

جایگذاری بهینه دوربین‌ها باهدف افزایش پوشش تصویری به کمک

الگوریتم ژنتیک و جستجوی هارمونی

مرتضی کریمی^۱، نیما جعفری نویمی پور^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی کامپیوتر، واحد تبریز، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

(دریافت: ۹۶/۱۰/۰۸، پذیرش: ۹۷/۰۳/۰۶)

چکیده

سامانه دوربین‌های مداربسته در انواع برنامه‌های کاربردی مانند نظارت بر ترافیک، جلوگیری از جرم و جنایت و اطمینان بخشی به ایمنی اماکن عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد. از این رو، پوشش ناحیه‌ای دوربین‌های مداربسته برای افزایش امنیت و کاهش هزینه، از بحث‌های چالش برانگیز در این زمینه می‌باشد. در روش‌های معمول برای جایگذاری دوربین‌ها اغلب از روش‌های طراحی و آزمون و خطا استفاده می‌شود که این روش نیازمند صرف زمان بیشتری بوده و همچنین تعیین مکان بهینه دوربین‌ها میسر نمی‌شود. از این رو، در این مقاله یک روش جدید برای جایگذاری بهینه دوربین‌ها بر اساس گرافیک رایانه‌ای و الگوریتم ژنتیک و جستجوی هارمونی ارائه شده است که علاوه بر افزایش پوشش تصویری و امنیت، هزینه‌ها را نیز کاهش می‌دهد. در روش پیشنهادی، نقشه ساختمان به صورت فرمت‌های رایج تصویر به عنوان ورودی دریافت شده و سپس الگوریتم پیشنهادی با استفاده از محاسبه و تغییر زوایای دوربین‌ها و یافتن بهترین مکان قرارگیری آن‌ها از نظر میدان دید، پوشش ناحیه‌ای منطقه را افزایش می‌دهد. روش پیشنهادی به دو روش آمیزش نقطه‌ای و ماسک تصادفی انجام می‌گیرد که روش آمیزش نقطه‌ای، زمان جستجو را به طور قابل ملاحظه‌ای بهبود داده و روش ماسک تصادفی پوشش نزدیک به بهینه‌ای را ارائه می‌دهد. همچنین استفاده از تنوع‌گرایی جمعیت در روش ماسک تصادفی باعث رسیدن به جواب بهینه سراسری شده که مشکل اغلب روش‌های پیشین می‌باشد. روش پیشنهادی پوشش ناحیه‌ای را تا ۴۰٪ بهبود داده است.

کلمات کلیدی: دوربین‌های دوبعدی، امنیت، پوشش ناحیه‌ای، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی هارمونی

۱- مقدمه

و سایر کاربردها اشاره کرد [۶-۷]. در شبکه‌های حسگر سنتی، حسگرها داده‌های عددی نظیر رطوبت، دما، فشار و غیره را در محدوده سنسج خود جمع‌آوری می‌کردند [۵ و ۸]؛ لیکن از زمانی که دوربین‌های ارزان قیمت در حسگرهای بی‌سیم جاسازی شدند، امکان دریافت داده‌های بصری محیط نیز میسر گردیده و مرکز توجه جدیدی برای کاربردهای این شبکه‌ها ایجاد شده است [۹]. ویژگی منحصربه‌فرد حسگرهای مجهز به دوربین‌های ویدیویی، تصویربرداری از یک هدف یا قسمتی از یک منطقه که الزاماً در نزدیکی دوربین واقع نیستند، می‌باشد [۱۰]. سامانه‌های دوربین‌های مداربسته، یک فناوری نظارت تصویری می‌باشد که به منظور نظارت بر محیط و فعالیت‌های مختلف محیطی طراحی شده‌اند. این سامانه‌ها برای شناسایی حوادث، جلوگیری از اقدامات مجرمین، جمع‌آوری شواهد و مدارک و ... استفاده می‌شوند. از این رو، استفاده از این سامانه‌ها می‌تواند باعث افزایش امنیت اماکن و ساختمان‌ها شود. از طرف دیگر مجهز کردن این اماکن

پیشرفت‌های اخیر در زمینه فناوری ارتباطات بی‌سیم و الکترونیک دیجیتال، طراحی و ساخت گره‌های حسگر کم‌هزینه، کم‌مصرف و چندکاره را امکان‌پذیر کرده است [۱-۳]. به طور کلی یک شبکه حسگر بی‌سیم، مجموعه‌ای از گره‌های حسگر مستقل و خودمختاری می‌باشد که مجهز به واسطه‌های بی‌سیم، سخت‌افزارهای سنسج اطلاعات محیطی، پردازنده کوچک و باتری می‌باشند [۴-۵]. این شبکه‌ها به طور گسترده در برنامه‌های کاربردی نظامی و غیرنظامی استفاده می‌شوند؛ در استفاده‌های نظامی می‌توان به نظارت میدان جنگ و همچنین نظارت مناطق مهم و حیاتی و در کاربردهای غیرنظامی می‌توان به نظارت محیط، کاربردهای پزشکی، نظارت و کنترل ساختمان

دقیق، می‌توان با استفاده از خوشه‌بندی مشخصات مسیر هدف را بر اساس تخمین مکانی نقاطی که هدف بیشتر می‌تواند در آن نقاط واقع شود، به‌دست آورد. همچنین در این روش چگونگی محاسبه زاویه دید برای چند هدف مختلف در شبکه‌های بصری جهت‌دار نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

در [۱۵] روشی برای بهینه کردن تعداد دوربین‌های موردنیاز در ساختمان‌ها ارائه شده است. این مقاله با استفاده از الگوریتم‌های متعدد و همچنین الگوریتم زنبور توانسته است در این مناطق پرازدحام بهترین پوشش تصویری را فراهم کند. در این روش، میدان دید خطی دوربین‌ها مدنظر قرار گرفته شده است. این روش به‌علت بررسی نواحی پر ازدحام، از نظر امنیت کاستی‌های زیادی را دارد.

یک روشی برای به دست آوردن راه‌حل‌های مناسب برای در [۱۶] بهینه‌سازی مستمر دوربین‌ها ارائه شده است، به‌طور کلی در این روش از تبدیل مسئله به بهینه‌سازی باینری گسسته استفاده شده است. متناسب با این روش، اگر چگالی تقریبی شبکه و قدرتمندی^۱ دوربین‌های مجموعه نمونه‌ها افزایش یابد، از راه‌حل بهینه‌سازی گسسته باینری استفاده می‌شود. در این روش تعیین مساحت چندضلعی‌های موجود در ناحیه با استفاده از الگوریتم سوپ^۲ بررسی شده و همچنین از سه مؤلفه میدان دید، عمق میدان و وضوح فاصله برای تعیین مکان بهینه دوربین‌ها استفاده شده است. با توجه به هزینه‌های بالای پردازش و انتقال داده‌های یک الگوریتم [۱۷] چندرسانه‌ای بی‌سیم در شبکه‌های حسگر، توزیعی برای کاهش هزینه به‌وجود آمده توسط دوربین‌های مختلف پیشنهاد داده است تا بتواند افزونگی را تا حد ممکن کاهش دهد؛ بنابراین، حسگر دوربین‌ها تنها زمانی که یک رویداد در مجاورت آنها تشخیص داده شده است، فعال می‌شوند که البته در این میان نباید پوشش رویداد به خطر بیفتد. در واقع در این روش، یک الگوریتم توزیع‌شده برای فعال نگه‌داشتن حداقل تعداد دوربین‌ها برای جلوگیری از افزونگی ممکن در داده‌های چندرسانه‌ای پیشنهاد شده است. به‌طور کلی ایده اصلی این مقاله همکاری حسگر دوربین‌ها برای کاهش همپوشانی دوربین‌ها در ناحیه هدف می‌باشد.

در [۱۸] یک روش بر اساس الگوریتم ژنتیک برای همپوشانی دوربین‌ها ارائه شده است. نویسندگان با این روش توانسته‌اند همپوشانی یکنواخت بین میدان دید دوربین‌ها را به‌طور دستی تنظیم کنند که این روش از همپوشانی‌های اضافی به‌وجود آمده از اجتماع میدان دید دوربین‌ها جلوگیری می‌کند. اساس کار این مقاله استفاده از روش برنامه‌ریزی حسگر، تجزیه و تحلیل نرخ

به این سامانه‌ها مستلزم صرف هزینه‌های زیادی می‌باشد، از این‌رو، جایگذاری بهینه دوربین‌ها در کنار افزایش پوشش و امنیت، می‌تواند هزینه‌های پیاده‌سازی را نیز تا حدودی کاهش دهد. پوشش تصویری از سه دیدگاه: ناحیه‌ای، نقطه‌ای و مرزی قابل‌بررسی است. در پوشش ناحیه‌ای احتمال رخداد پدیده در تمامی نقاط یک ناحیه وجود دارد. هدف پوشش ناحیه‌ای، تحت پوشش قرار دادن تمام ناحیه هدف توسط حسگرها می‌باشد [۱۱]. در پوشش نقطه‌ای، تعدادی از اهداف با مکان مشخص در نظر گرفته می‌شوند و سپس تعداد متوسطی از حسگرها به‌صورت تصادفی در نزدیکی اهداف توزیع می‌شوند تا متناسب با زمان‌بندی‌های تعریف‌شده نسبت به انجام وظایف و شناسایی اهداف تعیین شده فعال گردیده و اطلاعات مربوطه را به گره پردازشگر مرکزی ارسال کنند [۱۲]. در پوشش مرزی نسبت به پوشش ناحیه‌ای از تعداد حسگر کمتری استفاده می‌شود. پوشش مرزی یک مدل مناسب برای کاربردهای تشخیص نفوذ در مرزها به حساب می‌آید. در این مدل پوشش عملیات پوشش باید به‌گونه‌ای انجام گردد که اگر نفوذی از عرض ناحیه پوشش صورت گرفت بتوان آن را شناسایی کرد [۱۳].

