذف مقدار ثابت در سمت راست رابطه (۵)

می‌شود. رابطه (۶) نمونه جدیدی برای DRSS ارائه می‌کند که

برخلاف روش DRSS مرسوم هیچ نرمی در مخرج کسرها وجود

ندارد. با توجه به (۶) وقتی نوفه به اندازه کافی کوچک باشد خطا

به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\epsilon_i \approx \frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma} v_i - \frac{\text{Ln}(10)}{5\gamma} v_1 \quad (7)$$

که در آن ϵ_i یک متغیر تصادفی گوسی همبسته است و

¹ First apply Taylor series then use DRSS (TDRSS)

$$\begin{aligned} & \min (f - H([\theta]_{1:2} - [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}))^T A^T Q^{-1} A \\ & (f - H([\theta]_{1:2} - [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2})) \\ & = 2H^T A^T Q^{-1} A H([\theta]_{1:2} - [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}) \\ & + 2H^T A^T Q^{-1} A f \end{aligned} \quad (۲۵)$$

عبارت فوق بر حسب $[\theta]_{1:2}$ خطی است در نتیجه نقطه کمینه تابع هزینه خطی بر اساس $[f]$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$\hat{\theta}_{TDRSS-2step\ LLS} = [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2} - (H^T A^T Q^{-1} A H)^{-1} H^T A^T Q^{-1} A f \quad (۲۶)$$

۴- نتایج و تحلیل

برای مقایسه عملکرد تخمین‌گر پیشنهادی یک شبکه حسگر بی‌سیم شامل ۱۰ گره ثابت و یک هدف در نظر می‌گیریم که در محیط ۲۰ در ۲۰ متر پخش شده‌اند. هدف در نقطه $(۱۱/۸, ۸/۴)$ است و گره‌های مرجع به صورت نامنظم در نقاط $(۹/۹, ۷/۸)$ ، $(۴, ۸)$ ، $(۴/۴, ۱۲/۶)$ ، $(۱/۴, ۱/۷)$ ، $(۶/۲, ۱/۱)$ ، $(۱۶/۴, ۱/۲)$ ، $(۱۳/۲, ۱۹/۱)$ ، $(۱۸/۱, ۱۳/۷)$ ، $(۱۵/۳, ۸/۳)$ و $(۱۸/۲, ۷/۷)$ توزیع شده‌اند. مولفه‌های توان ارسالی و ضریب تلف مسیر و تعداد تکرار مونت کارلو به ترتیب برابر $P_0 = -10\text{dBm}$ و $\gamma = 3$ و $M_c = 1000$ فرض شده‌اند. جذر متوسط انرژی خطا $[۱۵]$ از رابطه زیر محاسبه شده است:

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^{M_c} \frac{\|\theta - \hat{\theta}_i\|^2}{M_c}} \quad (۲۷)$$

و برای CRLB از $[۴]$ استفاده شده است. برای مقایسه عملکرد تخمین‌گر پیشنهادی، تخمین‌گرهای LLS $[۸]$ ، U-BLUE $[۴]$ ، A-BLUE $[۴]$ ، two-step WLS $[۹]$ ، LS-X $[۱۳]$ و LS-S $[۱۴]$ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در شکل (۱) RMSE تخمین‌گرهای مختلف در برابر انحراف معیار محوشدگی سایه رسم شده است. تخمین‌گرهای U-BLUE و LS-X یک مرحله‌ای هستند و برای محاسبه آن‌ها از اندازه‌گیری DRSS استفاده شده است. البته تخمین‌گر جدید در گام اول از اندازه‌گیری TDRSS استفاده می‌کند که این باعث می‌شود عملکرد بهتری نسبت به U-BLUE داشته باشد. تخمین‌گرهای LLS، A-BLUE و two-step WLS تخمین‌گر دو مرحله‌ای جدید، دو مرحله‌ای هستند با این وجود عملکرد تخمین‌گر پیشنهادی یک مرحله‌ای TDRSS-LLS از تخمین‌گر دو مرحله‌ای LLS بهتر است. تخمین‌گر دو مرحله‌ای جدید نسبت به A-BLUE خطا کمتری دارد و این به این علت است که علاوه بر استفاده از نمونه DRSS جدید در مرحله اول، در مرحله دوم از روشی بر پایه سری تیلور بهره برده است. در روش DRSS متداول حسگر با بیشترین توان دریافتی را به‌عنوان گره

$$\begin{aligned} & E\{(\hat{\theta}_{TDRSS-LLS} - \theta)^T (\hat{\theta}_{TDRSS-LLS} - \theta)\} \\ & = (A^T Q^{-1} A)^{-1} A^T Q^{-1} E\{\epsilon\epsilon^T\} Q^{-1} A (A^T Q^{-1} A)^{-1} \\ & = (A^T Q^{-1} A)^{-1} \end{aligned} \quad (۱۹)$$

عبارت $\frac{10^{-P_0}}{d_0^2}$ در رابطه (۱۶) ثابت است و در ضرب ماتریس‌ها ساده می‌شود و از رابطه حذف می‌گردد. بدین ترتیب در نمونه DRSS جدید تخمین مکان هدف $\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}$ مستقل از توان ارسالی است. برای اصلاح رابطه (۱۶) کفایت λ_i در روابط (۱۲) و (۱۳) به $\lambda'_i = 10^{\frac{P_i}{5\gamma}}$ تغییر کند.

