

یک روش فازی برای یافتن منشاء انتشار گازهای سمی با استفاده از شبکه‌های سنسور

مهدی اثنی عشری^{*}، محمد رضا میبدی[†]، محسن عبادزاده[‡]

چکیده

در این مقاله یک روش فازی برای یافتن منشاء انتشار گازهای سمی در محیط با استفاده از شبکه‌های سنسوری پیشنهاد می‌گردد. روش ارائه شده با به کارگیری یک سیستم خبره فازی می‌تواند در محیط‌هایی با نویز بالا و نیز در شرایطی که برخی از ندھای شبکه سنسور اطلاعات نادرستی را گزارش می‌نمایند به خوبی عمل نماید و منشاء انتشار گازهای سمی را پیدا کند. در این روش، هر ند سنسور میزان ماده سمی اطراف خود را تعیین کرده و آن را به همراه موقعیت مکانی فعلی خود در سطح شبکه سنسور پخش می‌نماید. سپس هر ند با دریافت اطلاعات سایر ندھا و به کمک سیستم خبره فازی ارائه شده، مناسب‌ترین موقعیت مکانی بعدی خود در محیط را تعیین کرده و به سمت آن موقعیت حرکت می‌کند. فعالیت شبکه تا زمانی که یکی از ندھا منشاء انتشار گازهای سمی را بیابد ادامه پیدا می‌کند. روش پیشنهادی شبیه‌سازی گردیده و با روش‌های موجود مقایسه شده است.

کلمات کلیدی

شبکه‌های سنسور، انتشار گازهای سمی، سیستم خبره فازی

A Fuzzy Based Method for Hazardous Contaminants Localization Using Sensor Networks

M. Esnaashari, M. R. Meybodi, M. Ebadzadeh
Computer Engineering and Information Technology Department
Amirkabir University, Tehran, Iran

Abstract

In this paper, a fuzzy based method for hazardous contaminants localization using sensor networks will be proposed. The proposed method can perform well in noisy environments and in case of faulty sensor readings. Each node senses the contaminant concentration value around itself and broadcasts it along with its position information through sensor network. This way, all nodes have the current position and sensor readings of all other nodes. This information then fed to a fuzzy expert system which helps the node to specify the direction of more contaminant concentration. Node then moves towards the specified direction. This process continues until at least one of the nodes reaches the location of the hazardous source. The proposed method is simulated and compared with similar methods.

Keywords

Sensor Networks, Hazardous Contaminants Dispersion, Fuzzy Expert System

esnaashari@aut.ac.ir

meybodi@aut.ac.ir

ebadzadeh@aut.ac.ir

*

†

‡

۱- مقدمه

در این مقاله یک روش فازی برای یافتن منشاء انتشار گازهای سمی در محیط با استفاده از شبکه‌های سنسوری پیشنهاد می‌گردد. بدین منظور از مجموعه‌ای از روبات‌ها با قابلیت‌های پائین استفاده می‌شود. این روبات‌ها با تشکیل یک شبکه سنسور و از طریق همکاری و تبادل اطلاعات با یکدیگر، سعی در رسیدن به هدف مورد نظر خواهند داشت. فرض می‌شود که محیط مورد جستجو و نیز سنسورهای هر روبات دارای نویز می‌باشند و لذا اطلاعات به دست آمده توسط هر روبات نمی‌تواند به طور صدرصد قابل قبول باشد. برای حل مشکل وجود نویز از یک سیستم خبره فازی استفاده شده است. با استفاده از این سیستم خبره فازی، اطلاعات به دست آمده توسط هر روبات تا حد ممکن تصحیح شده و سپس برای نتیجه‌گیری مورد استفاده قرار گیرد.

ادامه مقاله بدین صورت سازماندهی شده است. در بخش ۲ به مروری بر کارهای گذشته پرداخته می‌شود. تعریف مسئله در بخش ۳ و روش پیشنهادی در بخش ۴ آمده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها و مقایسه این نتایج با نتایج روش‌های دیگر در بخش ۵ آورده است. بخش نهایی مقاله نتیجه‌گیری می‌باشد.

۲- کارهای گذشته

مسئله یافتن منشاء تولید گاز در محیط را می‌توان به عنوان زیرمجموعه‌ای از مسائل کاوش محیط مطرح کرد. کاوش محیط دارای مقاصد مختلفی از قبیل کاوش و مانیتور کردن محیط به منظور تولید یک واقعیت مجازی از آن [9]، کاوش مناطق ناشناخته و تولید نقشه آنها [10]، مانیتور محیط برای تشخیص وقوع پدیده‌های نظری آتش و سیل [17] و تشخیص موقعیت [18] می‌باشد. مسئله یافتن منشاء تولید گاز در یک محیط به عنوان زیرمجموعه‌ای از مسائل کاوش محیط مطرح می‌باشد. یافتن منشاء تولید گاز در یک محیط می‌تواند به سه زیربخش (۱) یافتن نشانه‌ای از گاز در محیط، (۲) حرکت به سمتی که میزان گاز استشمام شده بیشتر شود و (۳) تشخیص منشاء گاز تقسیم شود [5]. اکثر فعالیت‌های صورت پذیرفته در این زمینه، بر بخش‌های اول و دوم از این مسئله متمرکز بوده‌اند [3,4] و [16-13]، ولی برخی از فعالیت‌ها نیز نظری آنچه که در مرجع [6] آمده است، بر بخش سوم این مسئله تأکید داشته‌اند. به علاوه، برخی از مراجع نظری [11] و [12] به جای پرداختن به مسئله یافتن منشاء تولید گاز، سعی نموده‌اند مدل معکوسی را برای تخمین پارامترهای دخیل در چگونگی انتشار گاز در محیط ارائه نمایند که در آن با دانستن میزان گاز موجود در هر نقطه، پارامترهای نظری جهت و سرعت حرکت باد و میزان گاز در منشاء قابل تخمین زدن باشند.

