

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

گروه هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارتباط بین ربات های شبکه ای در موقعیت های جستجوی زیر آب

زهرا امیری

استاد راهنما

دکتر علی اکبر پویان

استاد مشاور

دکتر هدی مشایخی

زمستان ۹۳

دانشگاه شاهرود

دانشکده: کامپیوتر و فناوری اطلاعات

گروه: هوش مصنوعی

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم زهرا امیری به شماره دانشجویی: ۹۱۲۴۲۷۴

تحت عنوان: ارتباط بین ربات های شبکه ای در موقعیت های جستجوی زیر آب

در تاریخ ۱۳۹۳/۱۱/۲۶ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مورد ارزیابی و با درجه عالی مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی: دکتر هدی مشایخی		نام و نام خانوادگی: دکتر علی اکبر پویان

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی: مهندس محسن فرهادی		نام و نام خانوادگی: دکتر امیدرضا معروضی
			نام و نام خانوادگی: دکتر وحید ابوالقاسمی

تقدیم به...

خدایی که آفرید

جهان را، انسان را، عقل را، علم را، معرفت را،

عشق را

و به کسانی که عشقتان را در وجودم دمید.

شکر شایان نثار ایزد منان که توفیق را رفیق راهم ساخت تا این پایان نامه را به اتمام برسانم.

برخود لازم می‌دانم تا از همه‌ی کسانی که مرا در پیشبرد این پایان نامه یاری نمودند، سپاس و قدرانی به عمل آورم

ابتدا از زحمات اساتید فاضل و اندیشمند جناب آقای دکتر پویان به عنوان استاد راهنما و سرکار خانم دکتر مشایخی به عنوان استاد مشاور که مرا صمیمانه و مشفقانه یاری داده‌اند، کمال تشکر را دارم.

تشکر و سپاس از اساتید دانشمند و پر مایه ام جناب آقای دکتر حسن‌پور، جناب آقای دکتر زاهدی و آقای دکتر ابوالقاسمی که از محضر پرفیض تدریستان، بهره‌ها برده‌ام.

و نیز سپاسگذارم از خدمت پدر و مادر بسیار عزیز، دلسوز و فداکارم که پیوسته جرعه نوش جام تعلیم و تربیت فضیلت و انسانیت آنها بوده‌ام و همواره چراغ وجودشان روشنگر راه من در سختی‌ها و مشکلات بوده است.

علاوه بر این بر خود واجب میدانم می‌دانم از همسرم که مسیح وار با صبرش در تمامی لحظات رفیق راهم بود، سپاس و قدردانی به عمل آورم.

تعهد نامه

اینجانب زهرا امیری دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه شاهرود نویسنده پایان نامه ارتباط بین ربات های شبکه ای در موقعیت های جستجوی زیر آب تحت راهنمایی دکتر علی اکبر پویان متعهد می شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه شاهرود » و یا « Shahrood University » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه های رایانه ای، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه شاهرود می باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

در سال‌های اخیر استفاده از شبکه‌های حسگر بی‌سیم زیر آب (UWSN)^۱ برای بدست آوردن اطلاعات دقیق از دریاها و اقیانوس‌ها توجه بسیاری از محققان را به خود جلب نموده است. در انجام ماموریت‌های زیرآبی می‌توان از تیمی از زیرآبی‌های خودمختار^۲ (AUVs) استفاده نمود. این تجهیزات مجهز به انواع حسگرها جهت جمع‌آوری داده در محیط زیر آب می‌باشند. با استفاده از تکنیک‌های هوش مصنوعی می‌توان آن‌ها را هوشمند نمود تا بدون نیاز به دخالت و کنترل انسانی عملیات مورد نظر خود را انجام دهند. ماموریت اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم نظارت اهداف و کشف وقوع رویداد است. به واسطه‌ی خاصیت تصادفی رویدادها و پارامترهای محیط، نقاط مورد توجه^۳ در محیط، باید توسط حسگرها پوشش داده شود تا رویدادها مشاهده و گزارش داده شوند. کنترل توپولوژی مشخص‌کننده‌ی نحوه‌ی ارتباطات حسگرها در شبکه و میزان پوشش ناحیه‌ی مورد سنجش توسط حسگرها است. محیط زیر آب به صورت پویا تغییر می‌کند. بنابراین در محیط زیرآب استفاده از رویکرد متمرکز برای کنترل توپولوژی مناسب نیست. پهنای باند ارتباطی محدود و نرخ خطای بی‌بی بالا در ارتباطات زیر آب می‌تواند منجر به محدودیت اطلاعات کسب شده توسط آن‌ها از محیط اطرافشان گردد.

در این پایان نامه، یک الگوریتم کنترل توپولوژی توزیع شده با هدف حداکثرسازی پوشش POIها توسط AUVها، در محیط سه بعدی زیر آب ارائه شده است. این الگوریتم هر AUV را توانمند می‌سازد که به صورت مستقل سرعت و جهت حرکت خود را بر اساس اطلاعاتی که از همسایگانش به دست می‌آورد، تعیین نماید. کنترل توپولوژی ارائه شده بر مبنای الگوریتم ژنتیک است. هر AUV بهترین حرکت بعدی را در هر گام با اجرای الگوریتم ژنتیک به صورت مستقل به دست می‌آورد. در تابع برازندگی این الگوریتم، از یک تحلیل آماری برای میانگین درجه‌ی همسایگی با هدف تعیین حد بالای تعداد

^۱ Underwater Sensor and Robot Networks (USRNs)

^۲ Autonomous Underwater Vehicle (AUV)

^۳ Point of interest

همسایگان یک AUV استفاده شده است. نتایج این پایان نامه نشان می‌دهد، با محدود کردن تعداد همسایگان AUVها در محیط، POIها به میزان بیشتری پوشش داده می‌شوند. موثر بودن الگوریتم ارائه شده با معیارهای مختلفی مانند میزان پوشش POIها، زمان استقرار^۱، میانگین مسافت طی شده^۲ و میانگین درجه‌ی همسایگی^۳ مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ارائه شده در زمان کوتاهی به میزان مطلوبی از پوشش POIها در محیط می‌رسد. همچنین نشان داده شده، شبکه‌ی متشکل از AUVها، می‌توانند به صورت پویا خود را با شرایط از دست دادن چند AUV وفق دهند و به حداکثر پوشش مطلوب POIها در محیط دست یابند. همچنین ابهام در تشخیص دقیق موقعیت AUV مانع همگرایی و پوشش مناسب در محیط نشده است و تنها نیاز است آنها مسافت بیشتری را تا رسیدن به همگرایی طی نمایند.

کلمات کلیدی: شبکه حسگر بی‌سیم زیر آب، کنترل توپولوژی سه‌بعدی، زیرآبی‌های خودمختار، الگوریتم ژنتیک، هوش مصنوعی توزیع شده.

^۱ Deployment Time

^۲ Average distance travelled

^۳ Average neighborhood degree

[1] Zahra Amiri, Ali A. Pouyan, Hoda mashayekhi, "An Intelligent Distributed Topology Control Strategy for Autonomous Underwater Robots" "Computer Networks", Elsevier (Under review)

[۲] زهرا امیری، علی اکبر پویان، هدی مشایخی (۱۳۹۳)، "مکانیسمی هوشمند برای کنترل توپولوژی ربات‌های زیرآبی خودمختار با استفاده از الگوریتم ژنتیک"، اولین همایش ملی توسعه پایدار دریا محور، خرمشهر، ایران

[۳] زهرا امیری، علی اکبر پویان، هدی مشایخی (۱۳۹۳)، "کنترل توپولوژی توزیع شده برای شبکه ای از زیرآبی های خودمختار"، اولین کنفرانس ملی اقتصاد، مدیریت و حسابداری، تهران، ایران

فصل اول: مقدمه و کلیات.....	۱
۱-۱- مقدمه ای بر شبکه های حسگر بیسیم زیر آب.....	۲
۱-۱-۱- چالش های طراحی شبکه های حسگر بیسیم زیر آب.....	۳
۲-۱- تعاریف ، فرضیات و ضرورت مسئله.....	۳
۱-۲-۱- تعاریف.....	۴
۲-۲-۱- فرضیات تحقیق.....	۴
۳-۲-۱- ضرورت تحقیق.....	۵
۳-۱- هدف و نحوه رویکرد پژوهش.....	۷
۴-۱- ساختار پایان نامه.....	۸
فصل دوم: ادبیات موضوع و بررسی پژوهش های مرتبط.....	۱۱
۱-۲- مقدمه.....	۱۲
۲-۲- امواج صوتی و محدودیت های آن.....	۱۲
۳-۲- اجزاء شبکه حسگر بیسیم زیر آب.....	۱۶
۴-۲- معماری های ارتباطی شبکه های حسگر بیسیم زیر آب.....	۱۸
۲-۴-۱- شبکه های حسگر زیرآبی دوبعدی ایستا برای نظارت کف اقیانوس.....	۱۸
۲-۴-۲- شبکه های حسگر زیر آب سه بعدی ایستا برای نظارت ستونی اقیانوس.....	۱۹
۳-۴-۲- شبکه سه بعدی با استفاده از زیرآبی های خود مختار.....	۲۰

۲۱ ۵-۲- کنترل توپولوژی

۲۲ ۶-۲- پوشش شبکه

۲۲ ۱-۶-۲- پوشش سراسری

۲۳ ۲-۶-۲- پوشش مانعی

۲۴ ۳-۶-۲- پوشش جارویی

۲۵ ۷-۲- اتصال شبکه

۲۶ ۸-۲- دستیابی همزمان به پوشش و اتصال شبکه

۲۸ ۹-۲- الگوریتم ژنتیک و کاربرد آن در کنترل توپولوژی

۲۸ ۱-۹-۲- مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک

۳۰ ۲-۹-۲- کاربرد الگوریتم ژنتیک در شبکه حسگر و کنترل توپولوژی

۳۳ فصل سوم: روش پیشنهادی

۳۴ ۱-۳- مقدمه

۳۴ ۲-۳- کنترل توپولوژی با هدف پوشش سراسری

۳۵ ۱-۲-۳- ساختار کروموزوم ها

۳۷ ۲-۲-۳- تابع برازندگی

۳۹ ۳-۲-۳- عملگر انتخاب

۴۱ ۴-۲-۳- عملگر تلفیق

۴۲ ۵-۲-۳- عملگر جهش

۳-۲-۶- تحلیل آماری برای محاسبه میانگین درجه ی همسایگی..... ۴۲

۳-۲-۷- روند کلی ۴۴

۳-۳- کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک شیء ۴۵

۳-۳-۱- تابع برازندگی ۴۵

۳-۳-۲- تحلیل آماری برای محاسبه میانگین درجه ی همسایگی ۴۶

۳-۴- کنترل توپولوژی با هدف حفاظت از یک ورودی ۴۶

۳-۴-۱- تابع برازندگی ۴۷

۳-۴-۲- تحلیل آماری برای محاسبه میانگین درجه ی همسایگی ۴۷

فصل چهارم: پیاده سازی و ارزیابی نتایج..... ۴۹

۴-۱- مقدمه ۵۰

۴-۲- معرفی شبیه ساز Aqua-Sim ۵۰

۴-۳- معرفی معیارهای بررسی کارایی سیستم ۵۱

۴-۳-۱- پوشش حجمی نرمال شده ۵۲

۴-۳-۲- میانگین مسافت طی شده (ADT) ۵۲

۴-۳-۳- میانگین درجه ی همسایگی (AND) ۵۳

۴-۳-۴- زمان استقرار (DT) ۵۳

۴-۴- نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش سراسری ۵۴

۴-۴-۱- آزمایش اول (به دست آوردن تعداد مناسب AUVها برای حداکثرسازی پوشش

سراسری)..... ۵۴

۴-۴-۲- آزمایش دوم (مقایسه ی استفاده و عدم استفاده از میانگین درجه همسایگی)	۵۶
۴-۴-۳- آزمایش سوم (تاثیر از کار افتادن چند AUV)	۶۱
۴-۴-۴- آزمایش چهارم (تاثیر خطای مکان یابی گرهما)	۶۶
۴-۴-۵- آزمایش پنجم (تاثیر کاهش حرکت AUVها در هر گام)	۶۹
۴-۴-۵- آزمایش ششم (مقایسه روشهای پیشنهادی با روش قبلی)	۷۱
۴-۵-۵- نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک شیء	۷۳
۴-۵-۱- آزمایش اول (به دست آوردن تعداد مناسب AUVها برای محافظت شیء)	۷۳
۴-۵-۲- آزمایش دوم (محافظت از یک شیء)	۷۵
۴-۶-۶- نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک درگاه	۷۹
۴-۶-۱- آزمایش اول (محافظت از یک درگاه)	۷۹
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات	۸۳
۵-۱- نتیجه گیری	۸۴
۵-۲- پیشنهادات	۸۵
فهرست منابع	۸۶

فهرست شکل ها

- شکل ۱-۲- شبکه حسگر بیسیم زیر آب دوبعدی ۱۹
- شکل ۲-۲- شبکه حسگر بیسیم زیر آب سه بعدی ۲۰
- شکل ۳-۲- شبکه حسگر بیسیم زیر آب سه بعدی با استفاده از AUVها ۲۱
- شکل ۴-۲- نمونه ای از پوشش سراسری حسگرها ۲۳
- شکل ۵-۲- پوشش مانعی الف) پوشش مانعی ضعیف ب) پوشش مانعی قوی ۲۴
- شکل ۶-۲- نمونه ای از پوشش مانعی در فضای ۳ بعدی ۲۴
- شکل ۷-۲- نمونه ای از پوشش جاروبی ۲۵
- شکل ۸-۲- طبقه بندی مسائل کنترل توپولوژی ۲۶
- شکل ۹-۲- الگوی استقرار مبنی بر نوار برای رسیدن به پوشش و اتصال ۲ تایی ۲۷
- شکل ۱۰-۲- چهار الگوی استقرار معروف حسگرها در محیط. (a) شش گوشه، (b) مربع، (c) متوازی الاضلاع و (d) شبکه مثلثی (با مثلث متساوی الاضلاع). ۲۷
- شکل ۱۱-۲- فلوچارت الگوریتم ژنتیک ۳۰
- شکل ۱-۳- محافظت چند AUV از یک ناحیه ۳۵
- شکل ۲-۳- مدل حرکتی AUVها در فضای ۳ بعدی ۳۵
- شکل ۳-۳- ساختار کروموزوم ۳۶
- شکل ۴-۳- فاصله ی مطلوب یک گره از همسایگانش ۳۷
- شکل ۵-۳- انتخاب به روش چرخ رولت ۳۹
- شکل ۶-۳- انتخاب به روش تورنتمنت ۴۰
- شکل ۷-۳- عملگر ترکیب دو نقطه ای ۴۱
- شکل ۸-۳- نمودار درجه میانگین همسایگی نسبت به محدوده ارتباطی و تعداد گره ها ۴۳

- شکل ۳-۹- محافظت از یک شی توسط چند AUV..... ۴۵
- شکل ۴-۱- ارتباط Aqua-sim با سایر بسته ها در NS2..... ۵۱
- شکل ۴-۲- میانگین درصد حجمی به دست آمده نسبت به تعداد AUV ها در محیط..... ۵۶
- شکل ۴-۳- موضع گیری اولیه AUV ها در محیط (آزمایش ۱)..... ۵۷
- شکل ۴-۴- موضع گیری AUV ها در محیط پس از اجرای شبیه سازی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه..... ۵۸
- شکل ۴-۵- نمودار پوشش حجمی نرمال شده (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه..... ۵۸
- شکل ۴-۶- میانگین درجه همسایگی نسبت به گام زمانی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه..... ۵۹
- شکل ۴-۷- میانگین مسافت طی شده نسبت به گام زمانی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه... ۶۰
- شکل ۴-۸- میانگین بهترین برازندگی گره ها نسبت به گام زمانی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه..... ۶۱
- شکل ۴-۹- قرارگیری AUV ها در محیط پس از شبیه سازی (از کار افتادن چند AUV)..... ۶۳
- شکل ۴-۱۰- نمودار پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (از کار افتادن چند AUV)..... ۶۴
- شکل ۴-۱۱- میانگین مسافت طی شده گره ها نسبت به گام زمانی (از کار افتادن چند AUV)..... ۶۴
- شکل ۴-۱۲- میانگین درجه همسایگی گره ها نسبت به گام های زمانی (از کار افتادن چند AUV)..... ۶۵
- شکل ۴-۱۳- قرارگیری AUV ها در محیط پس از شبیه سازی (خطای مکان یابی)..... ۶۶
- شکل ۴-۱۴- نمودار پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (خطای مکان یابی)..... ۶۷
- شکل ۴-۱۵- میانگین مسافت طی شده گره ها نسبت به گام زمانی (خطای مکان یابی)..... ۶۸
- شکل ۴-۱۶- میانگین درجه همسایگی گره ها نسبت به گام های زمانی (خطای مکان یابی)..... ۶۸
- شکل ۴-۱۷- میانگین مسافت طی شده نسبت به گام زمانی در دو حالت ، $Pm=1$ و $Pm=0,7$ ۷۱
- شکل ۴-۱۸- پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی در دو حالت ، $Pm=1$ و $Pm=0,7$ ۷۱

- شکل ۴-۱۹ - میانگین مسافت طی شده نسبت به گام زمانی (مقایسه ی روش ها) ۷۲
- شکل ۴-۲۰ - پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی زمانی (مقایسه ی روش ها) ۷۲
- شکل ۴-۲۱ - میانگین درصد حجمی به دست آمده نسبت به تعداد AUV ها در محیط (محافظت از یک شیء) ۷۵
- شکل ۴-۲۲ - موضع گیری AUV ها در محیط پس از اجزای شبیه سازی (محافظت از یک شیء) ۷۶
- شکل ۴-۲۳ - پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء) ۷۷
- شکل ۴-۲۴ - میانگین مسافت طی شده گره ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء) ۷۷
- شکل ۴-۲۵ - میانگین درجه همسایگی گره ها نسبت به گام های زمانی (محافظت از یک شیء) ۷۸
- شکل ۴-۲۶ - بهترین برازندگی گره ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء) ۷۹
- شکل ۴-۲۷ - موضع گیری AUV ها در محیط پس از اجزای شبیه سازی (محافظت از یک درگاه). الف- نمای سه بعدی ب- نمای دو بعدی ۸۰
- شکل ۴-۲۸ - پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (محافظت از یک درگاه) ۸۱
- شکل ۴-۲۹ - میانگین مسافت طی شده گره ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک درگاه) ۸۱
- شکل ۴-۳۰ - میانگین درجه همسایگی گره ها نسبت به گام های زمانی (محافظت از یک درگاه) ۸۲

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- مقایسه ی سه تکنولوژی برای ارتباطات زیر آب..... ۱۳
- جدول ۲-۲- تاثیر فاصله پهنای باند در امواج صوتی..... ۱۶
- جدول ۱-۴- پارامترهای مورد نیاز در الگوریتم ژنتیک..... ۵۴
- جدول ۲-۴- پارامترها (به دست آوردن تعداد مناسب AUV ها برای حداکثرسازی پوشش سراسری)..... ۵۵
- جدول ۳-۴- میانگین درصد پوشش حجمی نرمال شده نسبت به تعداد AUV ها در محیط..... ۵۵
- جدول ۴-۴- پارامترهای مورد استفاده (مقایسه ی استفاده و عدم استفاده از میانگین درجه همسایگی)..... ۵۶
- جدول ۵-۴- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش مقایسه کنترل و عدم کنترل درجه همسایگی..... ۶۰
- جدول ۶-۴- پارامترها (تاثیر از کار افتادن چند AUV)..... ۶۲
- جدول ۷-۴- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش سوم (از کار افتادن ۴ AUV)..... ۶۵
- جدول ۸-۴- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش چهارم (خطای مکان یابی)..... ۶۹
- جدول ۹-۴- پارامترها (به دست آوردن تعداد مناسب AUV ها برای محافظت شی)..... ۷۳
- جدول ۱۰-۴- میانگین درصد پوشش حجمی نرمال شده نسبت به تعداد AUV ها در محیط..... ۷۴
- جدول ۱۱-۴- پارامترها (محافظت از یک شی)..... ۷۵
- جدول ۱۲-۴- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش پوشش حفاظتی..... ۷۸
- جدول ۱۳-۴- پارامترها (محافظت از یک درگاه)..... ۷۹
- جدول ۱۴-۴- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش پوشش حفاظتی..... ۸۲

فصل اول: مقدمه و کلیات

۱-۱- مقدمه ای بر شبکه های حسگر بی سیم زیر آب

شبکه های حسگر بی سیم زیر آب^۱ (UWSN)، شبکه ای متشکل از حسگرها هستند. این حسگرها در محیط زیر آب به منظور جمع آوری داده های محیطی قرار می گیرند و از امواج صوتی برای برقراری ارتباط استفاده می کنند. شبکه ی حسگر بی سیم زیر آب جهت بررسی آلودگی های اقیانوس ها، بررسی مناطق محتمل برای وجود نفت و گاز، بررسی زمین لرزه های زیر آب، بررسی وجود ماهی ها و مراقبت بر عبور زیر دریایی ها و شناورها استفاده می شود. استفاده تیمی از زیرآبی های خودمختار^۲ (AUVs) مجهز به حسگر، برای پیدا کردن منابع و دستیابی به اطلاعات جایگاه خود را در بسیاری از کاربردها یافته است [1]، [2]، [3]. AUV ها توانایی حرکت در همه ی جهات در محیط سه بعدی زیر آب را دارند [4]. جهت دستیابی به عملیات مورد نظر، آن ها می توانند بر طبق برنامه ریزی از قبل مشخص شده عمل نمایند. این روش محدودیت هایی از جمله عدم توانایی در روبرو شدن با حالات پیشبینی نشده، دارد. با استفاده از تکنیک های هوش مصنوعی می توان آن ها را هوشمند نمود تا بدون نیاز به دخالت و کنترل انسانی عملیات مورد نظر خود را انجام دهند [5] و محدودیت های فوق را برطرف نمایند. مزایای زیادی برای استفاده از تیمی از AUV ها در انجام عملیات مشخص در مقایسه با استفاده از یک AUV وجود دارد. تیم تحت تاثیر از کار افتادن یک AUV نمی شود و یا حداقل عملکرد سیستم به تدریج کاهش خواهد یافت. زمان کلی ماموریت کاهش خواهد یافت و باعث صرفه جویی در هزینه خواهد بود [6]. در شبکه های حسگر بی سیم زیر آب رسانه انتقال آب است. مناسب ترین شیوه ارتباطی در محیط زیر آب استفاده از امواج صوتی^۳ است [7]. امواج صوتی در زیر آب قابلیت شنیده شدن را دارند. صدای موج ها، قایق ها، کشتی ها و غیره با وضوح مشخصی حتی در فواصل دور قابل شنیده شدن است. صوت در آب بسیار موثرتر از هوا حرکت می کند. امواج صوتی برای ارتباطات زیر آب گزینه ی بهتری نسبت به امواج

^۱ Underwater Wireless Sensor Networks (UWSN)

^۲ Autonomous Underwater Vehicle

^۳ acoustic

الکترومغناطیسی و نوری هستند. در این شبکه‌ها چالش‌هایی وجود دارد که در ادامه به بررسی اجمالی آن خواهیم پرداخت.

۱-۱-۱- چالش‌های طراحی شبکه‌های حسگر بیسیم زیر آب

چالش‌های عمده در طراحی UWSN عبارتند از [7]:

- پهنای باند موجود در ارتباطات زیر آب به شدت محدود است.
- کانال‌های صوتی زیر آب به شدت آسیب پذیر هستند که از علل اساسی آن پدیده محوشدگی^۱ و چندگانگی مسیر^۲ است
- تاخیر انتشار در آب از لحاظ مرتبه، ۵ برابر کانال رادیویی زمینی است و بسیار متغیر است.
- به علت شرایط ویژه‌ی کانال‌های زیرآبی، نرخ خطای بیت زیاد است.
- توان باتری‌ها محدود است و معمولاً امکان شارژ آنها وجود ندارد زیرا نمی‌توان از انرژی خورشید بهره برد.
- حسگرهای زیرآبی در معرض رسوب و خوردگی تدریجی‌اند.

۱-۲- تعاریف، فرضیات و ضرورت مسئله

قبل از بیان مسئله مورد نظر این پایان نامه در شبکه‌های حسگر بیسیم زیرآب، لازم است تا اشاره‌ای به تعاریف و فرضیات و ضرورت موجود در این تحقیق داشته باشیم.

^۱ Fading

^۲ Multi-path

۱-۲-۱- تعاریف

قبل از بیان مسئله واژگانی وجود دارد که نیاز به تعریف آن‌ها است.

