

بهینه‌سازی محلی شبکه حسگر بیسیم با استفاده از روش ترکیبی Centroid و Fuzzy Weighted Centroid

فروزان کریمی دهکردی^{۱*}، فرشاد کیومرثی^۲، بهاره بنی‌شریف دهکردی^۳

^{۱*} فارغ التحصیل کارشناسی ارشد هوش مصنوعی و رباتیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، ایران

^۲ استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، ایران

^۳ فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرکرد، ایران

چکیده

متداول‌ترین روشی که برای مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بیسیم وجود دارد، روش مرکز ثقل (Centroid) است. در روش ترکیبی پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات Fuzzy Weighted Centroid PSO برای مکان‌یابی سنسورهای ناشناخته در شبکه‌های حسگر بیسیم، موقعیت یک گره ناشناخته توسط میانگین‌گیری از تمام گره‌های لنگری که در شعاع رادیویی گره ناشناخته قرار دارند، انجام می‌گیرد. به طور کلی در شبکه‌هایی که شعاع رادیویی بالایی دارند، مطلوب این است که قوانین فازی به گونه‌ای تنظیم شوند که گره‌های دور (با RSSI کم) وزن بسیار کوچکی داشته باشند، و حتی گره‌هایی که در فاصله متوسط قرار دارند نیز وزن چندان زیادی اختصاص نیابد. در این پژوهش از دو ورودی فازی برای مکان‌یابی مبتنی بر مرکز ثقل وزن‌دار استفاده شده است. ورودی‌های فازی به صورت میزان RSSI دریافتی از هر گره لنگر و نیز مقدار شعاع رادیویی شبکه تعریف شده‌اند، و خروجی سیستم فازی وزن هر گره لنگر را بیان می‌کند. برای تنظیم خودکار جدول قوانین فازی به منظور دست‌یابی به بالاترین دقت مکان‌یابی برای تمامی کاربردها (با شعاع رادیویی کم، متوسط یا زیاد)، از الگوریتم گروه ذرات استفاده می‌شود. به عبارت دیگر، ورودی دوم (شعاع رادیویی شبکه) به منظور تطبیق‌پذیر کردن سیستم مکان‌یابی برای همه کاربردها با هر شعاع رادیویی به سیستم فازی اضافه شده است که این روش تا حدود زیادی مشکلات موجود در روش مرکز ثقل را برطرف کرده است و نتیجه بهتری را داشته و در شرایطی که توپولوژی ناهمگن باشد و تراکم گره، پوشش و چگالی گره‌ها را به همراه داشته باشیم در اکثر موافق عملکرد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: مکان‌یابی، منطق فازی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات (Fuzzy Weighted Centroid PSO)، شبکه حسگر

بی‌سیم

۱- مقدمه

شبکه‌های حسگر بیسیم، به مجموعه‌ای از دستگاه‌های کوچک به نام گره‌های حسگر گویند که در قالب یک شبکه مجتمع و برای اهداف نظارتی و یا ردیابی، در محیط‌های مختلف مستقر و توزیع می‌شوند [۱-۲]. کاربردهای زیادی همچون نظارت، امدادرسانی بلایای طبیعی و ... برای شبکه‌های حسگر بیسیم متصور است. یکی از مسائل مهم در چنین شبکه‌هایی، تشخیص موقعیت هدف و اندازه‌گیری مشخصات مورد نظر محیطی است و به همین دلیل پی بردن به موقعیت مکانی گره، در جمع‌آوری اطلاعات کمک شایانی به تحلیل کارآمد کمیت‌های اندازه‌گیری شده می‌نماید. از این رو، فرآیندی را که در آن یک گره حسگر پس از استقرار در محیط هدف سعی در تشخیص موقعیت مکانی خود دارد، مکان‌یابی گویند اطلاعات موقعیت، برای پوشش، استقرار، مسیریابی، ردیابی اهداف، تشخیص واقعه و بسیاری موارد دیگر، مهم می‌باشد [۳].

در این تحقیق، تکنیک‌های محلی‌سازی محدود برای WSN ها، بررسی می‌شود و تأثیر تراکم گره و پوشش حساسیت از جمله توپولوژی نامنظم پرداخته شده است. مشارکت اصلی ما پیشنهاد یک مدل ترکیبی جدید با استفاده از نسخه‌های اصلاح شده fuzzy weighted centroid, centroid، به نام "منطق فازی با PSO (FWC_PSO)" است. معیار انتخاب براساس ارزیابی یک سیستم فازی بوده که بهینه شده با PSO، به طوری که دقت تخمینی از centroid فازی با شعاع پوشش کمتر و یا گره بیشتر، بهتر است، اما دقت تخمینی منطق فازی با PSO در شرایط مخالف هم بهتر است. ماهیت تکراری PSO موقعیت تخمینی را نسبت به گره شناخته شده با استفاده از حداکثر RSSI حرکت می‌دهد. این تکنیک‌ها برای ایجاد رویکرد بهینه‌سازی منطق فازی با PSO ترکیب شده‌اند. در ارزشیابی گسترده ما، عملکرد منطق فازی با PSO در توپولوژی نامنظم، برجسته‌تر، در مقایسه با دیگر روش‌های محلی‌سازی مبتنی بر Centroid است.

۲- پیشینه مطالعات

بسیاری از تکنیک‌ها بر روی بهینه‌سازی محلی‌سازی متمرکز شده‌اند [۴-۵]؛ در سالهای اخیر پژوهشهای بسیاری در این زمینه‌ها صورت گرفته است، برخی از این پژوهشها به شرح زیر میباشد.

۱- یون و همکاران. [۶] از روش Takagi-Sugeno-Kang برای ادغام سیستم‌های فازی Centroid استفاده کرد. این روش فازی با استفاده از وزن متوسط برای تعیین خروجی با پنج قاعده از پیش تعریف شده (بسیار کم، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد) برای تنظیم درجه‌بندی دقت centroid استفاده از وزنهای اضافی مشتق شده از عملکرد مثلثی فازی است. با این حال، این بهبود برای توزیع گره یکنواخت مناسب‌تر است.