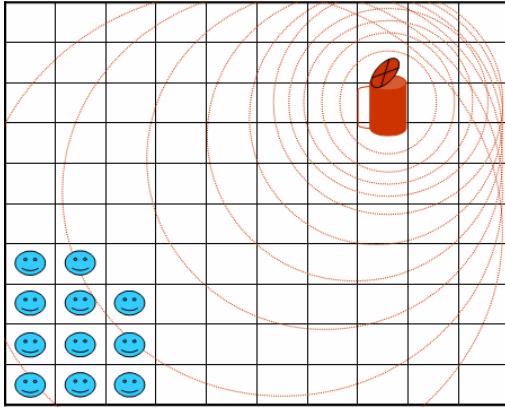
در بسیاری از فعالیت‌های صورت پذیرفته برای حل دو بخش اول و دوم این مسئله، از طبیعت الهام گرفته شده است. به عنوان نمونه، مرجع [7] با بررسی چگونگی حرکت باکتری‌ها به سمت یک ماده شیمیائی خاص و الهام گرفتن از آن، به ارائه روشی برای یافتن مواد

پخش شدن مواد سمی در محیط می‌تواند به دلایل گوناگونی از جمله حملات دشمن انفاق افتد. در صورت بروز چنین وضعیتی لازم است که هرچه سریع‌تر منشاء این آلودگی پیدا شده و به گونه‌ای تحت کنترل درآید. اگرچه در بسیاری از کاربردها استفاده از سگهای تربیت شده‌ای که دارای حس بویایی فوق العاده هستند، می‌تواند کمک کننده باشد ولی در مورد گازهای سمی با توجه به خطرات فراوان استشمام آنها، چنین راهکاری مناسب نمی‌باشد. راه حل دیگری که به نظر می‌رسد آن است که فرد یا افرادی محیط را همواره تحت نظارت داشته باشند، تا در صورت بروز هرگونه حادثه غیرمتربقه‌ای (از جمله انتشار گازهای سمی) به سرعت عکس العمل مناسب را نشان دهند. بدیهی است که این راه حل نیز علاوه بر هزینه بالائی که دارد، به دلیل خطرات جانی برای افراد ناظر به هیچوجه نمی‌تواند مناسب باشد. بنابراین به نظر می‌رسد که استفاده از روبات‌های ماشینی به منظور دستیابی به هدف مد نظر در این مسئله، تنها راه حل موجود است.

یک روبات با قابلیت‌های بالا ممکن است بتواند به تنهایی با حرکت در محیط و تعیین میزان گاز سمی دریافتی در هر نقطه، به سرعت منشاء انتشار گاز را بیابد، ولی به چندین دلیل استفاده از چندین روبات با قابلیت‌های پائین‌تر بدین منظور راه حل مناسب‌تری خواهد بود. هزینه استفاده از یک روبات با قابلیت‌های بالا می‌تواند بسیار بیشتر از هزینه استفاده از چندین روبات با قابلیت‌های پائین‌تر باشد، به علاوه در صورتی که به هر دلیل روبات خراب شود، هزینه برداختی در حالت استفاده از یک روبات با قابلیت‌های بالا بسیار بیشتر خواهد بود. دلیل دیگر وجود نویزهای احتمالی در محیط می‌باشد که می‌تواند عملکرد روبات را دچار اختلال نماید. استفاده از چندین روبات می‌تواند قدرت بیشتری را برای غلبه بر نویزهای احتمالی محیط فراهم آورد. همچنین استفاده از چندین روبات می‌تواند افزایش قابل توجهی در سرعت یافتن منشاء انتشار گاز به وجود آورد. با توجه به خطرات ناشی از پخش شدن هرچه بیشتر این گازها در محیط، بدیهی است که سرعت عمل راهکار ارائه شده بسیار حائز اهمیت می‌باشد.

در صورت استفاده از چندین روبات، چگونگی برقراری ارتباط میان روبات‌ها و انتقال اطلاعات به دست آمده توسط هریک به دیگران باید مد نظر قرار گیرد. یکی از گزینه‌های مناسب برای این منظور شبکه‌های سنسوری می‌باشد. روبات‌های با قابلیت پائین، می‌توانند هریک به یک فرستنده و گیرنده بی‌سیم مجhz شده و از این طریق به برقراری ارتباط با یکدیگر و تبادل اطلاعات بپردازنند. بدیهی است که با توجه به قابلیت‌های پائین هر روبات، کلیه روبات‌ها نمی‌توانند به طور مستقیم با یکدیگر در ارتباط باشند، بلکه تنها روبات‌هایی که در همسایگی یکدیگر قرار می‌گیرند قادر به برقراری ارتباط مستقیم با یکدیگر هستند. ارتباط سایر روبات‌ها با یکدیگر از طریق برقراری یک شبکه موردنی^۱ میان روبات‌ها صورت می‌پذیرد.

موجود در سلول خود را تعیین نماید، ولی فرض آن است که سنسور روبات‌ها دارای درصدی از خطای می‌باشد. همچنین محیط نیز دارای نیز است و لذا اطلاعات به دست آمده در هر سنسور به طور کامل قابل اطمینان نمی‌باشند.



شکل (۱) محیط مسئله یافتن منشاء انتشار گازهای سمی

هر روبات در شبکه سنسور تنها می‌تواند با روبات‌های در همسایگی ۸ تائی خود به طور مستقیم ارتباط برقرار کند ارتباط با سایر روبات‌ها به صورت غیرمستقیم و از طریق روبات‌های میانی صورت می‌پذیرد. همچنین حرکت روبات‌ها باید به گونه‌ای باشد که ارتباط آنها با یکدیگر قطع نشود. به عبارت دیگر، نباید شبکه سنسور موجود میان روبات‌ها به چند مولفه بدون ارتباط با یکدیگر تقسیم شود.