- محدوده حس کردن^۱ گره حسگر: شامل فضایی است که یک گره حسگر می‌تواند رخدادهایی که در آن فضا رخ می‌دهد را به خوبی حس نماید.
- محدوده ارتباط^۲ گره حسگر: شامل فضایی سه بعدی است که یک گره حسگر می‌تواند به صورت مطمئن ارسال و دریافت داده را انجام دهد.
- همسایگان گره حسگر: گره‌های حسگری هستند که در محدوده‌ی ارتباط گره حسگر باشند.
- درجه‌ی^۳ گره حسگر: تعداد همسایه‌های یک گره حسگر است.
- نقاط مورد توجه^۴ در محیط (POI): نقاطی در محیط هستند که ممکن است رویدادهایی در آن نقاط رخ دهد که حائز اهمیت باشند. نیاز است این نقاط توسط حسگرها پوشش داده شوند تا رویدادها مشاهده و گزارش شوند.

۱-۲-۲-۱- فرضیات تحقیق

- محدوده‌ی ارتباطی و حس کردن هر حسگر به صورت کره‌ای در نظر گرفته شده است. شعاع این کره‌ها را به ترتیب، شعاع ارتباطی و شعاع حس کردن می‌نامیم.
- حسگرها همگن^۵ هستند، یعنی همگی دارای محدوده ارتباطی و حس کردن یکسان هستند.
- شعاع ارتباطی و حس کردن یک گره حسگر، با هم برابر است.
- در مسائلی مشابه آنچه در این پایان نامه ذکر خواهد شد، فرض می‌شود گره‌ها قادر به تخمین موقعیت خود می‌باشند [5]. سیگنال‌های سیستم موقعیت‌یاب جهانی^۶ به خوبی در محیط زیر آب منتشر نمی‌شوند [7] و در استفاده از آن محدودیت وجود دارد. گره‌های حسگر در محیط

^۱ Sensing Range

^۲ Communication Range

^۳ Degree

^۴ Point Of Interest

^۵ Homogenous

^۶ Global Positioning system (GPS)

زیر آب از تکنیک‌های مکان‌یابی^۱ برای تخمین موقعیت خود استفاده می‌نمایند [8]. اما این تخمین ممکن است دارای خطا باشد.

۱-۲-۳- ضرورت تحقیق

کاربردهای مختلف از UWSN ها، نیازمندی‌های مخصوص به خود مانند نوع خدمات، کیفیت خدمات^۲، طول عمر^۳، مقیاس‌پذیری^۴ و غیره را دارد. مکانیسم‌های نوآورانه در شبکه‌های ارتباطی باید پاسخگو به این نیازمندی‌ها باشند. نحوه‌ی اتصالات و پوشش در ناحیه، دو عنصر از عناصر کلیدی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم هستند. در شبکه‌های حسگر هرچه درجه‌ی یک‌گره بیشتر باشد، پروتکل دسترسی به رسانه^۵ بار بیشتری را متحمل می‌شود [9]. درجه‌گره باید محدود باشد. یک‌گره با درجه‌ی بالا احتمال زیادی وجود دارد که مانند یک تنگراه^۶ در گراف ارتباطات عمل نماید [10]. با مدیریت اتصالات می‌توان میزان تداخلات ترافیکی را کاهش داد [9]. در کاربردهای حفاظتی- نظارتی از یک محیط، کیفیت خدمات وابسته به نحوه‌ی قرارگیری و میزان پوشش POI ها توسط گره‌ها است. با کاهش درجه‌گره‌ها، می‌توان میزان پوشش در محیط را افزایش داد [11]. کنترل توپولوژی یکی از تکنیک‌های مهم در UWSN برای مدیریت نحوه‌ی اتصالات و چینش گره‌ها در محیط است، که در این پایان‌نامه به آن پرداخته شده است.

در بسیاری از زمینه‌های تحقیقاتی شبکه‌های زیر آب نیاز است که گره‌های حسگر به نحوی در محیط چینش یابند که POI ها در فضای سه بعدی شبکه حداقل در محدوده حس کردن یک حسگر باشد.

^۱ Localization

^۲ Quality of service

^۳ Lifetime

^۴ Scalability

^۵ Medium Access protocol (MAC)

^۶ bottleneck

بنابراین نحوه‌ی چینش و قرارگیری حسگرها در محیط برای دستیابی به اهداف بعدی خود یکی از مسائل حیاتی در این شبکه‌ها می‌باشد. این اهداف می‌تواند شامل مواردی مانند شناسایی و ردیابی هدف [12] و حفاظت از یک کشتی و یا حفاظت از یک درگاه ورودی در زیر دریا باشد [4]. بسیاری از الگوریتم‌های کنترل توپولوژی برای شبکه‌های حسگر زمینی در محیط دو بعدی ارائه شده‌اند در حالی که این الگوریتم‌ها برای محیط سه بعدی زیرآب مناسب نیستند. رویکردهای مختلف کنترل توپولوژی را می‌توان بر اساس خصوصیات مختلف طبقه‌بندی کرد. یکی از این مشخصه‌ها نحوه‌ی ایجاد توپولوژی شبکه است. ایجاد توپولوژی شبکه می‌تواند به صورت توزیع‌شده و یا متمرکز باشد. در رویکرد متمرکز کنترل توپولوژی برای تیمی از گره‌های متحرک، محدودیت‌هایی وجود دارد. در ادامه این محدودیت‌ها بیان شده است.

- در ماموریت‌های زیرآبی معمول، مکان گره‌ها به صورت مداوم تغییر می‌کند. هر بار که تغییری در مکان هر یک رخ دهد این اطلاعات باید به سمت کنترل‌کننده‌ی مرکزی فرستاده شود. توپولوژی جدید شبکه در کنترل‌کننده‌ی مرکزی محاسبه و به سمت گره‌ها ارسال شود. این محدودیت کاربرد روش متمرکز را در واقعیت غیر ممکن می‌سازد.
- پردازش اطلاعات مکانی برای کل شبکه با افزایش تعداد گره‌ها سبب رشد بار کارگزار خواهد شد.
- گره‌هایی که نزدیک به کنترل‌کننده‌ی مرکزی هستند، معمولاً باید اطلاعاتی را به سمت گره‌های پیرامون خود ارسال نمایند که باعث مصرف نامتعادل انرژی خواهد بود.
- در محیط زیرآب تاخیر انتشار و نرخ خطا بالا است. این سبب می‌شود که کنترل متمرکز در محیط‌های بسیار پویا تصمیم ضعیفی برای هر گره اتخاذ شود [13].

در حالت متمرکز اگر سرعت حرکت گره‌ها به اندازه‌ی کافی آرام باشد، ممکن است دقت بالاتری نسبت به حالت توزیع شده به دست آید.

در سوی دیگر، استفاده از سیستم توزیع شده کاستی‌های فوق را کاهش می‌دهد ولی طراحی یک الگوریتم توزیع شده چالش برانگیزتر است.

مشخصه دیگر ساختاری ایجاد شده در شبکه می‌باشد. این ساختار می‌تواند به صورت مسطح^۱، سلسله مراتبی^۲ و یا خوشه دار^۳ باشد. مشخصه‌ی دیگر محدوده‌ی ارتباط گره‌ها است. گره‌ها در شبکه می‌توانند دارای قدرت انتقال^۴ یکسان یا متفاوت باشند. در کنترل توپولوژی همگن^۵، فرض می‌شود که همه‌ی گره‌ها دارای قدرت یکسان هستند. در کنترل توپولوژی ناهمگن^۶ به گره‌ها اجازه داده می‌شود که قدرت انتقال متفاوت داشته باشند.

۱-۳- هدف و نحوه رویکرد پژوهش

در این پایان‌نامه یک الگوریتم توزیع شده برای کنترل توپولوژی سه بعدی بر مبنای الگوریتم ژنتیک [14] برای AUVها که به صورت شبکه‌ای از حسگرهای همگن زیر آب عمل می‌کنند، ارائه شده است. هر AUV اطلاعات محدودی از همسایگان خود جمع‌آوری می‌کند. با استفاده از اطلاعات به دست آمده، الگوریتم ژنتیک به صورت مستقل در هر گره سرعت و جهت حرکتش را برای پوشش POIها در محیط، تعیین می‌نماید. POIها در این تحقیق سه حالت متفاوت هستند. در حالت اول هدف پوشش سراسری تمامی نقاط محیط است. POIها تمامی نقاط محیط تعریف می‌شوند. در حالت دوم هدف پوشش حفاظتی از یک شیء در کف یا سطح دریا است. POIها نقاط موجود بر سطح یک نیم‌کره به مرکزیت شیء و شعاع به میزان حد فاصلی که باید از شیء داشته باشند، تعریف می‌گردند. در آخرین حالت هدف

^۱ Flat

^۲ Hierarchical

^۳ Clustered

^۴ Transmitting power

^۵ homogeneous

^۶ non-homogenous

پوشش حفاظتی از یک درگاه است. POIها به صورت یک صفحه، تعریف می‌شوند. همانطور که در قسمت قبل ذکر شد با کاهش درجه‌ی همسایگی، میزان تداخلات ترافیکی کاهش خواهد یافت. بنابراین یکی دیگر از اهداف این پایان‌نامه کاهش درجه‌ی یک گره است. بنابراین اهداف این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

- حداکثر سازی پوشش POIها توسط گره‌ها

- کاهش درجه همسایگی در گره‌ها

با در نظر داشتن این اهداف، موثر بودن روش ارائه شده با معیارهای مختلفی مانند میزان پوشش POIها، زمان استقرار^۱، میانگین مسافت طی شده^۲ و میانگین درجه‌ی همسایگی^۳ مورد ارزیابی قرار خواهد گرفت. همچنین میزان پویایی الگوریتم در برابر از کار افتادن چند AUV و تاثیر ابهام در تشخیص محل دقیق AUVها بر عملکرد روش ارائه شده، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۴- ساختار پایان نامه

در فصل دوم ابتدا به معرفی ادبیات موضوع خواهیم پرداخت. ادبیات موضوع شامل آشنایی با شبکه‌های حسگر بیسیم زیر آب و چالش‌های مرتبط با آن است. سپس به بررسی پژوهش‌های مرتبط با مبحث کنترل توپولوژی در شبکه‌های حسگر بیسیم زیر آب و الگوریتم ژنتیک خواهیم پرداخت.

فصل سوم شامل روش پیشنهادی تحقیق برای کنترل توپولوژی در سه حالت پوشش سراسری، پوشش حفاظتی از یک شیء و پوشش حفاظتی از یک درگاه است.

^۱ Deployment Time

^۲ Average distance travelled

^۳ Average neighborhood degree

در فصل چهارم ابتدا محیط شبیه‌سازی معرفی می‌گردد سپس معیارهای ارزیابی مختلف معرفی می‌شود.

سپس با انجام آزمایشاتی به ارزیابی روش پیشنهاد شده خواهیم پرداخت.

در فصل پنجم با عنوان نتیجه‌گیری و پیشنهادات نتایج حاصل از تحقیق به همراه پیشنهاداتی برای

کارهای آینده در این زمینه معرفی شده است.

فصل دوم: ادبیات موضوع و بررسی پژوهش های مرتبط

۲-۱- مقدمه

همانطور که در فصل قبل بیان شد، UWSN ها، شبکه‌ای از حسگرها هستند. این حسگرها در محیط زیرآب به منظور جمع‌آوری داده‌های محیطی قرار می‌گیرند و از امواج صوتی برای برقراری ارتباط استفاده می‌کنند. در ادامه به معرفی و بررسی محدودیت‌های امواج صوتی خواهیم پرداخت. پس از آن اجزا و معماری‌های ارتباطی متداول در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم زیر آب مورد بررسی قرار گرفته است و در انتها به بررسی پژوهش‌های مرتبط با کنترل توپولوژی در این شبکه‌ها خواهیم پرداخت.

۲-۲- امواج صوتی و محدودیت‌های آن

صوت در آب به صورت دنباله‌های متحرک جبهه‌های فشار که "امواج" نامیده می‌شوند، حرکت می‌کند. این جبهه‌های فشار در آب با سرعت مشخصی حرکت می‌کنند. این سرعت محلی "سرعت محلی صوت" نامیده می‌شود. فاصله‌ی فیزیکی جبهه‌های فشار در یک صوت متحرک "طول موج نامیده" می‌شود. تعداد جبهه‌های فشار گذرنده از یک نقطه در محیط و در زمان واحد یک ثانیه "فرکانس موج" نامیده می‌شود. هر موج صوتی مقدار مشخصی از "انرژی صوتی" را با خود حمل می‌کند. این مقدار توسط دستگاهی به نام هیدروفن^۱ اندازه‌گیری می‌شود. این دستگاه هنگامی که جبهه‌های فشار یک موج صوتی حرکت می‌کنند، نوسان در فشار را اندازه‌گیری می‌کند. اندازه‌ی این نوسان "دامنه موج" نامیده می‌شود. هرچه انرژی صوت بیشتر باشد دامنه موج بیشتر است. فاصله‌ی بین جبهه‌های یک موج "طول موج" نامیده می‌شود. [5]

امواج صوتی در زیرآب قابلیت شنیده شدن را دارند. صدای موج‌ها، قایق‌ها، کشتی‌ها با وضوح مشخصی حتی در فواصل دور قابل شنیده شدن است. صوت در آب بسیار موثرتر از هوا حرکت می‌کند. امواج

^۱ Hydrophone

صوتی برای ارتباطات زیرآب گزینه‌ی بهتری نسبت به امواج الکترومغناطیسی و نوری هستند. جدول

۱-۲ مقایسه‌ای بین سه تکنولوژی موجود را نشان می‌دهد. [15]

جدول ۱-۲- مقایسه‌ی سه تکنولوژی برای ارتباطات زیر آب

امواج صوتی	امواج الکترومغناطیسی	امواج نوری	
سرعت انتشار	۱۵۰۰ متر بر ثانیه	۳۰۰ هزار کیلومتر بر ثانیه	
پهنای باند	چند کیلو هرتز	چند مگا هرتز	۱۰ تا ۱۵۰ مگا هرتز
باند فرکانسی	در حد کیلو هرتز	در حد مگا هرتز	بین ۱۰ ^{۱۳} تا ۱۰ ^{۱۴} مگا هرتز
اندازه آنتن	۱۰ سانتی متر	۵۰ سانتی متر	۱۰ سانتی متر
برد موثر	چند کیلومتر	۱۰ متر	۱۰ تا ۱۰۰ متر

چالش‌های عمده ارتباطات صوتی زیر آب عبارتند از: [15]

- تضعیف^۱

هنگامی که یک موج صوتی پخش می‌شود مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد، بخشی از انرژی به دلیل گرمای به وجود آمده از بین می‌رود. انرژی از دست رفته توسط موج‌های منتشر شده را میرایی یا تضعیف می‌نامند. هنگامی که یک موج صوتی می‌میرد دامنه موج آن کاهش می‌یابد و به صفر می‌رسد. سطح میرایی یک موج صوتی در آب وابسته به فرکانس آن موج است. هر چقدر فرکانس سیگنال بالاتر باشد، میزان میرایی سریعتر است.

- تاخیر انتشار^۲

^۱ Attenuation

^۲ Propagation Delay

تاخیر انتشار صوت در زیر آب پنج مرتبه کمتر از سرعت تاخیر انتشار امواج الکترومغناطیس است. سرعت تاخیر انتشار امواج صوتی در زیر آب ثابت نیست و وابسته به میزان فشار، دما و شوری آب دارد. معادله ۲-۱ یکی از معادلات معروف مدل کردن سرعت تاخیر انتشار امواج صوت در زیر آب است.

$$c = 1449 + 4.6t + 0.055t^2 + 0.0003t^3 + (1.39 - 0.012t)(s - 35) + 0.017 \quad ۱-۲$$

در رابطه فوق، t دما بر حسب درجه سانتی گراد و s میزان شوری بر حسب قسمت در هزار است.

- اتلاف تراگسیل^۱

این پدیده به علت کاهش میزان فشار صوتی منتشر شده امواج از منبع صوت رخ می دهد. اتلاف انتشار صوت در آب دریا به دو دلیل است: اولاً تضعیف که تابعی از فرکانس و برد است، ثانیاً پخش که تابعی از برد است.

- نویز

عموما در محیط زیر آب دو نوع نویز وجود دارد:

نویز انسانی: این نوع نویز ناشی از نویز ماشین آلات (مثل پمپ ها و...) و فعالیت های کشتی رانی می باشد.

نویز محیطی: ناشی از فعالیت های هیدرودینامیکی (حرکت آب شامل جذر و مد، باران، طوفان و ...) پدیده های لرزه ای و بیولوژیکی می باشد.

- پراش^۲

^۱ Transmission Loss

^۲ Diffraction

پراش فرآیندی است که بر اثر آن انرژی صوتی در برخورد با اجسام یا قسمت‌هایی از اجسام که دارای ابعادی بسیار کوچکتر از طول موج صوت هستند تغییر جهت می‌دهد. علاوه بر پراکندگی از سطح و کف آب، پراکندگی در اثر اشیاء معلق در آب نیز رخ می‌دهد.

- انعکاس^۱

انعکاس هنگامی رخ می‌دهد که صدا به سطح دریا، کف دریا و یا با موانع بزرگی داخل آب برخورد کند. در صورتی که سطح منعکس کننده برای مسافتی طولانی در مقایسه با طول موج صدا صاف باشد، قسمتی از انرژی صوتی موج برخورد کننده با زاویه‌ای نسبت به خط قائم منعکس می‌شود که مساوی با زاویه برخورد است.

- چند مسیریگی^۲

این پدیده نتیجه بروز انعکاس و پراش در امواج صوتی می‌باشد. این پدیده وقتی رخ می‌دهد که هنگام ارسال امواج صوتی، ممکن است این امواج در اثر برخورد با اجسام دیگر و یا سطح و کف آب از مسیرهای متفاوتی به مقصد برسند و همین مسئله باعث می‌شود تا برخی از این امواج نقش نویز را بازی کنند و گیرنده قادر به دریافت سیگنال صوتی اصلی نباشد. این پدیده در لینک‌های عمودی (گیرنده و فرستنده نسبت به هم عمود هستند) کمتر از لینک‌های افقی (گیرنده و فرستنده هم سطح اند) است و بستگی به عمق و فاصله بین فرستنده و گیرنده دارد.

- اثر داپلر^۳

این پدیده بر اساس تفاوت در ادراک یک فرستنده فرکانس با گیرنده همان فرکانس به وجود می‌آید. اگر گیرنده و یا فرستنده در حال ارسال یا دریافت در حال نزدیک شدن یا دور شدن از

^۱ Reflection

^۲ Multi path

^۳ Doppler spread

یکدیگر باشند، گیرنده نمی‌تواند فرکانس ارسالی را به درستی تشخیص دهد. این مسئله نیز بر کارایی ارسال و دریافت امواج صوتی اثر سوء دارد.

کلیه عوامل گفته شده باعث می‌شود تا پهنای باند ارسالی توسط امواج صوتی کاهش یابد. لینک‌های صوتی زیر آب با توجه به فاصله‌ای که بین فرستنده و گیرنده وجود دارد، می‌توانند مطابق جدول زیر به پنج دسته تقسیم شوند. همانطور که در جدول مشاهده می‌شود، با افزایش فاصله، باید پهنای باند کاهش یابد.

جدول ۲-۲- تاثیر فاصله پهنای باند در امواج صوتی

پهنای باند (کیلو هرتز)	محدوده (کیلومتر)	
کمتر از یک	۱۰۰۰	خیلی طولانی
۲ تا ۵	۱۰ تا ۱۰۰	طولانی
۱۰	۱ تا ۱۰	متوسط
۲۰ تا ۵۰	۰,۱ تا ۱	کوتاه
بیشتر از ۱۰۰	کمتر از ۰,۱	خیلی کوتاه

۲-۳- اجزاء شبکه حسگر بیسیم زیر آب

معمولا شبکه های حسگر بیسیم زیر آب از اجزای زیر تشکیل می شود.

- گره حسگر زیر آب^۱

گونه‌ای حسگر است که قادر است امواج صوتی را دریافت، پردازش و ارسال نماید. درون این نوع حسگرها از مودم صوتی زیر آب استفاده می‌شود. این مودم عمل تبدیل سیگنال صوتی به الکتریکی و بالعکس را انجام می‌دهد.

- گره سینک^۲

گره سینک، گرهی است که مسئولیت جمع‌آوری داده‌ها از سایر گره‌های حسگر را به عهده دارد. این گره‌ها قابلیت پردازشی بیشتری نسبت به سایر گره‌ها دارند. همچنین انرژی ذخیره شده در این نوع گره‌ها بیشتر است. سینک‌های زیرآبی مسئول هدایت داده‌ها از شبکه‌ی کف اقیانوس به ایستگاه‌های سطحی^۳ می‌باشد. برای انجام عمل دریافت از حسگرها و ارسال به گره مستقر در سطح، مجهز به دو نوع گیرنده فرستنده^۴ صوتی هستند. از گیرنده فرستنده افقی برای ارتباط با گره‌های حسگر و از گیرنده فرستنده عمودی برای ارسال اطلاعات و دریافت فرامین از ایستگاه مستقر در سطح آب استفاده می‌کند. در آب‌های عمیق، گیرنده فرستنده عمودی باید محدوده ارسال زیادی داشته باشد.

- زیرآبی‌های خودمختار^۵ (AUVs)

AUVها، زیرآبی‌های خودمختار و هوشمندی هستند که قادر به پیمایش در زیر آب و انجام عملیات در محدوده وسیع، بدون نیاز به اپراتور انسانی هستند. این تجهیزات مجهز به انواع حسگرها جهت جمع‌آوری داده در محیط زیر آب می‌باشند. AUVها می‌توانند آزادانه در محیط سه بعدی زیر آب حرکت کنند [4]. استفاده از چندین AUV در سیستم سبب مقاوم بودن آن در برابر شکست^۶ و

^۱ Underwater Sensor Node

^۲ Sink Node

^۳ Surface Station

^۴ Transceiver

^۵ Autonomous Underwater Vehicles (AUVs)

^۶ Rubust to failure

موثرتر بودن آن نسبت به حالت استفاده از یک AUV باشد [16]. در بسیاری از منابع موجود از مزایای استفاده تیمی AUVها استفاده شده است. در [12] یک برنامه ریز برای AUVهای همکار معرفی شده است. الگوریتم ارائه شده قادر به شناسایی و ردیابی اهداف در محیطهای غیر پویا و پویا است. AUVها در ابتدا محیط را پوشش می دهند. با یافتن هدف، برای اهداف غیر متحرک آن را طبقه بندی^۱ و برای اهداف متحرک، آن را ردیابی می نمایند. در [17] از یک برآوردگر حالت^۲ چند AUV برای تعیین موقعیت سه بعدی یک ماهی برچسب زده شده با فرستنده صوتی استفاده شده است.

۲-۴- معماری های ارتباطی شبکه های حسگر بی سیم زیر آب

در این قسمت، معماری های متداول ارتباطی شبکه های حسگر بی سیم زیر آب توضیح داده می شود. به طور خاص معماری شبکه های زیرآبی دو بعدی و سه بعدی مورد توجه قرار گرفته است. در ادامه چند معماری ارتباطی زیرآبی معرفی شده است.

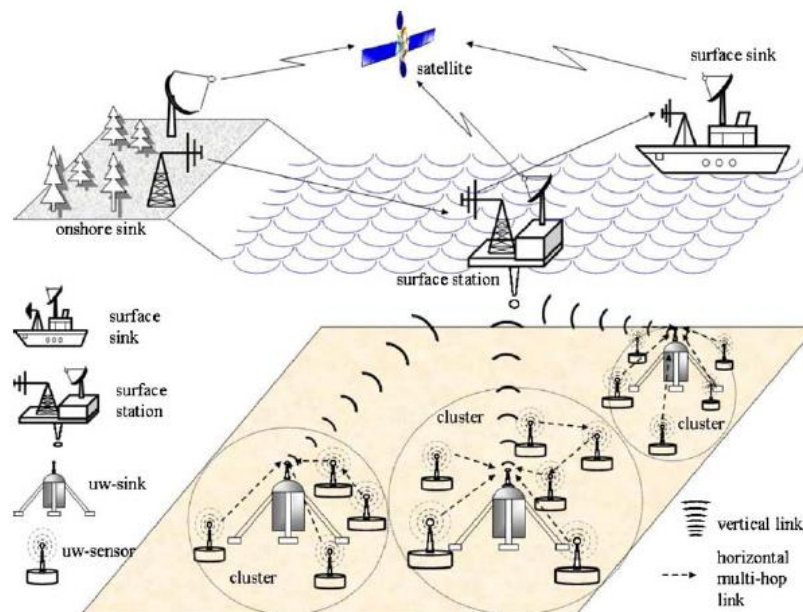
۲-۴-۱- شبکه های حسگر زیر آبی دوبعدی ایستا برای نظارت کف اقیانوس

در این نوع شبکه ها حسگرها در کف دریا قرار می گیرند. از کاربردهای معمول می توان به نظارت بر محیط زیست اشاره کرد. یک نمونه از این شبکه ها در شکل زیر نشان داده شده است. گروهی از گره های حسگر در کف اقیانوس قرار می گیرند. گره های حسگر به یک یا چند گره سینک زیر آب به وسیله ی لینک های صوتی بی سیم متصل می شود. سینک ها مسئول هدایت داده ها از شبکه ی کف اقیانوس به ایستگاه های سطحی می باشد. علاوه بر این ایستگاه مستقر در سطح دارای گیرنده

^۱ Classify

^۲ State-stimator

فرستنده امواج رادیویی است تا بتواند با ایستگاه ساحلی تبادل داده داشته باشد. در آب‌های کم عمق (عمق کمتر از ۱۰۰ متر) گره‌های موجود در کف آب می‌توانند بدون وجود گره سینک با ایستگاه سطحی تبادل داده داشته باشند. گونه‌ای از شبکه‌های حسگر زیرآبی دو بعدی در شکل ۲-۱ نشان داده شده است.