هدف اصلی این مقاله موقعیت‌یابی، راستایابی و تعیین زاویه دید بهینه تعداد مشخصی دوربین برای ایجاد بیشترین پوشش تصویری و امنیت منطقه هدف با توجه به نقشه محیط می‌باشد. به‌طور کلی نرم‌افزار یا ابزار خاصی برای بهینه‌سازی بصری وجود ندارد و معمولاً تنظیم زاویه دید، موقعیت و راستای دید دوربین‌ها با آزمون سعی و خطا صورت می‌پذیرد. برای حل این مشکلات، در این مقاله یک روش جدید به کمک گرافیک کامپیوتری و ترکیب الگوریتم ژنتیک و جستجوی هارمونی ارائه شده است. به‌طور کلی اهداف این مقاله کاهش هزینه‌ها، کاهش تعداد دوربین‌های استفاده‌شده، افزایش پوشش تصویری، افزایش امنیت منطقه هدف و تنظیم دقیق زاویه دید و راستای دوربین‌ها می‌باشد.

این مقاله مشتمل بر ۷ بخش می‌باشد. در بخش ۲، روش‌های پیشین، بخش ۳، بیان رسمی مسئله، بخش ۴، روش پیشنهادی، بخش ۵، نتایج شبیه‌سازی، بخش ۶، نتیجه‌گیری و نهایتاً در بخش ۷، کارهای آتی آورده شده است.

۲- پیشینه تحقیق و کارهای مرتبط

در این بخش، برخی روش‌های مرتبط در زمینه پوشش تصویری در شبکه‌های حسگر ویدیویی آورده شده است. در [۱۴] از الگو هدف‌گیری دایره‌ای برای پوشش کامل اهداف با موقعیت مکانی شناخته‌شده، استفاده شده است. متناسب با روش استفاده شده در این مقاله، در صورت عدم وجود اطلاعات مکانی

1- Cardinality

2- Sweep

نیز شده است. موارد اشاره‌شده فوق را به همراه مزایای الگوریتم‌های ژنتیک و جستجوی هارمونی می‌توان به‌عنوان مزایای روش پیشنهادی بیان کرد.

۳- بیان رسمی مسئله

مسئله پوشش در شبکه‌های حسگر ویدیویی از اصلی‌ترین مسائل در این شبکه‌ها می‌باشد که به‌طور مستقیم بر توانایی و کارایی این شبکه‌ها تأثیر گذاشته و می‌توان آن را به‌عنوان معیاری برای کیفیت سرویس^۱ در این شبکه‌ها تعریف کرد [۱۱، ۱۲ و ۲۳]. ایده اصلی در پوشش، پیدا کردن تعداد مطلوب و بهینه گره‌های فعال می‌باشد؛ تا در کنار حفظ پوشش و اتصالات شبکه، بتواند کل منطقه را نظارت کند. موقعیت‌یابی بهینه دوربین‌ها در فضای بسته یک مسئله پیچیده^۲ است [۲۴-۲۶]. در شبکه‌های حسگر ویدیویی ویدیویی، پس از موقعیت‌یابی حسگرهای ویدیویی، مثلث‌های دید هر حسگر تشکیل شده و سپس این مثلث‌های دید توسط الگوریتم‌های اجتماع اشکال چندضلعی مقعر با یکدیگر اجتماع می‌شوند. به این صورت که در ابتدا مکان، زاویه و راستای دوربین‌ها و سپس طراحی محیط ازجمله: نقشه طبقه و موانع مشخص شده و سپس مقادیر و اندازه این مراحل به‌صورت کد وارد محیط شبیه‌سازی می‌شود و در نهایت بعد از گام‌های روش پیشنهادی، مقدار بهینه پارامترهای موردنیاز مسئله محاسبه می‌شود. قبل از ارائه روش پیشنهادی، مباحث مرتبط با پوشش شبکه‌های حسگر ویدیویی در زیر ارائه شده است.

۳-۱- محاسبه زاویه پوشش از فاصله کانونی

فاصله کانونی تعیین‌شده برای یک عدسی دوربین اغلب به‌صورت یک تقریب در نظر گرفته می‌شود. به‌طور کلی زاویه پوشش با توجه به فاصله کانونی و فرمت‌های تصویری می‌تواند متغیر باشد. قطر زاویه پوشش را می‌توان با استفاده از قضیه فیثاغورس محاسبه نمود. اگر d بعد تصویر موردنظر، D بعد کامل تصویر، α زاویه دید برحسب درجه، h تعیین‌کننده ارتفاع، w عرض و f فاصله کانونی باشد، زاویه پوشش^۳ متناسب با رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$FOV = \alpha = \left(2 \operatorname{Arctan} \frac{d}{2f} \right) \times \frac{D}{\sqrt{h^2 + w^2}} \quad (1)$$

۳-۲- محاسبه چند ضلعی‌های منتظم حفره‌دار

برای به‌دست آوردن راه‌حل مناسب برای بهینه‌سازی مستمر دوربین‌ها از محاسبه اجتماع چندضلعی‌های به‌وجود آمده توسط میدان دید دوربین‌ها استفاده می‌شود. در این روش برای

دستی میدان دید دوربین‌ها و بهبود الگوریتم‌های [۲۱-۱۹] می‌باشد. در روش‌های بررسی‌شده هرکدام از روش‌ها مزایا و معایب خاص خود را دارند. در برخی از روش‌ها پوشش نقطه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است؛ به این صورت که در مناطقی که ازدحام رفت‌وآمد در آن مناطق بیشتر است، تعداد دوربین‌های بیشتری نسبت به بقیه نواحی استفاده شده است که این حالت از نظر امنیتی قابل قبول نیست زیرا ممکن است افراد (مثلاً سارق) از نواحی که پوشش تصویری کمتری توسط دوربین‌ها دارند، وارد ساختمان شوند. همچنین در اکثر روش‌های بررسی‌شده از محاسبات هندسی استفاده شده است، این روش در کنار این‌که از نظر پوشش نتیجه خوبی ارائه می‌دهد ولی از نظر زمان محاسبات و زمان آماده‌سازی برنامه برای اجرا، بهبود قابل‌ملاحظه‌ای ندارد. مثلاً در [۱۴] نویسندگان توانسته‌اند با استفاده از الگوریتم حریم‌ناحیه‌ای به پوشش نقطه‌ای بهینه‌ای دست یابند ولی عدم بررسی پوشش ناحیه‌ای باعث شده است تا این روش به نتیجه دلخواه نرسد. روش ارائه‌شده در [۲۲] با افزایش طول عمر شبکه، بهبود بهتری نسبت به روش [۱۴] داشت ولی زمان‌بر بودن این روش یکی از معایب این روش به‌حساب می‌آید. روش ارائه‌شده در [۱۵] با تسریع عملیات پوشش دوربین‌ها و استفاده از دوربین‌های ثابت توانست به نتیجه نزدیک به بهینه‌ای برسد ولی معایب این روش کمبود امنیت ناحیه هدف می‌باشد زیرا که این روش نتوانسته است به‌طور بهینه‌تری مناطق موردنظر را پوشش دهد. در [۱۷] نویسندگان با کاهش افزونگی میدان دید دوربین‌ها و کاهش همپوشانی حاصل از آن‌ها به پوشش ناحیه‌ای قابل قبولی نسبت به روش‌های قبلی دست یافته‌اند ولی هزینه‌بر بودن این روش یکی از نقاط ضعف این روش محسوب می‌شود. در تمامی روش‌های بررسی‌شده زمان‌بر بودن، امنیت و پوشش پایین، عدم بررسی پوشش منطقه‌ای و هزینه بالا جزو معایب این روش‌ها به‌حساب می‌آید. همچنین در اکثر روش‌های قبلی از آزمون و خطا برای قرارگیری دوربین‌ها و همچنین محاسبه زاویه دید آن‌ها استفاده شده است که این امر باعث افزایش زمان یافتن مکان بهینه دوربین‌ها و کاهش احتمال یافتن مکان بهینه دوربین‌ها می‌شود. در این مقاله برای بهینه‌سازی تمامی راه‌حل‌های موجود از گرافیک کامپیوتری و ترکیب دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی هارمونی استفاده شده است. روش پیشنهادی در کنار استفاده از گرافیک کامپیوتری از الگوریتم ترکیبی ژنتیک و جستجوی هارمونی برای تعیین موقعیت بهینه دوربین‌ها و محاسبه زاویه دید آن‌ها استفاده کرده است که این امر باعث کاهش زمان یافتن مکان بهینه دوربین‌ها شده و در کنار این مسئله به‌علت کاهش تعداد دوربین‌های استفاده‌شده برای دستیابی به نرخ پوشش بالا، هزینه‌های پیاده‌سازی این شبکه‌ها را نیز تا حدودی کاهش داده است. از طرف دیگر دستیابی به نرخ پوشش بالا در این روش باعث افزایش میزان امنیت منطقه هدف

1- Quality of Service

2- NP Hard

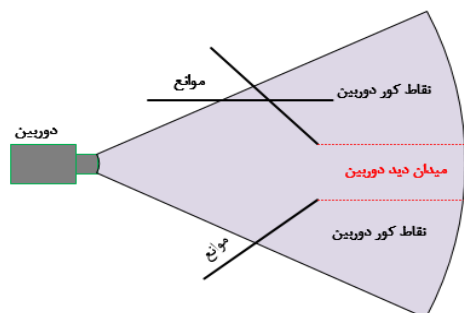
3- Finding Angle of Coverage

جدول (۱): پیام‌های استفاده‌شده در الگوریتم توزیعی پیشنهادی [۲۸]

نوع پیام	فرستنده	گیرنده	محتوا
تشخیص	حسگر اسکالر	حسگر دوربین	تشخیص رویداد
اطلاع	حسگر دوربین	حسگر دوربین	تعداد حسگرهای اسکالر در میدان دید
بروز رسانی	حسگر دوربین	حسگر دوربین	شناسه‌های اسکالر در میدان دید

۴-۳- تأثیر موانع

در برخی از حالت‌ها ممکن است دوربین قادر به مشاهده تمام میدان دید خود با توجه به ماهیت محیط (به‌عنوان مثال، انسداد، موانع و غیره) نباشد. در این حالت دو الگو برای محاسبه میدان دید دوربین‌ها، یکی با فرض وجود مانع و دیگری میدان دید بدون مانع را می‌توان توسط الگوریتم $DCA-SC^1$ (الگوریتم پیشنهادی در [۱۷]) محاسبه کرد، زیرا این موانع می‌توانند عملکرد الگوریتم را تحت تأثیر قرار دهند. الگوریتم $DCA-SC$ وابسته به میدان دید دوربین‌ها عمل می‌کند. در روش پیشنهادی برای تعریف موانع از پاره‌خط‌هایی در الگو استفاده می‌شود. پوشش منطقه ابتدا برای محیط بدون مانع محاسبه شده و سپس با قرار دادن پاره‌خط‌هایی در ناحیه به‌عنوان مانع، پوشش دیگری برای همین الگو محاسبه می‌شود. سپس تفاضل این دو مقدار به عنوان پوشش نهایی تعریف می‌شود. مناطق کور و میدان دید دوربین با در نظر گرفتن موانع در شکل (۲) نشان داده شده است. با مقایسه این دو الگو، نواحی کور نیز قابل محاسبه است. محاسبه نواحی کور یکی از مهم‌ترین قسمت‌های رسیدن به امنیت کامل محیط می‌باشد که باید توجه زیادی به آن داشت.