۴- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل چهار مرحله اصلی می‌باشد. در ابتدا هر روبات میزان گاز سمی موجود در سلول خود را تعیین کرده و آن را در سطح شبکه سنسور پخش می‌نماید تا سایر روبات‌ها نیز از آن مطلع شوند. سپس هر روبات مجموعه‌ای از سلول‌های توری را که می‌تواند به آنها منتقل شود تعیین می‌کند. در مرحله سوم که مهم‌ترین مرحله این راهکار می‌باشد، هر روبات بر اساس اطلاعات به دست آمده از سایر روبات‌ها و با استفاده از یک سیستم خبره فازی، یکی از سلول‌های توری را به عنوان مقصد انتخاب می‌کند. در مرحله آخر، روبات به سمت سلول مقصد خود حرکت کرده و در داخل آن قرار می‌گیرد. فرض می‌شود که حرکت روبات‌ها بدون خطای می‌باشد و روبات می‌تواند با دقیق مناسبی، به مقصد مورد نظر خود برسد.

مرحله اول این راهکار نیازمند پروتکلی برای مسیریابی در شبکه سنسور می‌باشد. در مراجع [۱] و [۲] مروری بر پروتکل‌های مختلف مسیریابی در شبکه‌های سنسور ارائه شده است. به نظر می‌رسد که با توجه به کوچک بودن ابعاد شبکه سنسور مورد استفاده در این مسئله، استفاده از پروتکل‌های ساده‌ای نظیر Flooding و یا Gossiping کافی باشد. درباره مرحله آخر این راهکار به دلیل سادگی توضیح بیشتری داده نمی‌شود. در ادامه به ارائه جزئیات دقیق‌تر مراحل دوم و سوم روش پیشنهادی می‌پردازیم.

شیمیائی در محیط پرداخته است که در آن مجموعه‌ای از روبات‌ها با تقلید از روش باکتری‌ها سعی در یافتن منشاء مواد مزبور دارند. همچنین در مرجع [۸] با استفاده از یک روبات که حرکت نوعی از پروانه را در دنبال کردن بو تقلید می‌کند، منشاء تولید گاز در محیط تعیین می‌شود.

با توجه به آنکه روش ارائه شده در این مقاله، بر مبنای آنچه که در دو مرجع [۳] و [۴] ارائه شده، بنا شده است، به بیان جزئیات بیشتری درباره روش این دو مرجع می‌پردازیم. در این دو مرجع مجموعه‌ای از روبات‌ها با تشکیل یک شبکه سنسوری سعی می‌کنند منشاء انتشار گازهای سمی در محیط را بیابند. هر روبات میزان گاز استشمام شده در اطراف خود را تعیین کرده و آن را از طریق شبکه سنسوری موجود میان روبات‌ها، برای دیگران ارسال می‌دارد. هر روبات با دریافت اطلاعات مربوط به سایر روبات‌ها، سعی می‌کند نقطه‌ای از محیط را به عنوان مقصد بعدی خود برگزیند که به منشاء تولید گاز نزدیک‌تر باشد. بدین منظور، ابتدا مجموعه‌ای از نقاط به عنوان مقصد های قابل دسترسی تعیین می‌شوند. نقطه‌ای مقصد قابل دسترسی نامیده می‌شود که در صورت حرکت روبات به آن نقطه، ارتباط میان کلیه روبات‌ها از بین نرود و یا به عبارت دیگر، شبکه سنسوری موجود به دو تکه مجزا تقسیم نشود. پس از مشخص شدن این مجموعه نقاط، در مرجع [۳] از یک کنترل کننده فازی به منظور انتخاب یکی از این نقاط به عنوان مقصد استفاده می‌شود. این کنترل کننده، حداکثر گاز استشمام شده توسط سایر روبات‌ها را به همراه زاویه قرار گرفتن روباتی که این میزان حداکثر را گزارش نموده است به عنوان ورودی دریافت و به عنوان خروجی، جهت مناسب برای حرکت روبات را تعیین می‌کند. بر این اساس، روبات یکی از مقصد های تعیین شده را انتخاب و به سمت آن حرکت می‌کند. در مرجع [۴] برای هریک از مقصد های قابل دسترسی بر اساس رابطه (۱) پارامتر بایاس تعیین می‌شود.

$$B_{(x,y)} = \frac{K}{n} \times \sum_{i=0}^n \left(\frac{C_i}{r_i^2} \right) \quad (1)$$

در این رابطه، K عددی ثابت، n تعداد روبات‌ها، C_i میزان گاز استشمام شده توسط روبات i و r_i فاصله روبات i از نقطه مدنظر می‌باشد. نقطه‌ای که دارای بیشترین پارامتر بایاس می‌باشد، به عنوان مقصد بعدی روبات در نظر گرفته می‌شود.

۳- تعریف مسئله

محیط در این مسئله به صورت یک توری^۳ دو بعدی در نظر گرفته می‌شود که هر روبات، یک سلول از آن را اشغال می‌کند. روبات‌ها در ابتدای مسئله در گوشۀ پائین سمت چپ این توری قرار می‌گیرند (شکل (۱)). منشاء تولید گازهای سمی در یکی از سلول‌های توری قرار دارد و هدف روبات‌ها آن است که با حرکت در توری، به این سلول برسند. هر روبات می‌تواند با استفاده از سنسور خود، میزان گاز سمی

۴-۱- تعیین مجموعه سلول‌های مقصد

همانگونه که قبلاً گفته شد در مرجع [3] برای تعیین سلول مقصد در هر روبات k از یک کنترل کننده فازی استفاده شده است، ورودی این کنترل کننده، حداکثر میزان گاز استشمام شده توسط سایر روبات‌ها و نیز زاویه روباتی که این میزان حداکثر را گزارش کرده است نسبت به روبات k می‌باشد. روش مورد استفاده دارای چند نقطه ضعف اساسی است. یکی از نقاط ضعف این روش آن است که به دلیل اینکه فقط اطلاعات روباتی که حداکثر میزان گاز استشمام شده را گزارش کرده است در ورودی کنترل کننده مورد استفاده قرار می‌گیرد. حساسیت این روش نسبت به نویز در محیط و نیز خرابی سنسور روبات‌ها بسیار بالا می‌باشد. اگر میزان نویز محیط بالا باشد، حداکثر میزان گاز استشمام شده قابل قبول نبوده و ممکن است باعث دور شدن روبات‌ها از مسیر اصلی به سمت منشاء انتشار گازها شود.

