

انتخاب حسگر دوربین به منظور افزایش دقت تخمین ارتفاع و طول عمر شبکه

فهیمة فولادگر، شادرخ سماوی و محمدرضا سروش مهر

چکیده

در سال‌های اخیر، گسترش تکنولوژی حسگرهای دوربین و همچنین پردازش توزیع شده، موجب اهمیت شبکه‌هایی تحت عنوان شبکه حسگر دوربین گردیده است. این شبکه‌ها در کاربردهایی نظیر پایش محیط و ردیابی اهداف مورد استفاده قرار می‌گیرند. تشخیص حضور هدف، تعیین مکان و یا ارتفاع هدف در ناحیه مشخصی از محیط دیده‌بانی از مسائل مهم در چنین کاربردهایی محسوب می‌شود. تعیین ارتفاع هدف، بر اساس تصاویر دوربین‌ها، به دلیل مواردی از جمله وضوح تصویر و خطای لنز دارای خطا می‌باشد. به همین دلیل نیاز است دوربین‌هایی برای تخمین ارتفاع هدف انتخاب شوند که خطای اندازه‌گیری کمتری داشته باشند. به همین منظور در این مقاله ابتدا به بررسی و تخمین میزان خطای تعیین ارتفاع هدف با استفاده از دو دوربین می‌پردازیم. در این راستا مدل هندسی جامعی برای تحلیل خطای اندازه‌گیری حاصل از کوانتیزاسیون صفحه تصویر دوربین ارائه می‌شود که در سیستم‌هایی با بیش از دو دوربین نیز قابل اعمال می‌باشد. در ادامه با توجه به نیاز افزایش دقت تعیین ارتفاع هدف در شبکه حسگر دوربین، الگوریتم‌های حریصانه و ژنتیک برای انتخاب دوربین‌های مناسب در سطح شبکه ارائه شده است. برخلاف روش‌های موجود، در الگوریتم‌های پیشنهادی، دقت تعیین ارتفاع هدف به همراه محدودیت‌های حاکم بر شبکه حسگر دوربین، در نظر گرفته شده است تا بدین وسیله در حالی که دقت اندازه‌گیری‌ها افزایش می‌یابد، طول عمر شبکه نیز افزایش یابد. نتایج شبیه‌سازی‌ها حاکی از آن است که معیارهای ارائه شده، می‌تواند موجب کاهش بار محاسباتی و میزان مصرف انرژی شبکه و افزایش سرعت انتخاب گردد.

کلید واژه‌ها

شبکه حسگر دوربین، تعیین ارتفاع هدف، انتخاب دوربین، طول عمر شبکه.

لرزه، اکتشاف محیط‌های پرخطر، تشخیص ورودهای غیرمجاز و غیره هستند [۱]. حسگرهای اسکالر، داده‌های محدودی تولید می‌کنند که برای کاربردهای گسترده مناسب نیست. گسترش تکنولوژی حسگرهای دوربین و پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه پردازش توزیع شده، موجب اهمیت آن‌ها در سال‌های اخیر شده است. به همین منظور در کاربردهایی نظیر دیده‌بانی، پایش خودکار و ردیابی اهداف، شبکه‌های حسگر دوربین مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این شبکه‌ها تعداد زیادی گره دوربین در یک سیستم توزیع شده وجود دارد که هر گره دوربین، قادر به پردازش داده‌های تصویر، به صورت محلی و استخراج داده‌های مناسب و همکاری با دوربین‌های دیگر بر حسب کاربرد موردنظر

۱ مقدمه

در حوزه شبکه‌های حسگر بی‌سیم که در آن‌ها داده‌های اسکالر مانند فشار، لرزش، دما و حرارت، جمع‌آوری می‌گردد، مباحث و تحقیقات فراوانی انجام گرفته است. این شبکه‌ها دارای کاربردهای زیادی از جمله ادراک و تشخیص وقوع بلایای طبیعی مانند زمین

این مقاله در مردادماه ۱۳۹۱ دریافت، در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲ بازنگری و در اردیبهشت‌ماه ۱۳۹۲ پذیرفته شد.

فهیمة فولادگر، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده برق و کامپیوتر
f.fooladgar@ec.iut.ac.ir
شادرخ سماوی، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده برق و کامپیوتر
samavi96@cc.iut.ac.ir

محمدرضا سروش مهر، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده برق و کامپیوتر
soroush@ec.iut.ac.ir

¹ Automatic surveillance

² Target tracking

داده‌است و در قالب روش مبتنی بر آنتروپی، میزان اطلاعات مناسبی را که هر دوربین و یا مجموعه دوربین‌ها در اختیار قرار می‌دهد، اندازه‌گیری می‌کند.

در [۱۶] به بررسی انتخاب حسگرهای مناسب به منظور حداقل کردن خطا در تخمین مکان هدف می‌پردازد. برای این منظور از مدلی کلی و دو بُعدی از حسگرها استفاده شده‌است. در این روش، انرژی حسگرها برای انتخاب در نظر گرفته نمی‌شود. نویسندگان مرجع [۱۷]، به دنبال ارائه روشی به منظور تعیین مکان هدف برای محیط‌هایی با تعداد اهداف زیاد بوده‌اند. در این مرجع به نوعی مکان‌هایی را که از عدم حضور هدف مطمئن می‌باشد، پیدا کرده و سپس با ترکیب داده‌ها از مجموعه‌ای از حسگرها، نواحی بررسی نشده را به عنوان مکان حضور اهداف در نظر می‌گیرد. مرجع [۱۸] نیز به تعیین مکان هدف می‌پردازد و با فرض داشتن میانگین و کواریانس توزیع احتمال مکان اولیه هدف، از تخمین خطی و میانگین مربع خطا بهره می‌برد. در این مقاله، به انرژی حسگرها توجهی نشده است و انتخاب دوربین‌ها بر اساس میانگین مربع خطا می‌باشد. نویسندگان مقاله [۱۹]، به بررسی مسئله تعیین مکان هدف در شبکه حسگر ناهمگن^۲ پرداخته‌اند که در آن ترکیبی از حسگرهای دوربین و حسگرهای مغناطیسی استفاده شده‌است.

در [۲۰]، الگوریتم انتخاب دوربین‌های مناسب، جهت تعیین ارتفاع هدف در شبکه حسگر دوربین ارائه گردیده‌است. در این مقاله، خطای حاصل از کوانتیزاسیون صفحه تصویر دوربین در نظر گرفته شده است که با استفاده از تقاطع هرم‌های متناظر پیکسل‌های هدف در دو دوربین محاسبه می‌گردد. سپس به منظور بهره‌مندی بهتر از دوربین‌های شبکه، از انرژی باقی‌مانده دوربین‌ها به عنوان معیاری برای انتخاب آن‌ها استفاده می‌کند. در [۲۱] از جداول مراجعه‌ای^۳ برای ذخیره دوربین‌های مطلوب برای هر ناحیه مشخصی از فضا استفاده شده‌است. در این مقاله هر دوربین، جدول مراجعه‌ای دارد که در آن مشخص می‌کند که برای مشاهده یک نقطه، کدام دوربین مطلوب‌تر است. مرجع [۲۲] به مطالعه مسئله ردیابی و تعیین مکان هدف در شبکه‌های بزرگ پرداخته است، هدف نهایی مقاله، انتخاب حداقل دوربین‌ها برای تعیین مکان هدف، حتی پس از ناپدید شدن موقتی هدف می‌باشد.