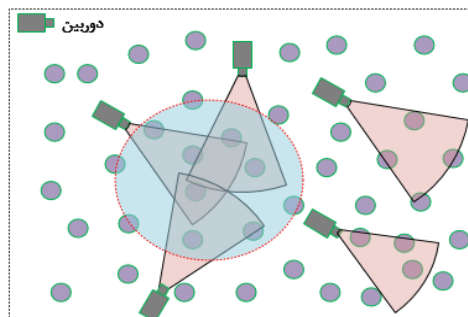


شکل (۲): موانع ممکن برای یک دوربین [۲۷]

محاسبات چندضلعی‌های به‌وجود آمده توسط میدان دید دوربین‌ها از هندسه محاسباتی و برای تعیین مساحت چندضلعی‌های موجود در ناحیه از الگوریتم سوپ و میدان دید کمانی و سه مؤلفه میدان دید، عمق میدان و وضوح فاصله برای تعیین مکان بهینه دوربین‌ها استفاده شده است [۲۷].

۳-۳- یافتن یک رویداد در ناحیه

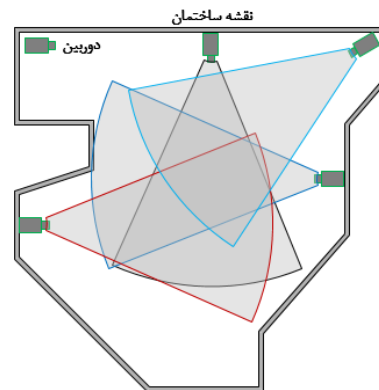
فرض بر این است که n حسگر در ناحیه هدف به‌طور تصادفی توزیع شده است، همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، به‌منظور شناسایی یک رویداد و به حداقل رساندن همپوشانی، نحوه قرار دادن این حسگرها در ناحیه نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند. از آنجائی که اصلی‌ترین هدف، حداکثر کردن پوشش ناحیه‌ای با حداقل تعداد دوربین می‌باشد، برای این منظور حسگرهایی که رویدادی را در میدان دید خود یا حسگر همسایه خود شناسایی نکنند، به‌طور موقت از کار می‌افتند تا هزینه کلی در شبکه بی‌سیم کاهش و طول عمر حسگرها افزایش یابد. جمع‌آوری اطلاعات مربوط به هر رویداد در ایستگاه و ارسال پیام‌های تحریک به دوربین ممکن است روند اصلی کار را به تأخیر بیندازد و همچنین ممکن است در این میان برخی از وقایع از دست برود؛ بنابراین، برای توزیع حسگرها و انتخاب راه‌حل موضعی مناسب، اندازه شبکه و محل ایستگاه به‌طور مستقل قرار داده می‌شوند. با این روش پیام‌های ردوبدل شده در داخل شبکه نیز کاهش می‌یابد. بنابراین، موقع فعال شدن حسگر دوربین، دوربین یک پیام برای به‌روزرسانی همسایگان خود پخش می‌کند. این به‌روزرسانی شامل شناسه‌های حسگر عددی که در داخل میدان دید حسگر دوربین هستند، می‌باشد. به‌این ترتیب، دوربین‌های دیگر می‌توانند منتظر تصمیم‌گیری دوربین موجود در داخل میدان دید خود بوده و همچنین با بررسی عدد حسگر آن دوربین می‌توانند پیام به‌روزرسانی دوربین را بررسی کنند. در جدول (۱) چگونگی تبادل پیام‌ها و تشخیص آن‌ها توسط حسگرهای همسایه نشان داده شده است. این پیام‌ها، پیام‌های استفاده‌شده در الگوریتم توزیعی پیشنهادی را نشان می‌دهد.



شکل (۱): الگو شبکه‌های بی‌سیم حسگر و نحوه قرارگیری حسگرها برای پوشش رویداد [۲۷]

۳-۵- فرضیات و مدل سیستم

در روش پیشنهادی، ابتدا نقشه هر بنا با فرمت تصویر به‌عنوان ورودی به نرم‌افزار داده می‌شود و سپس با الگوریتم تخمین توزیعی، دوربین‌هایی به‌طور تصادفی در محیط نقشه قرار گرفته می‌شوند. نقشه ساختمان به‌صورت سیاه‌سفید و به هر شکل موجود که در این مقاله چندضلعی مقعر حفره‌دار در نظر گرفته شده است، می‌باشد. حفره‌ها یا همان موانع و دیوارها به رنگ سیاه و بقیه نواحی باقی‌مانده به رنگ سفید نمایش داده می‌شود. همچنین تعداد و زاویه دوربین‌ها قابل‌تغییر می‌باشد. میدان دید دوربین‌ها به‌صورت کمانی در نظر گرفته شده است تا دقیقاً مانند میدان دید یک انسان ۳۶۰ درجه باشد و هیچ مشکل کشیدگی در تصویر رخ ندهد و کاربر به‌راحتی بتواند ناحیه موردنظر خود را تحت پوشش قرار دهد. این فرضیات بروی هر نقشه ساختمان که به‌صورت ورودی دریافت می‌شود، قابل شبیه‌سازی می‌باشد. مدل سیستم در شکل (۳) آورده شده است.

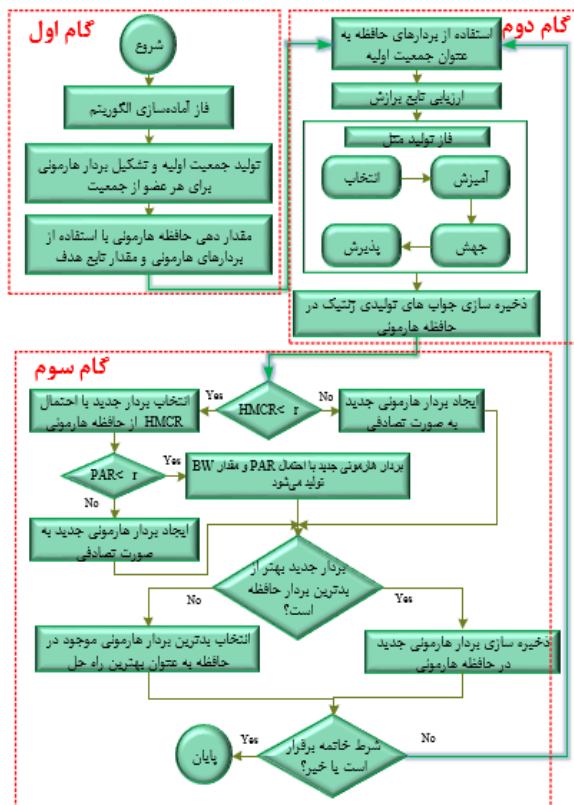


شکل (۳): مدل سیستم [۱۶]

۴- روش پیشنهادی

در این بخش در ابتدا توضیح مختصری از الگوریتم‌های استفاده‌شده آورده شده و سپس گام‌های روش پیشنهادی مقاله به‌صورت کامل تشریح شده است. الگوریتم جستجوی هارمونی ژونگ هوجیم^۱ توسعه یافته شده است [۲۹]. این الگوریتم یکی از ساده‌ترین و جدیدترین روش‌های فراابتکاری بوده که در فرایند جستجوی جواب بهینه در مسائل بهینه‌سازی، از فرآیند نواختن هم‌زمان گروه ارکستر موزیک الهام گرفته است [۳۰]. الگوریتم جستجوی هارمونی به دلیل کاربردی بودن برای مسائل بهینه‌سازی گسسته و پیوسته، محاسبات ریاضیاتی کم، مفهوم ساده، پارامترهای کم و اجرای آسان به یکی از پرکاربردترین

الگوریتم‌های بهینه‌سازی در سال‌های اخیر در مسائل مختلف تبدیل‌شده است [۲۹]. این الگوریتم از همگرایی نابهنگام و یا همگرایی آهسته به پاسخ بهینه رنج می‌برد، این محدودیت باعث شده است تا این الگوریتم تعداد تکرار زیادی را برای رسیدن به جواب بهینه انجام دهد که این امر زمان اجرا را بالا برده و سرعت اجرا را کاهش می‌دهد [۳۱]. الگوریتم ژنتیک برای جستجوی راه‌حل‌های نزدیک به بهینه، زمانی که هیچ روش قطعی وجود ندارد و یا روش قطعی نیازمند محاسبات پیچیده می‌باشد، استفاده می‌شود و یک الگوریتم مبتنی بر جمعیت است [۳۲]. هر راه‌حل به‌عنوان یک کروموزوم نشان داده‌شده و هر کروموزوم از مجموعه‌ای از ژن‌ها ساخته شده است [۳۳]. نیاز به محاسبات ریاضی و حافظه زیاد، تولید جواب‌های متفاوت در دو بار اجرای الگوریتم و احتمال بهینه نبودن جواب‌های تولیدشده از محدودیت‌های این الگوریتم به حساب می‌آید [۳۴]. بلوک دیاگرام روش پیشنهادی در شکل (۴) آورده شده است. به‌طورکلی روش پیشنهادی سه‌گام اصلی دارد که در زیر تشریح شده است.