۳-۲- مرحله دوم

در این مرحله با استفاده از سری تیلور مرتبه اول، تخمین مرحله اول بهبود می‌یابد. با توجه به رابطه (۱۱) تابع هزینه برابر است با:

$$\begin{aligned} \min \epsilon^T Q^{-1} \epsilon & = \min_{\theta} (A\theta - b)^T Q^{-1} (A\theta - b) \\ & = \min_{\theta} (\theta \\ & - \hat{\theta}_{TDRSS-LLS})^T A^T Q^{-1} A (\theta \\ & - \hat{\theta}_{TDRSS-LLS}) \end{aligned} \quad (۲۰)$$

قبل از اعمال سری تیلور لازم است که θ را به صورت تابعی از $[\theta]_{1:2}$ بنویسیم:

$$\theta = \begin{bmatrix} [\theta]_{1:2} \\ [\theta]_{1:2}^T [\theta]_{1:2} \end{bmatrix} \quad (۲۱)$$

حال با اعمال سری تیلور مرتبه اول بر روی عبارت $\theta - \hat{\theta}_{TDRSS-LLS}$ با متغیر θ حول نقطه $\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}$ داریم:

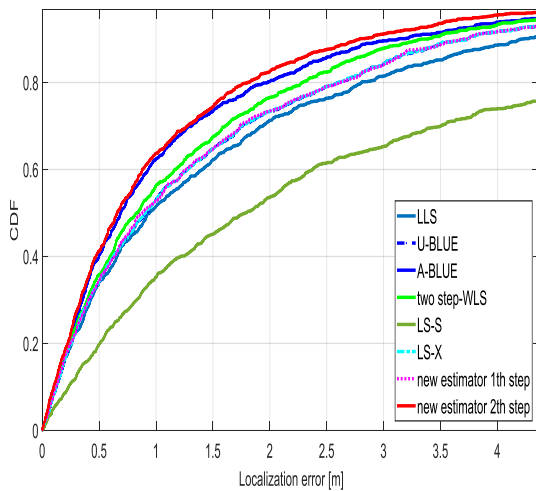
$$\begin{aligned} \theta - \hat{\theta}_{TDRSS-LLS} & = \theta \Big|_{[\theta]_{1:2} = [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}} \\ & - \hat{\theta}_{TDRSS-LLS} + \frac{\partial \theta}{\partial [\theta]_{1:2}^T} \theta \Big|_{[\theta]_{1:2} = [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}} \\ & * ([\theta]_{1:2} - [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}) \\ & = f + H([\theta]_{1:2} - [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}) \end{aligned} \quad (۲۲)$$

که f و H برابرند با:

$$f = \theta \Big|_{[\theta]_{1:2} = [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}} - \hat{\theta}_{TDRSS-LLS} \quad (۲۳)$$

$$\begin{aligned} H & = \frac{\partial \theta}{\partial [\theta]_{1:2}^T} \theta \Big|_{[\theta]_{1:2} = [\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}} \\ & = \begin{bmatrix} I_2 \\ 2[\hat{\theta}_{TDRSS-LLS}]_{1:2}^T \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (۲۴)$$

با قرار دادن (۲۳) و (۲۴) در (۲۰) به دست می‌آید:

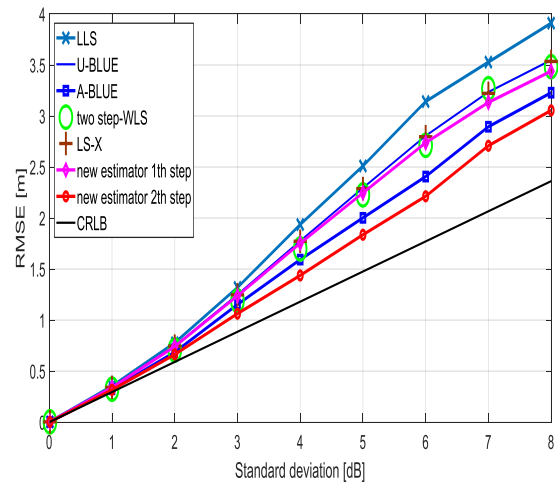


شکل (۳): مقایسه CDF تخمین‌گرهای مختلف در برابر فاصله تخمین مکان نسبت به مکان هدف درست در شرایط انحراف معیار محوشدگی سایه برابر 3dB

