دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن کامپیوتر ایران
دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ،تهران، ایران، ۱ تا ۳ اسفند ۱۳۸۵

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

مهدی اثنی‌عشری*، محمد رضا میبدی†، محمد مهدی 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 خبرهٔ فازی می‌تواند در محیط‌هائی با نویز بالا و نیز در شرایطی که برخی از ندهای شبکهٔ 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 مادهٔ سمی اطراف خود را تعیین کرده و آن را به همراه موقعیت مکانی فعلی خود در سطح شبکهٔ سنسور پخش می‌نماید. سپس هر ند با دریافت اطلاعات سایر ندها و به کمک سیستم خبرهٔ 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 ندها 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 خبرهٔ فازی

A Fuzzy Based Method for Hazardous Contaminants Localization Using Sensor Networks

M. Esnaashari, M. R. Meybodi
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 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. Proposed method is simulated and compared with similar methods.

Keywords

Sensor Networks, Hazardous Contaminants Dispersion, Fuzzy Expert System

* دانشکدهٔ کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، esnaashari@aut.ac.ir
† دانشکدهٔ کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، mmeybodi@aut.ac.ir
‡ دانشکدهٔ کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ebadzadeh@aut.ac.ir

۱- مقدمه

پخش شدن مواد سمی در محیط می‌تواند به دلایل گوناگونی از جمله حملات دشمن اتفاق افتد. در صورت بروز چنین وضعیتی لازم است که هرچه سریع‌تر منشاء این آلودگی پیدا شده و به گونه‌ای تحت کنترل درآید. استفاده از سگهای تربیت شده و یا کنترل دائم محیط توسط ناظران انسانی در این مورد با توجه به خطرات فراوان استشمام گازهای سمی، راهکار مناسبی به نظر نمی‌رسد. بنابراین استفاده از روبات‌های ماشینی به منظور دستیابی به هدف مد نظر در این مسأله، تنها راه‌حل موجود است.

استفاده از چندین روبات با قابلیت‌های پائین نسبت به استفاده از یک روبات با قابلیت‌های بالاتر با توجه به دلایلی از جمله هزینه، سرعت، میزان تأثیر نویز و نیز خرابی سنسورها راه‌حل مناسب‌تری به نظر می‌رسد. در صورت استفاده از چندین روبات، چگونگی برقراری ارتباط میان روبات‌ها باید مد نظر قرار گیرد. یکی از گزینه‌های مناسب برای این منظور شبکه‌های سنسوری می‌باشد. بدیهی است که با توجه به قابلیت‌های پائین هر روبات، کلیهٔ روبات‌ها نمی‌توانند به طور مستقیم با یکدیگر در ارتباط باشند، بلکه ارتباطات میان روبات‌ها از طریق برقراری یک شبکهٔ موردی[1] صورت می‌پذیرد.

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 شبکهٔ 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 صددرصد قابل قبول باشد. برای حل مشکل وجود نویز از یک سیستم خبرهٔ فازی استفاده شده که میزان صحت اطلاعات هر روبات را تعیین کرده و موجب اصلاح آن می‌شود.

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

۲- کارهای گذشته

مسألهٔ 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 نقشهٔ آنها [10]، مانیتور محیط برای تشخیص وقوع پدیده‌هائی نظیر آتش و سیل [17] و تشخیص موقعیت [18] 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 مسأله متمرکز بوده‌اند [3,4] و [13-16]، ولی برخی از فعالیت‌ها نیز نظیر آنچه که در مرجع [6] آمده است، بر بخش سوم این مسأله تأکید داشته‌اند. به علاوه، برخی از مراجع نظیر [11] و [12] به جای پرداختن به مسألهٔ 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، پارامترهائی نظیر 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 مسأله، الهام از طبیعت نظیر چگونگی حرکت باکتری‌ها به سمت یک مادهٔ شیمیائی خاص [7] و یا حرکت نوعی از پروانه در دنبال کردن بو [8] مد نظر بوده است.