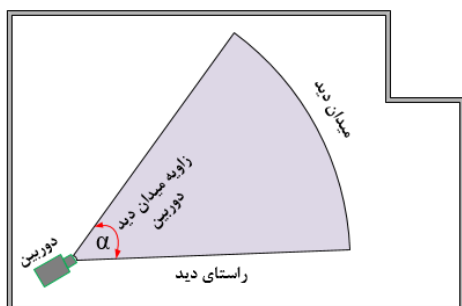


شکل (۴): بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

گام اول: آماده‌سازی روش پیشنهادی

این گام شامل دو زیر مرحله، تولید جمعیت اولیه و مقداردهی حافظه هارمونی است که این دو زیر مرحله از مراحل اصلی

راه‌حل‌های جدید انتخاب می‌شود. در روش پیشنهادی این انتخاب به‌گونه‌ای تعریف شده است که پاسخ نخبه (پاسخ با بالاترین برآزندگی) با تمامی جمعیت اولیه آمیزش کرده تا اگر پاسخ نخبه دیگری در طی این روند پیدا نشد، به‌عنوان بهترین فرد در آمیزش و جمعیت انتخاب شود. پس از انتخاب کروموزوم، عملگر آمیزش با انتخاب یک نقطه تصادفی در کروموزوم و تبادل ژن آن‌ها انجام می‌شود. از آنجائی که عملگر آمیزش ممکن است در بهینه محلی گیر کند، برای غلبه بر این مشکل از عمل جهش استفاده شده است؛ متناسب با این عمل، یک ژن که ارزش آن می‌تواند تغییر کند، به‌صورت تصادفی انتخاب می‌شود. پس از انجام عمل آمیزش و جهش، کروموزوم‌های جمعیت جدید تولید می‌شوند. مرحله نهایی این فاز، پذیرش این کروموزوم‌ها در جمعیت جدید است. به‌طور معمول، کروموزوم‌های جدید اگر از والدین خود بهتر باشند، پذیرفته می‌شوند. سپس نسل تصادفی از بین فضای جستجو انتخاب شده و بهترین کروموزوم‌ها در نتیجه این جستجو به دست می‌آیند. سپس کروموزوم‌های منتخب توسط دو روش آمیزش نقطه‌ای و آمیزش ماسک تصادفی باهم آمیزش شده و نتایج این فاز دوباره در حافظه هارمونی ذخیره می‌شود.



شکل (۶): زاویه دید دوربین‌ها

گام سوم: بهینه‌سازی و بهبود بردارهای هارمونی تولیدشده

و به‌روزرسانی حافظه هارمونی

این گام شامل سه زیر مرحله است که این زیر مراحل در واقع سه مرحله نهایی الگوریتم جستجوی هارمونی می‌باشند. زیر مرحله ۱؛ بهبود بردار هارمونی جدید x_{new} می‌باشد. در این زیر مرحله نسل جدید تولیدشده توسط الگوریتم ژنتیک دوباره وارد الگوریتم جستجوی هارمونی شده و با استفاده از احتمالات PAR و HMCR بهبود و اصلاح (تنظیم مجدد) می‌شوند، به عبارتی نزدیک‌ترین مقدار بهینگی برای هر کدام از راه‌حل‌های تولیدشده، انتخاب می‌شود. متناسب با رابطه (۶)، اگر عدد تصادفی r کمتر از مقدار HMCR باشد، متغیر تصمیم $x_{new}(k)$ با احتمال HMCR از حافظه هارمونی انتخاب می‌شود، در غیر این صورت اگر مقدار r بزرگ‌تر از HMCR باشد، متغیر تصمیم $x_{new}(k)$ با

الگوریتم جستجوی هارمونی می‌باشند. در زیر مرحله تولید جمعیت اولیه، جمعیت اولیه (جمعیت اولیه همان تعداد دوربین‌ها می‌باشد) به‌صورت کاملاً تصادفی تولید می‌شوند. سپس برای هر کدام از این دوربین‌ها، یک بردار هارمونی^۱ تولید می‌شود. بردارهای هارمونی تولیدشده بعد از ارزیابی در حافظه هارمونی^۲ ذخیره می‌شوند.

○ بردار و حافظه هارمونی

در الگوریتم جستجوی هارمونی، هر راه‌حل یک هارمونی نامیده شده و توسط یک بردار D بعدی ارائه می‌شود؛ که D معرف تعداد پارامترهای مسئله بهینه‌سازی می‌باشد [۲۹]. از آنجائی که پارامترهای بهینه‌سازی در مسئله ارائه شده نرخ پوشش و زاویه دید دوربین‌ها می‌باشد، بنابراین، بردار هارمونی مدنظر یک بردار دوبعدی خواهد بود. هر بردار هارمونی نشان‌دهنده موقعیت دوربین‌ها در منطقه سنجش می‌باشد. الگوریتم جستجوی هارمونی برای ذخیره‌سازی جواب‌های بهینه، دارای یک حافظه ذخیره‌سازی است؛ این حافظه ذخیره‌سازی با عنوان حافظه هارمونی تعریف می‌شود. ساختار حافظه هارمونی به‌صورت یک ماتریس بوده و شامل همه راه‌حل‌های احتمالی تشکیل شده و مقدار سازگاری آن‌ها می‌باشد [۳۵]. ساختار حافظه هارمونی در شکل (۵) آورده شده است [۳۱].

	متغیرهای تصمیم‌گیری				تابع سازگاری	
بردار هارمونی	x_1^1	x_2^1	x_3^1	...	x_D^1	$f(x^1)$
حافظه هارمونی	x_1^2	x_2^2	x_3^2	...	x_D^2	$f(x^2)$
	x_1^{HMS}	x_2^{HMS}	x_3^{HMS}	...	x_D^{HMS}	$f(x^{HMS})$

شکل (۵): ساختار حافظه هارمونی [۳۱]

گام دوم: فاز الگوریتم ژنتیک

در این گام بردارهای هارمونی تولیدشده در گام اول به‌عنوان جمعیت اولیه وارد الگوریتم ژنتیک می‌شوند. در فاز مربوط به الگوریتم ژنتیک، هر بردار هارمونی به‌عنوان یک کروموزوم (موقعیت دوربین) تعریف شده و شامل مجموع زوایای دید تمامی دوربین‌های موجود در ساختمان (منطقه هدف) می‌باشد. به عبارتی هر ژن از این کروموزوم نمایانگر زاویه دید یک دوربین است. زاویه دید دوربین‌ها در شکل (۶) آورده شده است. سپس هر کروموزوم با استفاده از تابع برآزش ارزیابی شده و سپس چهار فرآیند تولیدمثل یعنی انتخاب، آمیزش، جهش و پذیرش راه‌حل بروی این کروموزوم‌ها اعمال می‌شود. در مرحله انتخاب، مناسب‌ترین پاسخ (نخبه) در جمعیت فعلی به‌منظور تولیدمثل

1- Harmony Vector
2- Harmony Memory

در رابطه (۳)، X_i ساختار یک کروموزوم را نشان می‌دهد و $degree_1$ تا $degree_{Count_Camera}$ زوایای آلفای دوربین‌ها می‌باشد که معادل ژن‌های کروموزوم‌ها است. رابطه (۴) تابع هدف را نشان می‌دهد و $area_arc_{i,j}$ اجتماع میدان دید دوربین‌ها می‌باشد. رابطه (۵) نیز معرف تابع برازش (بیشینه) می‌باشد و برای هر دوربین، بیشینه مقدار پوشش محاسبه‌شده را انتخاب می‌کند. تعداد جمعیت برابر با مقدار پاپ سایز^۱ در تابع برازش بیشینه است. با این تعاریف تعداد جمعیت اولیه همان بردارهای هارمونی یا تعداد کروموزوم‌های موجود در الگوریتم است که در تابع هدف هر کروموزوم مجموع زوایای دوربین‌ها و هر ژن اندازه زاویه یک دوربین در نظر گرفته شده است. همچنین تابعی به نام هزینه^۲ نیز تعریف شده است که متناسب با اندازه تصویر نقشه ورودی می‌باشد؛ این تابع با استفاده از پرچم‌های تعیین‌شده برای مشخص کردن نواحی سفید یا پوشش نیافته، نواحی سیاه یا نواحی مانع‌دار می‌تواند اجتماع نواحی پوشش داده‌شده توسط کل دوربین‌ها را محاسبه کرده و در هر تکرار با تعداد پیکسل آن‌ها را مرتب کند. در واقع بعد از مشخص شدن زاویه دید دوربین‌ها، با استفاده از تابع خط^۳ محدوده دید دوربین‌ها معین شده و مساحت تحت پوشش دوربین محاسبه می‌شود، برای محاسبه این مساحت از پرچم‌هایی در کدنویسی استفاده شده است؛ به این صورت که نقطه پوشش داده شده (در میدان دید) با ۱ و نقطه عدم پوشش یافته با ۰ مشخص شده و در یک ماتریس دو بعدی ذخیره می‌شود؛ در واقع این تابع در یک ماتریس دو بعدی، نواحی پوشش داده‌شده در هر تکرار را محاسبه کرده سپس بهترین و بدترین تکرار را در ماتریس ذخیره می‌کند که این کار باعث افزایش سرعت هر تکرار می‌شود. زیرا اگر این روند در هر تصویر اتفاق می‌افتاد بسیار زمان‌بر خواهد بود. بنابراین برای کاهش زمان دوره اجرای برنامه و افزایش طول عمر شبکه از تابع هزینه استفاده می‌شود. سپس برای عمل آمیزش بین جمعیت‌ها از یک آرایه ماسک^۴ استفاده شده است. عناصر این آرایه فقط می‌تواند مقادیر ۰ یا ۱ بپذیرد. عناصر آرایه ماسک را به‌طور تصادفی مقداردهی می‌شود. حال با استفاده از این ماسک دو کروموزوم ادغام می‌شود. بعد از اتمام این مرحله از عمل جهش^۵ با نرخ ۱٪ استفاده می‌شود که احتمال بهبود نسل بعدی را افزایش می‌دهد. در این صورت همیشه بهترین پاسخ در هر تکرار انتخاب‌شده و نمودار برازش هیچ موقع نزولی نخواهد شد.