با توجه به مطالب فوق، مشاهده می‌شود در هیچ یک از روش‌های موجود، خطای هندسی تعیین ارتفاع هدف بررسی نشده است. همچنین در برخی از روش‌های موجود که به بررسی خطای اندازه‌گیری‌ها با استفاده از مدل‌های احتمالی پرداخته شده‌است، انرژی مصرفی شبکه و میزان اهمیت حضور هر دوربین در شبکه لحاظ نشده‌است. در نتیجه هدف این مقاله، تعیین ارتفاع هدف

می‌باشد [۲]. این شبکه‌ها، به دلیل محدودیت‌های منابع، از جمله محدودیت انرژی، محدوده ارتباطی کوتاه، پهنای باند کم و امکانات پردازشی و فضای ذخیره سازی کم در هر گره، به الگوریتم‌ها و پروتکل‌های جدیدی برای ارتباط و پردازش داده‌ها نیاز دارند.

برای بهره‌مندی از دقت و قابلیت اعتماد مناسب در محاسبات و اندازه‌گیری‌ها، لازم است، از تعداد حسگر بیش‌تری استفاده شود. اما در طرف مقابل، استفاده از تعداد حسگر زیاد، موجب افزایش تبادل اطلاعات بین حسگرها و افزایش مصرف انرژی شبکه می‌شود. به همین منظور برای ایجاد تعادل بین دقت و کارایی شبکه، ضروری است مجموعه‌ای از حسگرها به گونه‌ای انتخاب شوند که دقت محاسبات افزایش یافته و هم‌چنین کارایی شبکه تضمین گردد. در شبکه حسگر دوربین، مسئله انتخاب دوربین‌های مناسب می‌تواند به منظور دستیابی به پوشش، تعیین ارتفاع و یا مکان هدف و ردیابی هدف انجام گیرد [۳].

در [۴-۱۲]، مسئله انتخاب دوربین‌ها به منظور پوشش شبکه بررسی شده‌است. در [۱۱] معیارهایی برای انتخاب دوربین‌ها ارائه شده و بر اساس آن‌ها دوربین‌های مناسب برای ایجاد پوشش کامل در شبکه انتخاب می‌شود و مابقی دوربین‌ها برای افزایش طول عمر شبکه غیرفعال می‌شوند. در [۱۲]، به مسئله فراهم آوردن پوشش برای سیستم حضور از راه دور^۱ پرداخته شده‌است. در این سیستم‌نماز است مجموعه‌ای از مناسب‌ترین دوربین‌ها انتخاب شوند به گونه‌ای که ناحیه موردنظر کاربر به صورت کامل پوشش داده‌شود. در روش ارائه شده هم انرژی حسگرها و هم نیازمندی‌های کاربر در نظر گرفته می‌شود.

در [۱۳]، مسئله تعیین مکان هدف بررسی شده است. برای این کار از بین مجموعه‌ای از دوربین‌ها که هدف را می‌بینند، زیر مجموعه‌ای انتخاب می‌شود که علاوه بر هزینه کم، سودمندی حداکثری داشته باشد. برای این منظور دو معیار هزینه و سودمندی بر اساس مجموع انرژی لازم برای ارسال و دریافت اطلاعات و مفهوم آنتروپی و قانون احتمال بیز ارائه شده است. نویسندگان مرجع [۱۴]، الگوریتمی را در دو مرحله تشخیص و تعیین مکان هدف ارائه داده‌اند. در مرحله تشخیص هدف، الگوریتمی ارائه شده که به نوعی میزان چگالی گره‌های موجود در شبکه را کنترل می‌کند و در مرحله تعیین مکان هدف نیز، از همان روش مبتنی بر آنتروپی [۱۳]، استفاده می‌شود. با در نظر گرفتن این نکته که در شبکه‌های حسگر دوربین، وابستگی زیادی بین تصاویر دریافتی از دوربین‌های دارای همپوشانی میدان دید وجود دارد، مرجع [۱۵] قصد دارد که بهترین دوربین‌ها از نظر محتوای اطلاعاتی در هر مرحله از شبکه انتخاب شود. به همین منظور، مدلی مبتنی بر وابستگی فضایی برای اطلاعات بصری در این شبکه‌ها ارائه

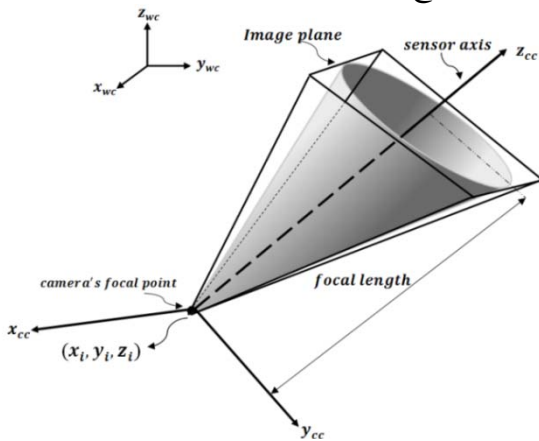
² Heterogeneous sensor network

³ Look-up table

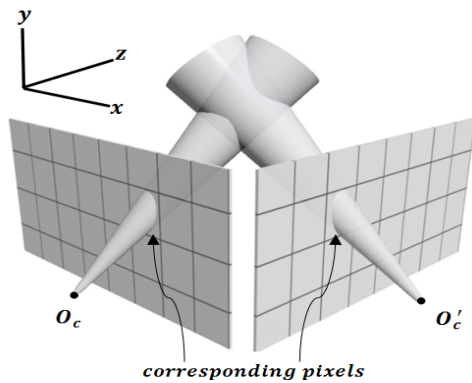
¹ Telepresence system

به این دلیل است که به محض حضور هدف در شبکه، وجود هدف تشخیص داده شود.

از مهم‌ترین عملیات در بینایی ماشین، تخمین مکان سه بُعدی هدف از طریق استریو می‌باشد. در این کاربرد، از تفاوت مکانی نقاط در صفحات تصویر دوربین‌ها استفاده می‌شود، به همین دلیل مکان دقیق نقطه موردنظر در صفحه دوربین بسیار اهمیت دارد. یکی از منابع بسیار مهم خطا در تخمین مکان هدف، خطای حاصل از کوانتیزاسیون صفحه تصویر دوربین می‌باشد. فرض کنید دو دوربین داریم و نقطه P در دوربین سمت چپ و راست در p_l و p_r نگاشت می‌شود. در صورت عدم وجود نویز و کوانتیزاسیون صفحه تصویر، خط گذرنده از نقطه p_l و نقطه مرکزی دوربین سمت راست، یکدیگر را در نقطه P قطع می‌کنند و در این صورت مکان نقطه هدف در فضای سه بُعدی به سادگی و بدون خطا محاسبه می‌شود. ولی در صورت وجود کوانتیزاسیون در صفحه تصویر، نقاط نگاشت شده در مکان‌های واقعی خود نخواهند بود. ناحیه‌ای که امکان حضور مکان واقعی نقطه نگاشت شده در صفحه تصویر دوربین می‌باشد را به صورت مربعی به اندازه یک پیکسل و به مرکز نقطه نگاشت شده در نظر می‌گیرند. بنابراین الزامی برای تقاطع دو خط مذکور نخواهد بود.