۲- Larios و همکاران. [۷] استفاده از FL-Mamdani را برای تولید دو ورودی پیشنهاد کرد. اولین ورودی شامل RSSI ها از سه سنسور نزدیک به سه عملکرد (پایین، متوسط و بالا) است. ورودی دوم شامل RSSIs از دیگر سنسورها (دومین‌هم) با ۹ عملکرد (اولین شامل تعامل بین دو سطح) است. ۱۱ قوانین برای حفظ این روابط تعیین شد، اما هزینه ارتباطات اضافی علاوه بر محدودیت کلیدی اشتباه وزن نامناسب برای تشخیص ساختارهای استقرار ناهماهنگی گره

۳- Shareef و همکاران [۸] سه نوع تقریب مکان را مورد بررسی قرار داد که شامل استفاده از NN ها می‌شود: (۱) یک پروپرترون چند لایه (MLP) که شامل دو لایه ۹ گره در لایه اول با تابع فعال‌سازی sigmoid tangent hyperbolic و دو گره در لایه دوم با یک تابع فعال‌سازی خطی (برای محدود کردن پیچیدگی زمان، فقط ۲۰۰ دور آموزش انجام شد و ۰.۰۰۱ به عنوان یک آستانه خطا استفاده شد؛ ۲) شبکه‌های عصبی همزمان (RNNs)، با استفاده از یک راه‌اندازی شبیه به مدل

اول، اما با بازخورد از لایه خروجی به لایه ورودی؛ و ۳) تابع پایه شعاعی (RBF)، با تعداد ثابت گره در لایه اول و انحراف استاندارد به عنوان هدف. برای اطمینان از آموزش عالی، یک آستانه خطا تعیین شد.

۴- رحمان و همکاران [۹] یک مدل تقریبی دو مرحله‌ای پیشنهاد کرد که RSSI ها را دوباره به عنوان ورودی‌ها مورد استفاده قرار داد. بخش اول شامل یک شبکه عصبی رگرسیون عمومی (GRNN) می‌باشد. در لایه دوم، یک لایه خطی خاص (به جای RBF) به عنوان تابع فعال برای استخراج چهار گره مرجع به کار گرفته شد.

۵- لی و همکاران. [۱۰] استفاده از PSO را به منظور دنبال کردن مجموعه‌ای از پارامترهای مناسب برای ANN با BP علاوه بر انجام پیش‌پردازش با تجزیه و تحلیل مولفه اصلی برای کاهش ابعاد محاسباتی را پیشنهاد داد.

۶- یانگ و همکاران [۱۱] GA ها را با استفاده از یک استراتژی بهبود مجدد فیلتر برای به دست آوردن همگرایی بهتر استفاده می‌کند، یک روش که می‌تواند با WSN های بزرگ در مقیاس مورد استفاده قرار گیرد.

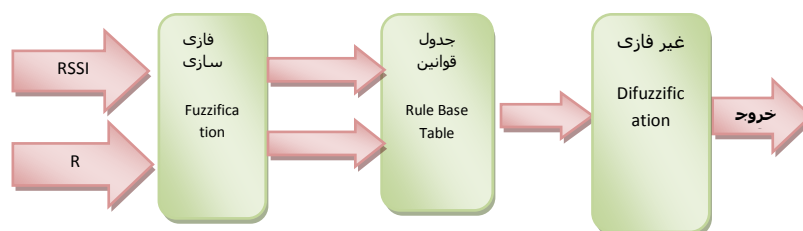
۳- بیان مسئله

۳-۱- روش ترکیبی پیشنهادی برای مکان‌یابی مبتنی بر مرکز ثقل وزن‌دار فازی و الگوریتم گروه ذرات (FWC- PSO)

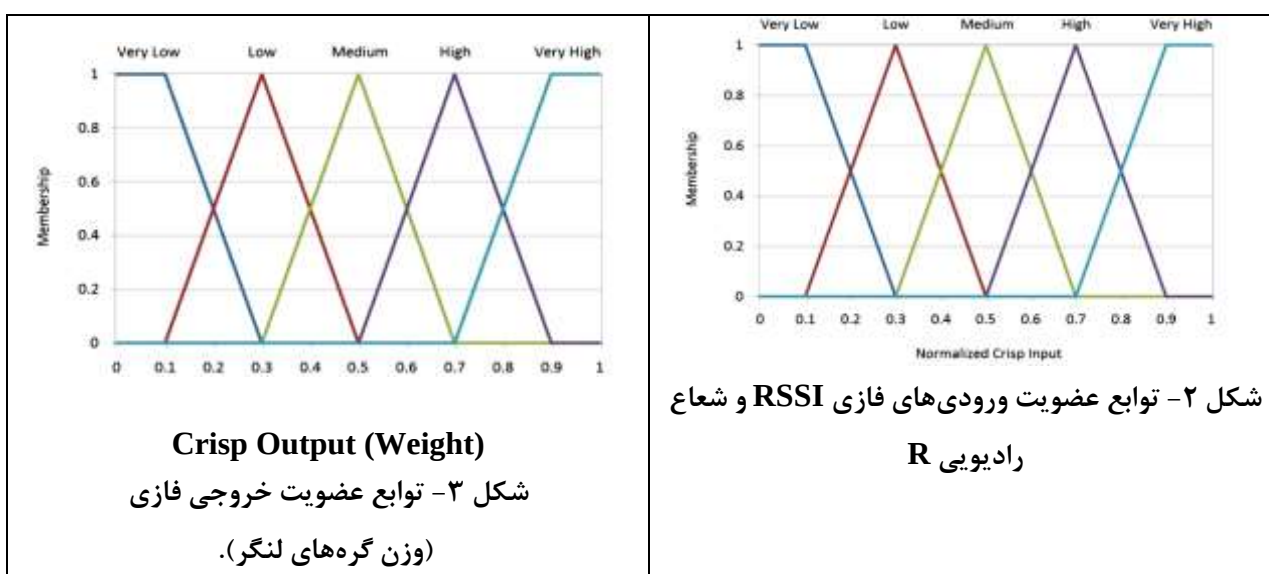
در روش پیشنهادی از دو ورودی فازی برای مکان‌یابی مبتنی بر مرکز ثقل وزن‌دار استفاده شده است. ورودی‌های فازی به‌صورت میزان RSSI دریافتی از هر گره لنگر و نیز مقدار شعاع رادیویی شبکه تعریف شده‌اند، و خروجی سیستم فازی وزن هر گره لنگر را بیان می‌کند.