انتخاب تصادفی تولید می‌شود. بعد از تولید بردار هارمونی با احتمال HMCR، در زیر مرحله دوم هر مؤلفه تصمیم از بردار هارمونی با احتمال PAR تنظیم مجدد می‌شوند. در واقع این احتمال تنظیم، برای انتخاب نزدیک‌ترین مقدار بهینه صورت می‌گیرد. به عبارتی این تنظیم جزئی مؤلفه‌های بردار هارمونی باعث می‌شود، که پاسخ تولیدشده نزدیک‌ترین پاسخ به مقدار بهینه باشد. بردار هارمونی جدید x_{new} به‌صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود [۳۱].

$$x_i^{new} = \begin{cases} x_i(k) \in \{x_i(1), x_i(2), \dots, x_i(k)\} & r_1 > HMCR \\ x_i(k) \in \{x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^{HMS}\} & r_1 \leq HMCR \\ x_i(k) + r_2 \times BW & r_1 \leq PAR \end{cases} \quad (2)$$

سپس در زیرمرحله سوم یعنی زیرمرحله ارزیابی و به‌روزرسانی حافظه هارمونی، بردار هارمونی جدید با بدترین بردار هارمونی موجود در حافظه هارمونی مقایسه می‌شود، اگر از بدترین بردار هارمونی حافظه هارمونی بهتر باشد، جایگزین آن بردار شده و در حافظه هارمونی قرار گرفته می‌شود، در غیر این صورت، دور انداخته می‌شود.

۴-۱- تابع هدف، تابع برازش و تابع هزینه

تابع هدف شاخصی از نحوه عملکرد افراد در فضای مسئله را بیان می‌کند و تابع برازش برای تبدیل مقادیر تابع هدف به مقیاسی برای سازگاری و کارایی نسبی افراد به‌کار می‌رود. در بعضی از موارد مقدار تابع برازش متناسب با تعداد فرزندان می‌باشد که انتظار می‌رود از آن کروموزوم تولید شوند. اگر هیچ قیدی در نظر گرفته نشود، آنگاه کروموزوم‌هایی که کارایی بالاتری دارند بر دیگر کروموزوم‌ها چیره شده و نسل جدید از فرزندان آن‌ها تشکیل می‌شود. با این عمل احتمال دستیابی به نقاط بهینه نسبی افزایش می‌یابد. در الگوریتم ترکیبی، تابع هدف به‌منظور ارزیابی برازش هر راه‌حل برای دستیابی به هدف مربوطه تعریف می‌شود. تابع برازش به‌منظور انتخاب بهترین کروموزوم (نخبه) برای تولیدمثل راه‌حل‌های بعدی توسط الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. همچنین تابع برازش در الگو ارائه‌شده در این مقاله منحصر به فرد و نسبت به ناحیه پوشش هر کروموزوم است. به این معنا که تابع، حداکثر ناحیه تحت پوشش هر دوربین و در نهایت بیشترین اجتماع میدان دید دوربین‌ها را به‌عنوان بیشینه پوشش تصویر تمامی نسل‌ها انتخاب و نمایش می‌دهد. روابط (۳-۵) به‌ترتیب تعریف یک کروموزوم، تابع هدف و تابع برازش بیشینه را نشان می‌دهند.

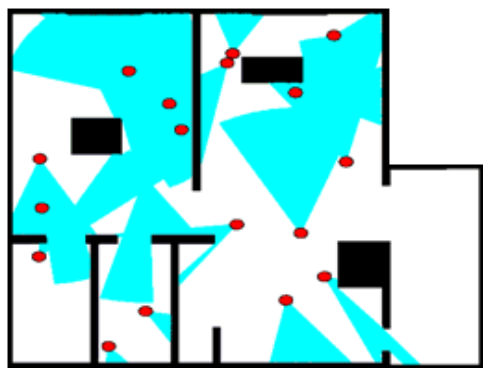
$$X_i = [degree_1, degree_2, \dots, degree_{Count_camera}] \quad (3)$$

$$f(x_i) = \sum_{j=1}^{j=Count_camera} area_arc_{j,j} \quad (4)$$

$$Fitness = \max \{ f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_{pop_size}) \} \quad (5)$$

- 1- Population size
- 2- Cost
- 3- Line
- 4- Mask
- 5- Mutation

می‌شود. به همین دلیل برای دقیق‌تر بودن محاسبات تابع خط مقدار ناحیه پوشش یافته دوربین را در ماتریس به صورت پیکسل ذخیره می‌کند. زاویه نسبت به خط افق هر دوربین ۳۶۰ درجه در نظر گرفته شده است. موانع با عدد ۰ و بقیه نواحی ۱ در نظر گرفته شده‌اند. شکل (۷)، چگونگی برش میدان دید دوربین‌ها در مواجهه با دیواره‌ها و موانع موجود در داخل ساختمان را نشان می‌دهد. محاسبه اجتماع میدان دید دوربین‌ها در قسمت الگوریتم ژنتیک انجام می‌شود که نشان‌دهنده بیشترین پوشش با کمترین تعداد دوربین خواهد بود و همچنین دوربین‌هایی با بهترین زاویه دید نیز مشخص می‌شوند که کارایی و امنیت هر چه بیشتر را حاصل می‌کند.



شکل (۷): برش میدان دید دوربین‌ها در مواجهه با موانع

۴-۴- اجتماع میدان دید دوربین‌ها و مساحت کل نواحی پوشش یافته

یکی از مهم‌ترین بخش‌های مقاله نحوه محاسبه اجتماع میدان دید دوربین‌های موجود در ناحیه می‌باشد. برای محاسبه میدان دید، ابتدا میدان دید دوربین‌ها که با رنگ آبی مشخص شده است را محاسبه کرده و سپس این مقدار از مساحت کل ناحیه (ناحیه سفید رنگ)، تفکیک می‌شود، که نتیجه نهایی اجتماع میدان دید دوربین‌ها خواهد بود. شکل (۸)، نشان‌دهنده اجتماع میدان دید دوربین‌های موجود در ناحیه است، هرچه نواحی همپوشانی کمتر باشد ناحیه پوشش داده شده توسط دوربین‌ها بیشتر بوده و می‌توان با صرف هزینه و تعداد دوربین کمتر، نواحی بیشتری را پوشش داد. اجتماع میدان دید یا همان مساحت نواحی پوشش داده شده توسط پیکسل نشان داده می‌شود. مقیاس تصویرها ۱۰۰۰ در ۱۰۰۰ پیکسل و هر پیکسل معادل ۰/۵ مترمربع در نظر گرفته شده است. بعد از اعمال الگوریتم پیشنهادی و مقایسه جمعیت اولیه با نسل نهایی نتایج نواحی پوشش داده شده به صورت عددی محاسبه و نشان داده می‌شود. برای کشیدن خطوط میدان دید دوربین‌ها از تابع خط و از تابع پیدا کردن

۴-۲- طراحی و تعیین دوربین‌ها و زوایای دید آن‌ها

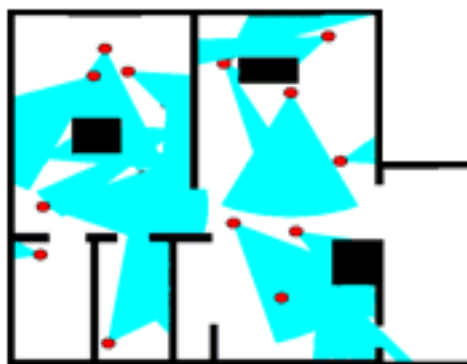
چگونگی تعریف دوربین‌ها و زاویه دید آن‌ها توسط کد نویسی انجام می‌شود، به طوری که هر دوربین به شکل یک دایره توپر و میدان دید موردنظر آن به شکل یک مثلث متساوی‌الساقین می‌باشد که ضلع کوچک‌تر این مثلث به شکل نیم‌دایره بوده که معرف میدان دید یک دوربین واقعی می‌باشد. همان‌طور که اجسام در دایره‌ای که دوربین در مرکز آن قرار دارد، حرکت می‌کنند، اندازه آن‌ها به علت کشیده شدن به صورت سه‌بعدی افزایش می‌یابد و این امر باعث می‌شود که ضمن حرکت آن‌ها به سمت لبه‌های تصویر، قابلیت شناسایی و تشخیص هویت نیز بیشتر گردد، بدین ترتیب استفاده از این نوع عدسی‌ها در بهبود وضعیت تصویر بسیار تأثیرگذار است. در شکل (۶)، به‌طور واضح افزایش کیفیت، هنگامی که اجسام روی یک کمان با فاصله ثابتی از دوربین حرکت می‌کنند را نشان می‌دهد. عدسی‌های دارای اعوجاج هیچ افزایشی در عرض جسم را نشان نمی‌دهند؛ به همین دلیل از این عدسی‌ها برای محاسبات میدان و زاویه دید استفاده شده است. شکل حاصل از این شبه کد نیز به صورت یک مثلث کمانی در شکل (۶)، نشان داده شده است که نشانگر میدان دید هر دوربین در محیط است. برای دقیق‌تر بودن محاسبات، مساحت هر قطاع به صورت پیکسل در طی نسل‌های اجرا شده توسط الگوریتم در یک ماتریس ذخیره می‌شود و اجتماع این قطاع‌ها که هر کدام میدان دید یک دوربین است با استفاده از تابع هزینه محاسبه شده و بیشترین ناحیه پوشش داده شده توسط این قطاع‌ها به‌عنوان بیشینه پوشش تصویری توسط دوربین‌ها در نتیجه نهایی نشان داده می‌شود. شبه کد طوری نوشته شده است که در هر بار اجرای برنامه (هر تکرار) میزان پوشش دوربین‌ها و درجه‌ها و مکان دکارتی دوربین‌ها در ماتریس‌های جداگانه ذخیره می‌شود پس از اجرای الگوریتم ژنتیک می‌توان ناحیه پوشش داده شده توسط دوربین‌ها در هر نسل را مشاهده کرد.