شکل ۱ میدان دید دوربین



شکل ۲ ناحیه ابهام حاصل از تقاطع دو مخروط حاصل از دو پیکسل متناظر

بر اساس مدلی هندسی و با دقت مناسب در شبکه حسگر دوربین به همراه در نظر گرفتن محدودیت‌های حاکم بر آن است. تعیین ارتفاع هدف بر اساس تصاویر دوربین‌ها، به واسطه مواردی از جمله وضوح تصویر و خطای لنز، دارای خطا می‌باشد. از این رو نیاز است دوربین‌هایی برای تخمین ارتفاع هدف استفاده شوند که خطای اندازه‌گیری کمتری داشته باشند و همچنین، محدودیت‌هایی هم‌چون پهنای باند، مصرف انرژی، ضرورت حضور دوربین در شبکه که از جمله مسائل مهم و تأثیرگذار بر عملکرد شبکه می‌باشد در انتخاب دوربین‌ها مدنظر قرار گیرد. برای رسیدن به چنین اهدافی در این مقاله، ابتدا روشی برای محاسبه خطای تعیین ارتفاع هدف ارائه می‌گردد، سپس برای کاهش محاسبات و هم‌چنین افزایش طول عمر شبکه، معیارهایی برای انتخاب حسگرها بررسی و با در نظر گرفتن این معیارها، دو الگوریتم حریصانه و ژنتیک برای انتخاب دوربین‌های مناسب به منظور تعیین ارتفاع هدف پیشنهاد می‌شود. این الگوریتم‌ها در جهت بهبود کیفیت تخمین ارتفاع و افزایش طول عمر شبکه ارائه می‌گردند.

در ادامه، در بخش ۲، مدلی هندسی برای تخمین میزان خطای تعیین ارتفاع هدف پیشنهاد می‌گردد که با استفاده از آن می‌توان خطای تخمین ارتفاع هدف توسط دو دوربین را محاسبه کرد. بخش ۳ این مقاله، به بررسی معیارها و الگوریتم‌هایی برای انتخاب دوربین‌های مناسب در شبکه به منظور تعیین ارتفاع هدف می‌پردازد. در بخش ۴، شبیه‌سازی‌های انجام گرفته ارائه می‌گردد و در بخش ۵ نیز به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری کلیه موارد ارائه شده در این مقاله پرداخته می‌شود.

۲ توصیف مسئله

در این بخش، مدل شبکه، توزیع گره‌های حسگر و روش پیشنهادی تخمین خطای تعیین ارتفاع هدف بررسی می‌شود.

۲-۱ مدل شبکه و معیار خطای تخمین ارتفاع هدف

در این مقاله، فرض بر داشتن مجموعه‌ی بزرگی از حسگرهای دوربین است که به صورت تصادفی در ناحیه وسیعی قرار گرفته‌اند و پس از توزیع آن‌ها، مرحله کالیبراسیون انجام می‌شود. در این مرحله، مکان و زاویه دید حسگرها مشخص می‌گردد. شکل ۱ میدان دید دوربین منفذ نوری^۱ را در مختصات دوربین نشان می‌دهد. مطابق شکل، میدان دید دوربین می‌تواند به صورت هرم یا مخروطی در نظر گرفته شود که رأس آن، مکان دوربین می‌باشد که در مرکز محور مختصات دوربین قرار دارد و مکان دوربین در محور مختصات جهانی مقدار (x_i, y_i, z_i) را دارد. هم‌چنین فرض شده که توزیع دوربین‌ها به گونه‌ای است که شبکه دارای پوشش کامل از ارتفاع H_{min} تا ارتفاع H_{max} می‌باشد. این فرض

¹ Pin hole camera

دوربین بیان شده است، زیرا رأس مخروط در مبدأ مختصات دوربین در نظر گرفته شده است.

در [۲۵] عنوان شده که محاسبه تقاطع دو مخروط به سادگی انجام نمی‌گیرد. هم‌چنین محاسبه حجم حاصل از تقاطع دو مخروط با استفاده از انتگرال‌گیری بسیار پیچیده می‌باشد. به همین منظور، در این مقاله روشی ساده برای محاسبه مجموع نقاط تقاطع دو مخروط بر اساس تقاطع خط و مخروط ارائه می‌شود که در ادامه به بررسی آن می‌پردازیم.

فرض کنید، دو پیکسل متناظر در دو دوربین را به همراه مخروط‌های متناظر آن‌ها در اختیار داریم. در روش پیشنهادی، به منظور تقاطع دو مخروط و یافتن مجموعه‌ای از نقاط تقاطع، هر مخروط را با چهار خط گذرنده از چهار رأس پیکسل مربعی مخروط متناظر در دوربین دیگر تقاطع می‌دهیم. در ادامه در توصیف روابط ریاضی تقاطع خط و مخروط، مخروط حاصل از پیکسل مورد نظر در دوربین سمت راست را با یکی از خطوط گذرنده از یکی از چهار رأس مربع محیط شده بر پیکسل دایره‌ای در دوربین سمت چپ تقاطع می‌دهیم. در این صورت بایستی، معادله مخروط و خط را در مختصات جهانی بدست آوریم. با استفاده از ماتریس چرخش و انتقال دوربین، معادله مخروط حاصل از پیکسل مورد نظر در دوربین سمت راست در دستگاه مختصات جهانی به صورت زیر بیان می‌شود

$$P^T Q_w P = 0 \quad (۳)$$

در رابطه فوق، $P = P_w - O'_c$ می‌باشد که O'_c مختصات مرکز دوربین سمت راست (رأس مخروط) در مختصات جهانی است و $P_w = (X_w, Y_w, Z_w)$ مکان نقطه‌ای از مخروط در مختصات جهانی می‌باشد. Q_w نیز در رابطه (۴) تعریف شده است.

$$Q_w = R^T Q_c R \quad (۴)$$

در این رابطه، R ماتریس چرخش دوربین سمت راست می‌باشد. روابط ۳ و ۴، نحوه انتقال مخروط از مختصات دوربین به مختصات جهانی را نشان می‌دهد. با استفاده از ماتریس چرخش و انتقال هر دوربین که از فرآیند کالیبراسیون دوربین استخراج می‌شود، می‌توان نقاط موجود در مختصات دوربین را به مختصات جهانی و یا بالعکس منتقل کرد. چنین روابطی، روابط تبدیل پرسپکتیو می‌باشد که در [۲۶] بیان گردیده‌اند.

در مرحله بعد بایستی معادله خط گذرنده از مرکز دوربین سمت چپ و یکی از چهار رأس پیکسل مربعی متناظر، در دوربین سمت چپ را در مختصات جهانی بدست آوریم. معادله پارامتری خط به فرم ماتریسی در رابطه (۵) بیان شده است.

$$P_w = Nt + O_c \quad (۵)$$

در رابطه فوق، $N = p_a - O_c$ بردار هادی خط می‌باشد، O_c مرکز نوری دوربین سمت چپ، p_a یکی از رئوس پیکسل مربعی و t پارامتر خط می‌باشد. با جایگذاری P_w از رابطه‌ی فوق در رابطه (۳)

به معادله درجه دوم با متغیر t می‌رسیم

$$c_2^2 t + 2c_1 t + c_0 = 0 \quad (۶)$$

در نتیجه به جای تعیین یک نقطه به عنوان مکان هدف، ناحیه سه بُعدی ایجاد می‌گردد که به آن ناحیه ابهام^۱ اطلاق می‌گردد و هر نقطه در این ناحیه می‌تواند به عنوان مکان هدف در نظر گرفته شود.