ضعف دیگر این روش آن است که استفاده از چندین روبات به طریقی که در این روش ارائه شده است باعث می‌شود که هزینه تحمیل شده به سیستم چندین برابر گردد، در حالی افزایش سرعت جستجو در محیط اندک خواهد بود. استفاده از کنترل کننده فازی نیز در این روش چندان مناسب به نظر نمی‌رسد، زیرا تنها نقش این کنترل کننده در روبات k آن است که با دریافت زاویه قرار گرفتن روباتی که بیشترین میزان گاز را استشمام کرده است، روبات k را به سمت آن روبات هدایت کند. به نظر می‌رسد که نقش مزبور نیازی به کنترل کننده فازی ندارد و می‌تواند به صورت ساده‌تری نیز پیاده‌سازی شود.

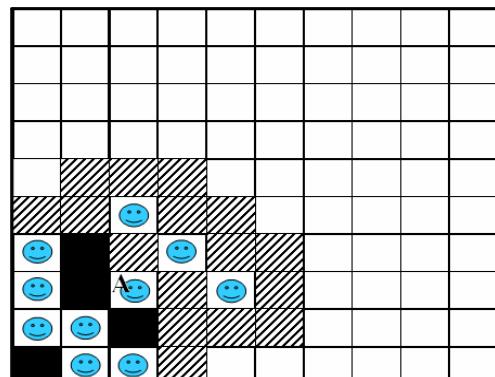
روش پیشنهادی سعی می‌کند مشکلات فوق الذکر را تا حد زیادی مرتفع کند. بدین منظور، به جای استفاده از یک کنترل کننده فازی، در این روش از یک سیستم خبره فازی استفاده شده است. وظیفه این سیستم خبره آن است که میزان صحت اطلاعات به دست آمده توسط هر روبات را تعیین کند. بدین ترتیب می‌توان به کمک این سیستم خبره، تأثیر عوامل نامطلوبی چون وجود نویز زیاد و نیز نادرستی خروجی برخی از سنسورها را تحدیز کاهش داده و بر اساس اطلاعات دقیق‌تری به تصمیم‌گیری برای تعیین سلول مقصد پرداخت. در ادامه ابتدا ساختار داخلی سیستم خبره مزبور معرفی شده و سپس روش ارائه شده برای تعیین سلول مقصد با جزئیات کامل ارائه خواهد شد.

۴-۲-۴- ساختار داخلی سیستم خبره

سیستم خبره ارائه شده بر این اساس کار می‌کند که با توجه به نزدیکی روبات‌ها به یکدیگر (به دلیل وجود شرط حفظ پیوستگی میان کلیه روبات‌ها در شبکه سنسور)، طبیعتاً نباید در میزان گاز استشمام شده توسط آنها تفاوت‌های چشم‌گیری دیده شود. به عبارت دیگر، در صورتی که میزان گاز استشمام شده توسط یکی از این روبات‌ها نسبت به سایر روبات‌ها تفاوت قابل ملاحظه‌ای مشاهده شود میتوان نتیجه گرفت که اطلاعات آن روبات دارای دقت پایینی است. تعیین میزان

با توجه به شرط پیوستگی شبکه و چندتکه نشدن آن، یک روبات نمی‌تواند به هر سلول دلخواهی منتقل شود، بلکه تنها سلول‌های می‌توانند به عنوان مقصد روبات برگزیده شوند که شبکه را متصل نگاه دارد. به علاوه، با توجه به آنکه لزومی به بررسی مجدد سلول‌های تکراری نیست، مجموعه سلول‌هایی که تا کنون توسط لاقل یکی از روبات‌ها بررسی شده است از لیست سلول‌های مقصد حذف می‌شود. برای تعیین مجموعه سلول‌های مقصد یک روبات قدم‌های زیر انجام می‌گیرد.

- ابتدا بررسی می‌شود که آیا روبات امکان حرکت کردن دارد یا خیر. روبات در صورتی می‌تواند حرکت کند که حرکت آن باعث ایجاد گسیختگی در شبکه نشود. به عنوان مثال، روبات A در شکل ۲ نمی‌تواند حرکت کند، زیرا با حرکت این روبات شبکه به دو قسمت که با هم‌دیگر ارتباط ندارند تقسیم می‌شود. در صورتی که روبات نتواند حرکت کند، قدم‌های بعدی انجام نمی‌گیرد.
- سلول‌هایی که قبلاً توسط این روبات و یا سایر روبات‌ها بررسی شده‌اند از لیست انتخاب‌ها حذف می‌شوند. بدین منظور، هر روبات باید لیست بروز شده‌ای از سلول‌های بررسی شده توسط خود و یا سایر روبات‌ها را در اختیار داشته باشد. این لیست از طریق اطلاعاتی که در مرحله اول روش پیشنهادی بین روبات‌ها رد و بدل می‌شود قابل تهیه می‌باشد.
- سلول‌هایی که جزء سلول‌های بررسی شده نیستند و در صورت انتقال روبات به آنها، پیوستگی شبکه از بین نمی‌رود به عنوان مجموعه سلول‌های مقصد روبات تعیین می‌شوند. به عنوان مثال، در شکل (۲)، سلول‌های مقصد برای روبات A سلول‌هایی هستند که به صورت هاشور خورده مشخص شده‌اند. پس از تعیین مجموعه سلول‌های مقصد، یکی از آنها برای انتقال روبات به آن انتخاب می‌شود. چگونگی تعیین این سلول در ادامه شرح داده می‌شود.