۴-۳- برش میدان دید موقع مواجهه با حفره یا مانع

یکی از قسمت‌های مهم روش پیشنهادی چگونگی تشخیص موانع توسط دوربین می‌باشد که این امر درون الگوریتم کد نویسی شده است، به طوری که میدان دید اولیه به طول یک پیکسل با استفاده از تابع پر، پر می‌شود اگر با مانع یا دیوار برخورد کند این امر متوقف شده و گرنه که تا پایان زاویه دید تعریف شده ادامه پیدا می‌کند. محاسبه این قسمت یکی از دشوارترین مراحل اجرای الگوریتم به حساب می‌آید که باعث افزایش امنیت محل موردنظر

بسیار بالایی داشته و ۶۰۰ نسل را در کمتر از نیم ساعت به اتمام می‌رساند که در مقایسه با روش نقطه‌ای از سرعت بهتری برخوردار است؛ زیرا در روش آمیزش نقطه‌ای از درصد‌های مختلف بهره برده شده است ولی در روش ماسک تصادفی تمامی نسل‌ها به روش تصادفی باهم آمیزش داده می‌شوند. در عملکرد تابع برازش، روش نقطه‌ای دارای مشکل مینی‌مم محلی بوده و به همین دلیل جستجوی کامل روی تمامی نسل‌ها رخ نمی‌دهد و در نتیجه پوشش بیشینه امکان‌پذیر نیست ولی در روش ماسک تصادفی از آنجائی که مشکل بهینه محلی با استفاده از روش نخبه کشی رفع شده است، پوشش بیشینه بیشتر از روش نقطه‌ای است؛ بنابراین، این روش در بیشینه کردن پوشش ناحیه‌ای عملکرد بهتری دارد. در روش نقطه‌ای بعد از گذشتن ۵۰ تا ۶۰ تکرار، الگوریتم به همگرایی زودرس می‌رسد و نمودار برازش ثابت شده و جستجوی نسل‌های دیگر متوقف می‌شود و دیگر امکان رسیدن به بهینه سراسری وجود نخواهد داشت. ولی در روش ماسک تصادفی این مشکل حل شده است و همان‌طور که در نمونه‌های آزمایش‌شده، نشان داده شده است در برخی اوقات در نسل ۳۰۰ به بعد الگوریتم ترکیبی به همگرایی می‌رسد و جواب بهینه سراسری را می‌توان به‌وضوح مشاهده کرد؛ بنابراین، به‌جز سرعت، عملکرد روش ماسک تصادفی نسبت به نقطه‌ای بسیار بالا می‌باشد. برای مثال تابع برازش در سناریو ۳۰۰ نسل در دو روش ماسک نقطه‌ای و تصادفی در شکل (۹) آورده شده است. متناسب با این نمودار الگوریتم پیشنهادی در این سناریو در نسل ۲۰۰م به همگرایی رسیده است و همچنین متناسب با نتایج بدست آمده، روش ماسک تصادفی پوشش بهتری نسبت روش ماسک نقطه‌ای تولید کرده است. اجتماع میدان دید دوربین‌ها در این سناریو در حالت جمعیت اولیه و نسل نهایی در روش ماسک تصادفی به ترتیب در شکل‌های (۱۱-۱۰)، نشان داده شده است. همچنین نتایج به‌دست‌آمده برای تابع برازش در سناریو ۴۰۰ نسل در دو روش ماسک نقطه‌ای و تصادفی در نمودار ۱۲ آورده شده است. متناسب با این نمودار الگوریتم پیشنهادی در این سناریو برای روش‌های نقطه‌ای و تصادفی به ترتیب در نسل ۲۰۰م و ۱۳۵۰م به همگرایی رسیده است و همچنین متناسب با نتایج به‌دست‌آمده، روش ماسک تصادفی پوشش بهتری نسبت روش ماسک نقطه‌ای تولید کرده است. اجتماع میدان دید دوربین‌ها در این سناریو در حالت جمعیت اولیه و نسل نهایی در روش ماسک تصادفی به ترتیب در شکل‌های (۱۴-۱۳)، نشان داده شده است. برای مقایسه عملکرد روش پیشنهادی با کارهای پیشین، سه آزمایش با تعداد ۹، ۱۴ و ۴۰ دوربین مورد بررسی قرار گرفته شده است. همان‌طور که در شکل (۱۵)، نشان داده شده است، روش پیشنهادی نسبت به روش‌های [۱۸-۱۵] به نرخ پوشش بالاتری دست‌یافته است.

ماتریس^۱ برای محاسبه نواحی پوشش یافته، موانع و نواحی خارج از محدوده ساختمان استفاده شده است. همچنین از سه پرچم برای یافتن موانع، دیواره‌ها و یک پرچم برای مشخص کردن محل دوربین در داخل یا خارج ساختمان استفاده شده است. تابع خط به‌اندازه ۱ پیکسل تا اندازه معینی که برای میدان دید هر دوربین مشخص شده است، کشیده می‌شود و در هر قسمت که به مانع یا دیواری برخورد کند متوقف می‌شود و بقیه خطوط تا جایی که به مانع برخورد نکنند به این روند ادامه خواهند یافت که این دستورات توسط شرایطی که در پرچم‌ها تعریف شده است، انجام می‌شود.



شکل (۸): اجتماع میدان دید دوربین

۵- نتایج شبیه‌سازی

این بخش در ۵ سناریو تنظیم شده است که هر کدام از سناریوها با استفاده از روش ماسک نقطه‌ای و ماسک تصادفی بررسی شده است. نتایج حاصل برای هر کدام از سناریوها در جدول‌های (۲-۳)، آورده شده است. در هر کدام از این سناریوها تابع برازش، میزان پوشش تصویری برحسب پیکسل را نشان می‌دهد و به‌صورت یک نمودار آورده شده است. در هر دو روش ارائه‌شده از دو ماتریس برای ذخیره‌سازی میزان پوشش به پیکسل و درجه میدان دید در هر تکرار استفاده شده است؛ بنابراین کلیه تغییرات تا رسیدن به پوشش بهینه را می‌توان در این ماتریس‌ها مشاهده کرد. زمان دقیق اتمام الگوریتم نیز به دقیقه نمایش داده می‌شود. زاویه چرخش هر دوربین در نمونه‌های مختلف ۰/۵ و ۱/۵ درجه و میدان دید دوربین ۱۹۰ مترمربع در نظر گرفته شده است. این مقادیر قبل از اجرای روش ترکیبی قابل‌تغییر بوده و نسبت به‌دقت ناحیه پوشش یافته به‌صورت پیکسل می‌تواند افزایش پیدا کند.

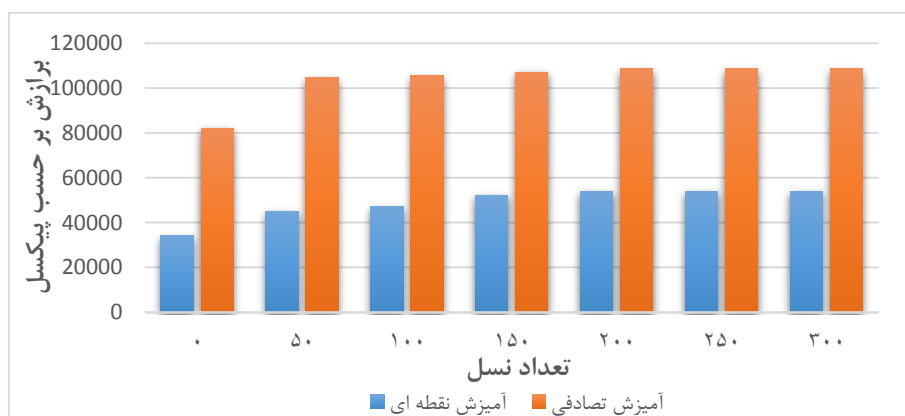
متناسب با نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی، روش ماسک تصادفی در تعداد نسل‌های زیاد یعنی ۶۰۰ نسل، سرعت پردازش

جدول (۲): نتاج به دست آمده در روش آمیزش ماسک تصادفی

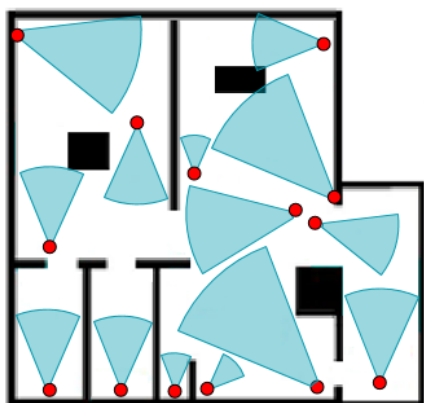
روش	تعداد دوربین	تعداد جمعیت اولیه	درجه چرخش میدان دید	تعداد نسل	زمان اجرای الگوریتم (دقیقه)	پوشش ناحیه‌ای به پیکسل
آمیزش ماسک نقطه‌ای	۱۵	۴۵	۱/۵	۱۰۰	۳۶	۱۰۳۶۶۰
	۱۵	۴۵	۱/۵	۲۰۰	۷۱	۱۰۳۶۶۷
	۱۵	۴۵	۱/۵	۳۰۰	۱۰۳	۱۰۷۴۶۴
	۱۵	۴۵	۱/۵	۴۰۰	۱۴۱	۱۰۸۷۷۸
	۱۵	۴۵	۱/۵	۵۰۰	۱۷۸	۱۱۳۸۴۷
	۱۵	۴۵	۱/۵	۶۰۰	۲۰۴	۱۱۳۹۳۵
	۱۲	۶۰	۰/۵	۱۰۰	۳۹	۱۰۰۷۵۲
	۱۲	۶۰	۰/۵	۲۰۰	۵۲	۱۱۷۴۸۹
	۱۲	۶۰	۰/۵	۳۰۰	۶۸	۱۰۸۶۵۸
	۱۲	۶۰	۰/۵	۴۰۰	۱۵۲	۱۱۶۳۷۶
	۱۲	۶۰	۰/۵	۵۰۰	۱۹۷	۱۲۰۵۷۴