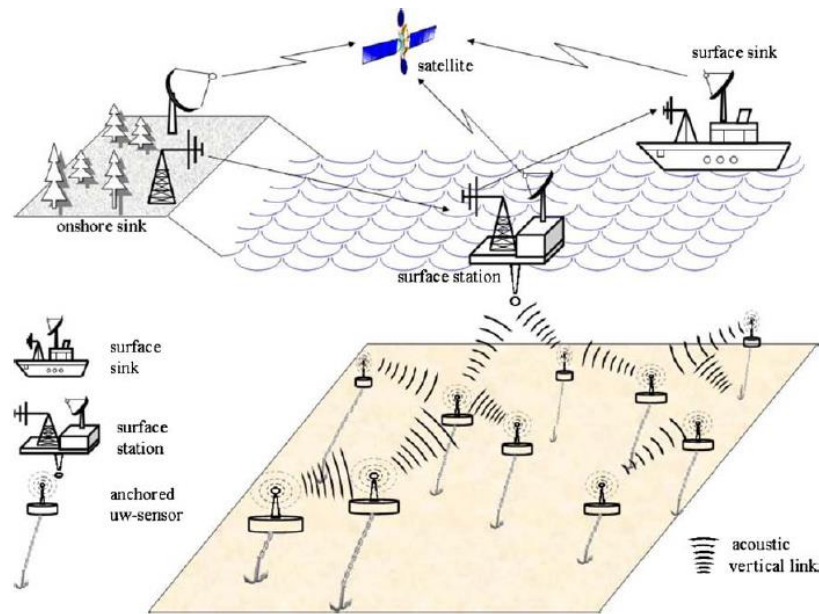


شکل ۲-۱- شبکه حسگر بی‌سیم زیر آب دو بعدی

۲-۴-۲- شبکه های حسگر زیر آب سه بعدی ایستا برای نظارت ستونی اقیانوس

در اینجا عمق به وسیله‌ی تکنیک‌های خاص کنترل می‌شود. این نوع شبکه‌ها برای تشخیص پدیده‌ای که در کف اقیانوس نیستند، کاربرد دارد. در واقع در مواردی استفاده می‌شود که استفاده از شبکه دو بعدی کارآمد نیست. در این شبکه‌ها، گره‌های حسگر برای مشاهده‌ی یک پدیده‌ی خاص در عمق‌های متفاوتی شناور می‌شود. به عنوان مثال می‌توان حسگرها را به وسیله‌ای که در سطح آب قرار می‌گیرد، متصل کرد و آن را در عمق دلخواه قرار داد. همچنین می‌توان حسگرها را به کف اقیانوس متصل نمود و توسط پمپ‌های خاصی در عمق مورد نظر قرار بگیرند. نمونه‌ای از شبکه‌های

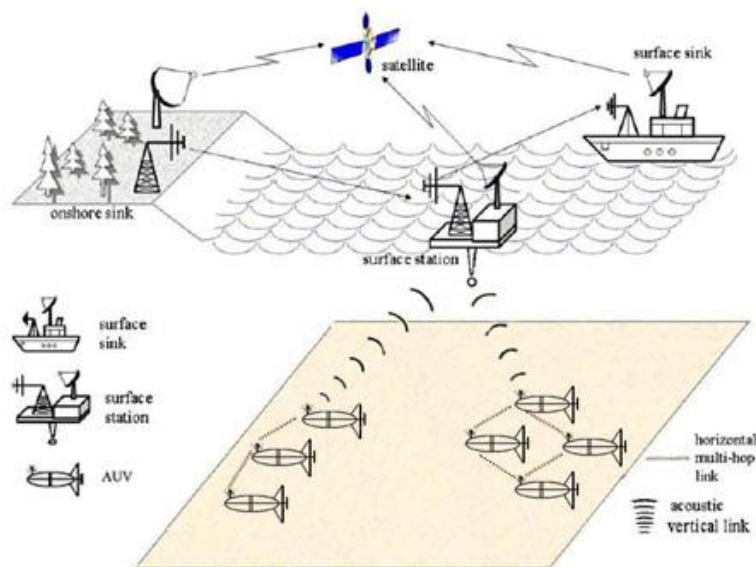
حسگر زیرآبی سه بعدی در شکل ۲-۲ نشان داده شده است. در این روش ممکن است توسط کشتی‌ها و شناورهای عبوری آسیب ببینند. در این نوع توپولوژی داده‌های جمع‌آوری شده توسط یک گره به گره بعدی ارسال می‌شود تا به کمک مسیریابی چندگامی به گره مستقر در سطح برسد. از ایستگاه سطحی به ماهواره و از آنجا به ایستگاه ساحلی مخابره شود.



شکل ۲-۲- شبکه حسگر بیسیم زیر آب سه بعدی

۲-۴-۳- شبکه سه بعدی با استفاده از زیرآبی‌های خود مختار

این شبکه‌ها شامل تیمی از زیرآبی‌های مستقل می‌باشد. با استفاده از AUVها می‌توان قابلیت‌های شبکه‌های حسگر زیر آب را در بسیاری از جنبه‌ها بالا برد. نمونه‌ای از شبکه‌های حسگر زیرآبی سه بعدی با استفاده از AUVها در شکل ۲-۱ نشان داده شده است. در این نوع توپولوژی داده‌های جمع‌آوری شده توسط یک گره به گره بعدی ارسال می‌شود تا به کمک مسیریابی چندگامی به گره مستقر در سطح برسد. از ایستگاه سطحی به ماهواره و از آنجا به ایستگاه ساحلی مخابره شود.



شکل ۲-۳- شبکه حسگر بیسیم زیر آب سه بعدی با استفاده از AUVها

۲-۵- کنترل توپولوژی

عملکرد شبکه‌های حسگر بی‌سیم وابسته به کنترل توپولوژی آن‌هاست. کنترل توپولوژی مشخص کننده-ی این است که هر دو حسگر چگونه به هم متصل هستند و حوزه‌ی سنجش چه میزان نظارت می‌شود. کنترل توپولوژی را می‌توان به دو دسته پوشش در شبکه و اتصال شبکه تقسیم کرد [18]. مأموریت اصلی شبکه‌های حسگر بی‌سیم نظارت اهداف و کشف وقوع رویداد است. به واسطه‌ی خاصیت تصادفی رویدادها و پارامترهای محیط، POIها در آن، باید توسط حسگرها پوشش داده شوند. در اینصورت رویدادها به اندازه‌ی کافی مشاهده و پارامترهای محیط گزارش داده می‌شوند. از سوی دیگر در استقرار سیستم، هزینه و مقیاس‌پذیری آن نیز باید در نظر گرفته شود. داشتن یک شبکه از حسگرها در یک ناحیه با تراکم خیلی زیاد عملی نیست.

۲-۶- پوشش شبکه

پوشش شبکه توصیفی است که مشخص می‌کند دامنه‌ی هدف چطور توسط حسگرها نظارت می‌شود. پوشش شبکه می‌تواند به سه دسته پوشش سراسری^۱، پوشش مانع^۲، پوشش جارویی^۳ تقسیم گردد.

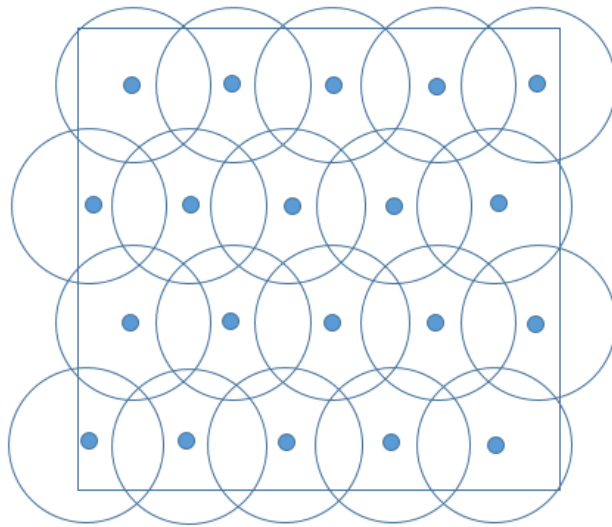
۲-۶-۱- پوشش سراسری

پوشش سراسری به پوشش هر نقطه از فضا اشاره دارد. در واقع هر نقطه از فضا نیاز دارد که حداقل توسط یک حسگر پوشش داده شود. اگر هر نقطه توسط k حسگر پوشش داده شود به آن پوشش k تایی می‌گویند. پوشش سراسری گاهی با نام پوشش کامل نیز شناخته می‌شود. توجه داشته باشید که در بعضی از تحقیقات در پوشش کامل نیاز نیست که هر نقطه از محیط پوشش داده شود و تنها نیاز است POIها پوشش داده شود [19]. در شکل ۲-۴ زیر نمونه‌ای از پوشش کامل در فضای دو بعدی نمایش داده شده است. که هر کدام از دایره‌های توپر نشانگر حسگرها و دوائر بزرگتر در اطراف آنها نشانگر شعاع حس کردن هستند. همانطور که مشاهده می‌شود به طور کامل محیط را پوشش داده‌اند. اگر شعاع حس کردن با شعاع ارتباطی برابر باشد در این تصویر هیچ ارتباطی برقرار نیست.

^۱ Blanket coverage

^۲ Barrier coverage

^۳ Sweep coverage



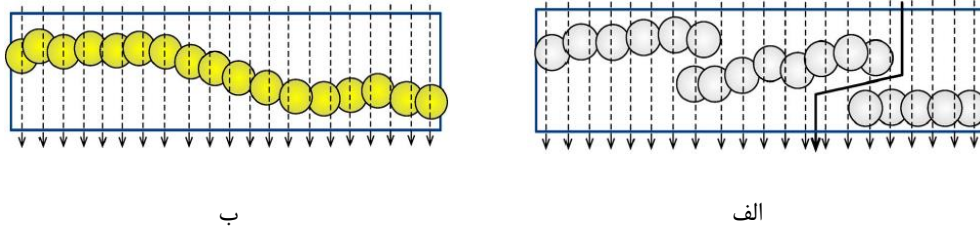
شکل ۲-۴- نمونه ای از پوشش سراسری حسگرها

پوشش سراسری در سه شبکه ایستا، متحرک و تلفیقی مورد مطالعه قرار گرفته شده است. در شبکه‌های ایستا هیچ حسگری قادر به حرکت کردن نیست. در [20]، [21] و [22] پوشش فضا توسط حداقل یک حسگر در شبکه ایستا مورد توجه قرار گرفته است. و در [23] و [24] پوشش کتایی در شبکه ایستا مورد بررسی قرار گرفته است. این شبکه‌ها به سادگی قابل پیاده‌سازی هستند اما دارای مشکل حفره انرژی هستند که طول عمر شبکه را کوتاه می‌کنند [25]. در شبکه‌های متحرک، همه‌ی حسگرها می‌توانند حرکت کنند. در این رویکرد هزینه و پیچیدگی طراحی پروتکل افزایش خواهد یافت اما به طور قابل توجهی می‌توان طول عمر شبکه را افزایش داد.

۲-۶-۲- پوشش مانعی

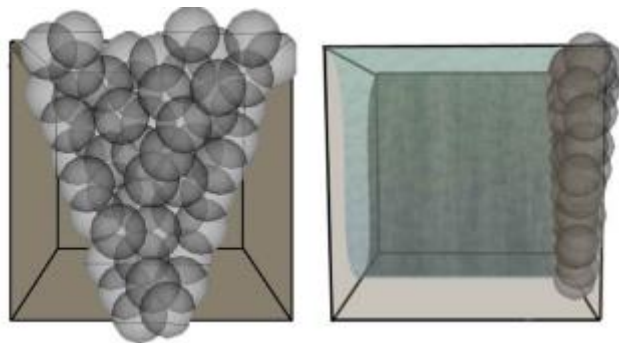
پوشش مانع پوششی است که هر راه عبور در شبکه را تحت نظارت قرار می‌دهد پوشش مانع تضمین می‌کند که هر مزاحمی هدف عبور از شبکه را داشته باشد، می‌توان شناسایی نمود. در [26] مجموعه‌ای از الگوریتم‌ها ارائه داده است و تعیین می‌نماید آیا پوشش مانعی کتایی ایجاد شده است و یا خیر؟ در

این مقاله دو نوع پوشش قوی و ضعیف ارائه شده است. نمونه‌ای از پوشش قوی و ضعیف در شکل ۲-۵ مشاهده می‌شود.



شکل ۲-۵- پوشش مانعی الف) پوشش مانعی ضعیف ب) پوشش مانعی قوی

در [27] نیز پوشش مانعی مبتنی بر خط ارائه شده در واقع در اکثر کارهای انجام شده پوشش مانعی مبتنی بر خط مورد بررسی است. اما در [28] پوشش مبتنی بر منحنی مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین در شکل زیر نمونه‌ای از پوشش مانعی در فضای سه بعدی ارائه شده در [29] که از یک ورودی زبردیا محافظت می‌نماید مشاهده می‌گردد.

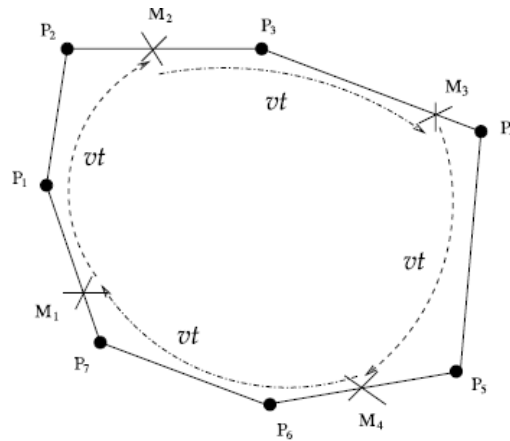


شکل ۲-۶- نمونه ای از پوشش مانعی در فضای ۳ بعدی

۲-۶-۳- پوشش جاروبی

پوشش جاروبی پوششی است که در آن نیاز نیست شبکه متصل باشد و فضای هدف توسط شبکه تنک که از حسگرهای موبایل تشکیل شده پوشش داده می‌شود. تعدادی POI وجود دارد که باید در محیط

کشف شوند. در این نوع پوشش نیاز است که اطلاعات به صورت محلی ذخیره شود. در [30]، [31] پوشش جاروبی مورد بررسی قرار گرفته شده است. در شکل ۷-۲ نمونه‌ای از پوشش جاروبی نشان داده شده است. در این شکل نقاط p_1 تا p_7 باید توسط حسگرهای M_1, M_2, M_3 و M_4 ملاقات شوند. مکان اولیه ی حسگرها با علامت ضربدر و مسیری که باید با پیکان نقطه چین مشخص شده است



شکل ۷-۲- نمونه ای از پوشش جاروبی

۷-۲- اتصال شبکه

اتصال شبکه به بازیابی و دریافت پیام در شبکه مربوط است. زمانی که یک حسگر کار می‌کند اتصالش به دیگر حسگر از دو جنبه می‌تواند مطالعه شود: کنترل زمانی^۱، [32] [33] کنترل فضایی^۲ [34] [35].

• کنترل زمانی

برای اهداف ذخیره‌سازی انرژی، حسگرها معمولاً در دو حالت فعال و خواب جابه‌جا می‌شوند. لذا نیاز به بررسی وجود دارد تا یک برنامه‌ریزی برای فعال و خاموش شدن گره‌ها داشته باشیم به نحوی که اتصال گره‌های شبکه حفظ شود.

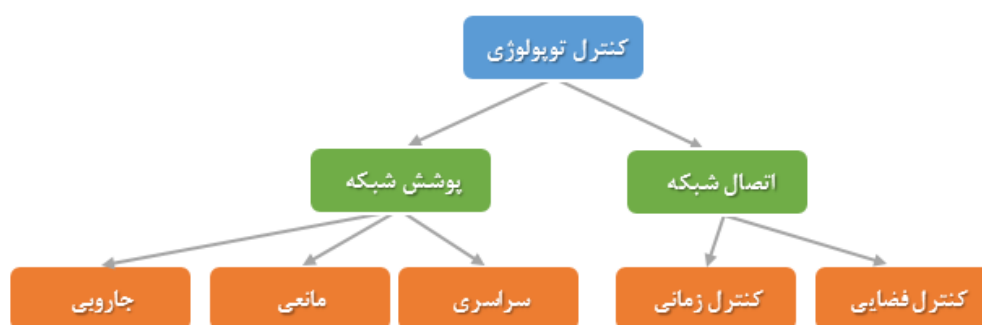
^۱ Temporal control

^۲ Spatial Control

- کنترل فضایی

حسگرهای فعلی معمولاً چندین سطح مصرف انرژی را دارا هستند. در هر سطح محدودی انتقال متفاوت است. در کنترل فضایی، نیاز به بررسی سیاست‌های پیکربندی سطح انرژی از هر حسگر برای بهینه‌سازی ارتباطات متقابل است.

پس می‌توان مسائل کنترل توپولوژی را به صورت زیر طبقه‌بندی نمود.



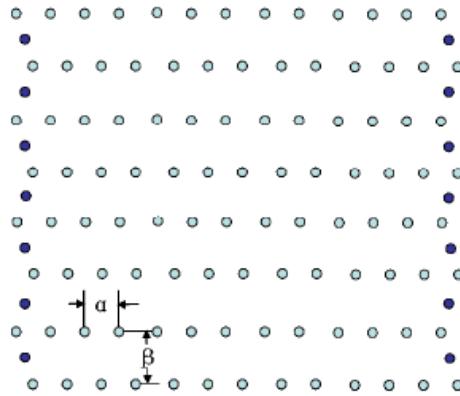
شکل ۲-۸- طبقه بندی مسائل کنترل توپولوژی

۲-۸- دستیابی همزمان به پوشش و اتصال شبکه

تا اینجا تحقیقات مرتبط با پوشش و اتصال شبکه به صورت اجمالی مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی تحقیقاتی پرداخته شده که سعی به دستیابی همزمان پوشش و اتصال در شبکه را دارند [36] [37]. در [37] ارتباط بین پوشش و اتصال شبکه توضیح داده شده است. در این مقاله نویسنده یک الگوی استقرار برای رسیدن به پوشش و اتصال ۲ تایی کامل پیشنهاد داده است. بهینگی راه حل پیشنهادی برای همه‌ی نسبت‌هایی که شعاع ارتباطی و شعاع حس کردن با هم دارند، اثبات کرده است. الگوی پیشنهادی در شکل ۲-۹ مشاهده می‌شود. در این شکل دایره های توپر روشن‌تر نشانگر

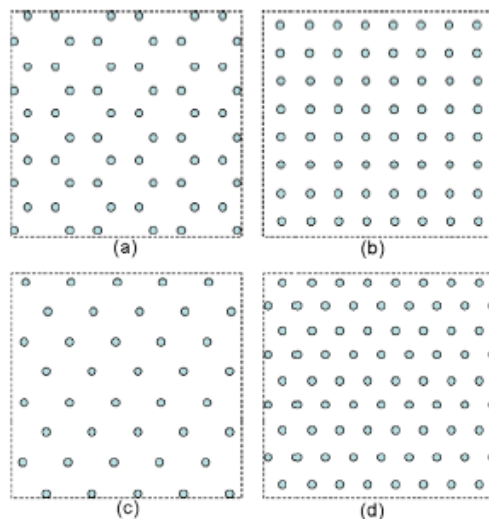
سنسورهایی هستند که در نوار افقی قرار می گیرند . نقاط توپر تیره تر نشان دهنده دو نوار عمودی

هستند. در اینجا $\alpha = \min\{r_c, \sqrt{3}r_s\}$ و $\beta = r_s + \sqrt{r_s^2 - \alpha^2/4}$ است.



شکل ۲-۹- الگوی استقرار مبنی بر نوار برای رسیدن به پوشش و اتصال ۲ تایی.

در آخر نویسندگان میزان سودمندی بعضی از الگوهای معروف استقرار حسگرها در محیط را با توجه به تعداد حسگرهای مورد نیاز برای پوشش و اتصال مقایسه می نمایند. چهار الگوی معروف استقرار حسگرها در محیط در شکل ۲-۱۰ مشاهده می شود.



شکل ۲-۱۰- چهار الگوی استقرار معروف حسگرها در محیط. (a) شش گوشه، (b) مربع، (c) متوازی الاضلاع و (d) شبکه مثلثی (با مثلث متساوی الاضلاع).

با توجه به نسبت شعاع حس کردن و شعاع ارتباطی سودمندترین الگو را از بین الگوهای معرفی شده در شکل ۲-۱۰ را از نظر تعداد حسگرهای مورد نیاز به صورت زیر معرفی می‌نماید:

• هنگامی که $\sqrt{2} \leq r_c/r_s \leq \sqrt{3}$ الگوی مبتنی بر متوازی الاضلاع (مورد ج) از سه الگوی دیگر مناسب تر است.

• هنگامی که $1.14 \leq r_c/r_s \leq \sqrt{2}$ الگوی مربعی (مورد ب) از سه الگوی دیگر مناسب تر است.

• هنگامی که $r_c/r_s \leq 1.14$ الگوی شش گوشه (مورد الف) از سه الگوی دیگر مناسب تر است.

۲-۹- الگوریتم ژنتیک و کاربرد آن در کنترل توپولوژی

در ابتدا با مفاهیم اولیه الگوریتم ژنتیک آشنا خواهیم شد و پس از آن به مرور کاربردهای الگوریتم ژنتیک در مسئله الگوریتم ژنتیک خواهیم پرداخت.

۲-۹-۱- مفاهیم اولیه در الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک، الهامی از علم ژنتیک و نظریه تکامل داروین است و بر اساس بقای برترین‌ها یا انتخاب طبیعی استوار است. این الگوریتم اولین بار توسط اچ هوللند در سال ۱۹۶۰ توسعه داده شده است [38]. یک کاربرد متداول الگوریتم ژنتیک، استفاده از آن بعنوان تابع بهینه‌کننده است. الگوریتم ژنتیک ابزار سودمندی در بازشناسی الگو، انتخاب ویژگی، درک تصویر و یادگیری ماشینی است. این الگوریتم با یک مجموعه از کروموزوم^۱ها شروع می‌شود. این مجموعه، جمعیت نام دارد. هر کروموزوم یک راه‌حل ممکن

^۱ chromosome

برای مسئله مورد نظر است. در این الگوریتم از جمعیت فعلی برای تولید جمعیت جدید استفاده می‌شود. در این فرآیند امید است که جمعیت بعدی از جمعیت فعلی، بهتر باشد. یک تابع برازندگی^۱ به هر راه حل کدگذاری شده ارزیابی را نسبت می‌دهد. ژنتیک بر روی کروموزوم‌های موجود در جمعیت فعلی یا همان نسل فعلی به امید بدست آوردن جواب‌های بهتر، قانون بقای بهترین را اعمال می‌کند و نسل جدیدی را ایجاد می‌کند. این فرایند باعث می‌شود که نسل‌های جدید با شرایط مساله سازگارتر باشد. در هر نسل تابع برازندگی هر فرد در جمعیت موجود را ارزیابی می‌کند. افراد برازنده تر در جامعه، به صورت تصادفی انتخاب می‌گردند. عملگرهای تلفیق^۲ و جهش^۳ به امید ایجاد نسلی برازنده‌تر بر روی کروموزوم‌های انتخاب شده اعمال می‌شوند و نسل جدید را شکل می‌دهند. الگوریتم با رسیدن به یک برازندگی مطلوب و یا تعداد حداکثر تکرار در نسل‌ها خاتمه می‌یابد. روند کلی الگوریتم ژنتیک به صورت زیر می‌باشد:

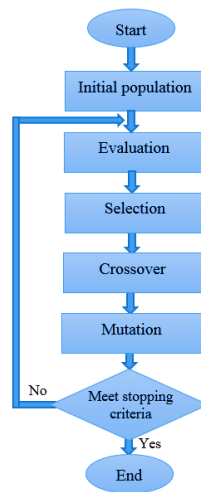
- ۱- تولید جمعیت تصادفی شامل n کروموزوم.
- ۲- بررسی میزان برازندگی هر کروموزوم در جمعیت.
- ۳- ایجاد یک جمعیت جدید بر اساس تکرار گام‌های زیر.
- ۴- انتخاب کروموزوم‌های پدر و مادر در جمعیت فعلی، بر اساس میزان برازندگی آن‌ها (کروموزوم‌های مطلوب‌تر شانس بیشتری برای انتخاب داشته باشند).
- ۵- در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای احتمال عملگر تلفیق و سپس انجام این عملگر بر روی والدین به منظور ایجاد فرزندان جدید. اگر هیچ ترکیب جدیدی صورت نگیرد فرزندان همان والدین خواهند بود.
- ۶- اعمال جهش بر روی فرزندان با در نظر گرفتن احتمال جهش.
- ۷- جایگزینی فرزندان جدید در جمعیت.
- ۸- توقف اجرای الگوریتم در صورت مشاهده‌ی شرایط توقف.
- ۹- رفتن به گام ۲.