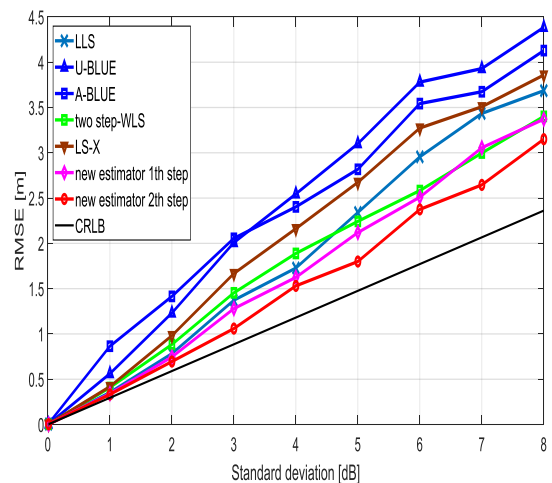
۵- خلاصه

در این مقاله به نمونه متداول توزیع لگ-نرمال برای انتشار RSS اشاره شد و تخمین‌گر ML برای یافتن مکان هدف به‌دست آمد. متأسفانه تخمین‌گر ML خطی نیست یعنی کمینه‌های زیادی دارد، همچنین دارای ترم‌های غیرخطی است. در مقالات برای حل آن روش‌های بهینه‌سازی محدب و گوس-نیوتن ارائه شده‌اند. این روش‌ها پیچیدگی زیادی به سامانه تحمیل می‌کنند و سبب کاهش عمر شبکه حسگر بی‌سیم می‌گردند. همچنین در مقالات از تخمین‌گر خطی برای حل تابع هزینه ML استفاده شده‌است. این روش‌ها از نمونه DRSS متداول استفاده می‌کنند که به انتخاب گره مرجع شماره ۱ حساس است و معمولاً در مرحله دوم از روش correction technique بهره می‌برند که به‌دلیل جایگزین کردن ترم غیرخطی با متغیر خطی با افزایش نوفه خطای زیادی ایجاد می‌کنند. در این مقاله برای حل تابع هزینه تخمین‌گر غیرخطی ML یک تخمین‌گر خطی در دو مرحله به‌کار گرفته شده است. در مرحله اول یک نمونه DRSS جدید ارائه شده است و در این مرحله ترم‌های غیرخطی تابع هزینه ML با متغیر خطی تقریب زده شده‌اند و مطابق شکل (۲) به انتخاب گره مرجع شماره ۱ حساس نیست. در مرحله دوم به کمک روشی بر پایه سری تیلور خطا ناشی از تقریب مرحله اول به حداقل کاهش یافته است و بدین ترتیب دقت تخمین مکان افزایش یافته است. شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد هم در مرحله اول و هم در مرحله دوم جذر متوسط انرژی خطا در مقایسه با تخمین‌گرهای موجود کاهش یافته است.

مرجع شماره ۱ انتخاب می‌کنند. در شکل (۲) این فرض در نظر گرفته نشده است و مبدأ مختصات به عنوان گره مرجع شماره ۱ انتخاب شده است. همان‌طور که در شکل (۲) مشخص است خطا روش‌های U-BLUE و A-BLUE و LS-X در این حالت افزایش یافته است درحالی‌که کمترین خطا مربوط به تخمین‌گرهای پیشنهادی است. شکل (۳) تابع توزیع تجمعی (CDF) را برای تخمین‌گرهای مقایسه شده در برابر خطای مکان‌یابی (فاصله تخمین مکان نسبت به مکان هدف درست) نشان می‌دهد. برای شبیه‌سازی، انحراف معیار محوشدگی سایه برابر 3dB در نظر گرفته شده است. در این شکل هم تخمین‌گر دو مرحله‌ای جدید بهترین عملکرد را دارد یعنی پس از ۲۰۰ بار اجرا، خطاهای رخ داده در تخمین مکان در این تخمین‌گر نسبت به دیگر تخمین‌گرها کوچک‌تر است و این سبب می‌شود منحنی CDF رشد سریع‌تری داشته باشد.



شکل (۱): مقایسه RMSE تخمین‌گرهای مختلف در برابر انحراف معیار محوشدگی سایه.



شکل (۲): مقایسه RMSE تخمین‌گرهای مختلف در برابر انحراف معیار محوشدگی سایه در حالتی که نقطه مرجع شماره ۱، مبدأ مختصات است.