شکل (۲) نمایی از سلول‌های بررسی شده (مشکی) و مجموعه سلول‌های مقصد (هاشور خورده)

با توجه به آنچه در گفته شد میزان صحت اطلاعات روبات k بر اساس تفاوت آن با $MeanC$ برآورد می‌شود. بنابراین قوانین سیستم خبره فازی موردنظر بایستی بر این مبنای تعیین شوند. با توجه به آنکه برای فازی‌سازی اطلاعات ورودی از 3 متغیر زبانی زیاد، متوسط و کم استفاده شد، 9 قانون مختلف در این سیستم مورد استفاده قرار می‌گیرند که شکل (۶) آنها را به طور کامل ارائه می‌کند. این قوانین به گونه‌ای تعریف شده‌اند که هرچه مقدار C_k و $MeanC$ به یکدیگر نزدیک‌تر باشند، میزان صحت اطلاعات بیشتر و هرچه این دو مقدار از یکدیگر دورتر باشند، میزان صحت اطلاعات کمتر می‌باشد.

1. If C_k is L and $MeanC$ is L, then **Accuracy** is H
2. If C_k is L and $MeanC$ is M, then **Accuracy** is M
3. If C_k is L and $MeanC$ is H, then **Accuracy** is L
4. If C_k is M and $MeanC$ is L, then **Accuracy** is M
5. If C_k is M and $MeanC$ is M, then **Accuracy** is H
6. If C_k is M and $MeanC$ is H, then **Accuracy** is M
7. If C_k is H and $MeanC$ is L, then **Accuracy** is L
8. If C_k is H and $MeanC$ is M, then **Accuracy** is M
9. If C_k is H and $MeanC$ is H, then **Accuracy** is H

شکل (۶) قوانین مورد استفاده در سیستم خبره فازی

با توجه به آنکه خروجی موردنظر انتظار از این سیستم خبره باید مقداری دقیق و غیرفازی باشد، در خروجی سیستم از غیرفازی‌ساز مرکز جرم استفاده می‌شود.

۴-۲-۴- چگونگی تعیین سلول مقصد

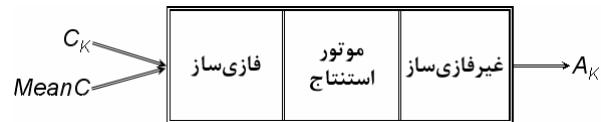
تعیین سلول مقصد در روبات k بر طبق گام‌های زیر خواهد بود می‌گیرد:

1. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سایر روبات‌ها از طریق شبکه سنسور
 2. تعیین مقدار $MeanC$ بر اساس رابطه (۲)
 3. برای کلیه روبات‌های $i \neq k$ i مراحل زیر تکرار شود
 - ۱-۳. مقادیر C_i و $MeanC$ به عنوان ورودی سیستم خبره فازی استفاده شود
 - ۲-۳. خروجی سیستم خبره فازی (A_i) تعیین شود
 - ۳-۳. اطلاعات تصحیح شده روبات i از رابطه
- $$C_i^A = A_i \times C_i$$
- محاسبه شود
۴. $j = \arg \max_i (C_i^A)$ روبات j از رابطه مشخص شود
 ۵. از مجموعه سلول‌های مقصد، نزدیک‌ترین سلول به سلولی که روبات j در آن قرار دارد به عنوان سلول مقصد انتخاب شود.

تفاوت اطلاعات یک روبات با سایر روبات‌ها، می‌تواند بر اساس تفاوت اطلاعات آن روبات با میانگین اطلاعات کلیه روبات‌ها صورت پذیرد. به عبارت دقیق‌تر، در صورتی که میزان گاز استشمام شده توسط روبات k را با C_k و تعداد روبات‌ها را با N نشان دهیم، برای تعیین میزان صحت اطلاعات روبات k لازم است که C_k را با $MeanC$ که از رابطه (۲) محاسبه می‌شود مقایسه کنیم.

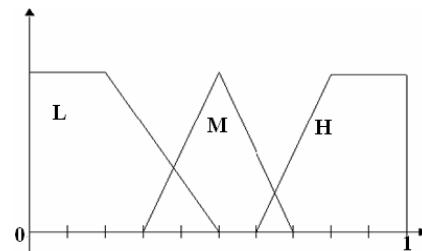
$$MeanC = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N C_i \quad (2)$$

وظیفه سیستم خبره این است که با دریافت دو مقدار C_k و $MeanC$ ، این مقایسه را انجام داده و میزان A_k را تعیین کند. ساختار کلی این سیستم خبره در شکل (۳) دیده می‌شود.

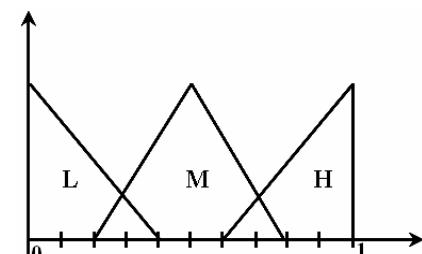


شکل (۳) ساختار کلی سیستم خبره مورد استفاده

با توجه به آنکه ورودی‌های این سیستم خبره غیرفازی هستند، لازم است که در ابتدا عمل فازی‌سازی روی آنها صورت پذیرد. برای فازی‌سازی میزان گاز استشمام شده توسط یک روبات، از متغیرهای زبانی زیاد (H)، متوسط (M) و کم (L) استفاده می‌شود. شکل (۴) توابع تعلق این متغیرهای فازی را نشان می‌دهد. همانگونه که در این شکل دیده می‌شود، میزان گاز استشمام شده توسط یک روبات در بازه [۰،۱] قرار دارد که ۱ بیانگر میزان گاز استشمام شده در محل قرارگیری منشاء انتشار گاز می‌باشد. برای بیان خروجی سیستم (میزان صحت اطلاعات) نیز از همین متغیرهای زبانی با توابع تعلق متفاوت استفاده شده است (شکل (۵)).