۳-۱-۱- تعیین وزن‌های گره‌های لنگر

سیستم فازی پیشنهادی با دو ورودی و یک خروجی مطابق شکل (۱) در نظر گرفته شده است. در این تحقیق برای دو ورودی و نیز برای خروجی از ۵ تابع عضویت استفاده شده است: بسیار کم/ کم/ متوسط/ زیاد/ بسیار زیاد. لازم به ذکر است که ورودی‌های غیر فازی ابتدا در بازه [۰،۱] نرمالیزه شده، و سپس تعلق فازی به توابع مختلف فازی تعیین می‌گردد. برای نرمال‌سازی مقادیر RSSI، این مقادیر با استفاده از روش نرمال‌سازی خطی در بازی صفر تا یک نرمال می‌شوند. همچنین برای نرمال‌سازی ورودی R، مقدار شعاع رادیویی شبکه بر حداکثر شعاع رادیویی Rmax تقسیم می‌شود. در این تحقیق حداکثر شعاع رادیویی برابر با ۱۰۰ متر تعیین شده است.



شکل ۱- سیستم فازی پیشنهادی.



جدول توابع عضویت فازی برای انتخاب سرخوشه با در نظر گرفتن دو ورودی فازی به صورت جدول (۱) شامل ۱۲ قانون فازی می‌باشد. خروجی‌های فازی برای هر قانون یکی از ۵ حالت بسیار کم/ کم/ متوسط/ زیاد/ خیلی زیاد می‌باشد، که تعیین این ۱۲ قانون بر عهده الگوریتم گروه ذرات است.

جدول ۱- جدول قوانین سیستم فازی پیشنهادی.

ورودی اول (RSSI) ورودی دوم (R) خروجی (W)

W1	بسیار کم	بسیار کم
W2	کم	بسیار کم
W3	متوسط	بسیار کم
W4	زیاد	بسیار کم
W5	بسیار زیاد	بسیار کم
W6	بسیار کم	کم
W7	کم	کم
W8	متوسط	کم
W9	زیاد	کم
W10	بسیار زیاد	کم
W11	بسیار کم	متوسط
W12	کم	متوسط
W13	متوسط	متوسط

۳-۱-۲- مکان‌یابی اولیه گره ناشناخته

پس از تعیین وزن هر گره لنگر در شعاع رادیویی گره ناشناخته، تخمین مکان‌یابی اولیه گره ناشناخته به صورت میانگین‌گیری وزن‌دار مطابق رابطه (۱) انجام می‌گردد.

$$(X_{est-1}, Y_{est-1}) = \left(\frac{\sum_{i=1}^N w_i X_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \frac{\sum_{i=1}^N w_i Y_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \right) \quad (1)$$

۳-۱-۳- مکان‌یابی نهایی گره ناشناخته

پس از تعیین موقعیت گره ناشناخته بر اساس میانگین‌گیری وزنی فازی مطابق رابطه (۱)، تخمین اولیه مکان گره ناشناخته مشخص می‌شود. همواره مکان‌یابی مبتنی بر میانگین‌گیری در حوالی حفره‌ها و گوشه‌ها دارای خطای بیشتری نسبت به سایر نواحی شبکه است. دلیل این امر این است که در حوالی حفره‌ها و گوشه‌ها، پراکندگی گره‌های لنگر به صورت یکنواختی در اطراف گره ناشناخته نمی‌باشد. به همین دلیل، میان‌گیری دارای خطای زیادی است. برای غلبه بر این مشکل، مکان‌یابی نهایی گره ناشناخته بر اساس تخمین اولیه و نیز بردار نیرو مطابق رابطه (۲) اصلاح می‌گردد.

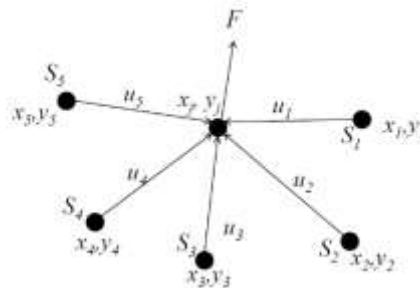
$$(X_{est-2}, Y_{est-2}) = (X_{est-1}, Y_{est-1}) + \frac{\alpha}{K} \times F(S_j) \quad (2)$$

$$K = \frac{A}{a} \times \frac{anchor}{ANCH} \quad (3)$$

بردار نیروی یکه از گره لنگر i به گره لنگر j مطابق رابطه (۴) و برآیند بردارهای نیرو به گره لنگر j از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$u(S_j, S_i) = \frac{x_j - x_i}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}}, \frac{y_j - y_i}{\sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}} \quad (4)$$

$$F(S_j) = \sum_{i=1}^N u(S_j, S_i) \quad (5)$$



شکل ۴- بردار نیرو یکه وارده بر نزدیکترین گره لنگر به گره ناشناخته

۳-۲- بهینه‌سازی سیستم مکان‌یابی پیشنهادی با استفاده از الگوریتم گروه ذرات

۳-۲-۱- تولید جمعیت اولیه تصادفی

هر ذره در الگوریتم اجتماع ذرات دارای یک بردار موقعیت $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iN})$ و سرعت $v_i = (v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iN})$ می‌باشد که سرعت هر ذره با حرکت آن ذره متناسب است و هدایت حرکت ذره را بر عهده

دارد. محدوده مجاز برای پارامترهای w_1 تا w_2 در محدوده $[0,5]$ و محدوده مجاز برای پارامتر α در محدوده $[0,10]$ در نظر گرفته شد. لازم به ذکر است که خروجی‌های قوانین فازی w_1 تا w_2 باید یکی از مقادیر ۱ (بسیار کم)، ۲ (کم)، ۳ (متوسط)، ۴ (زیاد) یا ۵ (خیلی زیاد) باشد.

۳-۲-۲- به روزسانی جمعیت

معادلات حاکم بر هر ذره در الگوریتم اجتماع ذرات به صورت زیر می‌باشد:

$$v_{id}(t+1) = w \cdot v_{id}(t) + c_1 \cdot r_1 \cdot (p_{best_{id}} - x_{id}(t)) + c_2 \cdot r_2 \cdot (g_{best_d} - x_{id}(t)) \quad (6)$$

$$v_{mind} \leq v_{id} \leq v_{maxd}, \quad i = 1, \dots, n \quad (7)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1), \quad (8)$$

$$x_{mind} \leq x_{id} < x_{maxd}, \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

$$w_i = w_{max} + (iter / iter_{max}) \cdot (w_{max} - w_{min}) \quad (10)$$

که در رابطه بالا، itermax ماکزیمم تعداد تکرارها و iter شماره تکرار فعلی می‌باشد و w_{max} و w_{min} در اکثر مراجع به ترتیب ۰٫۹ و ۰٫۴ انتخاب می‌گردند.