^۱ Fitness function

^۲ Crossover

^۳ Mutation

فلوچارت این الگوریتم در شکل ۱۱-۲ مشاهده می شود.



شکل ۱۱-۲- فلوچارت الگوریتم ژنتیک

۲-۹-۲- کاربرد الگوریتم ژنتیک در شبکه حسگر و کنترل توپولوژی

الگوریتم ژنتیک ثابت کرده است که در کاربردهای مختلف رباتیک، شبکه حسگر و MANET^۱ (گروهی از گره‌های متحرک که به صورت پویا یک شبکه را بدون هر گونه نیاز به زیرساخت‌های موجود از قبل شکل می‌دهند) ابزار سودمندی است و در مسائل مختلف به کار گرفته شده است. در واقع الگوریتم ژنتیک در پیدا کردن جواب تقریبی در کاربردهای تجاری، نظامی که نیازمند تکنیک‌های سریع، قابل تطبیق، خودکار و خودیادگیری است ابزار مفیدی است. در مقاله [39] از الگوریتم ژنتیک برای مسئله برنامه‌ریزی مسیر برای چندین ربات متحرک که هریک هدف و سرعتی مشخص دارند، استفاده شده است. هدف الگوریتم بهینه‌سازی کل مسیر پیموده شده توسط ربات‌ها می‌باشد. در این مقاله در دو سطح از الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. در یک سطح الگوریتم سعی می‌کند، مسیرهای بهینه برای ربات ایجاد نماید. یعنی هر ربات الگوریتم ژنتیکی مختص به خود را دارد. در سطح دوم الگوریتم ژنتیک

^۱ Mobile Ad Hoc Network

تلاش می‌شود تا بهترین ترکیب از مسیرهای رباتهای مختلف را به دست آورد تا کل مسیر پیموده شده توسط ربات‌ها بهینه شود. در [40] از یک الگوریتم ژنتیک مبتنی بر دانش برای پیدا کردن مسیر ربات‌های متحرک که در یک محیط پیچیده و دارای تغییرات پویا هستند استفاده شده است. در [41] با استفاده از الگوریتم ژنتیک یک مدل داینامیک برای کنترل توپولوژی جهت رسیدن به توزیع یکنواخت گره‌های متحرک خودمختار در فضای دو بعدی ارائه می‌دهد. در [42]، [43] و [44] نیز الگوریتم توزیع شده کنترل توپولوژی مبنی بر ژنتیک ارائه می‌دهند که در سیستم‌های هوشمند تصمیم‌گیری نماید و به صورت یکنواخت در محیط توزیع شوند. در تحقیقات بسیاری مسئله کنترل توپولوژی در محیط دو بعدی مورد بررسی قرار گرفته است. کنترل توپولوژی سه بعدی یکی از چالش‌های مطرح در مسائل مرتبط با این زمینه است. در مقایسه با روش‌های دو بعدی، دارای یک طیف وسیع تری از برنامه‌های کاربردی به ویژه برای بسیاری از ماموریت‌های نظامی و تجاری در محیط‌های زیر آب است. بنابراین نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه وجود دارد. در [45] یک توپولوژی کنترل سه بعدی بر مبنای الگوریتم ژنتیک در شبکه‌های حسگر زیر آب که متشکل از AUVهاست، ارائه شده است. در این مقاله هر AUV با استفاده از اطلاعات محدودی که از همسایگان خود جمع‌آوری می‌کنند، به صورت خودمختار سرعت و جهت حرکتش، با هدف رسیدن به یک توزیع مکانی یکنواخت و حفظ ارتباط، تعیین می‌نماید. در این تحقیق الگوریتم در شبیه‌ساز چند عاملی رویداد-گسسته Mason [46] استفاده شده است که قابلیتی برای محیط زیر آب ارائه نمی‌دهد. الگوریتم ارائه شده را می‌توان از جهات مختلف مانند، به کارگیری شبیه‌ساز مرتبط با محیط زیر آب، در نظر گرفتن محدودیت درجه‌ی همسایگی در گره‌ها و اعمال تغییرات در الگوریتم، بهبود بخشید. این الگوریتم 3D-GA نام دارد و در فصول آینده با روش پیشنهادی ما مقایسه خواهد شد.

فصل سوم: روش پیشنهادی

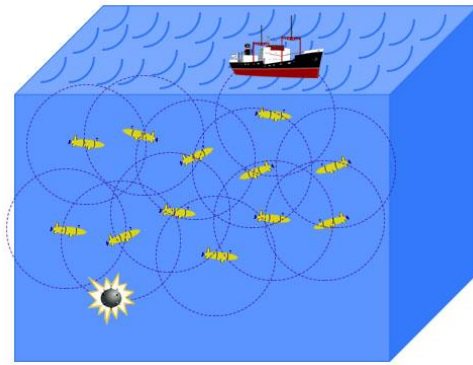
۳-۱- مقدمه

همانطور که در فصل (۲) بیان شد، کنترل توپولوژی در شبکه‌ی حسگر بی‌سیم به دو دسته پوشش در شبکه، اتصال شبکه تقسیم می‌گردد. پوشش نیز خود به سه دسته پوشش سراسری، حصاری و جاروبی دسته‌بندی می‌شود. نوع پوشش مورد نظر در این پایان‌نامه به سه دسته تقسیم شده است. در دسته‌ی اول هدف، پوشش سراسری در محیط است. در دسته‌ی دوم ارائه‌ی پوششی حصاری برای حفاظت از یک شیء در محیط زیر آب، مورد نظر است. در دسته‌ی سوم پوششی حصاری برای حفاظت از یک درگاه در زیر آب مطرح است. در ادامه روش پیشنهادی در سه زیر عنوان کنترل توپولوژی با هدف پوشش سراسری و کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک شیء و پوشش حفاظتی از یک درگاه برای شبکه‌ای از AUVها مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۳-۲- کنترل توپولوژی با هدف پوشش سراسری

یک ناحیه می‌تواند توسط تعدادی AUV که آن را پوشش داده‌اند، محافظت گردد. شکل ۳-۱ محافظت چند AUV از یک ناحیه را نشان می‌دهد. در این پایان‌نامه، الگوریتم ژنتیک برای حداکثرسازی پوشش تمامی نقاط در محیط سه بعدی زیر آب توسط AUVها ارائه شده است. این الگوریتم هر AUV را توانمند می‌سازد که به صورت مستقل سرعت و جهت حرکت خود را بر اساس اطلاعاتی که از همسایگانش به دست می‌آورد، تعیین نماید. این اطلاعات شامل مکان و درجه‌ی آنها است. هر AUV بهترین حرکت بعدی را در هر گام با اجرای الگوریتم ژنتیک به صورت مستقل به دست می‌آورد. در تابع برازندگی این الگوریتم، از یک تحلیل آماری برای میانگین درجه‌ی همسایگی با هدف تعیین حد بالای تعداد همسایگان یک AUV استفاده شده است. همانطور که در فصول گذشته بیان شد با مدیریت اتصالات می‌توان میزان تداخلات ترافیکی را کاهش [9] و میزان پوشش در محیط را افزایش داد [11].

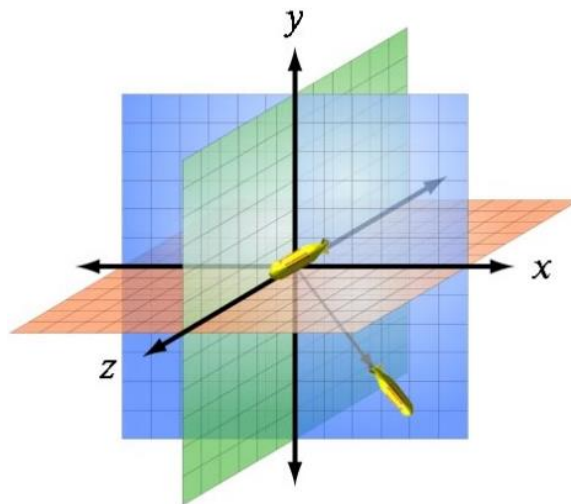
در ادامه به معرفی ساختار الگوریتم ژنتیک ارائه شده خواهیم پرداخت.



شکل ۳-۱- محافظت چند AUV از یک ناحیه

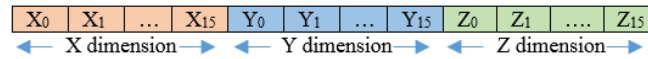
۳-۲-۱- ساختار کروموزوم ها

هر کروموزوم شامل جهت و سرعت حرکت بعدی AUV است. شکل ۳-۲ مدل حرکتی در نظر گرفته شده برای AUV ها در فضای دکارتی سه بعدی را نمایش می دهد. در این مدل AUV ها می توانند آزادانه در فضای دکارتی حرکت نمایند.



شکل ۳-۲- مدل حرکتی AUV ها در فضای ۳ بعدی

کروموزم از سه بخش تشکیل شده است. هر بخش شامل ۱۶ بیت است و جهت و سرعت در یکی از ابعاد فضای سه بعدی را نشان می‌دهد. ساختار کروموزوم در شکل ۳-۳ نشان داده شده است. در واقع هر کروموزم نشان‌دهنده‌ی یک بردار سرعت^۱ برای AUV است.



شکل ۳-۳- ساختار کروموزوم

۱۶ بیت اول نشان‌دهنده مقدار و جهت سرعت در راستای محور X است. در ۱۶ بیت دوم و سوم این مقادیر را به ترتیب در راستای محورهای Y و Z کدگذاری شده‌اند. در هر بخش کم ارزش‌ترین بیت (X₀, Y₀, Z₀) جهت را در راستای محور مرتبط مشخص می‌سازد. اگر مقدار آن‌ها ۰ باشد جهت حرکت مثبت است و اگر ۱ باشد جهت حرکت منفی است. ۱۵ بیت باقی مانده در هر بخش یک ضریب γ در بازه [0,1] برای سرعت تولید می‌کند. این ضریب برای محاسبه‌ی سرعت استفاده می‌شود. برای محاسبه-ی سرعت در راستای هر یک از ابعاد فضای دکارتی از ضرب این ضریب در مقدار ماکزیمم سرعت در آن راستا استفاده می‌شود به عنوان مثال سرعت در راستای محور X طبق رابطه ۳-۱ و ۳-۲ محاسبه می‌شود. مقدار ماکزیمم سرعت ۲۰ در نظر گرفته شده است.

$$speed_x = \gamma * s_{max} \quad ۱-۳$$

$$Speed_x = (-1)^{x_{15}} \cdot \frac{\sum_{i=0}^{14} (x_i \cdot 2^{2^i})}{2^{15} - 1} \cdot s_{max} \quad ۲-۳$$

با استفاده از بردار سرعت به دست آمده و مکان فعلی گره، می‌توان مکان جدید آن را بعد از یک دوره زمانی طبق رابطه‌ی ۳-۳ محاسبه نمود. در این رابطه γ بردار سرعت به دست آمده از هر کروموزوم، t دوره‌ی زمانی، x_0 مکان فعلی نود و x مکان جدید آن است.

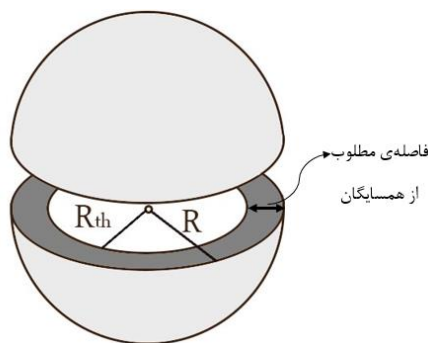
^۱ Velocity vector

$$x = vt + x_0$$

لازم به ذکر است که کروموزوم ها در ابتدا به صورت تصادفی با مقادیر ۰ و ۱ پر می‌شوند. احتمال رویداد ۰ یا ۱ با هم برابر و مساوی ۰,۵ است.

۳-۲-۲- تابع برازندگی

این تابع میزان شایستگی هر کروموزوم را محاسبه می‌نماید. همانطور که در قسمت قبل بیان شد با استفاده از بردار سرعتی حاصل از هر کروموزوم، می‌توان مکان جدید گره را محاسبه نمود. شایستگی یک کروموزوم نیز به تعداد همسایگانش و فاصله از آن‌ها در مکان جدیدش وابسته است. مقدار مطلوب برای درجه‌ی گره به میزان تراکم گره‌ها در محیط وابسته است. تراکم گره‌ها در محیط به اندازه، شعاع ارتباطی و تعداد گره‌ها در محیط وابسته است. میانگین درجه‌ی گره‌ها در محیط با استفاده از تحلیل آماری توصیف شده در بخش ۳-۲-۶ به دست می‌آید. بهترین فاصله‌ی ای که یک گره می‌تواند از همسایگانش داشته باشد، فاصله‌ی بین شعاع ارتباطی R و شعاع آستانه‌ی R_{th} است. شعاع آستانه یک فاصله‌ی آستانه نزدیک به شعاع ارتباطی و کوچکتر از آن است. شعاع ارتباطی، شعاع آستانه و فاصله‌ی مطلوب از همسایگان در شکل ۳-۴ به تصویر کشیده شده است.



شکل ۳-۴- فاصله‌ی مطلوب یک گره از همسایگانش

برای محاسبه‌ی برازندگی ابتدا میزان برازندگی جزئی نسبت به هر همسایه محاسبه می‌گردد. سپس از جمع برازندگی‌های جزئی مقدار برازندگی کروموزوم حاصل می‌گردد. در این تابع همسایگانی که خیلی نزدیک به یکدیگر هستند برازندگی کمتری به نسبت همسایگان دورتر (ولی هنوز در شعاع ارتباطی باشد) دارند. مقدار تابع برازندگی جزئی گره از زامین همسایه‌اش طبق رابطه‌ی ۳-۴ به دست می‌آید. در این رابطه d_j فاصله‌ی اقلیدسی گره از همسایه زام و α_j درجه‌ی همسایه می‌باشد. در این تابع هرچه مقدار تابع برازندگی جزئی کمتر باشد، شایسته‌تر است.

$$F_j = \begin{cases} F_{max} & \text{if } d_j > R \text{ and } \alpha_j = 1 \\ \frac{R_{th}}{d_j} - 1 & \text{if } 0 < d_j < R_{th} \\ 0 & \text{if } R_{th} \leq d_j \leq R \end{cases} \quad 4-3$$

با جمع توابع برازندگی جزئی طبق رابطه‌ی ۳-۶ میزان برازندگی کلی یک کروموزوم به دست می‌آید. در این رابطه α تعداد همسایگان AUV، rd_{ave} گرد شده‌ی میانگین درجه‌ی همسایگی و F_{max} بیشترین جریمه‌ی ممکن برای تابع برازندگی است. میانگین درجه‌ی همسایگی طبق رابطه ۳-۵ محاسبه می‌شود. در این جا با توجه به اینکه دقت اعشاری مکان گره‌ها در صفحه 0.01 در نظر گرفته شده است. پس بیشترین مقدار تابع برازندگی جزئی $\frac{R_{th}}{0.01}$ خواهد بود و مقدار F_{max} را $\frac{R_{th}}{0.01} * (N)$ قرار داده‌ایم. که N تعداد کل گره‌های موجود در محیط است.

$$rd_{ave} = round(d_{ave} + 1) \quad 5-3$$

$$F = \begin{cases} \sum_{j=1}^{\alpha} F_j & \text{if } 1 \leq \alpha \leq rd_{ave} \\ (\alpha - rd_{ave})^4 + \sum_{j=1}^{\alpha} F_j & \text{if } \alpha > rd_{ave} \\ F_{max} & \text{otherwise} \end{cases} \quad 6-3$$

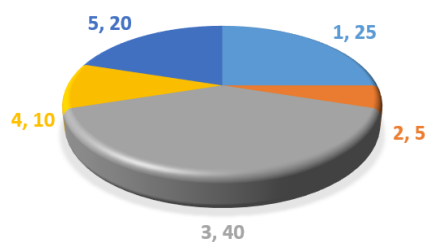
۳-۲-۳- عملگر انتخاب

این عملگر، کروموزوم‌هایی از جمعیت فعلی را برای ادغام و تکثیر انتخاب می‌نماید. در عملگر انتخاب باید کروموزوم‌های شایسته‌تر شانس بیشتری برای انتخاب داشته باشند. کروموزوم‌های انتخاب شده در محلی به نام حوضچه ژنتیک جمع‌آوری می‌شوند. عمل ادغام و تولید کروموزوم‌های جدید در این محل انجام می‌پذیرد. روش‌های مختلفی برای عملگر انتخاب موجود است که در اینجا تنها به ذکر چند مورد بسنده خواهیم نمود. در انتها روش به کار گرفته شده در این پایان نامه معرفی می‌گردد.

- نمونه‌برداری به روش چرخ رولت

در این روش، به هر فرد قطعه‌ای از یک چرخ رولت مدور اختصاص داده می‌شود. اندازه این قطعه متناسب با برازندگی آن فرد است. چرخ N بار چرخانده می‌شود که N تعداد افراد در جمعیت است. در هر چرخش، فرد زیر نشانگر چرخ انتخاب می‌شود و در مخزن والدین نسل بعد قرار می‌گیرد. در این روش کروموزوم با شایستگی بالاتر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن دارد. در شکل ۳-۴ چگونگی انجام این روش به تصویر کشیده شده است.

کروموزوم	میزان برازندگی
۱	۲۵
۲	۵
۳	۴۰
۴	۱۰
۵	۲۰

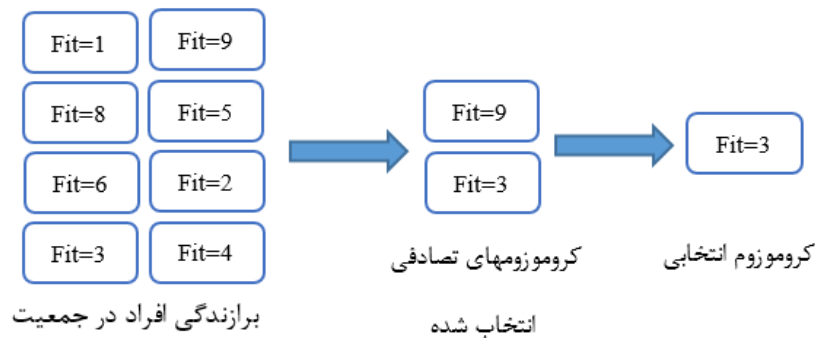


شکل ۳-۵- انتخاب به روش چرخ رولت

- (انتخاب رقابتی)^۱:

^۱Tournament Selection

در این روش n فرد از جمعیت انتخاب می‌شوند. در بین افراد انتخاب شده رقابتی صورت می‌گیرد. در این رقابت شایسته‌ترین فرد به نسل بعد راه خواهد یافت. در شکل ۳-۶ این روش نمایش داده شده است (طبق روش ما کروموزومی شایسته تر است که مقدار برازندگی آن کمتر باشد). معمولاً تعداد افرادی که در یک رقابت شرکت می‌کنند ۲ یا ۳ است. که در روش ما این مقدار ۲ انتخاب شده است.



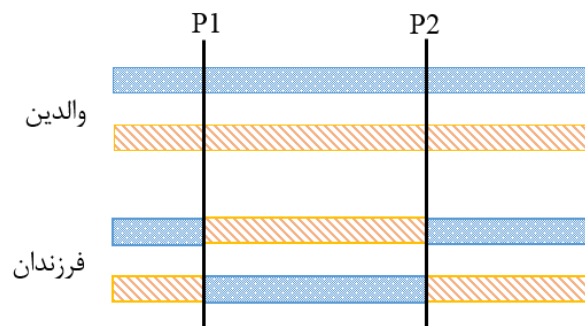
شکل ۳-۶- انتخاب به روش تورنمنت

• انتخاب نخبگان

در این روش تعداد محدودی از شایسته‌ترین کروموزوم‌ها به طور مستقیم به نسل بعد (بدون اعمال عملگر جهش و ترکیب)، انتقال داده می‌شوند. نخبه‌گرایی می‌تواند باعث افزایش سرعت الگوریتم ژنتیک شود. چون این روش باعث می‌شود که احتمال انتخاب شدن بهترین کروموزوم‌ها افزایش یابد چنین افرادی در صورتی که برای تولید مثل انتخاب نشوند یا توسط آمیزش و جهش خراب شوند، ممکن است از بین بروند. بسیاری از محققین دریافته‌اند که انتخاب نخبگان به میزان قابل ملاحظه‌ای کارایی GA را افزایش می‌دهد. دقت در تعداد نخبگان در این روش ضروری است. اگر تعداد نخبگان زیاد باشد الگوریتم به سمت بهینه‌ی محلی همگرا می‌شود [47]. روش انتخاب شده در این پایان‌نامه، انتخاب رقابتی همراه با انتخاب نخبگان است. یعنی ابتدا تعدادی از شایسته‌ترین کروموزوم‌ها انتخاب می‌شوند و به نسل بعد راه می‌یابند. این مقدار در الگوریتم ما ۰,۰۵ از کل جمعیت انتخاب شده است. این کروموزوم‌ها تحت عملگر ترکیب و جهش قرار نمی‌گیرند. سپس برای انتخاب سایر افراد از روش انتخاب رقابتی استفاده شده است.

۳-۲-۴- عملگر تلفیق

عملگر تلفیق هر زوج کروموزوم انتخابی از مرحله‌ی قبل را با هم تلفیق می‌نماید و دو فرزند جدید تولید می‌کند. این موضوع باعث می‌شود که فرزندان ترکیبی از خصوصیات والدین خود را به همراه داشته باشند. این عملگر به امید این است که فرزندان خصوصیات خوب والدین خود را به ارث برده باشند. لازم به ذکر است که تلفیق معمولاً بر روی همه زوج کروموزوم‌های انتخاب شده به کار برده نمی‌شود. معمولاً احتمال آمیزش برای هر زوج کروموزوم بین $0/6$ تا $0/95$ در نظر گرفته می‌شود که به این عدد نرخ تلفیق^۱ یا احتمال تلفیق^۲ گفته می‌شود و با P_c نمایش داده می‌شود. در این تحقیق مقدار آن $0,8$ در نظر گرفته شده است. در صورتی که بر روی یک زوج کروموزوم عمل تلفیق صورت نگیرد، فرزندان با تکرار نمودن والدین تولید می‌شوند. روش‌های مختلفی مانند تلفیق تک نقطه‌ای، تلفیق دو نقطه‌ای و تلفیق یکنواخت برای این عملگر وجود دارد. روشی که در این پایان‌نامه به کار برده شده است، روش تلفیق دو نقطه‌ای است. در این روش دو نقطه‌ی $p1$ و $p2$ به صورت تصادفی در طول کروموزوم انتخاب شده و مقادیر بین این دو نقطه در دو کروموزوم انتخابی، جابجا می‌شود و دو فرزند جدید حاصل می‌گردد. این روش در شکل ۳-۷ مشهود است.



شکل ۳-۷- عملگر ترکیب دو نقطه‌ای

^۱ Crossover rate

^۲ Crossover Probability

۳-۲-۵- عملگر جهش

این عملگر تغییرات تصادفی در ژن‌های موجود در کروموزوم به وجود می‌آورد. هدف آن تولید مجدد ژن‌های گم شده و جلوگیری از کوچک شدن فضای جستجوی الگوریتم می‌باشد. این عملگر در جلوگیری از به دام افتادن الگوریتم جستجو در کمینه‌های محلی مفید است. معمولاً چگونگی انجام جهش به کدینگ مسئله وابسته است. در اینجا کروموزم‌های ما دارای کدینگ دودویی هستند. یک روش ساده اعمال جهش بر روی هر بیت از کروموزم با احتمال P_m است. P_m احتمال رخداد جهش بر روی هر ژن است. این احتمال معمولاً عددی کوچک است در بسیاری از منابع این عدد مقداری بین $0/001$ تا $0/01$ دارد. در برخی منابع [48] نیز این مقدار برابر با $\frac{1}{L}$ در نظر گرفته شده است که برابر با طول کروموزوم است. جهش علاوه بر مزایای ذکر شده، دارد دارای اشکالاتی نیز می‌باشد. از جمله اینکه این عملگر، احتمال تمایل به سمت افراد با برازندگی کمتر را افزایش می‌دهد، در نتیجه می‌تواند زمان همگرایی را به تأخیر بیاندازد. به همین علت پیشنهاد می‌شود در طول نسل‌ها، با افزایش همگرایی جمعیت، نرخ جهش کاهش یابد. در این پایان‌نامه نرخ جهش در ابتدا $0,1$ خواهد بود و با گذشت زمان به $0,02$ کاهش خواهد یافت.