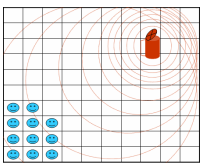
با توجه به آنکه روش ارائه شده در این مقاله، بر مبنای آنچه که در دو مرجع [3] و [4] ارائه شده، بنا شده است، به بیان جزئیات بیشتری دربارهٔ روش این دو مرجع می‌پردازیم. در این دو مرجع مجموعه‌ای از روبات‌ها با تشکیل یک شبکهٔ سنسوری سعی می‌کنند منشاء انتشار گازهای سمی در محیط را بیابند. هر روبات میزان گاز استشمام شده در اطراف خود را تعیین کرده و آن را از طریق شبکهٔ 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 مقصدهای قابل دسترسی تعیین می‌شوند. نقطه‌ای مقصد قابل دسترسی نامیده می‌شود که در صورت حرکت روبات به آن نقطه، ارتباط میان کلیهٔ روبات‌ها از بین نرود. پس از مشخص شدن این مجموعه نقاط، در مرجع [3] از یک کنترل کنندهٔ 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 زاویهٔ 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. در مرجع [4] برای هریک از مقصدهای قابل دسترسی بر اساس رابطهٔ (۱) پارامتر بایاس تعیین می‌شود.

$$B(x,y) = \frac{K}{n} \times \sum_{i=0}^{n} \left(\frac{C_i}{r_i^2} \right) \qquad (۱)$$

در این رابطه، K عددی ثابت، n تعداد روبات‌ها، C_i میزان گاز استشمام شده توسط روبات iام و r_i فاصلهٔ روبات iام تا نقطهٔ مد نظر می‌باشد. نقطه‌ای که دارای بیشترین پارامتر بایاس می‌باشد، به عنوان مقصد بعدی روبات در نظر گرفته می‌شود.

۳- تعریف مسأله

محیط به صورت یک توری[۲] دو بعدی در نظر گرفته می‌شود که هر روبات، یک سلول از آن را اشغال می‌کند (شکل (۱)). منشاء تولید گازهای سمی در یکی از سلول‌های توری قرار دارد و هدف روبات‌ها رسیدن به این سلول می‌باشد. هر روبات می‌تواند با استفاده از سنسور خود (که دارای درصدی از نویز می‌باشد)، میزان گاز سمی موجود در سلول خود را تعیین نماید. همسایگی ۸ تائی نیز به منظور ارتباط میان روبات‌ها در شبکهٔ سنسوری مورد استفاده قرار می‌گیرد.



شکل (۱) محیط مسألهٔ یافتن منشاء انتشار گازهای سمی

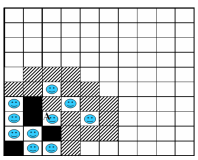
۴- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی شامل چهار مرحلهٔ اصلی می‌باشد. در ابتدا هر روبات میزان گاز موجود در سلول خود را تعیین و آن را در سطح شبکه پخش می‌نماید. سپس هر روبات مجموعه‌ای از سلول‌های توری را که می‌تواند به آنها منتقل شود تعیین می‌کند. در مرحلهٔ سوم بر اساس اطلاعات به دست آمده از سایر روبات‌ها و با استفاده از یک سیستم خبرهٔ فازی، یکی از سلول‌های توری به عنوان مقصد انتخاب می‌شود. در مرحلهٔ آخر، روبات به سلول مقصد خود رفته و در داخل آن قرار می‌گیرد.

مرحلهٔ اول بر اساس یکی از پروتکل‌های مسیریابی در شبکهٔ سنسور صورت می‌پذیرد [1, 2]. دربارهٔ مرحلهٔ آخر نیز به دلیل سادگی توضیح بیشتری داده نمی‌شود. در ادامه به ارائهٔ جزئیات دقیق‌تر مراحل دوم و سوم روش پیشنهادی می‌پردازیم.

۴-۱- تعیین مجموعه سلول‌های مقصد

تنها سلول‌هائی به عنوان مقصد روبات برگزیده می‌شوند که تکراری نبوده و شبکه را نیز متصل نگاه دارند. به عنوان مثال، در شکل (۲) سلول‌های مقصد روبات A به شکل هاشور خورده مشخص شده‌اند.



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

۴-۲- تعیین سلول مقصد

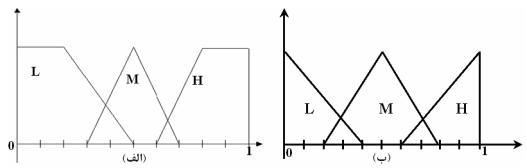
روش استفاده شده در مرجع [3] برای تعیین سلول مقصد در هر روبات k دارای نقاط ضعف متعددی می‌باشد؛ از جمله حساسیت بالا نسبت به نویز، هزینهٔ بالا در برابر افزایش سرعت نه چندان قابل توجه و استفادهٔ نادرست و بی‌دلیل از کنترل کنندهٔ فازی در مسأله‌ای که به سادگی و بدون وجود چنین کنترل کننده‌ای قابل انجام است. روش پیشنهادی سعی می‌کند مشکلات فوق‌الذکر را تا حد زیادی مرتفع کند. بدین منظور، به جای استفاده از یک کنترل کنندهٔ فازی، در این روش از سیستم خبرهٔ فازی استفاده شده است که میزان صحت اطلاعات به دست آمده توسط هر روبات را تعیین می‌کند تا تأثیر عوامل نامطلوبی چون نویز زیاد و نیز نادرستی خروجی برخی از سنسورها تا حد زیادی کاهش داده شود.