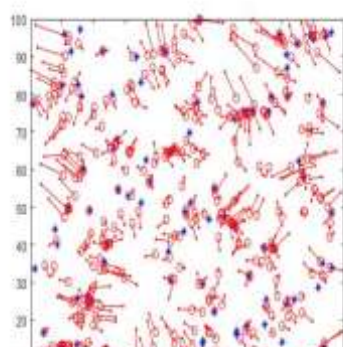
۳-۳- فضاهای کاری مورد استفاده

در سیستم مکان‌یابی پیشنهادی تعداد ۱۲ پارامتر آزاد (۱۳ قانون فازی w_1 تا w_{12} و پارامتر α) وجود دارد که باید مقادیر بهینه برای آن‌ها توسط الگوریتم گروه ذرات تعیین گردد. برای بهینه‌سازی سیستم پیشنهادی تعداد ۱۲ فضای کاری شبکه حسگر با نسبت‌های مختلف تعداد گره ناشناخته به لنگر (۲۰٪ و ۴۰٪ و ۶۰٪ و ۸۰٪)، بدون حفره و و نیز با در نظر گرفتن شعاع رادیویی مختلف (۳۰ متر، ۵۰ متر و ۷۰ متر) ایجاد شده است. تابع هدف الگوریتم به صورت مینیمم کردن میانگین خطای مکان‌یابی در تمامی ۱۲ فضای کاری تعریف شده است. ابعاد شبکه 100×100 می‌باشد و تعداد نودهای فضای کار ۵۰۰ تا می‌باشد، هر فضای کاری بدون حفره است و تعداد نودهای شناخته شده و ناشناخته متغیر تعریف شده فضاهای کاری با اسم wsn نمایش داده شده است. در شکل‌ها نودهای Anchor به صورت نقاط آبی هستند، و نقاط قرمز موقعیت واقعی نود ناشناخته است و دایره قرمز موقعیت تخمین زده نود ناشناخته شده می‌باشد که اختلاف میانگین فاصله بین موقعیت واقعی و تخمین زده را با Average Localization Error (ALE) نشان می‌دهیم که بر حسب متر می‌باشد در صورتی که (ALE) را بر حداکثر شعاع که ۳۰ است تقسیم کنیم مقداری که بدست می‌آید بر حسب درصد است و با Average Localization Error Percent (ALE-P) نشان داده شده است.

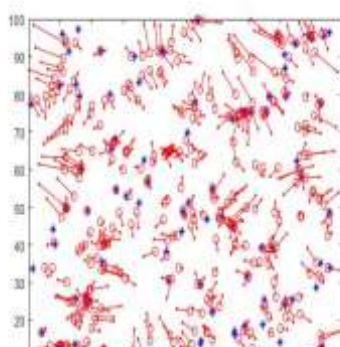
جدول ۲- جدول فضای کاری سیستم فازی پیشنهادی

شعاع	فضای کاری	تعداد حفره‌ها	تعداد نودهای شناخته شده (Anchor)	تعداد نودهای ناشناخته (Unkown)	تعداد گره ناشناخته به لنگر
R=30 R=50	Wsn1	0	400	100	20%

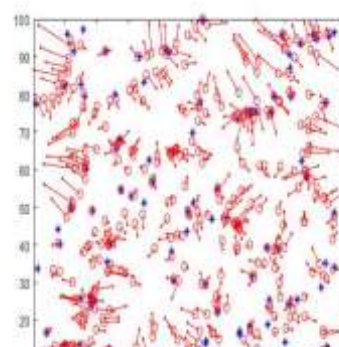
40%	200	300	0	Wsn3	R=70
					R=30
					R=50
					R=70
60%	300	200	0	Wsn5	R=30
					R=50
					R=70
					R=70
80%	400	100	0	Wsn7	R=30
					R=50
					R=70
					R=70



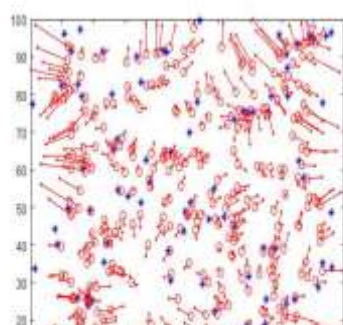
(a) R=30, fwc-pso, wsn1



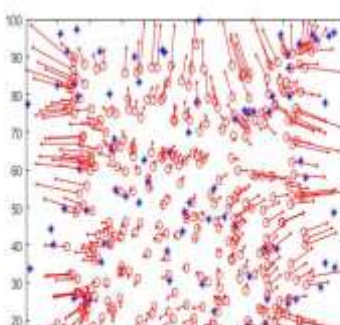
(b) R=50, fwc-pso, wsn1



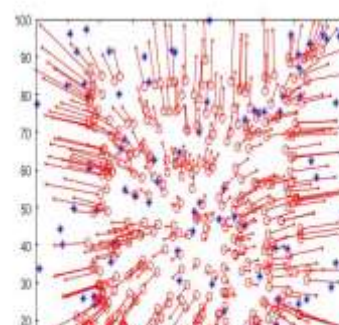
(c) R=70, fwc-pso, wsn1



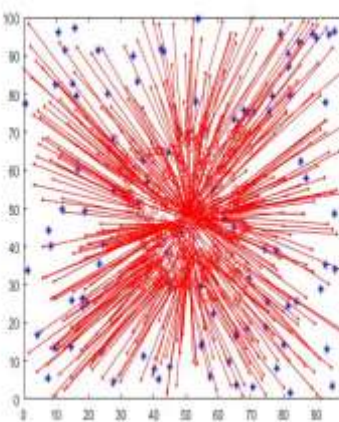
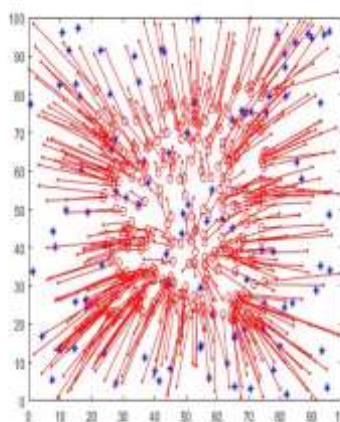
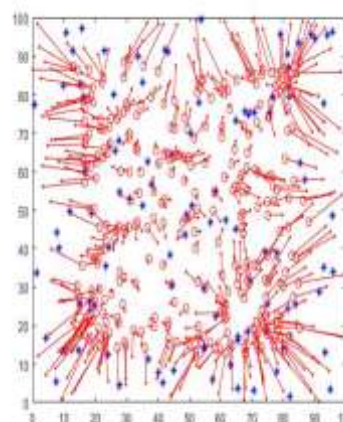
(a) R=30, Fwc, wsn1