۳-۲-۶- تحلیلی آماری برای محاسبه میانگین درجه ی همسایگی

درجه‌ی همسایگی یک گره تعداد همسایه‌های آن گره تعریف می‌شود. فاصله‌ی یک گره تا همسایه‌اش کمتر از شعاع ارتباطی‌اش است. در این قسمت یک تحلیل برای محاسبه‌ی میانگین درجه‌ی همسایگی در محیط ۳ بعدی ارائه شده است. این تحلیل یک تقریب برای تعداد متوسط درجه‌ی همسایگی در محیط ارائه می‌دهد به طوری که گره‌ها در محیط به صورت یکنواخت قرار گیرند. فرض کنید در محیطی با حجم V ، N گره با شعاع ارتباطی r_c موجود باشد. دو گره در این محیط را A و B می‌نامیم. احتمال اینکه گره B ، همسایه‌ی گره A باشد را می‌توان از رابطه $3-7$ محاسبه نمود.

$$P = \frac{4}{3} \pi r_c^3$$

۷-۳

بر اساس توزیع دو جمله‌ای، احتمال اینکه گره A ، k همسایه داشته باشد برابر با احتمال بیان شده در رابطه ۳-۸ است.

$$p_k = \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k}$$

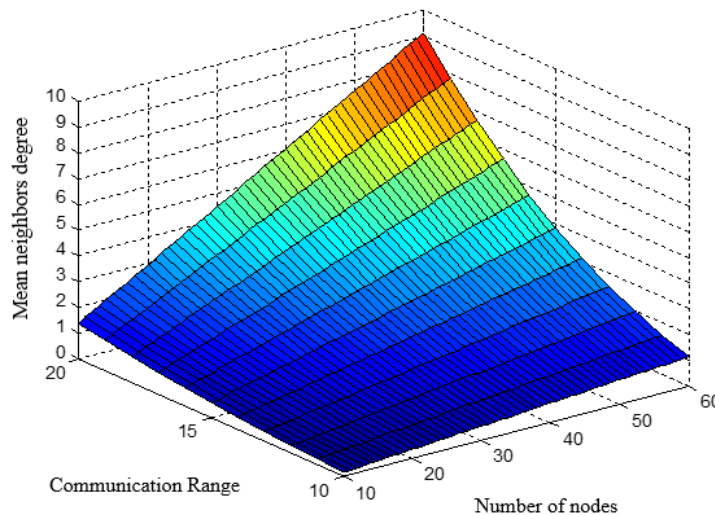
۸-۳

در نتیجه میانگین درجه همسایگی را می‌توان از رابطه‌ی ۳-۹ محاسبه نمود.

$$d_{ave} = \sum_{k=0}^{N-1} k p_k = \sum_{k=0}^{N-1} k \binom{N-1}{k} p^k (1-p)^{N-1-k}$$

۹-۳

در شکل ۳-۸ میزان میانگین درجه‌ی همسایگی در محیطی با حجم $۶۰ * ۶۰ * ۶۰$ هنگامی که شعاع ارتباطی را از ۱۰ تا ۲۰ و تعداد گره‌ها را از ۱۰ به ۶۰ افزایش دهیم به تصویر کشیده شده است.



شکل ۳-۸- نمودار درجه میانگین همسایگی نسبت به محدوده ارتباطی و تعداد گره‌ها

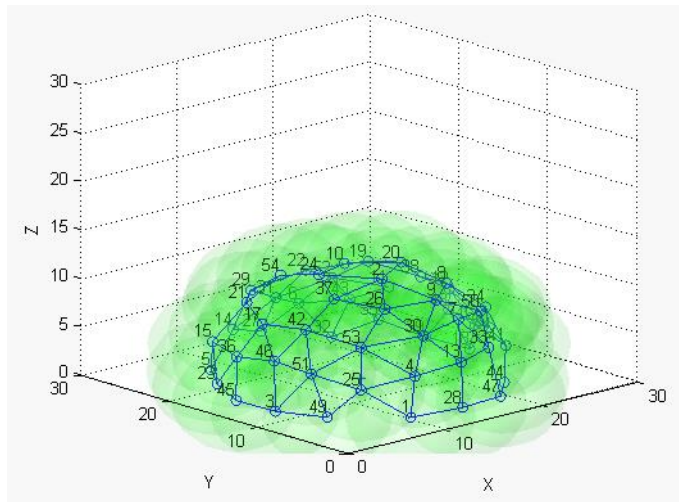
۳-۲-۷- روند کلی

در این قسمت روند کلی اجرا شده درون هر AUV برای رسیدن به جواب مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر هر AUV به صورت مستقل برای پیدا کردن مکانی مناسب از روند زیر استفاده می‌کند.

- ۱- به صورت تصادفی در راستای محور X قرار می‌گیرد.
- ۲- کروموزوم‌های درون خود را مقداردهی اولیه می‌نماید.
- ۳- اطلاعات مکان و درجه‌ی خود را به همسایگانش ارسال می‌کند و این اطلاعات را از همسایگانش دریافت می‌کند.
- ۴- برازندگی هر کروموزوم را محاسبه می‌نماید (با استفاده از بردار سرعت تولید شده توسط کروموزوم مکان بعدی خود را در طول یک گام زمانی (۱ ثانیه) محاسبه می‌نماید و به بررسی برازندگی خود نسبت به همسایگانش در این مکان فرضی جدید می‌پردازد).
- ۵- با استفاده از عملگر انتخاب تعریف شده به انتخاب کروموزوم‌های پدر و مادر در جمعیت فعلی می‌پردازد.
- ۶- در نظر گرفتن مقدار مشخصی برای احتمال عملگر تلفیق و سپس انجام این عملگر بر روی والدین به منظور ایجاد فرزندان جدید. اگر هیچ ترکیب جدیدی صورت نگیرد فرزندان همان والدین خواهند بود.
- ۷- اعمال جهش بر روی فرزندان با در نظر گرفتن احتمال جهش مشخص شده.
- ۸- جایگزینی فرزندان جدید در جمعیت.
- ۹- انتخاب بهترین برازندگی از بین کروموزوم‌های موجود و مقایسه‌ی آن با برازندگی خود در مکان فعلی، اگر مقدار آن بهتر از برازندگی فعلی باشد، به مکان مشخص شده توسط کروموزوم می‌رود.
- ۱۰- رفتن به گام ۳.

۳-۳- کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک شیء

در این قسمت هدف ایجاد پوشش حصار برای محافظت از یک شیء موجود در کف و یا در سطح دریا است. نمونه‌ای از پوشش حصار در شکل ۳-۹ مشاهده می‌شود. در این شکل گره‌ها از شیء در کف دریا که با علامت '+' نشان داده شده محافظت می‌نمایند. در واقع هدف ایجاد پوششی شبیه به نیم کره در اطراف یک شیء است. به عبارت دیگر POIها در این مسئله نقاطی بر روی سطح یک کره به شعاع r تعریف می‌شوند. r حد فاصلی است که باید گره‌ها از شیء داشته باشند.



شکل ۳-۹- محافظت از یک شیء توسط چند AUV

در این جا الگوریتم ژنتیک مشابه حالت قبل عمل می‌نماید و تنها تابع برازندگی شامل تغییراتی خواهد بود. در ادامه به بررسی تابع برازندگی مطرح در این حالت خواهیم پرداخت.

۳-۳-۱- تابع برازندگی

برای محاسبه این تابع از مقدار برازندگی به دست آمده از رابطه ۳-۶ استفاده می‌شود. مقدار به دست آمده از این رابطه با توجه به فاصله‌ای که گره از شیء دارد، جریمه می‌شود.

مقدار این تابع (F_p) با این فرض که گره‌ها باید در فاصله‌ی r_{lim} از شیء قرار داشته باشند به صورت ۳-۱۰ تعریف می‌گردند. در این معادله d_{obj} فاصله تا شیء است.

$$F_p = \begin{cases} F & \text{and } r_{lim} \leq d_{obj} \leq r_{lim} + 1 \\ d_{obj}^2 + F & d_{obj} \leq r_{lim} - 1 \text{ or } d_{obj} \geq r_{lim} + 2 \\ 1 + F & \text{otherwise} \end{cases} \quad ۱۰-۳$$

۳-۳-۲- تحلیل آماری برای محاسبه میانگین درجه‌ی همسایگی

تحلیل آماری ارائه شده در این حالت مشابه رابطه ۳-۹ است اما مقدار احتمال P در این رابطه باید تقریب زده شود. همانطور که بیان شد در این حالت گره‌ها باید در سطح نیم کره‌ای به شعاع r قرار گیرند. برای ساده شدن محاسبات، فرض می‌شود که گره‌ها در یک صفحه‌ی دایره‌ای شکل به مساحت سطح نیم کره قرار دارند. بنابراین احتمال همسایگی را به طور تقریبی می‌توان به کمک رابطه ۳-۱۱ بیان نمود. S مساحت سطح نیم کره و r_c شعاع ارتباطی گره است.

$$P = \frac{\pi r_c^2}{S} \quad ۱۱-۳$$

۳-۴- کنترل توپولوژی با هدف حفاظت از یک ورودی

در این قسمت هدف ایجاد پوشش حصار برای محافظت از یک ورودی در دریا است. ورودی مفروض می‌تواند یک صفحه‌ی مستطیلی و یا مربعی باشد. بدون کم شدن از کلیت مسئله، می‌توان فرض کرد که درگاه در صفحه‌ی $y=0$ است. محیط پیاده سازی یک مکعب با وجوهی برابر با درگاه در نظر گرفته می‌شود که یکی از این وجوه، درگاه است. همچنین الگوریتم ژنتیک مشابه حالت قبل عمل

می‌نماید اما تابع برازندگی و مقدار میانگین درجه‌ی همسایگی شامل تغییراتی خواهد بود. در ادامه به بررسی آن‌ها خواهیم پرداخت.

۳-۴-۱- تابع برازندگی

برای محاسبه این تابع از مقدار برازندگی به دست آمده از رابطه ۳-۶ استفاده می‌شود. مقدار به دست آمده از این رابطه با توجه به فاصله‌ای که گره از صفحه $y=0$ دارد، جریمه می‌شود.

مقدار این تابع (F_{p2}) به صورت ۳-۱۲ تعریف می‌گردند. در این معادله d_{itr} فاصله تا شیء است. δ یک فاصله آستانه نزدیک درگاه است. در این تحقیق این مقدار ۰,۱ در نظر گرفته شده است.

$$F_{p2} = \begin{cases} F & d_{itr} \leq \delta \\ F + (d_{itr} + 1)^2 & d_{itr} \geq \delta \end{cases} \quad ۳-۱۲$$

۳-۴-۲- تحلیل آماری برای محاسبه میانگین درجه‌ی همسایگی

تحلیل آماری ارائه شده در این حالت مشابه رابطه ۳-۹ است اما مقدار احتمال P در این رابطه باید تقریب زده شود. P و یا همان احتمال همسایگی را می‌توان به کمک رابطه ۳-۱۱ بیان نمود. S مساحت درگاه ورودی و r_c شعاع ارتباطی گره است.

$$P = \frac{\pi r_c^2}{S} \quad ۳-۱۳$$

فصل چهارم: پیاده سازی و ارزیابی نتایج

۴-۱- مقدمه

در فصل (۳) روش پیشنهادی به منظور کنترل توپولوژی به صورت توزیع شده با هدف حداکثرسازی POIها در محیط زیر آب، معرفی شد. در این فصل ابتدا به معرفی شبیه‌ساز به کار گرفته شده خواهیم پرداخت. پس از آن به معرفی معیارهای کارایی می‌پردازیم. در انتها روش ارائه شده را از جهات مختلف مورد ارزیابی قرار خواهیم داد.

کلیدی آزمایشات با استفاده شبیه‌ساز Aqua-Sim [49] صورت گرفته و با استفاده از فایل ردیابی^۱ که در اختیار ما می‌گذارد نتایج با استفاده از نرم افزار matlab به نمایش گذاشته شده است.

۴-۲- معرفی شبیه ساز Aqua-Sim

پیاده سازی و آزمایش شبکه‌های حسگر زیر آب در محیط واقعی بسیار زمانبر و پرهزینه است. مدلسازی و شبیه‌سازی عامل بسیار مهمی در ارزیابی و بهبود کارایی پروتکل‌ها در شبکه حسگر زیر آب است. شبیه‌سازهای مناسب، هزینه‌های طراحی، توسعه و پیاده‌سازی و تست را بسیار کاهش می‌دهند. تاکنون شبیه‌سازهای کمی برای شبیه‌سازی شبکه‌های زیر آب ارائه شده‌اند. شبیه‌ساز Aqua-Sim یک شبیه‌ساز متن‌باز مبتنی بر NS2 است. این شبیه‌ساز یکی از موفق‌ترین شبیه‌سازها در این زمینه است که توسط Ping Xie در دانشگاه Connecticut ارائه شده است. ماژول‌های بسته CMU در NS2 برای ارتباطات بی‌سیم شبکه حسگر بی‌سیم زمینی به کار می‌رود. این ماژول‌ها قابل استفاده در محیط زیر آب نیستند. بسته Aqua-Sim موازی و مستقل از CMU بر روی هسته NS2 قرار می‌گیرد. این بسته ارتباطات صوتی زیر آب را پشتیبانی می‌کند [49]. ارتباط Aqua-Sim با سایر بسته‌ها در NS2 در [49] توصیف شده است.

^۱ Trace File



شکل ۴-۱- ارتباط Aqua-sim با سایر بسته ها در NS2

این شبیه‌ساز از روش طراحی شیء‌گرای تبعیت می‌کند و همه‌ی موجودیت‌های شبکه حسگر زیر آب در قالب کلاس‌های C++ پیاده‌سازی شده‌اند. کلاس‌های موجود در این شبیه‌ساز را می‌توان به صورت زیر دسته‌بندی نمود. این شبیه‌ساز حاوی کدها و کلاس‌هایی برای شبیه‌سازی گره‌های حسگر بی‌سیم زیر آب، تولید ترافیک، کلاس‌های شبیه‌سازی کانال‌ها، شبیه‌سازی تضعیف سیگنال، پروتکل‌های لایه‌ی کنترل دسترسی به رسانه^۱ و کلاس‌های مربوط به پروتکل‌های مسیریابی می‌باشد. در حال حاضر پروتکل‌های MAC موجود در این شبیه‌ساز عبارتند از: BroadcastMac، TMAC، Aloha، Slotted FAMA، UWANMAC، RMAC. پروتکل‌های مسیریابی نیز در Aqua-Sim عبارتند از DBR، HH-، VBF، VBF.

۴-۳- معرفی معیارهای بررسی کارایی سیستم

روش‌های ارزیابی مختلفی در زمینه کنترل توپولوژی مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه به معرفی این معیارها خواهیم پرداخت.

^۱ Medium Access Control

۴-۳-۱- پوشش حجمی نرمال شده^۱

پوشش حجمی نرمال شده (NVC) میزان فضای اشغال شده توسط گره‌ها نسبت به کل فضا تعریف می‌شود [50]. در این پایان نامه NVC میزان پوشش POI‌ها نسبت به کل POI‌ها تعریف می‌شود. NVC طبق رابطه‌ی ۴-۱ به دست می‌آید. در این رابطه P_i مجموعه نقاط پوشش داده شده توسط آمین گره است و S مجموعه‌ی تمامی POI‌ها است. NVC یک عدد حقیقی مثبت با حد بالای ۱ است. هنگامی که مقدار آن ۱ باشد به معنای پوشش کامل POI‌ها توسط گره‌ها است.

$$NVC = \frac{n(U_{i=1}^N P_i)}{n(s)} \quad ۱-۴$$

اگر رابطه ۴-۲ برقرار باشد، نقطه‌ی p در موقعیت (x_p, y_p, z_p) پوشش داده شده در نظر گرفته می‌شود.

$$\sqrt{(x_i - x_p)^2 + (y_i - y_p)^2 + (z_i - z_p)^2} < R_{com} \quad ۲-۴$$

۴-۳-۲- میانگین مسافت طی شده^۲ (ADT)

یک معیار ارزیابی عملکرد در این مسئله، میانگین مسافت طی شده (ADT) گره‌ها می‌باشد. [51]. حرکت انرژی زیادی مصرف می‌کند. کاهش مسافت طی شده در گره‌ها می‌تواند طول عمر شبکه را افزایش دهد. فرض کنید $d(N_i^0, N_i^t)$ کل مسافت طی شده توسط گره N_i تا زمان t باشد. میانگین

^۱ Normalized Volumetric Coverage (NVC)

^۲ Average Distance Travelled (ADT)

مسافت طی شده N گره تا زمان t از رابطه ۳-۴ به دست می‌آید. همانطور که مشخص است هرچه مقدار ADT کمتر باشد، بهتر است.

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N d(N_i^0, N_i^t) \quad ۳-۴$$

۳-۳-۴- میانگین درجه ی همسایگی^۱ (AND)

معیار دیگری که در این پایان نامه استفاده شده است میانگین درجه همسایگی گره‌ها است. همانطور که ذکر شد درجه‌ی گره‌ها در محیط باید محدود باشد. همچنین استفاده از درجه همسایگی پایین‌تر میزان تداخلات را کاهش می‌دهد. در ادامه نشان داده شده که با محدود ساختن درجه‌ی گره‌ها به پوشش بیشتری در محیط نیز دست خواهیم یافت. پس میانگین درجه‌ی همسایگی یک معیار ارزیابی مهم محسوب می‌شود.

۴-۳-۴- زمان استقرار^۲ (DT)

زمان سپری شده از قرارگیری اولیه‌ی AUVها در محیط ناشناخته تا زمانی که تمامی گره‌ها در مکان خود ثابت شوند، زمان استقرار نام دارد. این معیار در موقعیت‌هایی مانند کاربردهای نظامی، که سرعت عمل گره‌ها ضروری است، حائز اهمیت بسیاری است.

^۱ Average Neighborhood Degree (AND)

^۲ Deployment Time (DT)

۴-۴- نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش سراسری

در این بخش به بررسی و ارزیابی نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش سراسری خواهیم پرداخت. در ابتدا با آزمایشی سعی داریم برای یک محیط با اندازه مشخص و AUVهایی با شعاع ارتباطی معین، تعداد AUV لازم برای رسیدن به پوشش مناسب در محیط را به دست آوریم. سپس در شرایط محیطی یکسان (اندازه محیط، شعاع ارتباطی و تعداد گره‌ها) یک آزمایش در دو حالت کنترل و عدم کنترل درجه همسایگی صورت گرفته است. در آزمایشات سوم و چهارم تاثیر از کار افتادن چند AUV و وجود خطای مکانیابی در AUVها مورد بررسی قرار داده است. در آزمایش پنجم سعی داریم با اصلاحاتی در الگوریتم آن را کمی بهبود دهیم و نتایج را مورد بررسی قرار دهیم. در انتها روش‌های ارائه شده را با روش معرفی شده در [45] مقایسه خواهیم نمود. قبل از بیان آزمایشات لازم به ذکر است تمامی آزمایشات در این فصل از جدول ۴-۱ برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک استفاده می‌نمایند. در فصل گذشته تمامی این پارامترها توصیف شده است.

جدول ۴-۱- پارامترهای مورد نیاز در الگوریتم ژنتیک

تعداد کروموزوم ها در جمعیت	احتمال تلفیق	احتمال جهش	سرعت بیشینه (S_{max})	درصد انتخاب نخبگان از کل جمعیت
۱۰۰	۰٫۸	[۰٫۰۲-۰٫۱]	۲۰	٪۵

۴-۴-۱- آزمایش اول (به دست آوردن تعداد مناسب AUVها برای حداکثرسازی پوشش

سراسری)

در این آزمایش هدف پیدا کردن تعداد مناسب گره‌ها در محیط برای حداکثرسازی پوشش POIها است. POIها تمام نقاط موجود در یک محیط $۳۰*۳۰*۳۰$ هستند و AUVهایی با شعاع ارتباطی ۱۰ در نظر

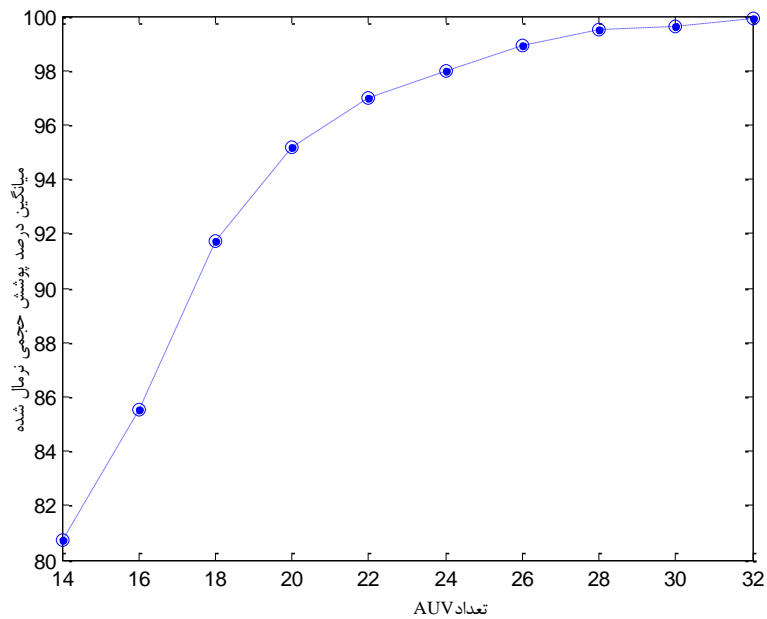
گرفته شده است. مقدار شعاع آستانه نیز ۹ است. در همه‌ی آزمایشاتی که در ادامه صورت می‌گیرد مقدار شعاع آستانه یک واحد کمتر از شعاع ارتباطی است. این مقادیر در جدول ۲-۴ مشاهده می‌شود. در هر مرحله ۱۰ بار الگوریتم، برای یک تعداد مشخص گره در محیط اجرا شده است. سپس میانگین درصد پوشش حجمی نرمال شده در این ۱۰ بار تکرار، در جدول ۳-۴ یادداشت شده است. همچنین در این جدول مقدار میانگین درجه‌ی همسایگی که از رابطه ۳-۹ محاسبه شده نیز در این جدول مشاهده می‌شود. نمودار حاصل از این مقادیر نیز در شکل ۲-۴ مشاهده می‌شود. همانطور که آزمایشات نشان می‌دهد با تعداد تقریبی ۲۸ گره و یا بیشتر در محیط به پوششی بیش از ۹۹٪ دست یافته‌ایم.

جدول ۲-۴- پارامترها (به دست آوردن تعداد مناسب AUVها برای حداکثرسازی پوشش سراسری)

پارامتر	توصیف	مقدار
N	تعداد AUVها	۳۲-۱۴
R	شعاع ارتباطی	۱۰
-	ابعاد محیط	۳۰*۳۰*۳۰
R _{th}	شعاع آستانه	۹

جدول ۳-۴- میانگین درصد پوشش حجمی نرمال شده نسبت به تعداد AUVها در محیط

تعداد گره‌ها	۱۴	۱۶	۱۸	۲۰	۲۲	۲۴	۲۶	۲۸	۳۰	۳۲
میانگین NVC	۸۰٫۷۲	۸۵٫۵۵	۹۱٫۷۱	۹۵٫۱۶	۹۷٫۰۱	۹۷٫۹۶	۹۸٫۹	۹۹٫۵	۹۹٫۶۲	۹۹٫۹۴
AND محاسبه شده از رابطه ۳-۹	۲٫۰۱	۲٫۳۲	۲٫۶	۲٫۹۴	۳٫۲۵	۳٫۵۶	۳٫۸۷	۴٫۱۸	۴٫۴۹	۴٫۸۰



شکل ۴-۲- میانگین درصد حجمی به دست آمده نسبت به تعداد AUV ها در محیط

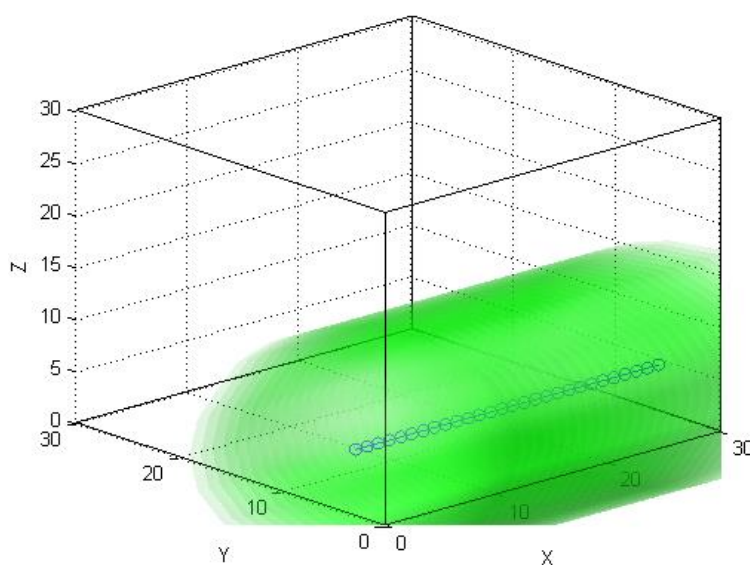
۴-۴-۲- آزمایش دوم (مقایسه ی استفاده و عدم استفاده از میانگین درجه همسایگی)

فرض کنید محیط شبیه سازی $30 \times 30 \times 30$ در نظر گرفته شده است. تعداد گره ها در محیط ۲۸ است و شعاع ارتباطی آن ها یکسان و برابر با ۱۰ است. مقدار محاسبه شده برای میانگین درجه همسایگی ۴,۱۸ است. بنابراین حد بالای گره ها در صورت محدود شدن ۵ خواهد بود. پارامترهای آزمایش در جدول ۴-۴ مشاهده می شود. در ابتدا AUV ها در محیط مشابه آنچه در شکل ۴-۳ دیده می شود توزیع شده اند. در واقع AUV ها در راستای محور X قرار گرفته اند. این شیوه ی قرارگیری نسبت به قرارگیری تصادفی در محیط به واقعیت نزدیک تر است. این روش مانند حالتی است که AUV ها به ترتیب از یک ورودی وارد محیط شده اند [52].