جدول (۳): نتاج به دست آمده در روش آمیزش ماسک نقطه‌ای

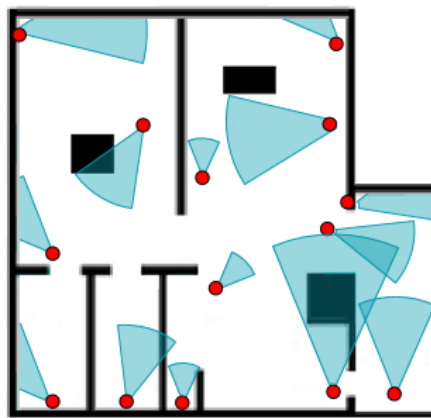
روش	تعداد دوربین	تعداد جمعیت اولیه	درجه چرخش میدان دید	تعداد نسل	زمان اجرای الگوریتم (دقیقه)	پوشش ناحیه‌ای به پیکسل
آمیزش ماسک نقطه‌ای	۱۵	۴۵	۱/۵	۱۰۰	۲۰	۴۳۴۳۱
	۱۵	۴۵	۱/۵	۲۰۰	۴۲	۴۳۵۱۱
	۱۵	۴۵	۱/۵	۳۰۰	۶۷	۴۳۹۵۳
	۱۵	۴۵	۱/۵	۴۰۰	۸۲	۴۵۴۶۷
	۱۵	۴۵	۱/۵	۵۰۰	۱۰۴	۴۷۹۲۹
	۱۵	۴۵	۱/۵	۶۰۰	۱۲۶	۴۹۹۹۳
	۱۲	۶۰	۰/۵	۱۰۰	۱۶	۴۳۱۲۶
	۱۲	۶۰	۰/۵	۲۰۰	۲۴	۴۵۶۱۰
	۱۲	۶۰	۰/۵	۳۰۰	۳۷	۵۸۸۶۶
	۱۲	۶۰	۰/۵	۴۰۰	۴۹	۴۷۴۰۶
	۱۲	۶۰	۰/۵	۵۰۰	۵۴	۵۰۴۵۵



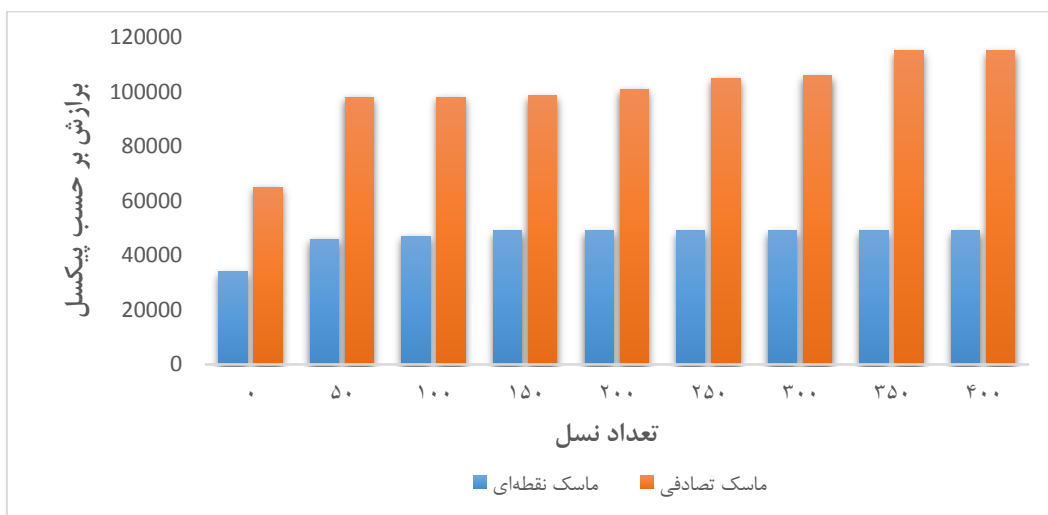
شکل (۹): تابع برآزش برای ۳۰۰ نسل در روش ماسک تصادفی و نقطه‌ای



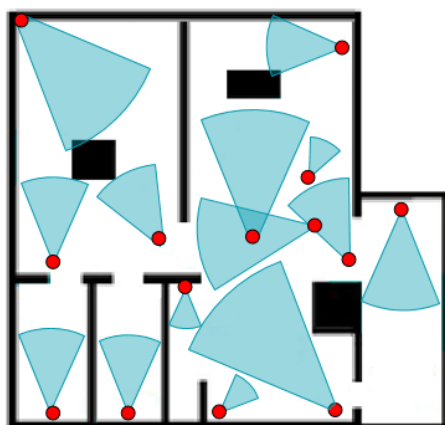
شکل (۱۱): اجتماع میدان دید در نسل نهایی



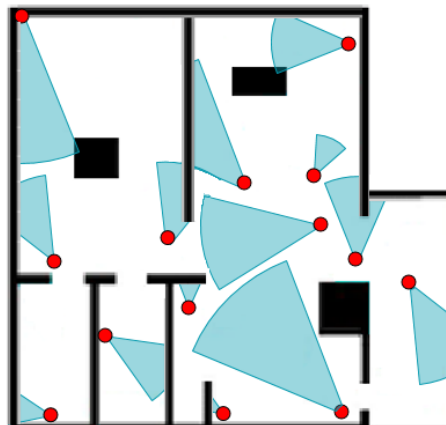
شکل (۱۰): اجتماع میدان دید دوربین‌ها در جمعیت اول



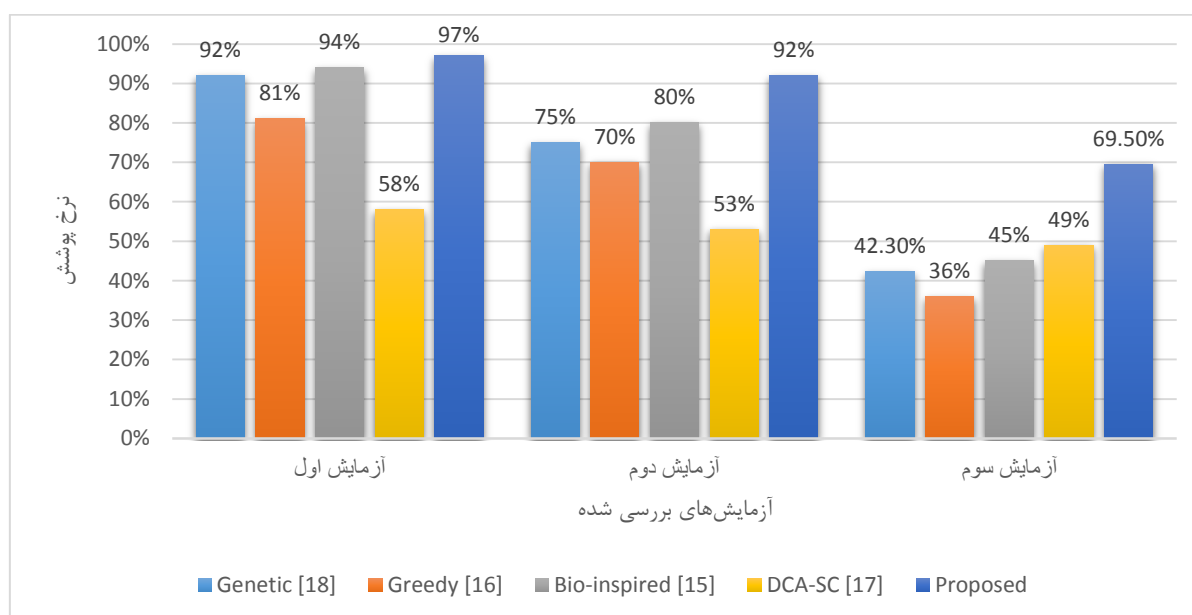
شکل (۱۲): تابع برازش برای ۴۰۰ نسل در روش ماسک تصادفی و نقطه‌ای



شکل (۱۴): اجتماع میدان دید دوربین‌ها در نسل نهایی



شکل (۱۳): اجتماع میدان دید دوربین‌ها در جمعیت اول



شکل (۱۵): مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های قبلی

۶- نتیجه‌گیری

محاسبه بهترین مکان برای جایگذاری دوربین‌ها در یک ساختمان از موضوعات مهم در شبکه‌های حسگر ویدیویی می‌باشد. محاسبه بیشینه پوشش تصویری دوربین‌ها با تعداد کمترین دوربین برای کاهش هزینه‌ها با رویکردهای مختلف هندسه محاسباتی، میزان زاویه، میدان دید دوربین و چگونگی اجتماع و اشتراک آن‌ها به تفصیل مورد بررسی قرار گرفت. در روش پیشنهادی کاربران به راحتی می‌توانند با وارد کردن نقشه ساختمان به صورت تصویر، تعداد دوربین‌ها را روی نقشه انتخاب و با وارد کردن زاویه و میدان دید مورد نظر، محل قرارگیری بهینه دوربین‌ها را محاسبه کنند. این روش، هزینه‌ها را کاهش داده و بیشترین امنیت و پوشش را با کمترین تعداد دوربین‌ها فراهم می‌کند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته، روش ماسک تصادفی موجب ایجاد تنوع در جمعیت و خروج از بهینه محلی شده و باعث می‌شود فضای جستجو حداکثر نسل را برای پیدا کردن پوشش بیشینه اختصاص دهد و در نتیجه احتمال وقوع همگرایی زودرس پایین آمده و به دلیل جستجوی تمام فضا و رسیدن به بهینه سراسری مسئله را بهبود بخشیده است. این درحالی است که روش نقطه‌ای در کنار اینکه سرعت اجرای بالاتری دارد، ولی به علت همگرایی به بهینه محلی به پاسخ بهینه نمی‌رسد. با مقایسه این دو روش این نتیجه به دست می‌آید که روش آمیزش ماسک تصادفی عملکرد بهتری نسبت به روش نقطه‌ای برای رسیدن به بیشینه پوشش تصویری داشته است.