(b) R=50, Fwc, wsn1



(c) R=70, Fwc, wsn1

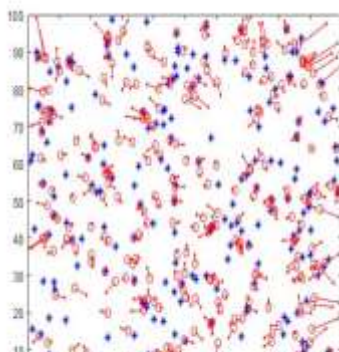


(a) R=30, centroid, wsn1

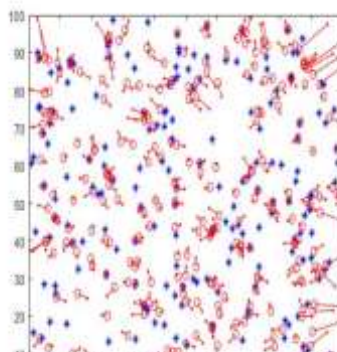
(b) R=50, centroid, wsn1

(c) R=70, centroid, wsn1

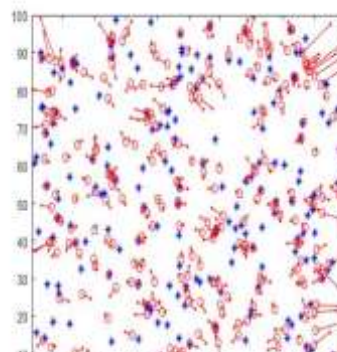
شکل ۵- فضای کاری WSN1 در شعاع ۳۰، ۵۰ و ۷۰ بدون حفره برای سه روش



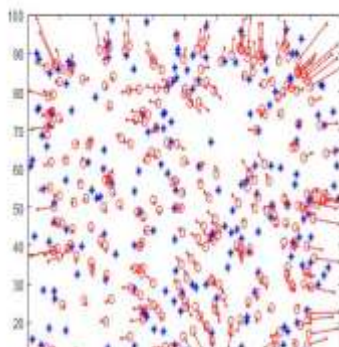
(a) R=30, fwc-pso, wsn2



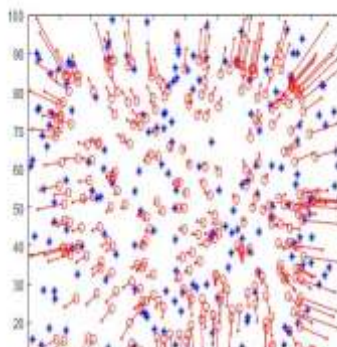
(b) R=50, fwc-pso, wsn2



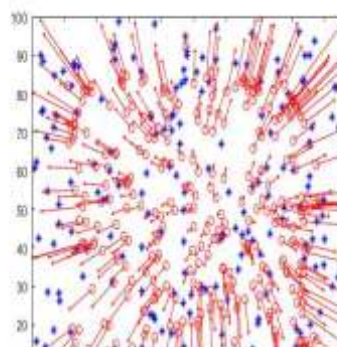
(c) R=70, fwc-pso, wsn2



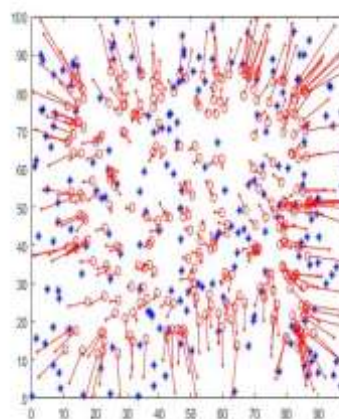
(a) R=30, Fwc, wsn2



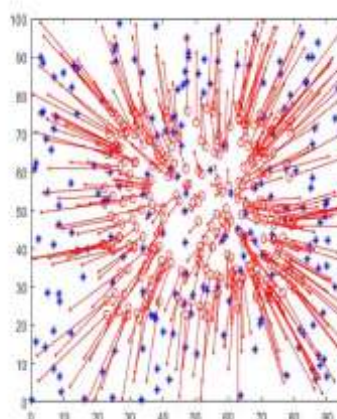
(b) R=50, Fwc, wsn2



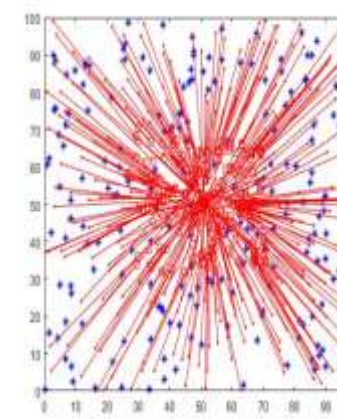
(c) R=70, Fwc, wsn2



(a) R=30, centroid, wsn2

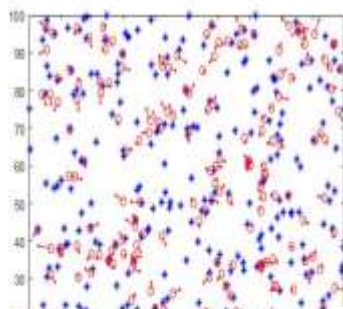


(b) R=50, centroid, wsn2

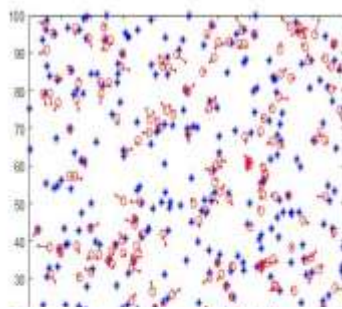


(c) R=70, centroid, wsn2

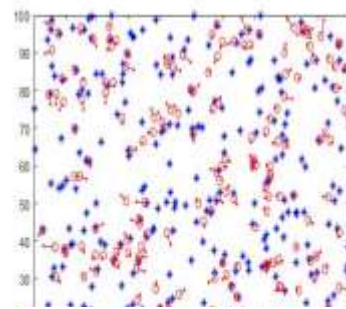
شکل ۶- روش Fwc-pso با فضای کاری WSN2 در شعاع ۳۰، ۵۰ و ۷۰ بدون حفره برای سه روش