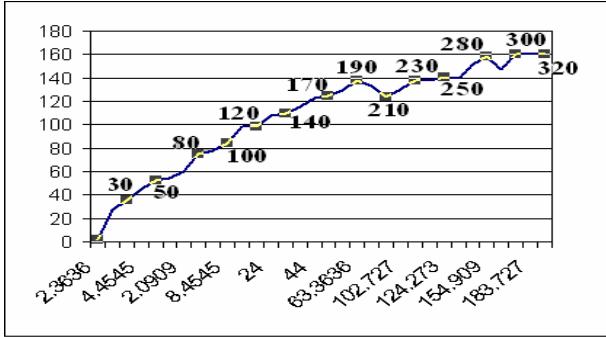


شکل (۴) توابع تعلق متغیرهای زبانی مورد استفاده برای ارائه میزان گاز استشمام شده توسط یک روبات

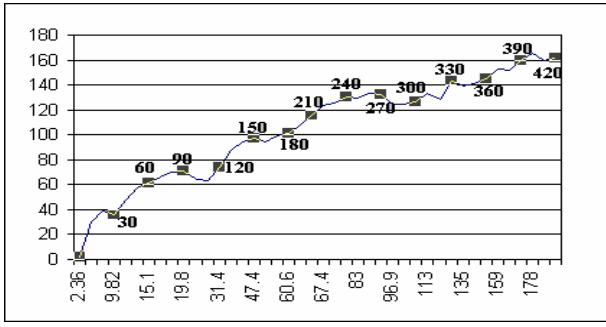


شکل (۵) توابع تعلق متغیرهای زبانی مورد استفاده برای ارائه میزان صحت اطلاعات یک روبات

مسیر بهتری را طی کرده و توانسته است در ۳۲۰ دور شبیه‌سازی منشاء انتشار گازهای سمی را پیدا کند، این در حالی است که روش راهه شده در مرجع [3] همین کار را در ۴۲۰ دور شبیه‌سازی به انجام رسانده است.



شکل (۷) مسیر طی شده توسط ربات‌ها در روش پیشنهادی. اعداد روی نمودار شماره دور شبیه‌سازی را نشان می‌دهند.



شکل (۸) مسیر طی شده توسط ربات‌ها در روش ارائه شده در [3]. اعداد روی نمودار شماره دور شبیه‌سازی را نشان می‌دهند.

۵- نتایج شبیه‌سازی‌ها

به منظور ارزیابی عملکرد روش پیشنهادی تعدادی شبیه‌سازی انجام گرفته و نتایج حاصل با نتایج به دست آمده از روش ارائه شده در [3] مقایسه می‌گردد. برای انجام شبیه‌سازیها از نرمافزار MATLAB نسخه 7.0 و برای تولید سیستم خبره فازی از جعبه ابزار ^۳-Fuzzy این نرمافزار استفاده شده است. محیط به صورت یک توری ۳۰۰*۳۰۰ مدل شده و منشاء تولید گازهای سمی در سلول ۱۶۲ (۲۰۰) قرار گرفته است. شبیه‌سازی پخش گاز در محیط توسط رابطه (۳) که در مرجع [3] ارائه شده صورت پذیرفته است.

$$C(x,y)=N_{(x,y)}+K \times \sum_{i=1}^m \left\{ \frac{P_i}{r_i^2} \right\} \quad (3)$$

در این رابطه، m تعداد منشاء‌های تولید گاز در محیط می‌باشد، P_i سرعت انتشار گازهای سمی منشاء λ ام را بیان می‌کند، r_i فاصله نقطه (x,y) تا منشاء λ ام است و K یک ضریب ثابت می‌باشد. نیز $N_{(x,y)}$ مؤلفه نویز در محیط می‌باشد. با توجه به آنکه در تمامی شبیه‌سازیها تنها از یک منشاء تولید گاز در محیط استفاده شده است، رابطه فوق به صورت ساده شده (رابطه (۴)) مورد استفاده قرار می‌گیرد. ۱۱ روبات در شبیه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که وضعیت اولیه آنها طبق شکل (۱) می‌باشد.

$$C(x,y)=N_{(x,y)}+\frac{P}{r^2} \quad (4)$$

۱-۵- آزمایش ۱

در این آزمایش چگونگی مسیر طی شده توسط ربات‌ها برای رسیدن به منشاء انتشار گازهای سمی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بدین منظور، موقعیت مکانی مجموعه روبات‌ها بر طبق رابطه (۵) در هر دور از اجرای شبیه‌سازی محاسبه می‌شود. از کنار هم قرار دادن این مقدادر برای دورهای مختلف شبیه‌سازی، مسیر طی شده توسط ربات‌ها به دست می‌آید.