۷- پیشنهاد کارهای آتی

در خصوص کارهای آتی می‌توان قابلیت محرک بودن دوربین‌ها را که می‌تواند منجر به افزایش پوشش شود در نظر گرفت و همچنین می‌توان با در نظر گرفتن میدان دید دایره‌ای دوربین‌ها به جای میدان دید کمانی احتمال پوشش ناحیه‌ای را افزایش داد.

۸- منابع

- [1] J. Yick, B. Mukherjee, and D. Ghosal, "Wireless sensor network survey," Computer networks, vol. 52, pp. 2292-2330, 2008.
- [2] F. Aznoli and N. J. Navimipour, "Deployment strategies in the wireless sensor networks: systematic literature review, classification, and current trends," Wireless Personal Communications, vol. 95, pp. 819-846, 2017.
- [3] "Based on Voronoi Diagram for Hole Detection Problem in Wireless Sensor Networks," Electronic and cyber defense magazine; Year 5, Issue 3, 1396. Electronic Defense and Cybernetics Autumn Magazine (19th series), 2017. (in Persian)
- [4] N. Xu, S. Rangwala, K. K. Chintalapudi, D. Ganesan, A. Broad, R. Govindan, et al., "A wireless sensor network for structural monitoring," in Proceedings of the 2nd international conference on Embedded networked sensor systems, pp. 13-24, 2004.
- [5] A. Mirghadri and R. Shyrbanyan, "A new lightweight authentication scheme for wireless sensor networks," Electronic and cyber defense magazine; Year 4, Issue 3 (1395), Autumn 95 (Successive 15), 2016. (in Persian)

- [19] A. Mittal and L. S. Davis, "Visibility analysis and sensor planning in dynamic environments," in European conference on computer vision, 2004, pp. 175-189.
- [20] A. Krause, A. Singh, and C. Guestrin, "Near-optimal sensor placements in Gaussian processes: Theory, efficient algorithms and empirical studies," *Journal of Machine Learning Research*, vol. 9, pp. 235-284, 2008.
- [21] S. Ram, K. Ramakrishnan, P. Atrey, V. Singh, and M. Kankanhalli, "A design methodology for selection and placement of sensors in multimedia surveillance systems," in Proceedings of the 4th ACM international workshop on Video surveillance and sensor networks, pp. 121-130, 2006.
- [22] H. Mohamadi, A. S. Ismail, and S. Salleh, "Utilizing distributed learning automata to solve the connected target coverage problem in directional sensor networks," *Sensors and Actuators A: Physical*, vol. 198, pp. 21-30, 2013.
- [23] N. A. A. Aziz, K. A. Aziz, and W. Z. W. Ismail, "Coverage strategies for wireless sensor networks," *World academy of science, Engineering and technology*, vol. 50, pp. 145-150, 2009.
- [24] S. Soro and W. Heinzelman, "A survey of visual sensor networks," *Advances in multimedia*, vol. 2009, 2009.
- [25] A. Hossain, P. Biswas, and S. Chakrabarti, "Sensing models and its impact on network coverage in wireless sensor network," in *Industrial and Information Systems, 2008. ICIIS 2008. IEEE Region 10 and the Third international Conference on*, pp. 1-5, 2008.
- [26] A. Fanimokun and J. Frolik, "Effects of natural propagation environments on wireless sensor network coverage area," in *System Theory, 2003. Proceedings of the 35th Southeastern Symposium on*, pp. 16-20, 2003.
- [27] J. O'Rourke, "Art gallery theorems and algorithms," *Oxford University Press Oxford*, vol. 57, 1987.
- [28] M. A. Guvensan and A. G. Yavuz, "On coverage issues in directional sensor networks: A survey," *Ad Hoc Networks*, vol. 9, pp. 1238-1255, 2011.
- [29] Z. W. Geem, J. H. Kim, and G. Loganathan, "A new heuristic optimization algorithm: harmony search," *Simulation*, vol. 76, pp. 60-68, 2001.
- [30] Z. W. Geem, "Music-inspired harmony search algorithm: theory and applications," vol. 191, Springer, 2009.
- [31] B. Wu, C. Qian, W. Ni, and S. Fan, "Hybrid harmony search and artificial bee colony algorithm for global optimization problems," *Computers & Mathematics with Applications*, vol. 64, pp. 2621-2634, 2012.
- [32] T. Starkweather, D. Whitley, and K. Mathias, "Optimization using distributed genetic algorithms," in *International Conference on Parallel Problem Solving from Nature*, pp. 176-185, 1990.
- [33] P. G. Busacca, M. Marseguerra, and E. Zio, "Multiobjective optimization by genetic
- [6] N. J. Navimipour, "Control the Topology and Increase the Tolerance of Heterogeneous Wireless Sensor Networks," *International Journal of Advanced Research in Computer Science*, vol. 2, 2011.
- [7] N. J. Navimipour and A. M. Rahmani, "The New Genetic Based Method with Optimum Number of Super Node for Fault Tolerant System in Heterogeneous Wireless Sensor Network," *International Journal of Computer and Electrical Engineering*, vol. 2, p. 99, 2010.
- [8] S. Abdollahzadeh and N. J. Navimipour, "Deployment strategies in the wireless sensor network: a comprehensive review," *Computer Communications*, vol. 91, pp. 1-16, 2016.
- [9] S. Soro and W. B. Heinzelman, "On the coverage problem in video-based wireless sensor networks," in *Broadband Networks, BroadNets 2005. 2nd International Conference on*, pp. 932-939, 2005.
- [10] D. G. Costa and L. A. Guedes, "The coverage problem in video-based wireless sensor networks: A survey," *Sensors*, vol. 10, pp. 8215-8247, 2010.
- [11] C.-F. Huang and Y.-C. Tseng, "The coverage problem in a wireless sensor network," *Mobile Networks and Applications*, vol. 10, pp. 519-528, 2005.
- [12] M. Cardei, M. T. Thai, Y. Li, and W. Wu, "Energy-efficient target coverage in wireless sensor networks," in *INFOCOM 2005. 24th annual joint conference of the IEEE computer and communications societies. proceedings IEEE, 2005*, pp. 1976-1984.
- [13] B. Liu, O. Dousse, J. Wang, and A. Saipulla, "Strong barrier coverage of wireless sensor networks," in *Proceedings of the 9th ACM international symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2008*, pp. 411-420.
- [14] S. A. Mostafavi and M. Dehghan, "Optimal visual sensor placement for coverage based on target location profile," *Ad Hoc Networks*, vol. 9, pp. 528-54, 2011, 1.
- [15] D. Chrysostomou, G. C. Sirakoulis, and A. Gasteratos, "A bio-inspired multi-camera system for dynamic crowd analysis," *Pattern Recognition Letters*, vol. 44, pp. 141-151, 2014.
- [16] U. M. Erdem and S. Sclaroff, "Automated camera layout to satisfy task-specific and floor plan-specific coverage requirements," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 103, pp. 156-169, 2006.
- [17] A. Newell and K. Akkaya, "Distributed collaborative camera actuation for redundant data elimination in wireless multimedia sensor networks," *Ad Hoc Networks*, vol. 9, pp. 514-527, 2011.
- [18] Y. Yao, C.-H. Chen, B. Abidi, D. Page, A. Koschan, and M. Abidi, "Can you see me now? Sensor positioning for automated and persistent surveillance," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 40, pp. 101-115, 2010.

- [35] K. S. Lee and Z. W. Geem, "A new structural optimization method based on the harmony search algorithm," *Computers & structures*, vol. 82, pp. 781-798, 2004.
- algorithms: application to safety systems," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 72, pp. 59-74, 2001.
- [34] A. Konak, D. W. Coit, and A. E. Smith, "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial," *Reliability Engineering & System Safety*, vol. 91, pp. 992-1007, 2006.

Optimal Placement of Cameras to Maximize Visual Coverage using Genetic Algorithm and Harmony Search

M. Karimi, N. Jafari Navimipour*

*Department of Computer Engineering, Tabriz Branch, Islamic Azad University, Tabriz, Iran
(Received: 29/12/2017, Accepted: 27/05/2018)

ABSTRACT

The Closed-Circuit Television (CCTV) system is effective in a variety of applications, such as traffic monitoring, crime prevention and the safety of public sites. Therefore, the area coverage of CCTV which increases security and maintains cost reduction is a challenging issue. The typical camera insertion techniques, often use design techniques and trial and error experience, which require more time and cannot determine the optimal location of the cameras. In this paper, we have proposed a new method for optimal camera placement based on computer graphics, harmony search and genetic algorithms. The proposed method can enhance visual coverage, and can also increase environment safety and reduce implementation costs. In the proposed method, the map of the building is received as an input, then the proposed algorithm increases the coverage area by calculating and changing the angles of the cameras and finding the best location in the sensing area. Single point crossover and random mask crossover are used in the proposed method; single point crossover method improving the time of search and the random mask crossover method providing nearly optimal coverage. Also, the population diversification in random mask crossover method leads to an optimal global answer, which has been the main problem in the previous methods. The proposed method increases visual area coverage up to 40%.

Keywords: Area Coverage, Closed Circuit Television (CCTV), Genetic Algorithm, Harmony Search Algorithm, Visual Sensor Networks