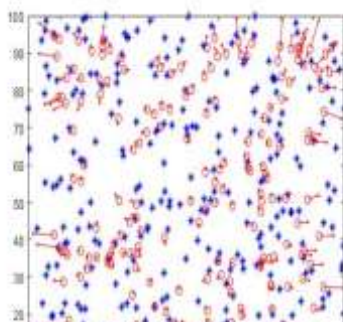
(a) R=30, fwc-dso, wsn3



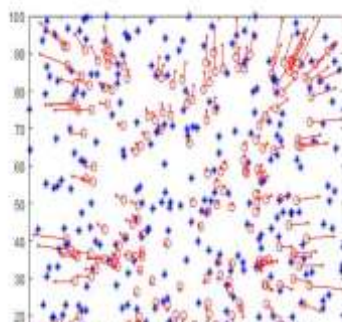
(b) R=50, fwc-dso, wsn3



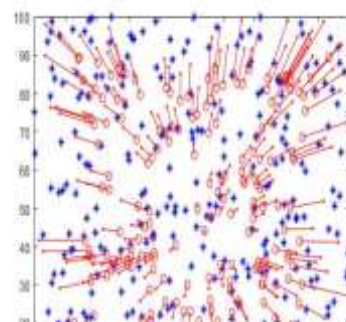
(c) R=70, fwc-dso, wsn3



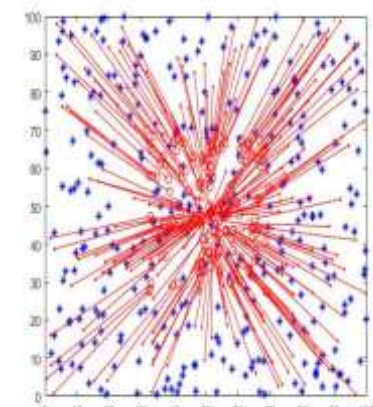
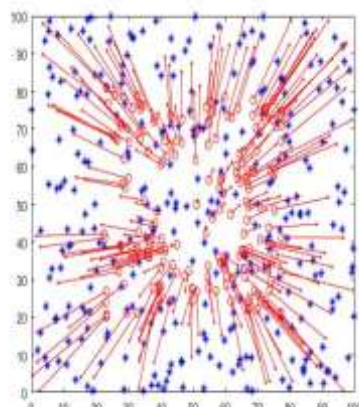
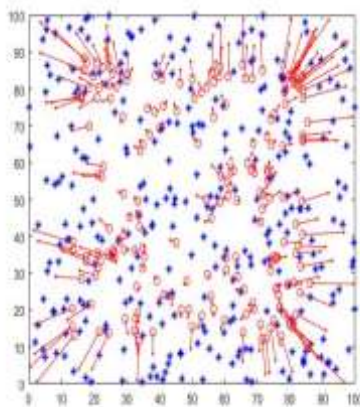
(a) R=30, Fwc, wsn3



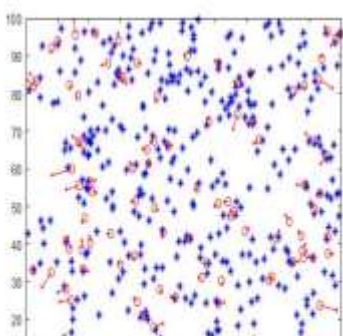
(b) R=50, Fwc, wsn3



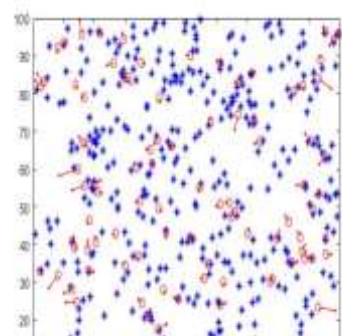
(c) R=70, Fwc, wsn3



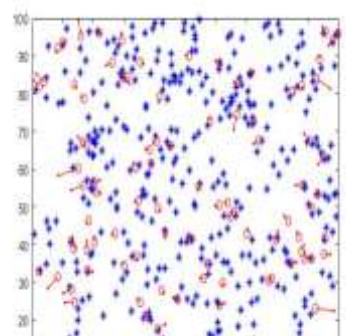
شکل (۷) - روش Fwc-psd با فضای کاری WSN3 در شعاع ۳۰، ۵۰ و ۷۰ بدون حفره برای سه روش