مرجع [۲۳]، از تقاطع هرم‌های متناظر هر پیکسل به منظور محاسبه حجم ناحیه ابهام حاصل از کوانتیزاسیون صفحه تصویر استفاده می‌کند. در این مرجع، برای یافتن نقاط تقاطع، لازم است هر دو صفحه مجاور در هر هرم را با تمام صفحات هرم متناظر از دوربین دیگر تلاقی داد. بنابراین برای هر هرم، ۱۶ عمل تقاطع نیاز است و نهایتاً ۳۲ عمل تقاطع برای تقاطع دو هرم بایستی انجام گیرد. اما در مدل پیشنهادی ما در این مقاله، برای محاسبه خطای حاصل از کوانتیزاسیون صفحه تصویر، میدان دید هر پیکسل با مخروطی مدل می‌شود که رأس آن در مکان دوربین می‌باشد و صفحه تصویر دوربین را در پیکسل دایره‌ای قطع می‌کند. در نتیجه در این مدل، از تقاطع دو مخروط استفاده می‌شود. در این روش، به جای در نظر گرفتن صفحات هرم، مدلی کلی ارائه گردیده که می‌توان آن را برای تقاطع بیش از دو مخروط هم به راحتی استفاده کرد. در واقع با اضافه شدن هر دوربین، تنها معادله مخروط پیکسل متناظر اضافه می‌گردد. در نهایت در این روش ۸ عمل تقاطع به جای ۳۲ تقاطع انجام می‌گیرد. در ادامه مدل ریاضی این روش شرح داده می‌شود.

۲-۲ مدل ریاضی پیشنهادی

فرض کنید هدفی در فضای سه بُعدی داریم. این هدف در دو دوربین سمت راست و چپ نگاشت شده است (مطابق شکل ۲). تمام نقاط نگاشت شده به پیکسل مشخص، در درون مخروط (و یا هرمی) قرار می‌گیرد که از مرکز نوری دوربین و پیکسل دایره‌ای (و یا چهار رأس مربع تشکیل دهنده هرم) می‌گذرد. مجموعه‌ی خطوطی که از مرکز نوری دوربین (مرکز مختصات دوربین) و پیکسل دایره‌ای شکل در صفحه تصویر دوربین عبور می‌کند، مخروط مایلی^۲ را ایجاد می‌کند (شکل ۲) که معادله چنین مخروطی در مختصات دوربین در رابطه زیر بیان شده است [۲۴].

$$P_c^T Q_c P_c = 0 \quad (۱)$$

در این رابطه، $P_c = (X_c, Y_c, Z_c)$ نقطه‌ای از مخروط مایل در مختصات دوربین می‌باشد و ماتریس Q_c نیز به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$Q_c = \begin{pmatrix} 1 & 0 & -x_0/z_0 \\ 0 & 1 & -y_0/z_0 \\ -x_0/z_0 & -y_0/z_0 & (x_0^2 + y_0^2 - r^2)/z_0^2 \end{pmatrix} \quad (۲)$$

در این رابطه (x_0, y_0, z_0) مرکز پیکسل و r شعاع پیکسل می‌باشد. ذکر این نکته ضروری است که معادله مخروط فوق در مختصات

^۱ Uncertainty region

^۲ Oblique cone

۳-۳ معیار انتخاب دوربین‌ها

در شبکه حسگر، به دلیل اهمیت انرژی و محدودیت آن، ضروری است در تمام مراحل، از انرژی به صورت بهینه‌ای استفاده شود. به همین منظور، نیاز است بعضی حسگرها غیر فعال شده و در زمان‌های مناسبی فعال شوند. در این شبکه‌ها به دلیل تفاوت موجود در همسایگی ادراکی و ارتباطی حسگرها، ممکن است حسگری، انرژی باقی‌مانده زیاد و هزینه مسیریابی کمی داشته باشد ولی تنها حسگری باشد که ناحیه‌ی مشخصی از محدوده دیده‌بانی را مشاهده می‌کند، به همین منظور انتخاب این حسگر با در نظر گرفتن معیار هزینه ارسال و میزان انرژی باقی‌مانده، موجب استفاده از آن و از دست رفتن انرژی آن می‌شود و در صورت تخلیه انرژی حسگر، اختلالی در پوشش شبکه ایجاد می‌شود. به همین دلیل بایستی این حسگر، تنها در مواقع ضروری مورد استفاده قرار گیرد و تا حد امکان استفاده از آن در اولویت کمی باشد. در این بخش، معیار هزینه ارسال اطلاعات و معیار اهمیت دوربین در شبکه ارائه می‌شود و از ترکیب آن‌ها، معیار هزینه برای هر حسگر محاسبه می‌شود. در معیار هزینه‌ی ارسال اطلاعات، انرژی باقی‌مانده و هزینه ارسال اطلاعات هر حسگر به ایستگاه مرکزی در نظر گرفته می‌شود.

$$\text{Energy_Cost}(c_i) = (ke_l + e_p)/e_r(c_i) \quad (9)$$

در این رابطه $e_r(c_i)$ ، انرژی باقی‌مانده حسگر c_i ، e_p ، هزینه ادراک و پردازش آن و ke_l ، انرژی مصرفی شبکه برای ارسال اطلاعات این حسگر به ایستگاه مرکزی می‌باشد. e_l ، هزینه ارسال اطلاعات از هر لینک شبکه است و k تعداد حسگرهای موجود در کوتاه‌ترین مسیر ارسال اطلاعات از حسگر c_i به ایستگاه مرکزی می‌باشد. هر چه میزان انرژی مصرفی برای ارسال اطلاعات، کمتر باشد، هزینه کمتری به شبکه تحمیل می‌شود. از طرف دیگر هر چه انرژی باقی‌مانده حسگر بیشتر باشد، اولویت آن برای انتخاب بیشتر می‌شود و در نتیجه طول عمر شبکه از طریق استفاده از دوربین‌های کم هزینه افزایش خواهد یافت.