۶-مراجع

- [9] L. Lin, H. So, and Y. Chan, "Accurate and simple source localization using differential received signal strength," *Digit. Signal Process.*, vol. 23, no. 3, pp. 736–743, Dec. 2013.
- [10] F. Chan, Y. T. Chan and R. Inkol. "Path loss exponent estimation and RSS localization using the linearizing variable constraint." in *IEEE MILCOM*. 2016, 225-229.
- [11] H. Lohrasbipeydeh, T. A. Gulliver, H. Amindavar and T. Dakin, "Efficient RSSD-Based Source Positioning with System Parameter Uncertainties," in *2014 IEEE 80th Vehicular Technology Conference (VTC2014-Fall)*, Vancouver, BC, 2014, pp. 1-4.
- [12] G Rahimi, M. R. Danaee, and S. Bayat. "A generalized total least squares algorithm for RSS-based localization with unknown path-loss model parameters." in *Iranian Conference on Electrical Engineering*, 2016, pages 521–524.
- [13] Yaming Xu, Jianguo Zhou, and Peng Zhang. "Rss-based source localization when path-loss model parameters are unknown." *IEEE communications letters*, 18(6):1055–1058, 2014.
- [14] M. Sepahvand, A. Naseri, M. R. Danaee, M. H. Khanzade, "Target Tracking Algorithm in Wireless Sensor Networks with Optimum Power Consumption Using Quantized Observation," *Journal of Electronical & CyberDefence*, vol. 2, August 2018. (In Persian).
- [15] M. Ferdosizade Naeiny, Y. Eghbali, F. Moradi, "DoA Estimation in the Presence of the Unknown Mutual Coupling Using a UCA with Directive Antennas," *Journal of Radar*, vol. 6, no. 1, pp. 27-36, September 2018 (In Persian).
- [1] C. Laoudias, A. Moreira, S. Kim, S. Lee, L. Wirola, and C. Fischione, "A survey of enabling technologies for network localization, tracking, and navigation," *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 20, no. 4, pp. 3607–3644, Fourthquarter 2018.
- [2] M. Hamdollahzadeh, R. Amiri, and F. Behnia, "Optimal sensor placement for multi-source AOA localisation with distance-dependent noise model," *IET Radar, Sonar Navig.*, vol. 13, no. 6, pp. 881–891, June 2019.
- [3] S. Wu, S. Zhang, K. Xu, and D. Huang, "Neural Network Localization With TOA Measurements Based on Error Learning and Matching," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 19089–19099, Feb. 2019.
- [4] Y. Hu and G. Leus, "Robust Differential Received Signal Strength-Based Localization," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 65, no. 12, pp. 3261–3276, June 2017.
- [5] S. Chang, Y. Li, X. Yang, H. Wang, W. Hu, and Y. Wu, "A Novel Localization Method Based on RSS-AOA Combined Measurements by Using Polarized Identity," *IEEE Sens. J.*, vol. 19, no. 4, pp. 1463–1470, Feb. 2019.
- [6] S. M. Kay, *Fundamentals of Statistical Signal Processing: Estimation Theory*. Upper Saddle River, NJ, USA: Prentice-Hall, 1993.
- [7] H. C. So and L. Lin, "Linear least squares approach for accurate received signal strength based source localization," *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 59, no. 8, pp. 4035–4040, Aug. 2011.
- [8] R. Vaghefi, M. Gholami, R. Buehrer, and E. Strom, "Cooperative received signal strength-based sensor localization with unknown transmit powers," *IEEE Trans. Signal Process.*, vol. 61, no. 6, pp. 1389–1403, Mar. 2013.

Linear Least-Squares Based Source Localization for New DRSS Model

H. Nazari , M. R. Danaee *

* Imam Hossein Comprehensive University, Tehran, Iran

(Received: 14/08/2019, Accepted: 19/06/2020)

Abstract

Localization by the received signal Strength (RSS) measurement is inexpensive and has low computational complexity, thus extending the lifetime of the sensors in the wireless sensor network. The conventional propagation model for RSS has a log-normal distribution and since the probability density function is known, the best estimator for localization is Maximum Likelihood Estimator (MLE). The ML estimator is nonlinear and nonconvex and Gauss-Newton and convex optimization methods are presented in the papers. These methods impose a lot of complexity on the system and reduce the energy of the battery. In this paper, a two-step linear estimator is employed to solve the nonlinear ML estimator. In the first step, a new DRSS model is presented and nonlinear terms of ML cost function are replaced with linear variables. Also, in contrast to the estimators based on the conventional DRSS model, the performance of this estimator doesn't reduce by the random selection of the number 1 reference node. In the second step, the error of approximation of the first step is minimized, thus increasing the accuracy of the location estimation. Simulations show that in both the first and second steps, the accuracy is improved and the average error root error is reduced by up to 13% compared to the existing estimators.

Keywords: Differential Received Signal Strength (DRSS), Source Localization, Linear Least Squares, Centralized Localization, Wireless Sensor Network (WSN), Maximum Likelihood Estimator (MLE)

* Corresponding author E-mail: mrdanaee@alum.sharif.edu