جدول ۴-۴- پارامترهای مورد استفاده (مقایسه ی استفاده و عدم استفاده از میانگین درجه همسایگی)

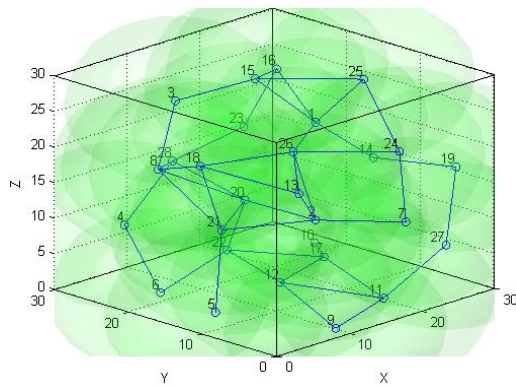
پارامتر	توصیف	مقدار

۲۸	تعداد AUVها	N
۱۰	شعاع ارتباطی	R
۳۰*۳۰*۳۰	ابعاد محیط	-
۹	شعاع آستانه	R_{th}
۴,۱۸	میانگین درجه همسایگی	d_{ave}

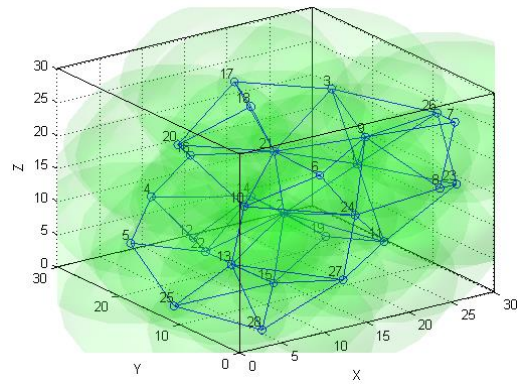


شکل ۴-۳- موضع گیری اولیه AUVها در محیط (آزمایش ۱)

پس از اتمام اجرای شبیه سازی نحوه ی قرار گیری AUVها در شکل ۴-۴ به نمایش گذاشته شده است. در حالت الف کنترلی برای درجه همسایگی در نظر گرفته نشده است ولی در حالت ب در نظر گرفته شده است. با استفاده از رابطه ۳-۹ مقدار میانگین درجه ی همسایگی در این آزمایش ۴,۱۸ به دست می آید.



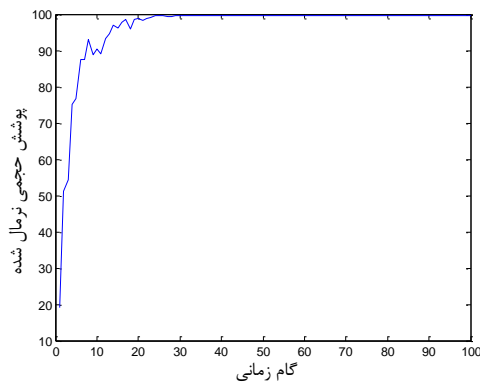
ب



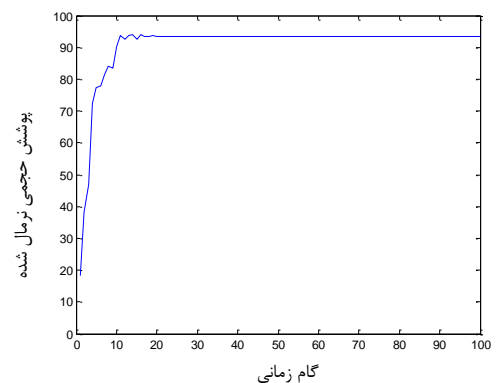
الف

شکل ۴-۴- موضع گیری AUVها در محیط پس از اجرای شبیه سازی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه

نمودارهای مقادیر NVC در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۵ مشاهده می‌شود. در حالت (الف) بدون کنترل درجه‌ی همسایگی، مقدار پوشش ۹۳٫۴۳٪ خواهد بود. در حالت (ب) با در نظر گرفتن درجه‌ی همسایگی، گره‌ها به پوشش بهتری در محیط دست یافته‌اند. مقدار پوشش در این حالت ۹۹٫۵٪ است. بنابراین مقدار پوشش را می‌توان با کنترل درجه همسایگی، افزایش داد.



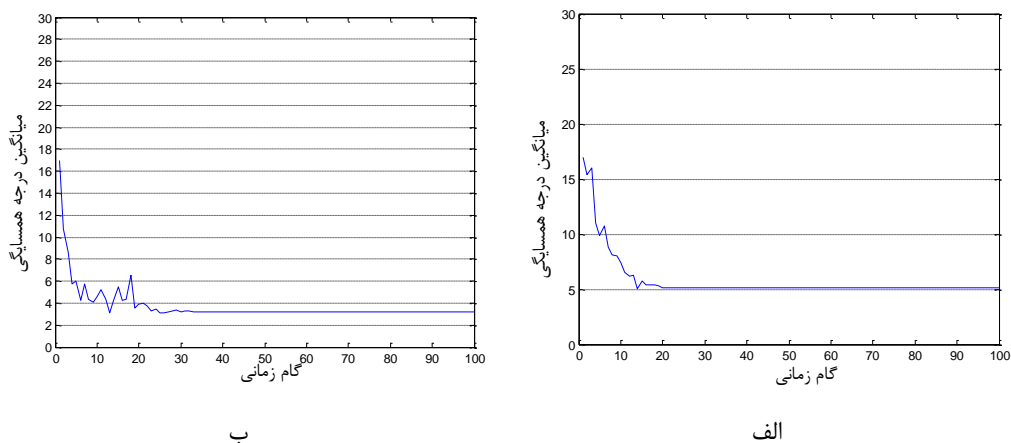
ب



الف

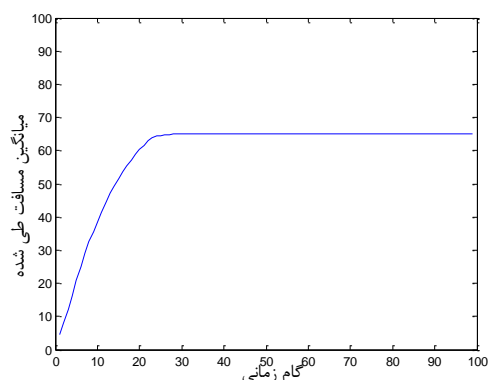
شکل ۴-۵- نمودار پوشش حجمی نرمال شده (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه

نمودار میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی در دو حالت ذکر شده در شکل ۴-۶ مشاهده می‌شود. در حالت (الف) بدون کنترل درجه، مقدار میانگین درجه همسایگی گره‌ها پس از همگرا شدن برابر با ۵,۱۵ است. در حالت (ب) با کنترل درجه، مقدار میانگین درجه گره‌ها پس از همگرا شدن برابر با ۳,۲۲ است. بنابراین در الگوریتم پیشنهادی علاوه بر پوشش بهتر، گره‌ها در محیط، شبکه‌ی خلوت‌تری را تشکیل داده‌اند که باعث می‌شود میزان تداخلات ترافیکی کاهش یابد.

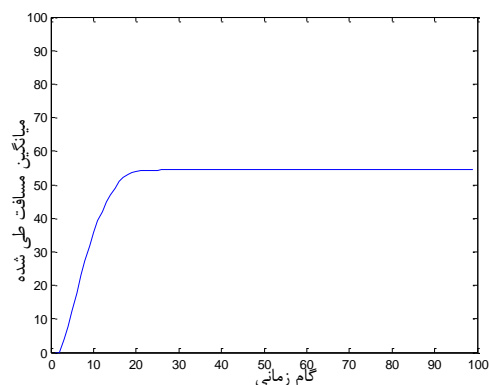


شکل ۴-۶- میانگین درجه همسایگی نسبت به گام زمانی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه

نمودار میانگین مسافت طی شده گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی در دو حالت ذکر شده، در شکل ۴-۷ مشاهده می‌شود. این نمودار در هر گام زمانی بیانگر کل مسافت طی شده توسط تمامی گره‌ها تا آن لحظه می‌باشد. زمان همگرایی را نیز می‌توان از روی این نمودار به دست آورد. در واقع زمانی که هیچ کدام از گره‌ها دیگر حرکتی نداشته باشند، همگرایی به دست آمده است. در حالت (الف) بدون کنترل درجه‌ی گره‌ها، مقدار جابه‌جایی ۵۴,۴۲ است. در حالت (ب) با اعمال کنترل بر درجه‌ی گره‌ها، مقدار جابه‌جایی ۶۵,۱۹ است. در حالت (الف) زمان استقرار ۲۵ گام زمانی و در حالت (ب) ۳۴ گام زمانی است. همانطور که مشاهده شد در حالت ب گره‌ها مسافت و زمان بیشتری را نسبت به حالت الف صرف کرده‌اند.



ب



الف

شکل ۴-۷- میانگین مسافت طی شده نسبت به گام زمانی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه

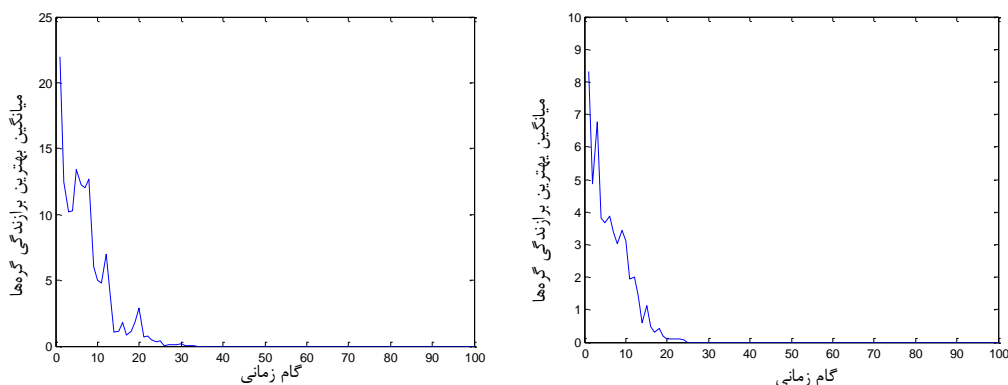
مقادیر به دست آمده برای درصد پوشش حجمی نرمال شده، میانگین مسافت طی شده و میانگین درجه‌ی همسایگی پس از استقرار گره‌ها در محیط و همچنین زمان استقرار در دو حالت آزمایش شده در جدول ۴-۵ آورده شده است.

جدول ۴-۵- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش مقایسه کنترل و عدم کنترل درجه همسایگی

معیار ارزیابی	میانگین درجه محاسبه شده				به کمک تحلیل آماری
	DT	NVC (DT)	ADT (DT)	AND(DT)	
حالت اول (عدم کنترل درجه‌ی گره‌ها)	۲۵	٪۹۳,۴۳	۵۴,۴۲	۵,۱۴۹	۴,۱۸
حالت دوم (کنترل درجه‌ی گره‌ها)	۳۴	٪۹۹,۵	۶۵,۱۹	۳,۲۲	۴,۱۸

در انتها مقادیر میانگین بهترین برازندگی به دست آمده از همه‌ی گره‌ها در هر گام زمانی در شکل ۴-

۸ مشاهده می‌شود.



ب

الف

شکل ۴-۸- میانگین بهترین برزندگی گره ها نسبت به گام زمانی (الف) بدون کنترل درجه (ب) با کنترل درجه

بنابراین در این آزمایش مشاهده نمودیم با کنترل درجه همسایگی، می توان میزان پوشش را افزایش داد.

۴-۳- آزمایش سوم (تأثیر از کار افتادن چند AUV)

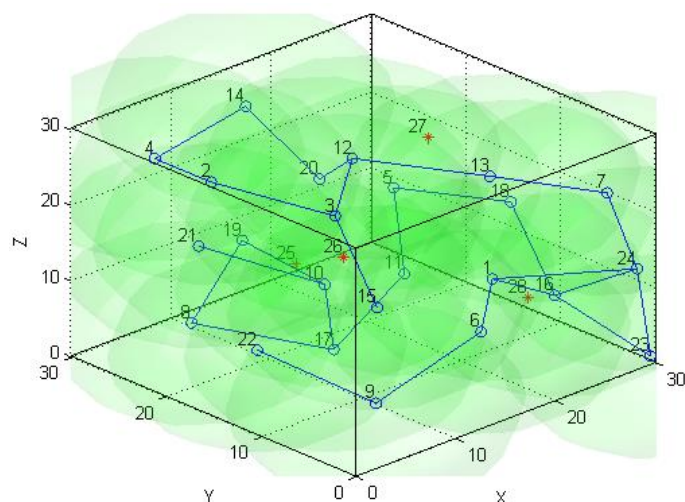
هنگامی که الگوریتم در حال اجرا شدن است ممکن است تعدادی از AUVها به دلایل مختلفی مانند خرابی، اتمام انرژی و یا حمله در محیط‌های نظامی از کار بیافتند. در این آزمایش تاثیر از کار افتادن چند AUV بر روند الگوریتم پیشنهاد شده مورد بررسی قرار گرفته شده است. محیط شبیه‌سازی $30 \times 30 \times 30$ و تعداد AUVها ۲۸ عدد با شعاع ارتباطی ۱۰ در نظر گرفته شده است. آنچه مشخص است هرچه حمله در گام‌های دورتری از همگرایی (یعنی هرچه زودتر در گام‌های زمانی) رخ دهد، الگوریتم فرصت جبران بهتری خواهد داشت. در واقع هر AUV که موقعیتش به واسطه‌ی از کار افتادن همسایه و یا همسایگان‌ش بدتر شود فرصت بیشتری برای جبران خواهد داشت. با تکرار ۱۰ آزمایش به این نتیجه رسیدیم که در شرایط مشابه و بدون از کار افتادن AUVها، همگرایی در بازه‌ی گام ۳۰ تا ۳۵ رخ می‌دهد. بنابراین گام ۲۹ ام، برای از کار افتادن درصدی از AUVها در نظر گرفته شده است.

در این آزمایش ۴ AUV با شماره‌های ۲۵ تا ۲۸ در گام ۲۹ ام مورد حمله قرار می‌گیرند. پارامترهای آزمایش در جدول ۴-۶ مشاهده می‌شود.

جدول ۴-۶- پارامترها (تاثیر از کار افتادن چند AUV)

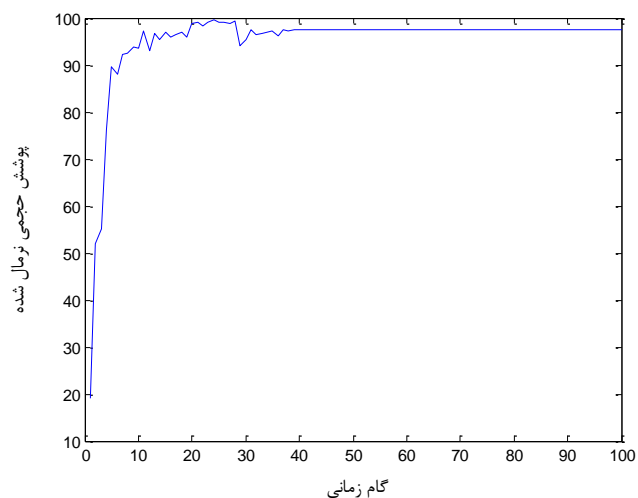
پارامتر	توصیف	مقدار
N	تعداد AUVها	۲۸
R	شعاع ارتباطی	۱۰
-	ابعاد محیط	۳۰*۳۰*۳۰
R_{th}	شعاع آستانه	۹
d_{ave}	میانگین درجه همسایگی	۴,۱۸
-	از کار افتادن AUVها در این گام	۲۹
-	تعداد AUVهای از کار افتاده	۴

نتیجه‌ی فرارگیری AUV ها در محیط پس از همگرایی در شکل ۴-۹ دیده می‌شود.



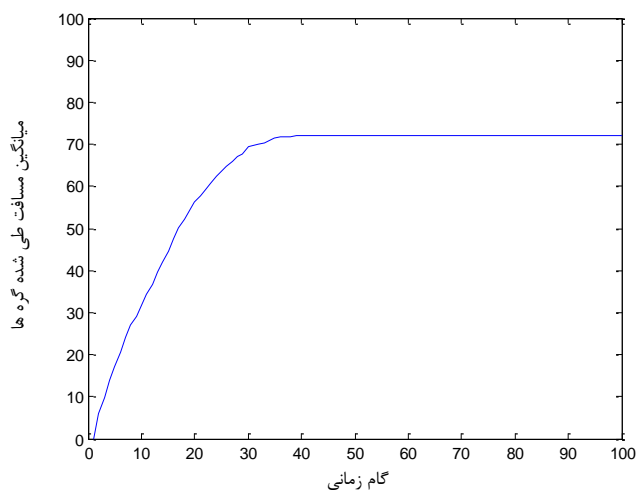
شکل ۴-۹- قرارگیری AUV ها در محیط پس از شبیه سازی (از کار افتادن چند AUV)

نمودارهای مقادیر NVC برای این آزمایش در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۱۰ نشان داده شده است. مقدار پوشش پس از همگرایی ۹۷,۵۱٪ است. همانطور که در نمودار نیز مشاهده می‌شود، گره‌ها بعد از حمله پس از طی کردن ۱۰ گام زمانی، به همگرایی مناسب به نسبت تعداد باقی مانده از AUV ها در محیط رسیده‌اند. همانطور که در جدول ۴-۳ مشاهده می‌شود مقدار متوسط پوشش محیط با گره، ۹۷,۹۶ است و به مقدار به دست آمده در این آزمایش بسیار نزدیک است. بنابراین الگوریتم ارائه شده در شرایط از کار افتادن و یا مورد حمله قرار گرفتن چند AUV قدرت انطباق با شرایط را دارد و پوشش را حداکثر می‌سازد.



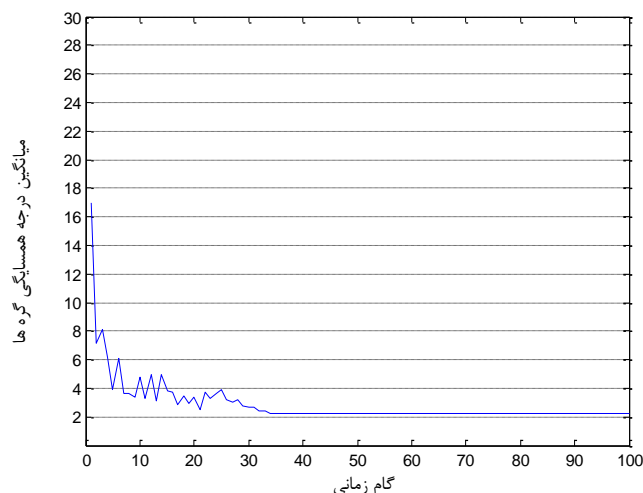
شکل ۴-۱۰- نمودار پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (از کار افتادن چند AUV)

نمودارهای میانگین مسافت طی شده گره‌ها در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. میانگین مسافت طی شده گره‌ها تا رسیدن به همگرایی ۷۲,۰۲ است. الگوریتم پس از ۳۹ گام زمانی همگرا شده است.



شکل ۴-۱۱- میانگین مسافت طی شده گره‌ها نسبت به گام زمانی (از کار افتادن چند AUV)

نمودار میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی در شکل ۴-۱۲ نشان داده شده است. میانگین درجه همسایگی پس از همگرایی ۲,۲۵ است.



شکل ۴-۱۲- میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی (از کار افتادن چند AUV)

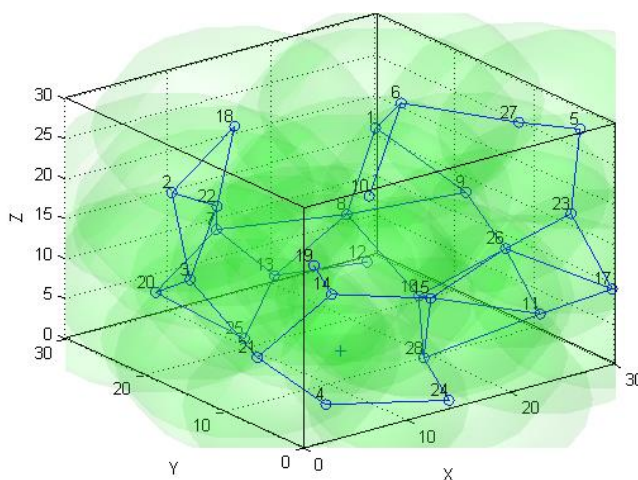
مقادیر به دست آمده برای درصد پوشش حجمی نرمال شده، میانگین مسافت طی شده و میانگین درجه‌ی همسایگی پس از استقرار گره‌ها در محیط و همچنین زمان استقرار در جدول ۴-۷ آورده شده است.

جدول ۴-۷- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش سوم (از کار افتادن ۴ AUV)

معیار ارزیابی	DT	NVC (DT)	ADT (DT)	AND(DT)	میانگین درجه محاسبه شده
					به کمک تحلیل آماری (۲۴ گره)
حالت اول (عدم کنترل درجه‌ی گره‌ها)	۳۹	٪۹۷,۵۱	۷۲,۰۲	۲,۲۵	۳,۵۶

۴-۴-۴- آزمایش چهارم (تأثیر خطای مکان یابی گره‌ها)

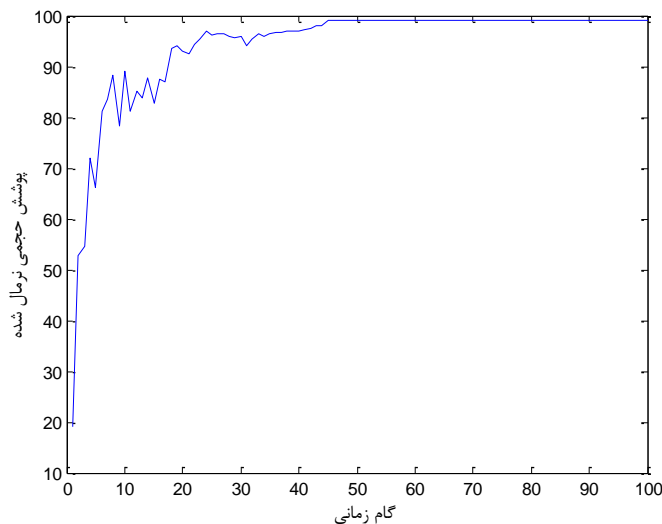
در محیط زیر آب به علت محدودیت استفاده از GPS، گره‌ها جز در موارد خاص باید با استفاده از تکنیک‌های مکان‌یابی^۱ بدون استفاده از GPS موقعیت خود را تخمین بزنند. هر تخمینی شامل خطاهایی نیز می‌باشد. در این قسمت سعی داریم به بررسی تأثیر خطای تخمین موقعیت گره‌ها بر الگوریتم پیشنهاد شده بپردازیم. برای این منظور محیطی $30 \times 30 \times 30$ در نظر می‌گیریم. در این محیط ۲۸ گره با شعاع همسایگی ۱۰ وجود دارد. پارامترهای آزمایش مانند جدول ۴-۴ می‌باشد. در هر یک از راستاهای محور مختصات، یک خطای مطلق در بازه $[0, 1]$ به موقعیت گره اعمال می‌نمایم. بنابراین حداکثر خطای مطلق $\sqrt{3}$ خواهد بود. پس از اتمام اجرای شبیه‌سازی نحوه‌ی قرارگیری AUVها در شکل ۴-۱۳ به نمایش گذاشته شده است.