در معیار اهمیت هر دوربین، میزان همپوشانی دوربین با تمام دوربین‌های شبکه و هم‌چنین میزان انرژی باقی‌مانده دوربین‌ها در نظر گرفته می‌شود. هر چه ناحیه‌ای که یک دوربین می‌بیند، توسط تعداد دوربین‌های کمتر و با انرژی باقی‌مانده کمتری دیده‌شود، این دوربین در شبکه اهمیت بیشتری خواهد داشت و از دست دادن این دوربین تأثیر بیشتری در عملکرد شبکه و به ویژه در کاربردهای خاصی مانند دیده‌بانی و پوشش محیط بر جای خواهد گذاشت. معیار اهمیت دوربین c_i در رابطه (۱۰) تعریف شده‌است، هر چه ضرورت حضور دوربین در شبکه کم‌تر باشد، اولویت انتخاب آن دوربین بیش‌تر خواهد بود.

$$\text{Essentiality}(c_i) = \frac{1}{|FOV(c_i)| \times e_r(c_i) + \sum_{c_j \in c} (\text{overlap}(c_i, c_j) \times e_r(c_j))} \quad (10)$$

ضرایب c_0, c_1, c_2 به منظور سادگی رابطه استفاده شده‌اند و برابر $c_0 = \Delta^T Q_w \Delta$ ، $c_1 = N^T Q_w N$ ، $c_2 = N^T Q_w \Delta$ می‌باشند. با حل رابطه (۶)، حداکثر دو نقطه برخورد خط و مخروط بدست می‌آید. این عملیات، برای تمام چهار خط‌گذرنده از هر چهار رأس پیکسل در دوربین سمت چپ انجام می‌گیرد و نقاط تقاطع بدست می‌آید. برخی از این نقاط تقاطع بر روی مخروط ایجاد شده در پشت دوربین واقع شده‌اند که بایستی نقاط تقاطع ایجاد شده در مخروط بازتابی با در نظرگرفتن شرط $P_w - O'_c \geq 0$ حذف گردد. سپس تمام عملیات ذکر شده برای مخروط دوربین سمت چپ و با خطوط‌گذرنده از چهار رأس پیکسل مورد نظر در دوربین سمت راست انجام می‌گیرد. به این ترتیب، تمام نقاط تقاطع حاصل از دو مخروط در دو دوربین چپ و راست از طریق ۸ تقاطع خط و مخروط بدست می‌آید. بررسی روش پیشنهادی تخمین ارتفاع هدف و مقایسه آن با روش‌های دیگر در [۲۷] بیان شده است.

۳ الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب دوربین

در این بخش، دو الگوریتم به منظور انتخاب حسگرهای مناسب در شبکه برای تعیین ارتفاع هدف ارائه می‌گردد. در الگوریتم‌های ارائه شده در این بخش علاوه بر دقت اندازه‌گیری (معیار خطا)، محدودیت طول عمر شبکه (معیار هزینه) نیز در نظر گرفته می‌شود. هم‌چنین معیاری برای کاهش پیچیدگی محاسباتی و در نتیجه انرژی مصرفی ارائه خواهد شد. در ادامه، معیار خطای تعیین ارتفاع هدف، معیار انتخاب و الگوریتم‌های پیشنهادی بیان می‌گردند.

۳-۲ معیار خطای تعیین ارتفاع هدف

در بخش ۱-۲، روشی برای تخمین خطای تعیین مکان هدف با استفاده از دو دوربین پیشنهاد شد. در روش پیشنهادی، مجموعه نقاط حاصل از تقاطع دو مخروط‌گذرنده از پیکسل‌های متناظر هدف در دو دوربین محاسبه می‌گردد. فرض کنید $V_{(i,j)}$ مجموعه نقاط حاصل از تقاطع دو مخروط c_i و c_j است و $u = (u_1, u_2, u_3)$ نقطه‌ای دلخواه از $V_{(i,j)}$ باشد، بیش‌ترین کم‌ترین مقدار در راستای ارتفاع (z) به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$z_{min}(i, j) = \min(u_3)_{u \in V_{(i,j)}} \quad (7)$$

$$z_{max}(i, j) = \max(u_3)_{u \in V_{(i,j)}}$$

در این صورت معیار خطا در راستای ارتفاع براساس روابط فوق به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$\text{Error}(c_i, c_j) = \frac{z_{max}(i, j) - z_{min}(i, j)}{H_{max} - H_{min}} \quad (8)$$

باتوجه به مدل شبکه در نظر گرفته‌شده، فرض شده که توزیع دوربین‌ها به گونه‌ای است که شبکه دارای پوشش کامل از ارتفاع H_{min} تا ارتفاع H_{max} می‌باشد.

در الگوریتم پیشنهادی، دو دوربین c_i و c_j از مجموعه دوربین‌های کاندید به صورت زیر انتخاب می‌شوند.

$$SA(C_c, \tau) = \underset{(c_i, c_j) \in C_c, Error(c_i, c_j) < \tau}{\operatorname{argmin}} [SelMetric(c_i, c_j)] \quad (13)$$

در این رابطه، $SelMetric(c_i, c_j)$ معرف میزان معیار مورد استفاده برای انتخاب دوربین c_i و c_j است که در رابطه (12) تعریف شده است. هم‌چنین در صورتی که دوربین‌های c_i و c_j برای محاسبه ارتفاع به‌کار برده شوند $Error(c_i, c_j)$ بیانگر خطای حاصل از این محاسبه است (رابطه 8). در واقع، c_i و c_j زوج دوربینی است که معیار انتخاب آن‌ها حداقل است و هم‌چنین خطای تعیین ارتفاع هدف توسط این زوج دوربین کمتر از آستانه τ می‌باشد. شبه کد الگوریتم در شکل 3 آمده است. در این الگوریتم، فرض شده است که یکی از ورودی‌های الگوریتم، آرایه C_c (مجموعه دوربین‌های کاندید) و خروجی الگوریتم $OptimalCameraSet$ می‌باشد که در آن زوج دوربین انتخاب شده، نگهداری می‌شود. تابع $PairSort$ در خط دوم الگوریتم، تابعی دو ورودی می‌باشد، که تمام زوج دوربین‌های ورودی اول را براساس ورودی دوم (معیار انتخاب رابطه 12) به صورت صعودی مرتب می‌کند و در آرایه C_s نگهداری می‌شود. در خط سوم، $|C_s|$ اندازه آرایه C_s را نشان می‌دهد. به منظور یافتن خطای تعیین ارتفاع حاصل از هر دوربین، بایستی نقاط تقاطع مخروط‌های متناظر دو دوربین محاسبه شود. در خط 4، تابع $InterSect(C_s(i))$ ، نقاط حاصل از تقاطع دو مخروط را به عنوان خروجی برمی‌گرداند.

Algorithm : Greedy Camera Selection

Inputs - C_c : Candidate cameras, τ : Specified threshold,

H_{max}, H_{min} : Minimum and maximum heights.

BEGIN:

```

01. MinError = ∞
02.  $C_s = PairSort(C_c, SelMetric)$ 
03. FOR  $i = 1$  to  $|C_s|$ 
04.  $V = InterSect(C_s(i))$ 
05.  $z_{max} = \max(u_3)_{u \in V}$  ;  $z_{min} = \min(u_3)_{u \in V}$ 
06.  $Error = (z_{max} - z_{min}) / (H_{max} - H_{min})$ 
07. IF ( $Error < \tau$ )
08.  $OptimalCameraSet = (C_s(i))$ 
09. BREAK FOR loops
10. ELSEIF ( $Error < MinError$ )
11.  $OptimalCameraSet = (C_s(i))$ 
12.  $MinError = Error$ 
13. ENDIF
14. ENDFOR
END