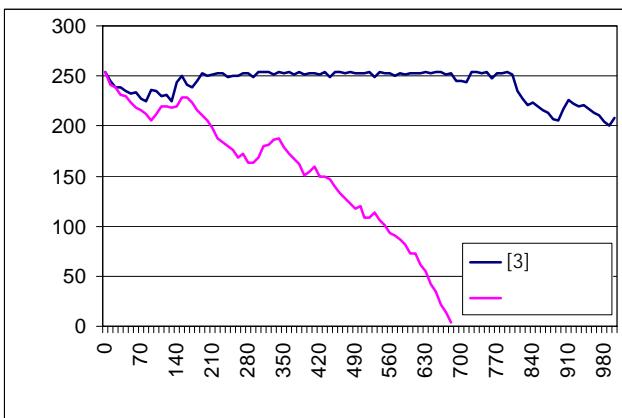
$$Pos_x=\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i \quad (5)$$

$$Pos_y=\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i$$

۲۰٪ خروجی سنسورها در این آزمایش تحت تأثیر نویز ۱۰٪ قرار دارد. به عبارت دیگر، با توجه به آنکه حداقل میزان گاز استشمام شده توسط یک روبات ۱ می‌باشد، برای هر سلوی که روباتی در آن قرار دارد، مقداری تصادفی در بازه $[0.1 / ۰.۹]$ تولید شده و ۲۰٪ خروجی سنسور روبات مزبور با این مقدار جمع شده است. شکل (۷) نتایج حاصل از روش پیشنهادی و شکل (۸) نتایج روش ارائه شده در مرجع [3] را نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی در

۲-۵- آزمایش ۲

با توجه به اسیب‌پذیری بالای ندهای سنسور، احتمال آنکه برخی از ربات‌ها در حین انجام فعالیت خراب شوند وجود دارد. به علاوه، با توجه به آنکه محیط به دلیل وجود گازهای سمی برای انسان غیرقابل دسترسی می‌باشد، احتمال آنکه ربات‌های دشمن به مجموعه ربات‌های در حال فعالیت اضافه شده و با ارائه اطلاعات غلط از میزان گاز سمی موجود در اطراف خود اقدام به منحرف کردن آنها از مسیر اصلی نمایند بالا می‌باشد. در این آزمایش، عملکرد روش پیشنهادی در شرایطی که برخی از ربات‌ها به هر دلیل (خرابی، عمدی) خروجی نادرستی از میزان گاز موجود در اطراف خود تولید می‌کنند بررسی شده است. به منظور مدل کردن اطلاعات نادرست در شبیه‌سازی انجام گرفته، خروجی تعدادی از ربات‌ها نه طبق رابطه (۴)، بلکه به صورت تصادفی از بازه $[۰.۱ / ۰.۹]$ انتخاب می‌شود. این آزمایش برای تعداد ۳ و ۴ سنسور خراب تکرار شده و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از روش ارائه شده در [3] مقایسه شده است. شکل‌های (۹) و (۱۰) این مقایسه را نشان می‌دهند. همانگونه که دیده شود، روش پیشنهادی در



شکل ۱۱. فاصله مجموعه روبات‌ها تا منشاء گازهای سمی در دورهای مختلف شبیه‌سازی در صورت وجود نویز بالا در محیط

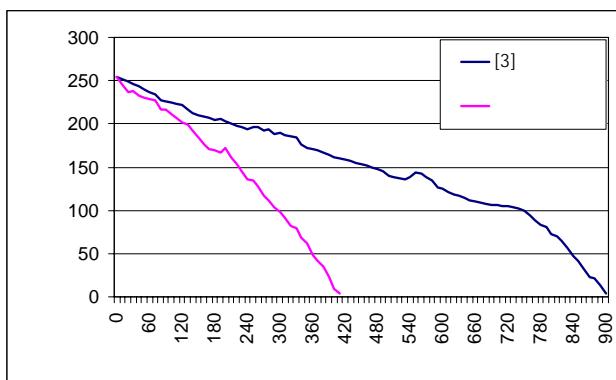
۶- نتیجه

در این مقاله روشی برای یافتن منشاء گازهای سمی در یک محیط دارای نویز بالا ارائه گردید. مجموعه‌ای از روبات‌ها با تشکیل یک شبکه سنسور و از طریق ارتباط و همکاری با یکدیگر منشاء گازهای سمی در محیط را تعیین می‌کنند. هر روبات در این مجموعه میزان گاز سمی استشمام شده در اطراف خود را تعیین کرده و آن را از طریق شبکه سنسور تشکیل شده برای سایر روبات‌ها ارسال می‌کند. پس از آنکه همه روبات‌ها از میزان گاز سمی استشمام شده توسط سایر روبات‌ها مطلع شوند، هر روبات با استفاده از یک سیستم خبره‌فازی میزان دقت اطلاعات سایر روبات‌ها را تعیین کرده و سپس اطلاعات دریافتی را تصحیح می‌کند. سپس بر اساس اطلاعات تصحیح شده، روبات مناسب‌ترین مکان را به عنوان مقصود بعدی خود انتخاب کرده و به سمت آن حرکت می‌کند. مناسب‌ترین مکان جایی است که میزان گاز سمی احتمالی موجود در آن بیشتر باشد. از طریق آزمایش‌های انجام گرفته نشان داده شد که روش پیشنهادی در محیط‌های با نویز بالا و نیز در شرایطی که بعضی از روبات‌ها خراب بوده و اطلاعات نادرستی را به عنوان خروجی تولید می‌کنند در مقایسه با روشهای موجود از عملکرد بسیار خوبی برخوردار است.

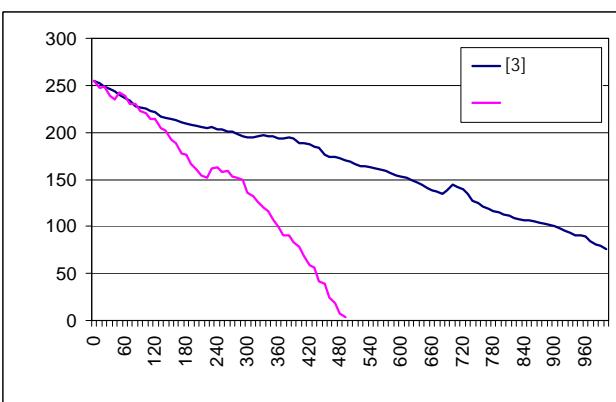
مراجع

- [1] M. Ilyas and I. Mahgoub, *Handbook of Sensor Networks: Compact Wireless and Wired Sensing Systems*, CRC Press, London, Washington, D.C., 2005.
- [2] K. Akkaya and M. Younis, "A Survey on Routing Protocols for Wireless Sensor Networks", Elsevier Ad Hoc Network Journal, pp. 325-349, 2005.
- [3] X. Cui, T. Hardin, R. K. Ragade and A. S. Elmaghreby, "A Swarm-based Fuzzy Logic Control Mobile Sensor Network for Hazardous Contaminants Localization", Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems (MASS 2004), Fort Lauderdale, Florida, USA .
- [4] X. Cui, T. Hardin, R. K. Ragade and A. S. Elmaghreby, "A Swarm Approach for Emission Sources Localization", Proc. of the 16th IEEE Intl. Conf. on Tools with Artificial