۴-۲-۱- ساختار داخلی سیستم خبره

سیستم خبرهٔ ارائه شده بر این اساس کار می‌کند که با توجه به نزدیکی روبات‌ها به یکدیگر (به دلیل وجود شرط حفظ پیوستگی میان کلیهٔ روبات‌ها در شبکهٔ سنسور)، طبیعتاً نباید در میزان گاز استشمام شده توسط آنها تفاوت‌های چشم‌گیری دیده شود. تعیین میزان تفاوت اطلاعات یک روبات با سایر روبات‌ها، می‌تواند بر اساس تفاوت اطلاعات آن روبات با میانگین اطلاعات کلیهٔ روبات‌ها صورت پذیرد. در صورتی که میزان گاز استشمام شده توسط روبات k را با C_k و تعداد روبات‌ها را با N نشان دهیم، تعیین میزان صحت اطلاعات روبات k (A_k) بر اساس مقایسهٔ C_k با $MeanC$ (رابطهٔ (۲)) صورت می‌پذیرد.

$$MeanC = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} C_i \quad (۲)$$

وظیفهٔ 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. فازی‌سازی ورودی و خروجی این سیستم خبره توسط متغیرهای زبانی ارائه شده در شکل (۳) صورت می‌پذیرد.



شکل (۳) توابع تعلق متغیرهای زبانی مورد استفاده برای ارائهٔ (الف) میزان گاز استشمام شده توسط یک روبات و (ب) میزان صحت اطلاعات یک روبات

میزان صحت اطلاعات روبات k بر اساس تفاوت آن با $MeanC$ برآورد می‌شود. بنابراین قوانین سیستم خبرهٔ فازی مورد نظر بایستی بر این مبنا تعیین شوند. شکل (۴) کلیهٔ قوانین ارائه شده در این سیستم را نشان می‌دهد. 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.

در خروجی سیستم از غیرفازی‌ساز مرکز جرم استفاده می‌شود.

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 (۴) قوانین مورد استفاده در سیستم خبرهٔ فازی

۴-۲-۲- چگونگی تعیین سلول مقصد

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

۱. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به سایر روبات‌ها از طریق شبکهٔ سنسور

۲. تعیین مقدار $MeanC$ بر اساس رابطهٔ (۲)

۳. برای کلیهٔ روبات‌های $i \neq k$ مراحل زیر تکرار شود

۳-۱. مقادیر C_i و $MeanC$ به عنوان ورودی سیستم خبرهٔ فازی استفاده شده و خروجی A_i تعیین شود.

۳-۲. اطلاعات تصحیح شدهٔ $C_i^A = A_i \times C_i$ محاسبه شود.

۴. روبات j از رابطهٔ $j = \arg\max_i \left(C_i^A\right)$ مشخص شود.

۵. از مجموعه سلول‌های مقصد، نزدیک‌ترین سلول به سلولی که روبات j در آن قرار دارد به عنوان سلول مقصد انتخاب شود.

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 نسخهٔ 7.0 استفاده شده است. محیط به صورت یک توری ۳۰۰x۳۰۰ مدل شده و منشاء تولید گازهای سمی در سلول (۱۶۲ و۲۰۰) قرار گرفته است. شبیه‌سازی پخش گاز در محیط توسط رابطهٔ ارائه شده در مرجع [3] صورت پذیرفته است. ۱۱ روبات در شبیه‌سازی‌ها مورد استفاده قرار گرفته‌اند که وضعیت اولیهٔ آنها طبق شکل (۱) می‌باشد.

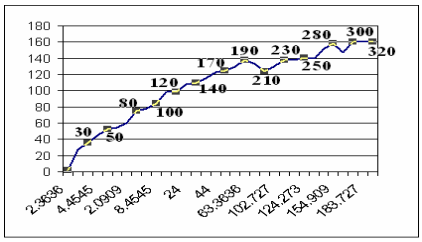
۵-۱- آزمایش ۱

در این آزمایش چگونگی مسیر طی شده توسط روبات‌ها برای رسیدن به منشاء انتشار گازهای سمی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بدین منظور، موقعیت مکانی مجموعهٔ روبات‌ها بر طبق رابطهٔ (۳) محاسبه می‌شود. از کنار هم قرار دادن این مقادیر برای دورهای مختلف شبیه‌سازی، مسیر طی شده توسط روبات‌ها به دست می‌آید.