```

Outputs - $OptimalCameraSet$

شکل 3 شبه کد الگوریتم حریصانه انتخاب دوربین‌ها

در این الگوریتم، جفت دوربینی که معیار خطا برای آن‌ها محاسبه شده ولی از آستانه تعیین شده بیشتر بوده و هم‌چنین حداقل خطای اندازه‌گیری بالاتر از آستانه را داشته‌اند، در متغیر $MinError$ قرار می‌گیرند، این جفت دوربین که حداقل خطای بالاتر از آستانه را تولید کرده‌اند در مجموعه $OptimalCameraSet$ نگهداری می‌گردد. در پایان، اگر هیچ دو دوربینی یافت نشد که خطای اندازه‌گیری آن‌ها از آستانه کمتر باشد،

مخرج رابطه فوق، نمایانگر میزان انرژی مجموع نقاط موجود در میدان دید دوربین c_i می‌باشد. در این رابطه $FOV(c_i)$ ، میدان دید دوربین c_i را نشان می‌دهد و $overlap(c_i, c_j) = |FOV(c_i) \cap FOV(c_j)|$ ، معرف میزان همپوشانی دوربین c_i و c_j می‌باشد. ایستگاه مرکزی، اطلاعاتی از مکان هر حسگر و نواحی که هر حسگر می‌تواند مشاهده کند در اختیار دارد، در نتیجه می‌تواند حجم ناحیه‌ای که هر حسگر پوشش می‌دهد و میزان همپوشانی بین آن‌ها را محاسبه کند. معیار هزینه کلی ارائه شده برای انتخاب دوربین‌ها، از ترکیب دو معیار هزینه ارسال و اهمیت دوربین به صورت زیر بیان می‌شود. در این رابطه، مقدار نرمالیزه شده‌ی دو معیار هزینه‌ی ارسال و اهمیت دوربین استفاده شده است.

$$Cost(c_i) = Essentiality(c_i) + Energy_Cost(c_i) \quad (11)$$

به منظور تجمیع معیار دقت و معیار هزینه که در رابطه (11) بیان شده است، ذکر این نکته ضروری است که در حالت استریو، هرچه فاصله بین دوربین‌ها بیشتر شود، خطای حاصل از کوانتیزاسیون صفحه تصویر دوربین، کمتر می‌شود [23]. در شبکه حسگری که دوربین‌ها در مکان‌های تصادفی و با زوایای متفاوتی قرار می‌گیرند، الزاماً با افزایش فاصله بین دو دوربین، خطای حاصل از تعیین ارتفاع کمتر نمی‌شود ولی می‌تواند به عنوان معیاری در بهتر شدن تخمین ارتفاع به کار گرفته شود. به همین منظور، این معیار به همراه تابع هزینه زیر، معیار انتخاب دوربین‌ها را تشکیل می‌دهد.

$$SelMetric(c_i, c_j) = \alpha \left(\frac{1}{dis(c_i, c_j)} \right) + \beta (Cost(c_i) + Cost(c_j)) \quad (12)$$

در این رابطه، $dis(c_i, c_j)$ نشان دهنده فاصله اقلیدسی بین دو دوربین c_i و c_j می‌باشد. پارامترهای α و β نیز، میزان تأثیر معیار فاصله و هزینه را تعیین می‌کند. این دو پارامتر براساس میزان اهمیت هر معیار، مقداری بین صفر و یک را اخذ کند.

هدف اصلی الگوریتم‌های پیشنهادی انتخاب دوربین، انتخاب دو دوربین از مجموعه دوربین‌هایی است که در هر لحظه هدف را می‌بینند به گونه‌ای که معیار انتخاب رابطه (12) حداقل شود در حالی که بهترین دقت تخمین ارتفاع نیز بدست آید. از آنجایی که برآوردن هر دوشروط با هم‌دیگر، غیر ممکن است و یا می‌تواند نیازمند محاسبات بالایی باشد، در ادامه، دو الگوریتم پیشنهادی حریصانه (GS)¹ و ژنتیک (GA)² به منظور حل مسئله انتخاب، ارائه می‌گردد.

3-3 الگوریتم پیشنهادی حریصانه

فرض کنید $C = \{c_1, c_2, \dots, c_N\}$ مجموعه دوربین‌های توزیع شده و $C_c \subseteq C$ مجموعه‌ای از دوربین‌ها باشد که در لحظه t هدف را می‌بینند، به این مجموعه دوربین‌ها، دوربین‌های کاندید می‌گویند.

¹ Greedy Search

² Genetic Algorithm

استفاده از بازترکیبی تک نقطه‌ای^۱ و جهش تغییر یک بیت^۲ تولید می‌گردد. جمعیت ثانویه، شامل کروموزوم‌هایی از جمعیت اولیه می‌باشد که معیار تابع ارزیابی اول برای آن‌ها حداقل باشد. در واقع اعضای جمعیت ثانویه در نسل‌های مختلف زیرمجموعه‌ای از جمعیت اولیه است که معیار تابع ارزیابی اول برای آن‌ها حداقل می‌باشد. برای کروموزوم‌های موجود در جمعیت ثانویه، تابع ارزیابی دوم محاسبه می‌شود. اگر میزان تابع ارزیابی دوم بهترین کروموزوم، از آستانه τ کمتر بود، الگوریتم ژنتیک خاتمه می‌یابد و دو خانه از بهترین کروموزوم که مقدار بیت یک دارد، برای تعیین ارتفاع هدف انتخاب می‌شود، در غیر این صورت الگوریتم ادامه می‌یابد.

۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها

به منظور ارزیابی الگوریتم‌های ارائه شده، شبیه‌سازی‌هایی در محیط *Matlab*، انجام شده است. در این شبیه‌سازی‌ها ۱۰۰ دوربین به صورت تصادفی کناخت، با زوایا و مکان‌های تصادفی در محیطی با ابعاد 100×100 توزیع شده‌اند. هم‌چنین مقدار هدفی در مسیری در محیط، شروع به حرکت می‌کند. در هر مرحله و تغییر مکان هدف، دوربین‌هایی که هدف را می‌بینند برای انتخاب و تعیین ارتفاع هدف بررسی می‌شوند. این کار تا زمانی که دوربینی برای مشاهده هدف یافت می‌شود ادامه می‌یابد. در ابتدای کار شبکه، ایستگاه مرکزی، اطلاعات دوربین‌ها از قبیل مکان و زاویه دید را دریافت می‌کند. در نتیجه، ایستگاه مرکزی می‌تواند ماتریس‌های همسایگی ادراکی و ارتباطی دوربین‌ها را تولید کند. در این شبیه‌سازی‌ها، هزینه ادراک و پردازش (e_p) ، واحد و هزینه ارسال اطلاعات از هر لینک شبکه (e_l) ، ۲۰ واحد در نظر گرفته شده است. هم‌چنین، برای یافتن مسیری برای ارسال اطلاعات از هر گره به ایستگاه مرکزی از الگوریتم دایجسترا^۳ استفاده گردیده است. در این الگوریتم، هر گره دارای برچسبی است که فاصله آن گره تا مبدأ را برحسب بهترین مسیر مشخص می‌کند. روشی که برای محاسبه طول مسیر در این الگوریتم استفاده کرده‌ایم، تعداد گام‌های بین مبدأ و گره مورد نظر می‌باشد. با استفاده از این الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدأ و گره حسگر به عنوان مسیر بهینه انتخاب می‌شود. این الگوریتم به طور مفصل در [۲۸] بیان شده است.