صورت وجود سنسورهای خراب عملکرد بسیار بهتری در مقایسه با روش ارائه شده در مرجع [3] از خود نشان می‌دهد.



شکل ۹. فاصله مجموعه روبات‌ها تا منشاء گازهای سمی در دورهای مختلف شبیه‌سازی در صورت وجود ۳ سنسور خراب در روش پیشنهادی و روش ارائه شده در [3].



شکل ۱۰. فاصله مجموعه روبات‌ها تا منشاء گازهای سمی در دورهای مختلف شبیه‌سازی در صورت وجود ۴ سنسور خراب در روش پیشنهادی و روش ارائه شده در [3].

۳-۳- آزمایش ۳

در این آزمایش تأثیر مقدار نویز در محیط بر عملکرد روش پیشنهادی مورد مطلعه قرار می‌گیرد. بدین منظور ۲۰٪ خروجی سنسورها تحت تأثیر نویز ۳۰٪ قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از این آزمایش در شکل (۱۱) آمده است. همانگونه که دیده می‌شود، روش ارائه شده در این مقاله توانسته است در چنین محیطی پس از حدود ۷۰۰ دور شبیه‌سازی منشاء انتشار گازها را بیابد، در حالیکه عملکرد روش مرجع [3] در این محیط بسیار ضعیف بوده و نتوانسته است حتی در ۱۰۰۰ دور شبیه‌سازی به نزدیکی منشاء گازهای سمی برسد. این آزمایش عملکرد روش پیشنهادی را با وجود نویز بالا در محیط به خوبی نشان می‌دهد.

- Intelligence (ICTA 2004), Boca Raton, Florida, USA, 2004.
- [5] A. T. Hayes, A. Martinoli and R. M. Goodman, "Distributed Odor Source Localization", IEEE Sensors, Vol. 2, No. 3, pp. 260-271, 2002.
 - [6] A. Lilienthal, H. Ulmer, H. Frohlich, A. Stutzle, F. Werner and A. Zell, "Gas Source Declaration with a Mobile Robot", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 04), New Orleans, LA, April 2004.
 - [7] A. Dhariwal, G. S. Sukhatme and A. A. G. Requicha, "Bacterium-inspired Robots for Environmental Monitoring", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation (ICRA 04), New Orleans, LA, April 2004.
 - [8] A. Lilienthal, D. Reimann and A. Zell, "Gas Source Tracing With a Mobile Robot Using an Adapted Moth Strategy", Proc. of American Mathematical Society, Berlin; New York: Springer, 2003.
 - [9] E. M. Petriu, G. G. Patry, Th. E. Whalen, A. Al-Dhaher and V. Z. Groza, "Intelligent Robotic Sensor Agents for Environment Monitoring", Proc. of Intl. Symposium on Virtual and Intelligence Systems (VIMS 2002), Mt. Alyeska Resort, AK, USA, May 2002.
 - [10] B. Yamauchi, "Frontier-Based Exploration Using Multiple Robots", In Proc. of 2nd Intl. Conf. on Autonomous Agents, Minneapolis MN, 1998.
 - [11] P. Kathirgamanathan, R. McKibbin and R.I. McLachlan, "Source Term Estimation of Pollution from an Instantaneous Point", Research Letters in the Information and Mathematical Science, Vol. 3, No. 1, pp. 59-67, April 2002.
 - [12] V. N. Christopoulos and S. Roumeliotis, "Multi Robot Trajectory Generation for Single Source Explosion Parameter Estimation", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005.
 - [13] R. A. Russell, L. Kleeman and S. Kennedy, "Using Volatile Chemicals to Help Locate Targets in Complex Environments", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, Melbourne, 2000.
 - [14] P. Tzanos, M. Zerfan and A. Nehorai, "Information Based Distributed Control for Biochemical Source Detection and Localization", Proc. of IEEE Intl. Conf. on Robotics and Automation, Barcelona, Spain, April 2005.
 - [15] B. Porat and A. Nehorai, "Localizing Vapor-Emitting Sources by Moving Sensors", IEEE Trans. Signal Processing, Vol. 44, No. 4, pp. 1018-1021, April 1996.
 - [16] A. T. Hayes, A. Martinoli, R. M. Goodman, "Swarm Robotic Odor Localization", Proc. of IEEE/RSJ Joint Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS 2001), Wailea, Hawaii, October 2001.
 - [17] N. Kurata, Jr. Spencer, B. F. Ruiz-Sandoval, Y. Miyamoto and Y. Sako "A Study on Building Risk Monitoring Using Wireless Sensor Network MICA-Mote", Proc. of First Intl. Conf. on Structural Health Monitoring and Intelligent Infrastructure, Tokyo, Japan November 2003.
 - [18] Y. Gwon, R. Jain and T. Kawahara, "Robust Indoor Location Estimation of Stationary and Mobile Users", Proc. of the 23rd Conf. of the IEEE Communications Society (INFOCOM), Hong Kong, March 2004.

زیرنویس‌ها

¹ Ad hoc

² Grid

³ Toolbox