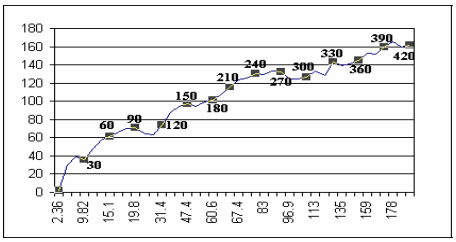
$$Pos_X = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} x_i \qquad Pos_Y = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} y_i \quad (۳)$$

برای شبیه‌سازی نویز، مقداری تصادفی در بازهٔ [۰/۱ و۰/۱-] تولید شده و ٪۲۰ خروجی سنسور هر روبات با این مقدار جمع شده است.

شکل (۵) نتایج حاصل از روش پیشنهادی و شکل (۶) نتایج روش ارائه شده در مرجع [3] را نشان می‌دهند. همانگونه که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی مسیر بهتری را طی کرده است.



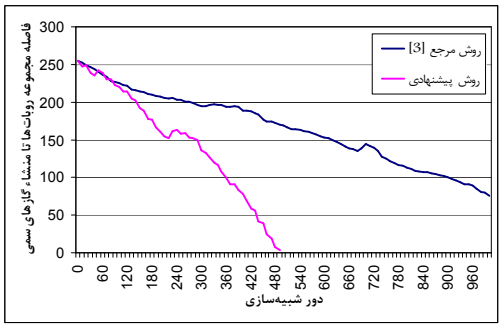
شکل (۵) مسیر طی شده توسط روبات‌ها در روش پیشنهادی. اعداد روی نمودار شمارهٔ دور شبیه‌سازی را نشان می‌دهند.



شکل (۶) مسیر طی شده توسط روبات‌ها در روش ارائه شده در [3]. اعداد روی نمودار شمارهٔ دور شبیه‌سازی را نشان می‌دهند.

۵-۲- آزمایش ۲

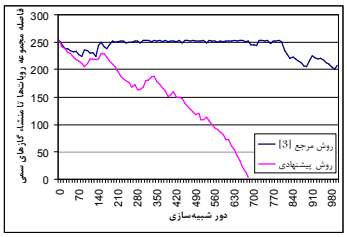
با توجه به آسیب‌پذیری بالای ندهای سنسور، احتمال آنکه برخی از روبات‌ها در حین انجام فعالیت خراب شوند وجود دارد. در این آزمایش، عملکرد روش پیشنهادی در شرایطی که برخی از روبات‌ها به هر دلیل (خرابی، عمدی) خروجی نادرستی از میزان گاز موجود در اطراف خود تولید می‌کنند بررسی شده است. به منظور مدل کردن اطلاعات نادرست در شبیه‌سازی انجام گرفته، خروجی تعدادی از روبات‌ها نه طبق رابطهٔ (۳)، بلکه به صورت تصادفی از بازهٔ [۱ و۰] انتخاب می‌شود. این آزمایش برای ۴ سنسور خراب انجام شده و نتایج بدست آمده با نتایج حاصل از روش ارائه شده در [3] مقایسه شده است. شکل (۷) این مقایسه را نشان می‌دهد. همانگونه که دیده می‌شود، روش پیشنهادی در صورت وجود سنسورهای خراب عملکرد بسیار بهتری از خود نشان می‌دهد.



شکل (۷) فاصلهٔ مجموعه روبات‌ها تا منشاء گازهای سمی در دورهای مختلف شبیه‌سازی در صورت وجود ۴ سنسور خراب

۵-۳- آزمایش ۳

در این آزمایش تأثیر مقدار نویز در محیط بر عملکرد روش پیشنهادی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. بدین منظور نویز محیط ۳ برابر شده است. نتایج حاصل در شکل (۸) 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.



شکل (۱۰) فاصلهٔ 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 که در آن مجموعه‌ای از روبات‌ها با تشکیل یک شبکهٔ 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 شبکهٔ سنسور تشکیل شده برای سایر روبات‌ها ارسال می‌کند. سیستم خبرهٔ فازی در هر روبات، میزان صحت اطلاعات سایر روبات‌ها را تعیین می‌کند. بر این اساس، هر روبات مناسب‌ترین نقطهٔ بعدی برای حرکت خود را تعیین و به سمت آن حرکت می‌کند. از طریق آزمایشهای انجام گرفته نشان داده شد که روش پیشنهادی در محیط‌های با نویز بالا و نیز در شرایطی که بعضی از روبات‌ها 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. Elmaghraby, *"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. Elmaghraby, *"A Swarm Approach for Emission Sources Localization"*, Proc. of the 16th IEEE Intl. Conf. on Tools with Artificial 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. Lilianthal, 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