در این بخش، دو گروه شبیه‌سازی مطرح شده است. در گروه اول با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حریم‌ساز، تأثیر معیار فاصله بین دوربین‌ها (α) و معیار هزینه (β) در انتخاب دوربین‌ها به صورت مجزا مورد بررسی قرار گرفته است. در حالتی که $\beta = 1$

دو دوربین با کمترین خطا به عنوان دوربین‌های مناسب انتخاب می‌شوند.

۳-۴ الگوریتم پیشنهادی ژنتیک

در این بخش از الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب دوربین‌های مناسب برای تعیین ارتفاع هدف استفاده شده است. به این ترتیب نیاز است با توجه به معیار انتخاب، تابع ارزیابی در نظر گرفته شود و با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مقدار تابع ارزیابی حداقل شود. در الگوریتم پیشنهادی، مجموعه جواب به صورت رشته‌ای از بیت‌های صفر و یک در نظر گرفته شده است که طول آن برابر تعداد دوربین‌های کاندید می‌باشد. بیت یک، نشان دهنده انتخاب دوربین و بیت صفر نشان دهنده عدم انتخاب دوربین مورد نظر می‌باشد. تابع ارزیابی نیز باید میزان شایستگی هر عضو در جمعیت را مشخص کند. در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، تابع ارزیابی با توجه به سه معیار هزینه، فاصله بین دوربین‌ها و خطای تعیین ارتفاع تعریف می‌شود.

معیار فاصله و هزینه، با توجه به ماتریس همسایگی ارتباطی و ادراکی دوربین‌ها که در شبکه در هر دوره زمانی به‌روز می‌شود، محاسبه می‌گردد. اما معیار محاسبه خطای تعیین ارتفاع، باید در ایستگاه مرکزی محاسبه شود که مستلزم داشتن اطلاعاتی از مکان هدف در صفحه تصویر دوربین‌ها می‌باشد. این اطلاعات باید توسط گره‌های حسگر به ایستگاه مرکزی ارسال شود، اما انتقال اطلاعات تمام گره‌هایی که هدف را مشاهده می‌کنند، موجب کاهش انرژی شبکه می‌گردد. بنابراین محاسبه معیار خطا، برای تعداد دوربین زیاد، موجب کاهش انرژی مصرفی و افزایش بار محاسبات می‌گردد. به همین منظور در الگوریتم ژنتیک پایه، تغییراتی اعمال کرده‌ایم که تا حد امکان، معیار خطا، کمتر مورد ارزیابی قرار گیرد. به این ترتیب، دو تابع ارزیابی به صورت زیر تعریف و هم‌چنین از دو جمعیت در هر نسل استفاده می‌شود.

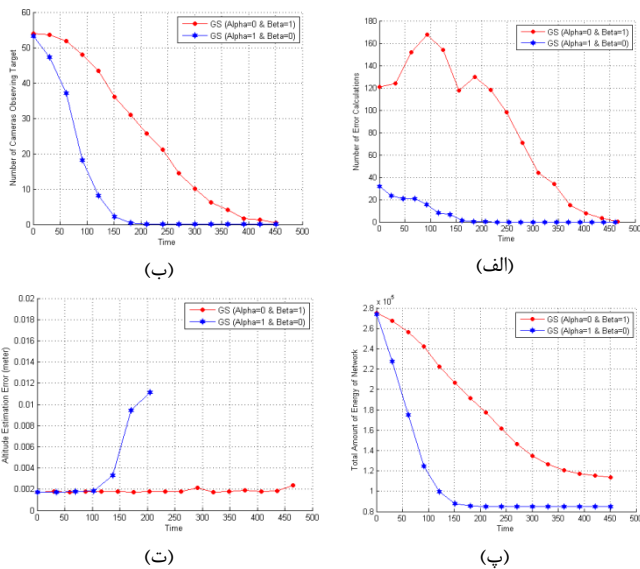
$$F_1 = SelMetric(c_m, c_n), F_2 = Error(c_m, c_n) \quad (14)$$

m و n بیت‌هایی از کروموزوم می‌باشد که حاوی مقدار یک هستند و متناظر دوربین‌های کاندیدای m و n خواهد بود. در این مسئله، حداکثر دو بیت از هر کروموزوم می‌تواند، مقدار یک داشته باشد. برای کروموزوم‌هایی که کم‌تر از دو مقدار یک دارند، مقدار تابع ارزیابی، بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود. همان‌گونه که گفته شد، در الگوریتم ژنتیک پیشنهادی دو جمعیت از کروموزوم‌ها وجود دارد. همواره اندازه جمعیت اولیه بیشتر از جمعیت ثانویه می‌باشد. برای جمعیت اولیه، تابع ارزیابی اول (F_1) و برای جمعیت ثانویه، تابع ارزیابی دوم (F_2) محاسبه می‌شود و بهترین کروموزوم از بین اعضای جمعیت ثانویه انتخاب خواهد شد. نسل اول جمعیت اولیه به صورت تصادفی و اعضای این جمعیت، در نسل‌های بعدی با

¹ One point Crossover

² Bit flip Mutation

³ Dijkstra's algorithm



شکل ۴ نتایج مقایسه الگوریتم حریصانه با معیار هزینه ($\alpha = 0$) و معیار فاصله ($\alpha = 1$ و $\beta = 0$). الف) تعداد دفعات محاسبه تابع *InterSect*. ب) تعداد دوربین‌هایی که هدف را مشاهده می‌کنند. پ) میزان انرژی باقی‌مانده شبکه. ت) میزان خطای تخمین ارتفاع هدف.

اما از سوی دیگر، معیار فاصله بین دوربین‌ها، در کاهش بارمحاسباتی تأثیرگذارتر است. در رابطه (۱۲)، همزمان با افزایش α بارمحاسباتی کاهش، اما مصرف انرژی افزایش می‌یابد، در نتیجه تعداد دوربین‌های زنده و دوربین‌هایی که هدف را مشاهده می‌کنند، و به تبع آن، طول عمر شبکه کاسته می‌شود. در نتیجه، با وجود رابطه معکوس بین دو معیار فاصله و معیار هزینه، بایستی با توجه به نیازهای شبکه و کاربرد مورد نظر، تعادلی بین آن‌ها ایجاد شود. در جدول ۲، منظور از متوسط پیچیدگی محاسبات، متوسط تعداد فراخوانی‌های تابع *InterSect* می‌باشد. هم‌چنین منظور از متوسط انرژی باقی‌مانده شبکه نیز متوسط مجموع انرژی باقی‌مانده تمام حسگرهای زنده موجود در شبکه در هر مرحله از شبیه‌سازی‌ها می‌باشد.

در گروه دوم شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته، دو الگوریتم پیشنهادی حریصانه و ژنتیک مورد ارزیابی قرار گرفته است. لازم به ذکر است که در پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، احتمال بازترکیبی و جهش به ترتیب $0/9$ و $0/01$ در نظر گرفته شده است. نتایج مقایسه دو الگوریتم در جدول ۲ نشان داده شده است، در این نتایج، معیار انتخاب با ضرایب تأثیر یکسان ($\beta = 0/5$)، $\alpha = 0/5$) استفاده شده است. در الگوریتم ژنتیک به دلیل این که در هر مرحله از اجرای الگوریتم، جمعیتی با اندازه مشخص از اعضای جمعیت تولید و برای تمام اعضاء، تابع ارزیابی محاسبه می‌شود، میزان بارمحاسباتی بیشتر می‌باشد. درحالی که به دلیل در نظرگرفتن دو جمعیت متفاوت، این الگوریتم توانسته است، بیشتر عملیات را به صورت برون خطی انجام دهد و از تعداد دوربین کم‌تری درخواست ارسال اطلاعات انجام دهد.