شکل ۴-۱۳- قرارگیری AUVها در محیط پس از شبیه‌سازی (خطای مکان یابی)

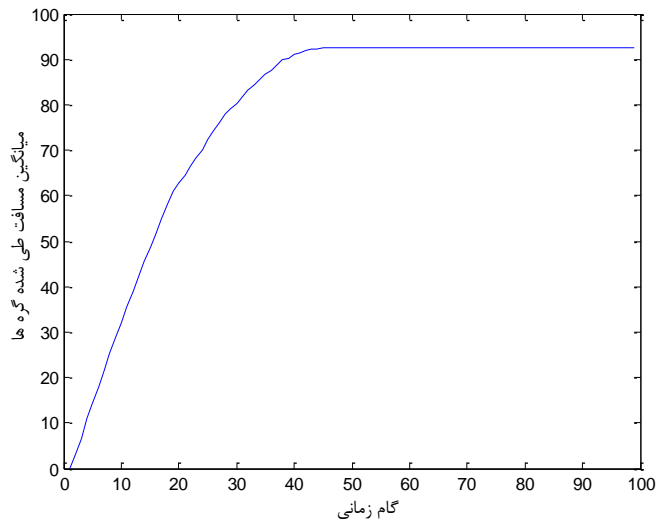
^۱ Localization

نمودارهای مقادیر NVC در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود پوشش پس از همگرایی ۹۸,۶۸٪ است. بنابراین پوشش به میزان بسیار اندکی کاهش یافته است.



شکل ۴-۱۴- نمودار پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (خطای مکان یابی)

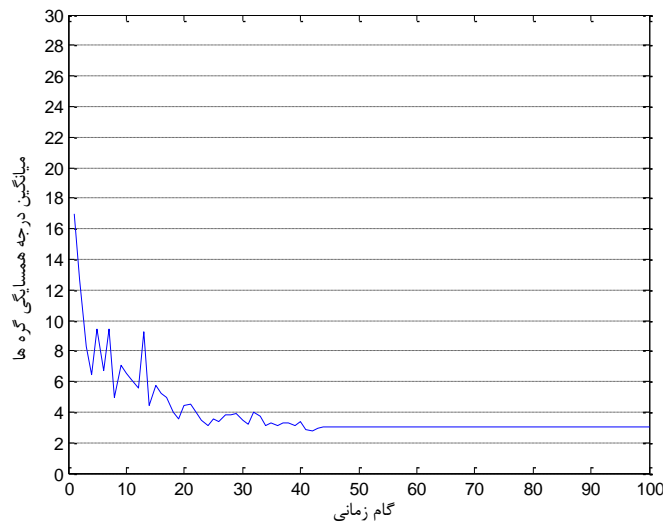
نمودارهای میانگین مسافت طی شده گرہها در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. میانگین مسافت طی شده گرہها تا رسیدن به همگرایی ۹۲,۵۷ است. الگوریتم پس از ۴۴ گام زمانی همگرا شده است. همانطور که مشاهده می‌شود. خطای مکان‌یابی مانع همگرایی الگوریتم نشده تنها نیاز است گرہها مسافت بیشتری را تا رسیدن به همگرایی طی نمایند.



شکل ۴-۱۵- میانگین مسافت طی شده گره ها نسبت به گام زمانی (خطای مکان یابی)

نمودار میانگین درجه همسایگی گره ها نسبت به گام های زمانی در شکل ۴-۱۶ نشان داده شده است.

میانگین درجه ی همسایگی پس از همگرایی ۳ است.



شکل ۴-۱۶- میانگین درجه همسایگی گره ها نسبت به گام های زمانی (خطای مکان یابی)

مقادیر به دست آمده برای درصد پوشش حجمی نرمال شده، میانگین مسافت طی شده و میانگین درجه‌ی همسایگی پس از استقرار گره‌ها در محیط و همچنین زمان استقرار در آورده شده است.

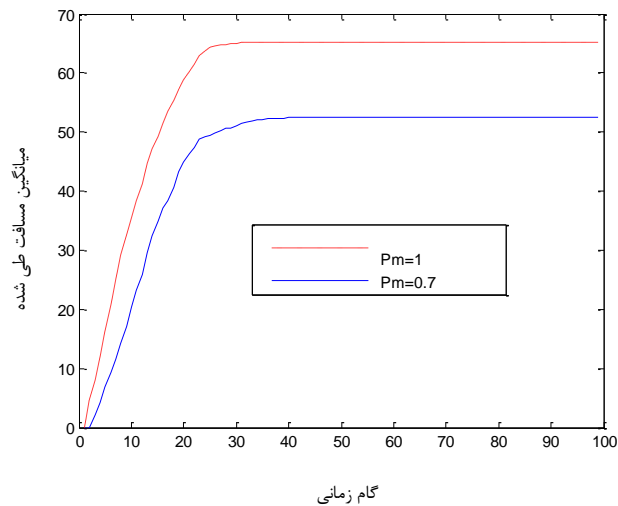
جدول ۴-۸- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش چهارم (خطای مکان یابی)

میانگین درجه محاسبه شده به کمک تحلیل آماری	AND(DT)	ADT (DT)	NVC (DT)	DT	معیار ارزیابی
۴,۱۸	۳	۹۲,۵۷	٪۹۸,۶۸	۴۴	حالت اول (عدم کنترل درجه‌ی گره‌ها)

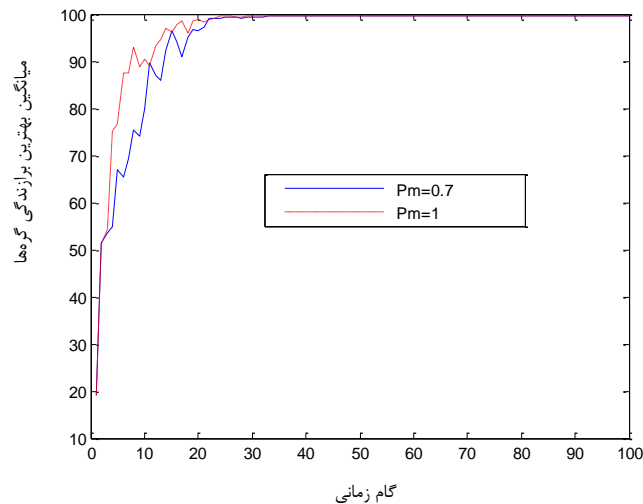
۴-۴-۵- آزمایش پنجم (تاثیر کاهش حرکت AUVها در هر گام)

همانطور که مشاهده شد با اعمال محدودیت بر روی حد بالای درجه در AUVها آنها مجبورند مسافت بیشتری را برای رسیدن به همگرایی طی نمایند. برای رفع این مسئله با استفاده از یک راهکار جدید سعی در اصلاح الگوریتم ارائه شده داریم. در این این راهکار امیدواریم با حرکت ندادن درصدی از AUVها در هر گام، مقدار مسافت طی شده را کاهش دهیم. در این آزمایش محیط و AUVهایی مشابه آزمایش قبل در نظر گرفته شده است. هر گره در هر گام زمانی با احتمال $p=0,7$ الگوریتم ژنتیک را در درون خود اجرا خواهد کرد در غیر اینصورت در موقعیت خود ثابت خواهد ماند. در ادامه به بررسی این راهکار بر میانگین مسافت طی شده و میزان پوشش و زمان استقرار خواهیم پرداخت. همچنین نتایج این آزمایش با آزمایش دوم در حالت کنترل درجه همسایگی مقایسه خواهد شد. پارامترهای آزمایش مانند جدول ۴-۴ می‌باشد.

نمودار میانگین مسافت طی شده نسبت با گام زمانی در دو حالت حرکت همهی AUV ها در هر گام زمانی ($P_m=1$) و حرکت AUV ها با احتمال $P_m=0,7$ در هر گام زمانی در شکل ۴-۱۷ مشهود است. با اعمال راهکار معرفی شده میزان میانگین مسافت طی شده بعد از همگرایی از ۶۵,۱۹ به مقدار ۵۲,۴۴ کاهش یافته است. اما زمان اجزا از ۳۴ گام زمانی به ۴۰ گام زمانی افزایش پیدا کرده است. همانطور که در شکل ۴-۱۸ نشان داده شده مقدار پوشش به خوبی حالت قبل است. در نتیجه، این راهکار می‌تواند در کاربردهایی که انرژی از اولویت بیشتری نسبت به زمان برخوردار است، استفاده شود. چرا که حرکت باعث کاسته شدن انرژی AUV ها می‌شود.



شکل ۴-۱۷- میانگین مسافت طی شده نسبت به گام زمانی در دو حالت ،
 $P_m=0,7$ و $P_m=1$

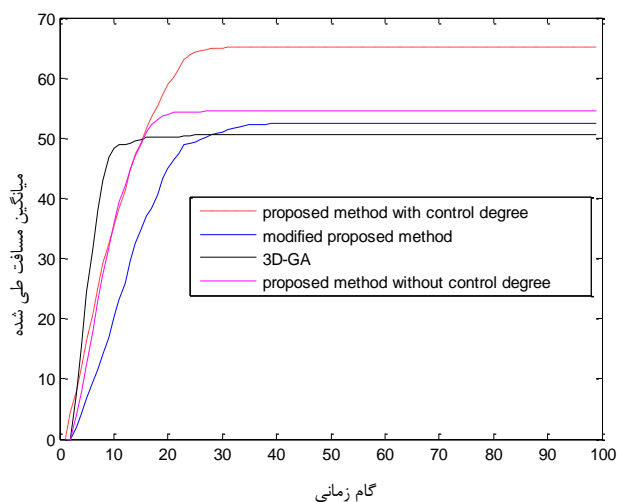


شکل ۴-۱۸- پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی در دو حالت ،
 $P_m=0,7$ و $P_m=1$

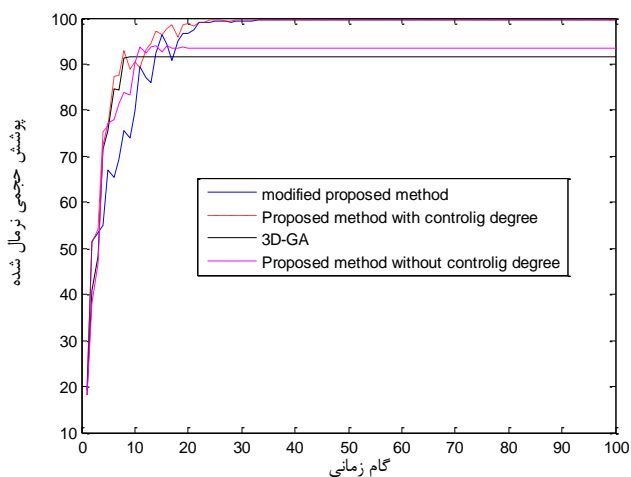
۴-۵- آزمایش ششم (مقایسه روش‌های پیشنهادی با روش قبلی)

در این آزمایش تصمیم داریم روش‌های ارائه شده در این پایان نامه را با روش پیشنهادی در مقاله [45] به نام 3D-GA مقایسه نماییم. برای انجام مقایسه این روش در شبیه‌ساز Aqua-Sim پیاده‌سازی نموده‌ایم. روش‌هایی که با 3D-GA مقایسه شده اند عبارتند از: الگوریتم پیشنهاد داده شده با کنترل درجه، بدون کنترل درجه، اعمال راهکار اصلاحی برای بهبود مسافت طی شده. محیط شبیه‌سازی 30^*30^*30 در نظر گرفته شده است. ۲۸ AUV با شعاع ارتباطی ۱۰ در محیط موجودند. پارامترهای آزمایش مانند جدول ۴-۴ می‌باشد. در ادامه روش 3D-GA با الگوریتم پیشنهاد شده و الگوریتم پیشنهادی اصلاحی (راهکار اصلاحی در آزمایش پنجم) مقایسه خواهد شد. همانطور که مشاهده می‌شود از لحاظ پوشش الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم پیشنهادی اصلاحی بهترین مقادیر را دارا هستند. اگر در الگوریتم ارائه شده در این پایان نامه درجه‌ی گره‌ها را در نظر نگیریم، در نمودار شکل ۴-۲۰ مشهود

است که الگوریتم ارائه شده در این مقاله بهتر از 3D-GA عمل می‌نماید. در واقع الگوریتم ژنتیک ارائه شده در این پایان نامه بهتر از 3D-GA عمل می‌نماید. اما از لحاظ میانگین مسافت طی شده 3D-GA بهتر عمل کرده است.



شکل ۴-۱۹- میانگین مسافت طی شده نسبت به گام زمانی (مقایسه ی روش ها)



شکل ۴-۲۰- پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (مقایسه ی روش ها)

۴-۵- نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک شیء

در این بخش به بررسی و ارزیابی نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک شیء خواهیم پرداخت. در جدول ۴-۱ مقادیر پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک تمامی آزمایشات آورده شده است.

۴-۵-۱- آزمایش اول (به دست آوردن تعداد مناسب AUVها برای محافظت شیء)

برای محافظت از یک شیء لازم است AUVها به صورتی اطراف یک شیء قرار گیرند که تمام معبرهای منتهی به شیء تحت نظر AUVها باشد. به عبارت دیگر هیچ حفره‌ای نباید برای نفوذ به شیء وجود داشته باشد و تمامی POIها توسط گره‌ها پوشش داده شوند. در این آزمایش هدف پیدا کردن تعداد مناسب گره‌ها در محیط برای رسیدن به پوشش تمامی POIها است. برای این منظور یک محیط $30 \times 30 \times 30$ AUVهایی با شعاع ارتباطی ۵ در نظر گرفته شده است. همچنین حد فاصلی که گره‌ها باید تا شیء حفظ نمایند ۱۲ است. بنابراین POIها نقاط سطح نیم کره اطراف شیء و شعاع ۱۲ در نظر گرفته می‌شود. شیء در مکان (۱۵،۱۵،۰) قرار دارد. پارامترهای آزمایش در جدول ۴-۹ مشاهده می‌شود. در هر مرحله ۱۰ بار الگوریتم برای یک تعداد مشخص گره در محیط اجرا شده است. سپس میانگین درصد پوشش حجمی نرمال شده در این ۱۰ بار تکرار در نظر گرفته شده است. این مقادیر در جدول ۴-۱۰ یادداشت شده است. نمودار حاصل از این مقادیر نیز در شکل ۴-۲۱ مشاهده می‌شود.

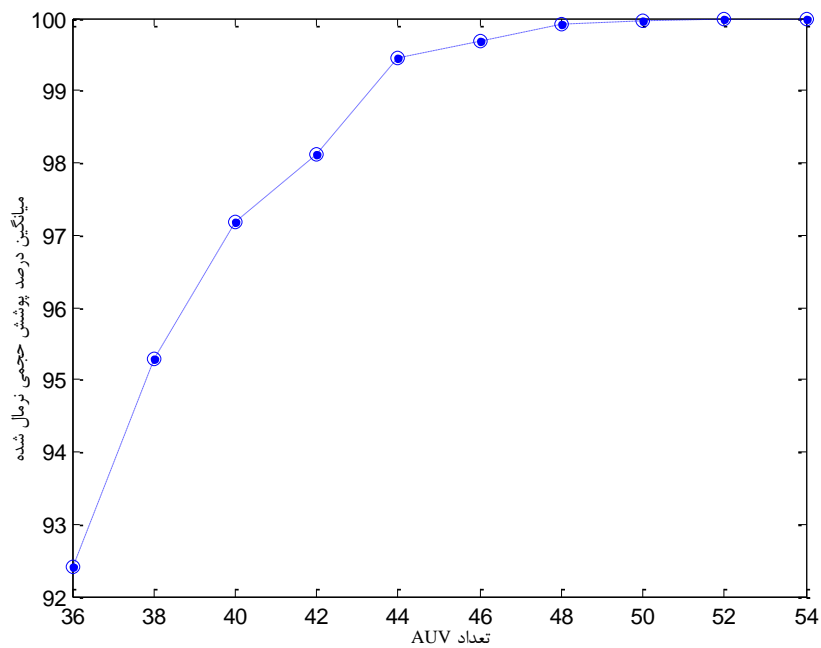
جدول ۴-۹- پارامترها (به دست آوردن تعداد مناسب AUVها برای محافظت شیء)

پارامتر	توصیف	مقدار
N	تعداد AUVها	۵۴-۳۶
R	شعاع ارتباطی	۵

۳۰*۳۰*۳۰	ابعاد محیط	-
۴	شعاع آستانه	R_{th}
(۱۵.۱۵.۰)	مکان شیء	-
۱۲	حد فاصل تا شیء	r_{lim}

جدول ۴-۱۰- میانگین درصد پوشش حجمی نرمال شده نسبت به تعداد AUV ها در محیط

۵۴	۵۲	۵۰	۴۸	۴۶	۴۴	۴۲	۴۰	۳۸	۳۶	تعداد گره ها
۱۰۰	۱۰۰	۹۹,۹۶	۹۹,۹۱	۹۹,۶۷	۹۹,۴۵	۹۸,۱۱	۹۷,۱۸	۹۵,۲۸	۹۲,۴۰	میانگین NVC
۴,۶۰	۴,۴۲	۴,۲۵	۴,۰۷	۳,۹۰	۳,۷۳	۳,۵۵	۳,۳۸	۳,۲۱	۳,۰۳	AND محاسبه شده از رابطه ۳-۹



شکل ۴-۲۱- میانگین درصد پوشش حجمی به دست آمده نسبت به تعداد AUV ها در محیط (محافظت از یک شیء)

بنابراین با ۵۲ و یا تعداد بیشتر AUV می‌توان حفاظت مطمئنی از شیء ایجاد نمود.

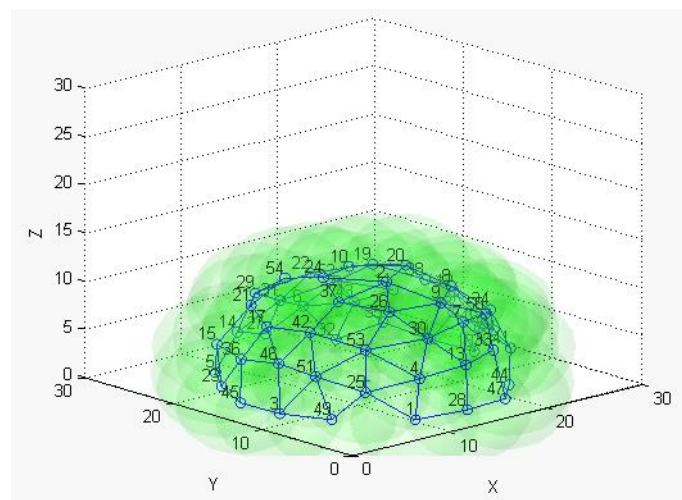
۴-۵-۲- آزمایش دوم (محافظت از یک شیء)

در این آزمایش اندازه محیط 30^*30^*30 در نظر گرفته شده است. اندازه‌ی شعاع ارتباطی ۵ و تعداد گره‌ها در محیط ۵۴ است. یک شیء در مکان (۱۵،۱۵،۰) قرار دارد. گره‌ها مطابق آنچه در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده در محیط قرار می‌گیرند. میانگین درجه محاسبه شده به کمک تحلیل آماری در این آزمایش ۴،۶۰ است. پارامترهای مورد استفاده در آزمایش مانند جدول ۴-۱۱ است.

جدول ۴-۱۱- پارامترها (محافظت از یک شیء)

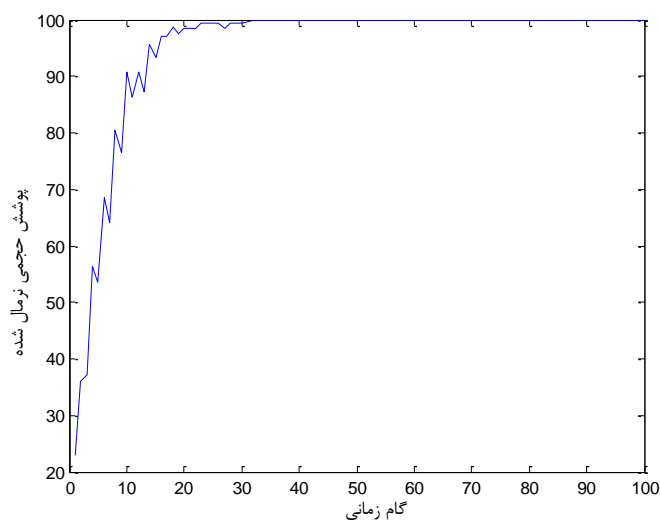
پارامتر	توصیف	مقدار

۲۸	تعداد AUV ها	N
۵	شعاع ارتباطی	R
۳۰*۳۰*۳۰	ابعاد محیط	-
۴	شعاع آستانه	R_{th}
(۱۵،۱۵،۰)	مکان شیء	-
۱۲	حد فاصل تا شیء	r_{lim}
۴،۶۰	میانگین درجه همسایگی	d_{ave}



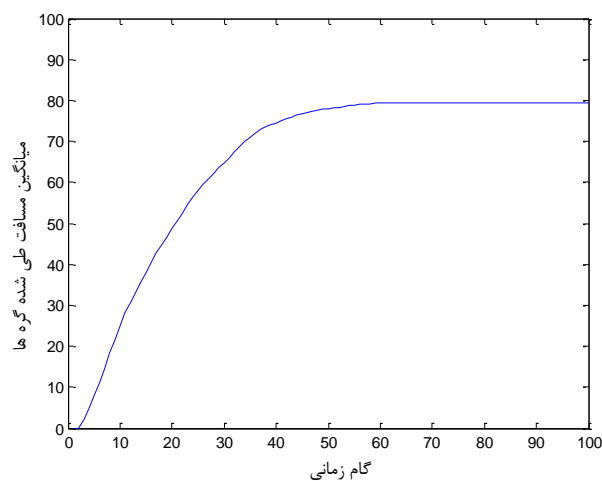
شکل ۴-۲۲- موضع گیری AUV ها در محیط پس از اجزای شبیه سازی (محافظت از یک شیء)

نمودارهای مقادیر پوشش حجمی نرمال شده در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۲۳ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، پوشش پس از همگرایی ۱۰۰٪ است.



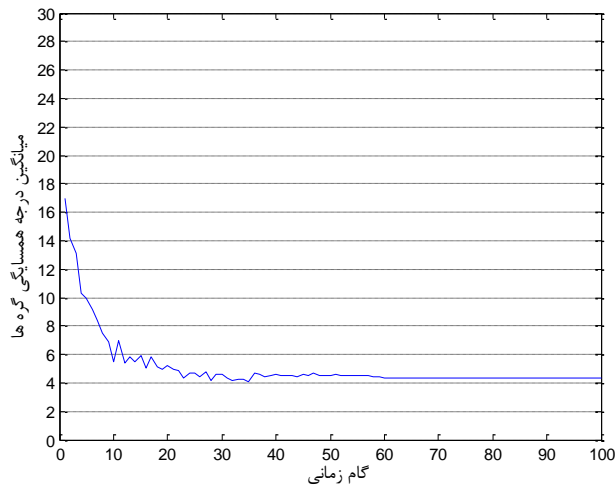
شکل ۴-۲۳- پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء)

نمودارهای میانگین مسافت طی شده گره‌ها در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۲۴ نشان داده شده است. میانگین مسافت طی شده گره‌ها تا رسیدن به همگرایی ۷۹٫۵ است. الگوریتم پس از ۶۰ گام زمانی همگرا شده است.



شکل ۴-۲۴- میانگین مسافت طی شده گره‌ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء)

نمودار میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی در شکل ۴-۲۵ نشان داده شده است. میانگین درجه‌ی همسایگی پس از همگرایی ۴,۳۳ است.



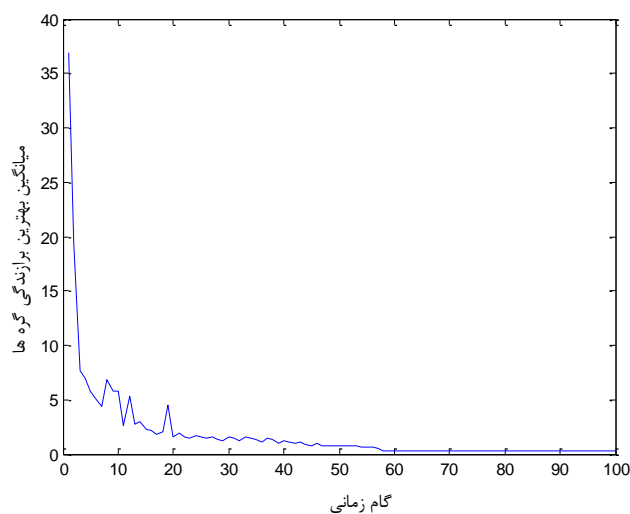
شکل ۴-۲۵- میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی (محافظت از یک شیء)

مقادیر به دست آمده برای درصد پوشش حجمی نرمال شده، میانگین مسافت طی شده و میانگین درجه‌ی همسایگی پس از استقرار گره‌ها در محیط و همچنین زمان استقرار در جدول ۴-۱۲ آورده شده است.

جدول ۴-۱۲- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش پوشش حفاظتی

معیار ارزیابی	میانگین درجه محاسبه شده				به کمک تحلیل آماری
	DT	NVC (DT)	ADT (DT)	AND(DT)	
حالت اول (عدم کنترل درجه‌ی گره‌ها)	۶۰	٪۱۰۰	۷۹,۵	۴,۳۳	۴,۶۰

در انتها مقادیر میانگین بهترین برازندگی به دست آمده از همه‌ی گره‌ها در هرگام زمانی در شکل ۴-۲۶- بهترین برازندگی گره‌ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء) مشاهده می‌شود.