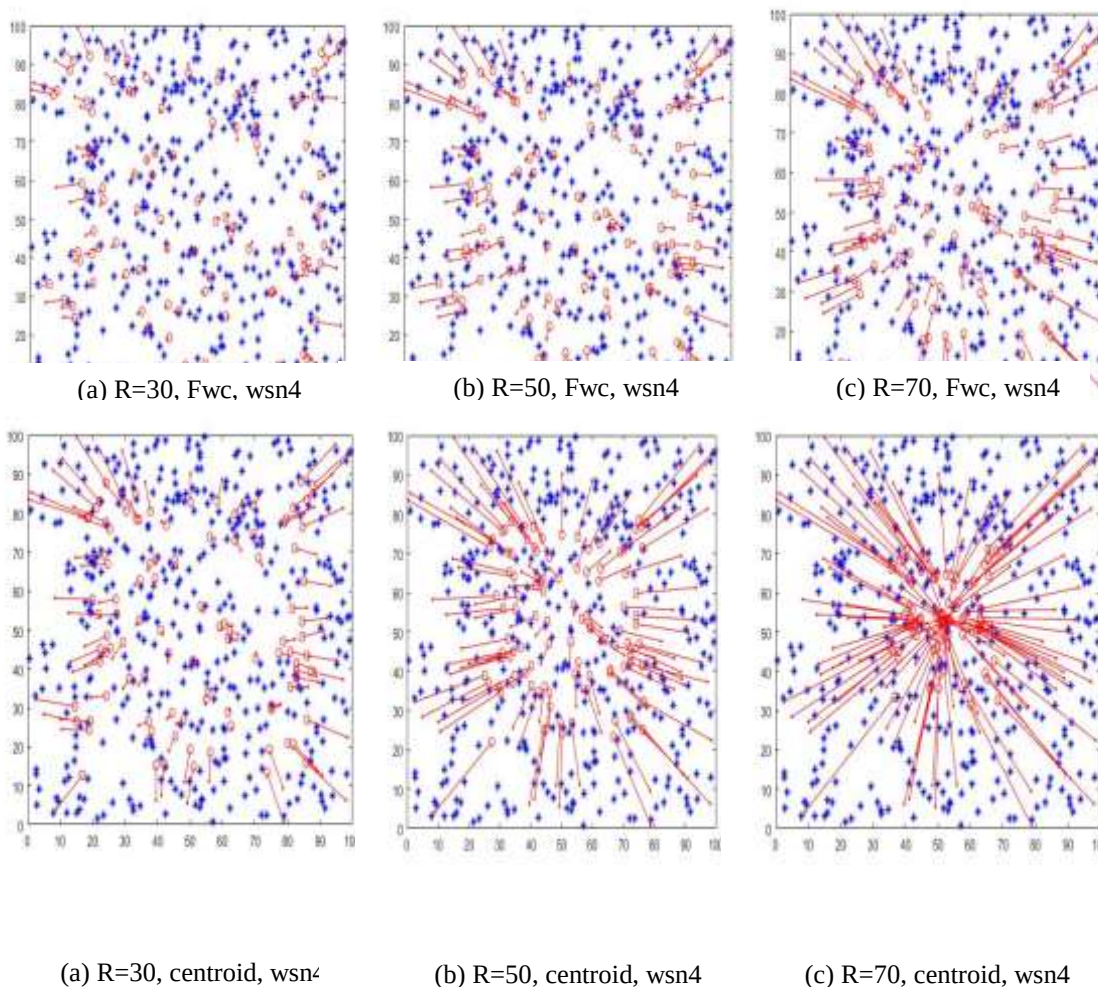
(a) R=30, fwc-psd, wsn4



(b) R=50, fwc-psd, wsn4



(c) R=70, fwc-psd, wsn4



شکل ۸- روش Fwc- pso با فضای کاری WSN4 در شعاع ۳۰، ۵۰ و ۷۰ بدون حفره برای سه روش

۳-۴- تنظیم پارامترهای الگوریتم بهینه‌سازی ذرات

تنظیم pso تأثیر بسیاری بر کارایی الگوریتم دارد به منظور تنظیم پارامترهای pso هر پارامتر با مقادیر مختلف بررسی گردید و مطابق با کارایی الگوریتم برای داده‌های مختلف مورد نظر، تعریف و تنظیم می‌شود. شتاب هر ذره به سمت Pbest و gbest از طریق دو ضریب وزنی $C1$ و $C2$ انجام می‌شود. $C1$ و $C2$ ضرایب شتاب نامیده می‌شوند که مقادیری ثابت و مثبت اختیار می‌کنند. $C1$ ضریبی است که مشخص می‌کند ذره تا چه اندازه تحت تأثیر بهترین تجربه فردی یا بهترین وضعیت حافظه خود (Pbest) قرار می‌گیرد و $C2$ بیان‌کننده تأثیری است که هر ذره از بهترین تجربه گروهی یا بهترین ذره از ابتدا تاکنون (gbest) دریافت می‌کند. طبق اکثر مقالات این ضرایب معمولاً در بازه ۰ تا ۲ انتخاب می‌شوند. همچنین $r1$ و $r2$ نیز اعدادی تصادفی در بازه (۰ و ۱) می‌باشند که باعث تنوع حرکت ذرات بین Pbest و gbest می‌شوند. تنظیم این پارامترها در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۳-تنظیم پارامترهای PSO

مقدار پارامتر	اسم پارامتر
50	MaxIntertaion
5	PopSize
2	C1, C2
1	r1, r2
0.9	W-Max
0.4	W-Min

۳-۵- نتایج شبیه‌سازی

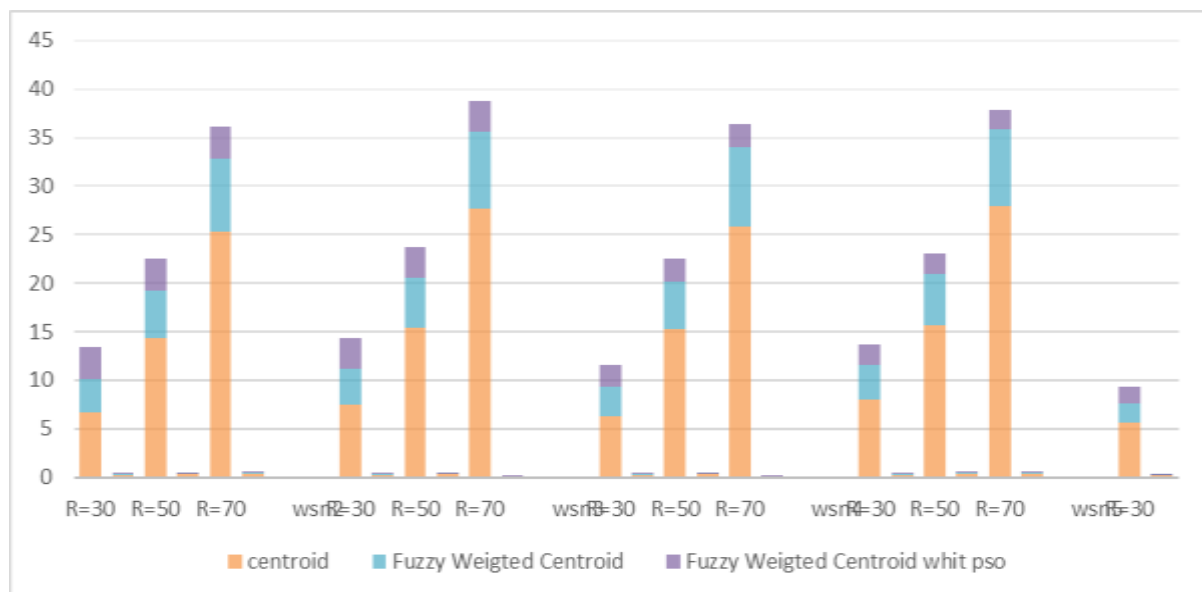
طی بررسی‌های به عمل آمده و همچنین تجزیه و تحلیل‌های صورت گرفته در مورد روش محلی‌سازی مبتنی بر مرکز ثقل، نتایج شبیه‌سازی centroid, fwc, fwc-psy در شرایط مختلف فضای کاری wsn1 تا wsn4، بدون حفره و شعاع‌های ۳۰ متر، ۵۰ متر و ۷۰ متر نشان داده شده است که در جدول‌های (۴) و شکل ارائه شده نشان داده می‌شود.