شکل ۴-۲۶- بهترین برازندگی گره ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک شیء)

۴-۶- نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک درگاه

در این بخش به بررسی و ارزیابی نتایج کنترل توپولوژی با هدف پوشش حفاظتی از یک درگاه خواهیم پرداخت.

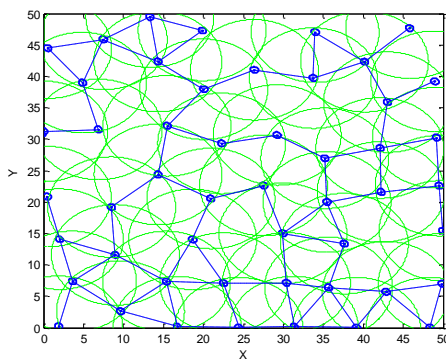
۴-۶-۱- آزمایش اول (محافظت از یک درگاه)

در این آزمایش اندازه محیط $50 * 50 * 50$ در نظر گرفته شده است. اندازه‌ی شعاع ارتباطی ۸ و تعداد گره‌ها در محیط ۵۰ است. یک درگاه در مکان صفحه‌ی $y=0$ قرار دارد. پارامترهای این آزمایش در جدول ۴-۱۳ قرار مشاهده می‌شود. گره‌ها مطابق آنچه در شکل ۴-۲۲ نشان داده شده در محیط قرار می‌گیرند.

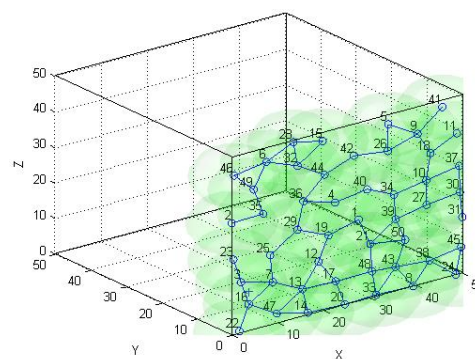
جدول ۴-۱۳- پارامترها (محافظت از یک درگاه)

پارامتر	توصیف	مقدار
---------	-------	-------

۵۰	تعداد AUV ها	N
۸	شعاع ارتباطی	R
۳۰*۳۰*۳۰	ابعاد محیط	-
۷	شعاع آستانه	R_{th}
Y=0	مکان صفحه ورودی	-
۳,۹۴	میانگین درجه همسایگی	d_{ave}



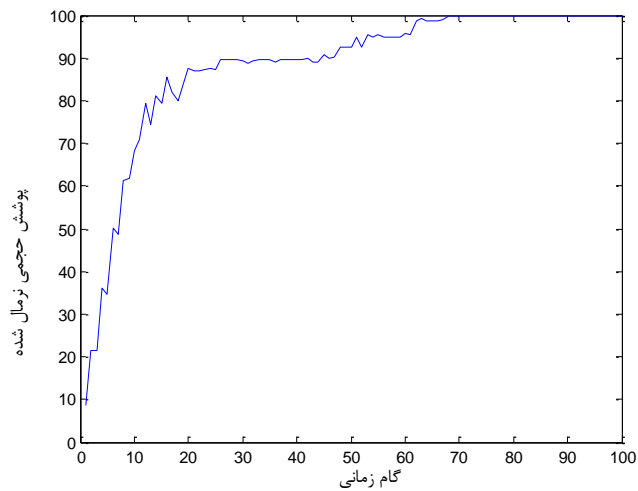
ب



الف

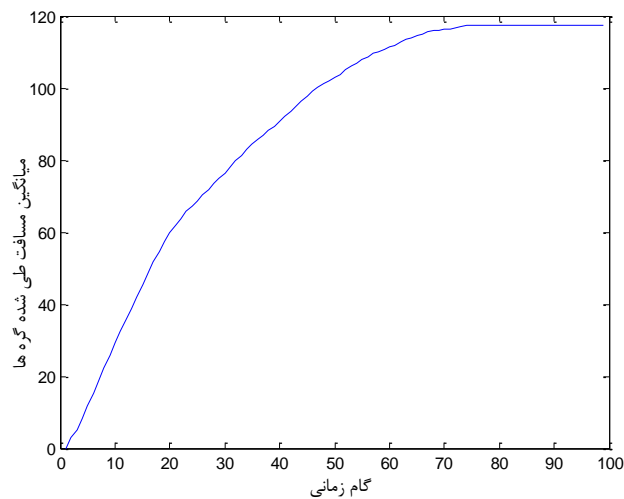
شکل ۴-۲۷- موضع گیری AUV ها در محیط پس از اجزای شبیه سازی (محافظةت از یک درگاه). الف- نمای سه بعدی ب- نمای دو بعدی

نمودارهای مقادیر پوشش حجمی نرمال شده در طول گام های زمانی در شکل ۴-۲۸ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، پوشش پس از همگرایی ۱۰۰٪ است.



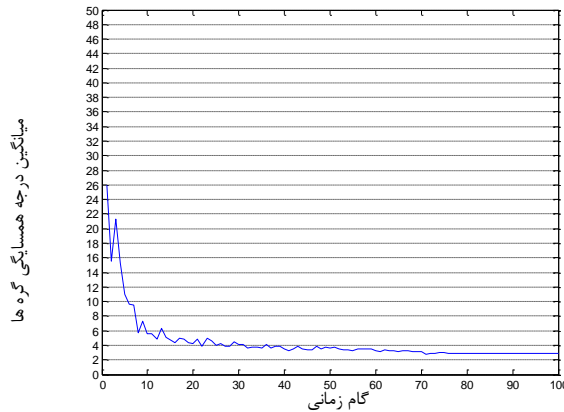
شکل ۴-۲۸- پوشش حجمی نرمال شده نسبت به گام زمانی (محافظت از یک درگاه)

نمودارهای میانگین مسافت طی شده گره‌ها در طول گام‌های زمانی در شکل ۴-۲۹ نشان داده شده است. میانگین مسافت طی شده گره‌ها تا رسیدن به همگرایی ۱۱۷,۳۷ است. الگوریتم پس از ۷۴ گام زمانی همگرا شده است.



شکل ۴-۲۹- میانگین مسافت طی شده گره ها نسبت به گام زمانی (محافظت از یک درگاه)

نمودار میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی در شکل ۴-۳۰ نشان داده شده است. میانگین درجه‌ی همسایگی پس از همگرایی ۲,۸۴ است.



شکل ۴-۳۰- میانگین درجه همسایگی گره‌ها نسبت به گام‌های زمانی (محافظة از یک درگاه)

مقادیر به دست آمده برای درصد پوشش حجمی نرمال شده، میانگین مسافت طی شده و میانگین درجه‌ی همسایگی پس از استقرار گره‌ها در محیط و همچنین زمان استقرار در جدول ۴-۱۲ آورده شده است.

جدول ۴-۱۴- مقادیر حاصل از ارزیابی آزمایش پوشش حفاظتی

معیار ارزیابی	میانگین درجه محاسبه شده به کمک تحلیل آماری				
	DT	NVC (DT)	ADT (DT)	AND(DT)	
حالت اول (عدم کنترل درجه‌ی گره‌ها)	۷۴	٪۱۰۰	۱۱۷,۳۷	۲,۸۴	۳,۹۴

فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه یک الگوریتم توزیع شده برای کنترل توپولوژی سه بعدی بر مبنای الگوریتم ژنتیک، برای AUV ها که به صورت شبکه‌ای از حسگرهای زیر آب عمل می‌کنند، ارائه شد. با استفاده از الگوریتم ارائه شده، هر AUV با ارسال اطلاعات مکان و درجه‌ی خود را به همسایگانش، به صورت مستقل سرعت و جهت حرکتش را برای رسیدن به پوشش مورد نظر در محیط، تعیین می‌نماید. نوع پوشش در سه حالت متفاوت معرفی و مورد ارزیابی قرار گرفت. این سه حالت شامل پوشش سراسری تمامی نقاط محیط، پوشش حفاظتی از یک شیء در دریا و پوشش حفاظتی از یک درگاه معرفی شد. همچنین در الگوریتم پیشنهاد شده یک تحلیل آماری برای میزان میانگین درجه همسایگی برای هر سه حالت پوشش ارائه شد. با استفاده از این تحلیل، حد بالای درجه‌ی گره‌ها در محیط کنترل شد. در نتیجه با کاهش این مقدار، گره‌ها به میزان پوشش با درصد بالاتری در محیط دست یافتند اما مجبور شدند مسافت و تعداد گام بیشتری را تا رسیدن به همگرایی صرف نمایند. الگوریتم ارائه شده با معیارهایی مانند پوشش حجمی نرمال شده، زمان، میانگین مسافت طی شده و میانگین درجه‌ی همسایگی گره‌ها مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد الگوریتم ارائه شده در زمان کوتاهی به میزان مطلوبی از پوشش دست می‌یابد. الگوریتم ارائه شده در موقعیت از دست دادن چند AUV در حین اجرای شبیه‌سازی مورد ارزیابی قرار گرفت. در این ارزیابی کنترل شبکه‌ی متشکل از AUV ها، با استفاده از الگوریتم پیشنهادی ما، قدرت انطباق با شرایط را داشت و با از دست رفتن چند AUV به حداکثر میزان پوشش ممکن در محیط دست یافت. به عبارت دیگر این ارزیابی نشان داد که الگوریتم ارائه شده، در برابر خرابی AUV ها، پویا است. در ارزیابی دیگری سعی نمودیم تاثیر ابهام در تشخیص محل دقیق AUV ها را بر الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار دهیم. نتایج تحقیق نشان داد، ابهام در تشخیص محل دقیق AUV ها، مانعی برای الگوریتم جهت رسیدن به پوشش مناسب در محیط نیست بلکه تنها نیاز است تا گره‌ها مسیر طولانی‌تری را برای ایجاد ثبات طی نمایند. همانطور که بیان شد با کنترل درجه‌ی همسایگی،

گره‌ها مجبور شدند مسافت و زمان بیشتری را تا رسیدن به همگرایی طی نمایند. برای رفع این مشکل از یک راهکار برای اصلاح الگوریتم استفاده شد. در این راهکار هر AUV یا احتمال ۰,۷ در هر گام ژنتیک را در درون خود اجرا و حرکت خواهد کرد. با اعمال این راهکار، بدون کاهش در مقدار پوشش، میزان مسافت طی شده بهبود یافت. قابل ذکر است با استفاده از این راهکار زمان استقرار افزایش یافت. در نتیجه، این راهکار می‌تواند در کاربردهایی که انرژی از اولویت بیشتری نسبت به زمان برخوردار است، استفاده شود.

۵-۲- پیشنهادات

در این بخش چند پیشنهاد برای بهبود عملکرد الگوریتم و معرفی کارهایی که در ادامه این پژوهش می‌توان انجام داد، مطرح شده است.

- ✓ برای بهبود عملکرد تابع برازندگی در الگوریتم ژنتیک می‌توان آن را طوری تغییر داد که میزان مصرف انرژی هم در محاسبه‌ی برازندگی تاثیر داشته باشد.
- ✓ یکی از فرضیات این تحقیق عدم وجود مانع در محیط است. می‌توان الگوریتم را با در نظر گرفتن موانع در محیط بسط داد.
- ✓ در الگوریتم ارائه شده این فرض وجود دارد که تمامی گره‌ها همگن هستند. می‌توان با در نظر گرفتن گره‌های حسگر ناهمگن به بررسی مسئله پرداخت.
- ✓ در تحقیق ارائه شده فرض بر این است که محدوده ارتباطی و محدوده حس کردن یکسان است در حالی که می‌توان الگوریتم را به تمامی نسبت‌هایی که این دو محدوده نسبت به هم دارند بسط داد.

- [1] P. Hagen, T. Fossum and R. Hansen, " Applications of AUVs with SAS," in *Proceedings of OCEANS 2005*, Quebec City, QC, 2008.
- [2] S. Sariel, T. Balch and J. Stack, "Distributed multi-AUV coordination in naval mine countermeasure Missions," Georgia Institute of Technology, 2006.
- [3] J. Pentzer, B. Crosbie, T. Bean, J. Canning, J. Frenzel, M. Anderson and D. Edwards, " Measurement of magnetic field using collaborative AUVs," in *Proceedings of OCEANS 2010I*, Sydney, 2010.
- [4] J. Zou, S. Gundry, J. Kusyky, C. S. Sahin and M. U. Uyar, "Bio-Inspired Topology Control Mechanism for Autonomous Underwater Vehicles Used in Maritime Surveillance," in *IEEE International Conference Technologies for Homeland Security (HST)*, 2013.
- [۵] ر. محمدی، ر. جاویدان و م. کشتگری، اصول طراحی شبکه های حسگر بیسیم زیر آب، شیراز: انتشارات همارا، ۱۳۹۲.
- [6] A. Caiti, V. Calabro, F. Di Corato, D. Meucci and A. Munafo, "Cooperative distributed algorithm for AUV teams: a minimum entropy approach," in *OCEANS - Bergen, 2013 MTS/IEEE*, Bergen, 2013.
- [7] I. F. Akyildi, D. Pompili and T. Melodia, "Underwater acoustic sensor networks research challenges," *Ad Hoc Networks*, vol. 3, pp. 257-279, 2005.
- [8] M. Erol-Kantarci, H. Mouftah and S. Oktug, "A Survey of Architectures and Localization Techniques for Underwater Acoustic Sensor Networks," *Communications Surveys & Tutorials, IEEE*, vol. 13, no. 3, pp. 487 - 502, 2011.

- [9] T. M. Chiwewe, "a distributed topology control technique for low interference and energy efficiency in wireless sensor," M.S. Thesis, university of Pretoria, 2010.
- [10] T. Chiwewe and G. Hancke, "A Distributed Topology Control Technique for Low Interference and Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks," *Industrial Informatics, IEEE Transactions on*, vol. 8, no. 1, pp. 11-19, 2011.
- [11] E. Urrea, C. Ş. Şahin, İ. Hökelek, M. Ü. Uyara, M. Connera, G. Bertolic and C. Pizzo, "Bio-inspired topology control for knowledge sharing mobile agents," *Ad Hoc Networks*, vol. 7, no. 4, p. 677–689, 2009.
- [12] L. Sorbi, G. P. De Capua, J.-G. Fontaine and L. Toni, "A Behavior-Based Mission Planner for Cooperative Autonomous Underwater Vehicles," *Marine Technology Society Journal*, vol. 46, no. 2, pp. 32-44, 2012.
- [13] J.-J. Xiao, A. Ribeiro, Z.-Q. Luo and G. Giannakis, "Distributed Compression Estimation Using Wireless Sensor Networks," *Signal Processing Magazine, IEEE*, vol. 23, no. 4, pp. 27 - 41, 2006.
- [14] D. Goldberg, *Genetic Algorithms in Search Optimization, and Machine Learning*, New York, NY: Addison-Wesley, 1989.
- [15] R. Manjula and S. M. Sunikumar, "Issues in Underwater Acoustic Sensor Network," *International Journal Of Computer and Electrical Engineering*, vol. 3, pp. 1793-8163, 2011.
- [16] Z. Feng, G. Shang and L. Lian, "A low-cost testbed of underwater mobile sensing network," in *OCEANS 2010 IEEE - Sydney*, Sydney, NSW, 2011.
- [17] L. Yukun, H. Kastein, T. Peterson and C. White, "A multi-AUV state estimator for determining the 3D position of tagged fish," in *Intelligent Robots and Systems (IROS 2014), 2014 IEEE/RSJ International Conference on*, Chicago, IL, 2014.

- [18] A. Ghosh and S. K. Dasb, "Coverage and connectivity guaranteed topology control algorithm for cluster-based wireless sensor networks," *Pervasive and Mobile Computing*, vol. 4, no. 3, pp. 303-334, 2008.
- [19] J. Wang and N. Zhong, "Efficient point coverage in wireless sensor networks," *J. Combinat. Optim*, pp. 291-304, 2006.
- [20] H. Zhang and J. Hou, "Maintaining sensing coverage and connectivity in large sensor networks," *Urbana*, vol. 1, p. 89-124, 2003.
- [21] D. Georganas and D. Tian, "A coverage-preserving node scheduling scheme for large wireless sensor networks," in *1st ACM Int. Workshop Wireless Sens. Netw. Appl*, New York, 2002.
- [22] j. Jiang and W. Dou, "A coverage-preserving density control algorithm for wireless sensor networks," *Ad-Hoc, Mobile, and Wireless Networks*, vol. 3158, pp. 42-55, 2004.
- [23] C. Huang and Y. Tseng, "The coverage problem in a wireless sensor network," *Mobile Netw. Appl.*, vol. 10, pp. 519-528, 2005.
- [24] T. Yan, T. He and J. Stankovic, "Differentiated surveillance for sensor networks," in *ACM Int. Conf. Embedded Netw. Sens. Syst.*, New York, 2003.
- [25] X. Wu, G. Chen and S. Das, "Avoiding energy holes in wireless sensor networks with nonuniform node distribution," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 19, p. 710-720, 2007.
- [26] K. Santosh, H. L. Ten and A. Anish, "Barrier coverage with wireless sensors," in *ACM Int. Conf. Mobile Comput. Netw.*, 2005.

- [27] A. Saipulla, C. Westphal, B. Liu and J. Wang, "Barrier coverage with line-based deployed mobile sensors," *Ad hoc Networks*, vol. Volume 11, no. 4, p. 1381–1391, 2013.
- [28] H. Shibo, G. Xiaowen, Z. Junshan, C. Jiming and S. Youxian, "Curve-Based Deployment for Barrier Coverage in Wireless Sensor Networks," *Wireless Communications, IEEE Transactions on*, vol. 13, no. 2, pp. 724-735, 2014.
- [29] Z. Jianmin, S. Gundry, J. Kusyk and C. Sahin, "Bio-inspired topology control mechanism for autonomous underwater vehicles used in maritime surveillance," in *IEEE International Conference Technologies for Homeland Security (HST)*, Waltham, 2013.
- [30] X. Min, W. Kui, Q. Yong and Z. Jizhong, "Run to Potential: Sweep Coverage in Wireless Sensor Networks," in *IEEE Int. Conf. Parallel Process*, Vienna, 2009.
- [31] G. Barun and P. S. Mandal, "Approximation algorithms for sweep coverage in wireless sensor networks," *Journal of Parallel and Distributed Computing*, vol. 74, no. 8, p. 2699–2707, 2014.
- [32] Y. Tseng, C. Hsu and T. Hsieh, "Power-saving protocols for IEEE 802.11-based multi-hop ad hoc networks," *Comput. Netw.*, vol. 43, no. 3, p. 317–337, 2003.
- [33] B. Chen, K. Jamieson, H. Balakrishnan and R. Morris, "Span: An energy-efficient coordination algorithm for topology maintenance in ad hoc wireless networks," *Wireless Netw.*, vol. 8, no. 5, p. 481–494, 2002.
- [34] P. Santi and D. Blough, "The critical transmitting range for connectivity in sparse wireless ad hoc networks," *IEEE Trans. Mobile Comput.*, vol. 2, no. 1, pp. 25-39, 2003.
- [35] N. Li, J. Hou and L. Sha, "Design and analysis of an MST-based topology control algorithm," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 4, no. 3, p. 1195–1206, 2005.

- [36] Z. Y. D. X. W. J. a. W. Z. X. Bai, "Pattern mutation in wireless sensor deployment,," in *IEEE Int. Conf. Comput. Commun.*, 2010.
- [37] S. K. D. X. Z. Y. a. T. L. X. Bai, "Deploying wireless sensors to achieve both coverage and connectivity," in *7th ACM Int. Symp. Mobile Ad Hoc Netw. Comput.*, New York, 2006.
- [38] J. H. Holland, *An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence*, University of Michigan Press, 1975.
- [39] R. Kala, "Multi-robot path planning using co-evolutionary genetic programming," *Expert Systems with Applications* 39, vol. 39, no. 3, p. 3817–3831, 2012.
- [40] Y. Hu and S. Yang, "A knowledge based genetic algorithm for path planning of a mobile robot," *IEEE Robotics and Automation (ICRA'04)*, vol. 5, pp. 4350-4355, 2004.
- [41] E. Urrea, C. Sahin, M. Uyar, M. Conner, G. Bertoli and C. and Pizzo, "Estimating behavior of a GA based topology control for self-spreading nodes in manets," in *Proceedings of International Conference on Military Communications, MILCOM*, 2010.
- [42] C. Sahin, E. Urrea, M. Uyar, M. Conner, B. Giorgio and P. Chirstian, "Design of genetic algorithms for topology control of unmanned vehicles," *International Journal of Applied Decision Sciences*, vol. 3, no. 3, p. 221–238, 2010.
- [43] C. U. E. a. U. M. Sahin, "A bio-inspired approach to self-organization of mobile nodes in real-time mobile ad hoc network applications'," in *Variants of Evolutionary Algorithms for Real-World Applications*, Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 437-462.

- [44] C. Sahin, M. Uyar, S. Gundry and E. and Urrea, "Self organization for area coverage maximization and energy conservation in mobile ad hoc networks," *Transactions on Computational Science*, vol. 15, pp. 49-73, 2012.
- [45] J. Zou, S. Gundry, K. J. and M. Uyar, "3D genetic algorithms for underwater sensor networks," *Ad Hoc and Ubiquitous Computing*, vol. 13, pp. 10-22, 2013.
- [46] S. Luke, C. Cioffi-Revilla, L. Panait, K. Sullivan and G. Balan, "MASON: a multiagent simulation environment," *Simulation*, vol. 81, no. 7, p. 517–527, 2005.
- [47] S.-H. Chen, T. Terano and R. Yamamoto, *Agent-Based Approaches in Economic and Social Complex Systems VI*, Tokyo Hordrecht Heidelberg London, New York: Springer , 2011.
- [48] S. Sivanandam and S. N. Deepa, *Introduction to Genetic Algorithms*, Springer Berlin Heidelberg, 2008.
- [49] P. Xie, Z. Zhou, Z. Peng and H. Yan, "Aqua-Sim: An NS-2 based simulator for underwater sensor networks," in *OCEANS 2009, MTS/IEEE Biloxi - Marine Technology for Our Future: Global and Local Challenges*, Biloxi, MS, 2009.
- [50] J. Zou, S. Gundry, J. Kusyk, C. Sahin and U. Uyar, "Particle Swarm Optimization based Topology Control Mechanism for Holonomic Unmanned Vehicles Operating in Three-dimensional Space," in *Sarnoff Symposium (SARNOFF)* , Newark, NJ, 2012.
- [51] S. Gundry, J. Kusyk, J. Zou and C. Sahin, "Performance evaluation of differential evolution based topology control method for autonomous MANET nodes," in *Computers and Communications (ISCC), 2012 IEEE Symposium on*, Cappadocia, 2012.

- [52] J. Kussyk, C. Sahin, M. Uyar, E. Urrea and S. Gundry, "Self-organization of nodes in mobile ad hoc networks using evolutionary games and genetic algorithms," *Journal of Advanced Research*, Vol. 2, no. 3, pp. 253-264, 2011.

Abstract

In recent years, use of underwater wireless sensor networks (UWSN) to collect data from seabed, attracted many researchers attention. AUVs can be used in underwater missions. These vehicles are equipped with a variety of sensors to collect data in underwater environment. By utilizing of artificial intelligence techniques they can operate without any human intervention or control. The main mission of UWSN is to monitor target field and detect events. Due to stochastic nature of events and environmental parameters, points of interest (POI) in the area must be covered by sensors to observe and report events. Controlling topology characterizes how well a sensing field is monitored and how well each pair of sensors is mutually connected in WSNs. Underwater environment changes, dynamically. For this type of environment centralized control method is not appropriate. Limited communication bandwidth, high bit error rate in underwater communication can lead to limited information that an AUV can acquire from neighborhood area.

As a result, in this research a completely decentralized topology control algorithm is proposed with the aim of achieving maximal coverage of POI in 3D underwater environment. The algorithm enables AUVs to autonomously decide on and adjust their speed and direction based on the information collected from their neighbors. Proposed topology control is based on Genetic algorithm. Each AUV selects the best movement at each step by independently executing a Genetic algorithm. In the fitness function, the global average neighborhood degree is used as the upper limit of number of neighbors of each AUV. The experiment in this thesis demonstrates, limiting number of neighbors for each AUV, can lead to larger coverage of the POI. We further show the efficiency of the algorithm in terms of coverage of POI, deployment time, and average traveled distance by the AUVs. It is shown AUVs running GA, can adapt to changing conditions such as the loss of number of AUVs. We also demonstrate that the ambiguity in detecting exact locations of AUVs does not prevent GA from achieving a uniform coverage but requiring AUVs travel longer distances to stabilize.

Key words: underwater sensor networks, AUV, Genetic Algorithm, three-dimensional topology control; distributed artificial intelligence



Shahrood University

Faculty of Computer Engineering and IT

**Communication between networked robotic vehicle in
underwater search situations**

Zahra Amiri

Supervisor:

Dr. Ali Akbar Pouyan

Advisor:

Dr. Hoda Mashayekhi

2015