طبق جدول مقایسه نتایج سه روش ارائه شده، نتیجه این تجزیه و تحلیل به این صورت می‌باشد: با افزایش شعاع رادیویی R روش مسیریابی Centroid کارایی خود را از دست می‌دهد که در روش Fwc مسیریابی را تا حدودی بهبود می‌دهد و در نهایت در روش پیشنهادی fwc-psy این مشکل رفع شده است.

۴- نتیجه‌گیری

متداول‌ترین روشی که برای مکان‌یابی در شبکه‌های حسگر بیسیم وجود دارد، روش مرکز ثقل (Centroid) است. در این پژوهش روش ترکیبی پیشنهادی مبتنی بر منطق فازی و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای مکان‌یابی سنسورهای ناشناخته در شبکه‌های حسگر بیسیم، موقعیت یک گره ناشناخته توسط میانگین‌گیری از تمام گره‌های لنگری که در شعاع رادیویی گره ناشناخته قرار دارند، انجام می‌گیرد.

باتوجه به نمودار میله‌ای ارائه شده در شکل (۹) میانگین خطای موقعیت‌یابی (ALE) که بر حسب متر است و (ALE-P) بر حسب درصد است، در ۱۲ فضای کاری بدون حفره و شعاع رادیویی ۳۰ متر، ۵۰ متر و ۷۰ متر مطابق شکل (۵) تا (۸) در روش پیشنهادی fwc-psy به حداقل رسیده و همچنین مشکل افزایش شعاع رادیویی در دو روش‌های centroid, fwc را برطرف کرده است.



شکل ۹- نمودار میله‌ای مقایسه میانگین خطای موقعیت‌یابی در سه روش

منابع

- [1] H. Lee, K. Chung, K. Jhang, A study of Wireless Sensor Network Routing protocols for maintenance access hatch condition surveillance, J. Info. Process. Syst. 9 (2013) 237-246.
- [2] G. Zhou, T. Yi, Recent developments on wireless sensor networks technology for bridge health monitoring, Math. Probl. Eng. 2013 (2013) 1-33.
- [3] Santar Pal Singh, S. C. Sharma. 2015, Range Free Localization Techniques in Wireless Sensor Networks: A Review. Procedia Computer Science 57 (2015) 7 - 16.
- [4] L. Cheng, C. Wu, Y. Zhang, H. Wu, M. Li, C. Maple, A survey of localization in Wireless Sensor Network, Int. J. Distrib. Sens. Netw. (2012).
- [5] N. A. Alrajeh, M. Bashir, B. Shams, Localization techniques in wireless sensor networks, Int. J. Distrib. Sens. Netw. 2013 (2013).
- [6] S. Yun, J. Lee, W. Chung, E. Kim, and Centroid localization method in wireless sensor networks using TSK fuzzy modeling, in: Proceedings of the Int. Symposium on Advanced Intelligence Systems, (2005), pp. 971-974.
- [7] D. F. Larios, J. Barbancho, F. J. Molina, C. León, and LIS: localization based on an intelligent distributed fuzzy system applied to a WSN, Ad Hoc Netw. 10 (2012) 604-622.
- [8] A. Shareef, Y. Zhu, and M. Musavi, Localization using neural networks in wireless sensor networks, in: 2008 1st International Conference on Mobile Wireless Middleware, Operating Systems, and Applications, 2008, pp. 1-7.
- [9] M.S. Rahman Y. Park, K. Kim, RSS-Based indoor localization algorithm for Wireless Sensor Network using generalized regression neural network, Arab J. Sci. Eng. 37 (2012) 1043-1053.

- [10] N. Li, J. Chen, Y. Yuan, X. Tian, Y. Han, M. Xia, A Wi-Fi Indoor localization strategy using particle swarm optimization based artificial neural networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks*. 12 (2016) 1-9.
- [11] G. Yang, Z. Yi, N. Tianquan, Y. Keke, X. Tongtong, An improved genetic algorithm for wireless sensor networks, in: *Proceedings of IEEE Int. Conf. of the Bio-Inspired Comput.: Theories and Appl.*, 2010, pp. 439-443.
- [12] S. Phoemphon & Chakchai So-In & and Dusit (Tao) Niyato, A Hybrid Model using Fuzzy Logic and an Extreme Learning Machine with Vector Particle Swarm Optimization for Wireless Sensor Network Localization (2018)
- [13] S. Yun, J. Lee, W. Chung, E. Kim, S. Kim, A soft computing approach to localization in wireless sensor networks, *Expert Syst. Appl.* 36 (2009) 7552-7561. [14] A .Kumar Paul, T . Sato. (2017). Localization in Wireless Sensor Networks: A Survey on Algorithms, Measurement Techniques, Applications and Challenges. Volume 110 Issue C, December 2016 Pages 284-305
- [15] L. Chelouah, L.CH, Fouzi Semchedine, F.S, Louiza Bouallouche-Medjkoune, L.B.M, 2018. Localization protocols for mobile wireless sensor networks: A survey. Volume 71, October 2018, Pages 733-751.
- [16] A. Matic, A. Popleteev, V. Osmani, O. Mayora-Ibarra, FM radio for indoor localization with spontaneous recalibration, *Pervasive Mobile Comput.* 6 (2010) 642-646.
- [17] G. Zhou, T. Yi, Recent developments on wireless sensor networks technology for bridge health monitoring, *Math. Probl. Eng.* 2013 (2013) 1-33.
- [18] S. Guolin, C. Jie, G. Wei, and K. J. R. Liu, "Signal processing techniques in network-aided positioning: a survey of state-of-the-art positioning designs," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 12-23, 2005
- [19] F. Gustafsson and F. Gunnarsson, "Mobile positioning using wireless networks: possibilities and fundamental limitations based on available wireless network measurements," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 22, no. 4, pp. 41-53, 2005.
- [20] L. Dosiek. (2019). On the Cramer-Rao Bound of Power System Electromechanical Mode Meters. *IEEE Transactions on Power Systems* (Early Access).1-1
- [21] Petr Cintula, Christian G. Fermüller, and Carles Noguera, Fuzzy Logic, First published Tue Nov 15, 2016; substantive revision Tue Jul 18, 2017.