و $\alpha = 0$ می‌باشد، تنها عامل انتخاب دوربین‌ها، معیار هزینه خواهد بود و در زمانی که $\alpha = 1$ و $\beta = 0$ می‌باشد، تنها عامل انتخاب، فاصله بین دوربین‌ها در نظر گرفته شده است که در ادامه به ترتیب به این دو حالت، "معیار مبتنی بر هزینه" و "معیار مبتنی بر فاصله" اطلاق می‌شود. هم‌چنین مقدار آستانه (τ) در شبیه‌سازی‌ها، $0/002$ در نظر گرفته شده است.

از آنجایی که سهم عمده‌ای از محاسبات، مربوط به تقاطع دو مخروط حاصل از دو دوربین می‌باشد، از تعداد دفعات اجرای تابع *InterSect* به عنوان معیاری برای بار محاسبات، استفاده شده است. شکل ۴-الف، نشان می‌دهد که تعداد دفعات محاسبه خطا (بارمحاسبات)، در معیار مبتنی بر هزینه، به صورت متوسط، تقریباً برابر معیار مبتنی بر فاصله می‌باشد زیرا هرچه فاصله بین دوربین‌ها بیشتر باشد، احتمال وجود خطای کمتر از آستانه، افزایش می‌یابد. بنابراین درمیزان بارمحاسباتی، معیار فاصله بین دوربین‌ها نسبت به معیار هزینه تأثیرگذاری بیشتری خواهد داشت. شکل ۴-ب، نشانگر تعداد دوربین‌هایی است که در هر لحظه می‌توانند هدف را مشاهده کنند، از آنجایی که در معیار هزینه، میزان انرژی باقی‌مانده حسگرها و هم‌چنین هزینه ارسال اطلاعات هر حسگر به ایستگاه مرکزی و سودمندی گره حسگر در شبکه در نظر گرفته می‌شود، تعداد دوربین‌های زنده در شبکه، تعداد دوربین‌هایی که هدف را می‌بینند و میزان انرژی باقی‌مانده شبکه (شکل ۴-پ) بیشتر است و در واقع نسبت به معیار فاصله بین دوربین‌ها به صورت بهینه‌تری از منابع موجود در شبکه استفاده می‌شود. در شکل ۴-پ، با وجود این که معیار هزینه از دوربین‌های بیشتری استفاده می‌کند و بارمحاسباتی بیشتری هم دارد ولی به دلیل استفاده از دوربین‌هایی با هزینه کمتر، میزان انرژی مصرفی شبکه، کم‌تر از معیار مبتنی بر فاصله است. شکل ۴-ت، میزان خطای تعیین ارتفاع هدف با گذشت زمان را نشان می‌دهد. مطابق شکل، با گذشت زمان و از بین رفتن دوربین‌هایی که خطای کم‌تری برای تعیین ارتفاع هدف دارند، خطا افزایش می‌یابد. معیار مبتنی بر هزینه به دلیل استفاده بهینه‌تر از دوربین‌ها، میزان خطای کم‌تری را در طول شبکه خواهد داشت. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، طول عمر شبکه با در نظر گرفتن معیار هزینه افزایش یافته است. در ادامه، نتایج الگوریتم پیشنهادی حریصانه با پارامترهای α و β متفاوت ارزیابی می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌های صورت گرفته در جدول ۱ بیان شده است. در رابطه (۱۲)، هرچه β بیشتر باشد، انرژی باقی‌مانده شبکه، تعداد دوربین‌های زنده و دوربین‌هایی که هدف را مشاهده می‌کنند، افزایش می‌یابد که این امر، منجر به بالا رفتن طول عمر شبکه و در مقابل، افزایش بارمحاسبات می‌شود. با توجه به نتایج، میزان انرژی باقی‌مانده شبکه در معیار مبتنی بر فاصله دوربین‌ها نسبت به معیار دیگر کم‌تر است. زیرا هر چه فاصله بین دوربین‌ها بیشتر شود، میزان انرژی ارسال اطلاعات به ایستگاه مرکزی و در نتیجه، انرژی مصرفی شبکه افزایش می‌یابد.

(ضریب معیارهزینه) β (ضریب معیار فاصله بین دوربین ها)، α جدول ۱ مقایسه الگوریتم حریصانه با ضرایب متفاوت،

معیار فاصله و هزینه	متوسط پیچیدگی محاسبات	متوسط خطا	متوسط انرژی باقی مانده شبکه	متوسط دوربین های زنده شبکه	آخرین زمان تشخیص هدف در شبکه
$\alpha = \beta = 0/5$	۱۰/۳۹	۰/۰۰۱۸	$1/00 \times 10^5$	۷۹/۸۵	۴۶۸
$\alpha = 0/2, \beta = 0/8$	۵۸/۱۹	۰/۰۰۱۸	$1/10 \times 10^5$	۷۶/۲۹	۴۹۵
$\alpha = 0/8, \beta = 0/2$	۹/۱۰	۰/۰۰۳۱	$8/43 \times 10^4$	۶۷/۵۰	۲۷۱

جدول ۲ مقایسه الگوریتم ژنتیک و الگوریتم حریصانه

الگوریتم	متوسط پیچیدگی محاسبات	متوسط خطا	متوسط انرژی باقی مانده شبکه	متوسط دوربین های زنده شبکه	آخرین زمان تشخیص هدف در شبکه
الگوریتم ژنتیک	۲۱/۴۶	۰/۰۰۲۲	$1/11 \times 10^5$	۸۵/۰۵	۶۸۰
الگوریتم حریصانه	۱۰/۳۹	۰/۰۰۱۸	$1/00 \times 10^5$	۷۹/۸۵	۴۶۸

دوربین های زنده و در نتیجه طول عمر شبکه نسبت به الگوریتم حریصانه، افزایش یافته است.

مراجع

- [1] Charfi, Y., Wakamiya, N., and Murata, M., 2009, "Challenging issues in visual sensor networks," *Wireless Communications*, Vol. 16, No. 2, pp. 44-49.
- [2] Soro, S., Heinzelman, W., 2009, "A Survey of Visual Sensor Networks", *Advances in Multimedia Vol.2009*.
- [3] Rowaihy, S. E. H., Johnson, M., Verma, D., Noy, A. B., Brown, T., and Porta, T. L., 2007, "A Survey of Sensor Selection Schemes in Wireless Sensor Networks," in *Proc. of SPIE*, Vol. 6562.
- [4] Perillo, M. A., and Heinzelman, W. B., 2003, "Optimal sensor management under energy and reliability constraints," *Wireless Communication and Networking*, Vol. 3, pp. 1621-1626.
- [5] Cardei, M., and Du, D. Z., 2005, "Improving wireless sensor network lifetime through power aware organization," *Wireless Networking*, Vol. 11, No. 3, pp. 333-340.
- [6] Ai, J., and Abouzeid, A., 2006, "Coverage by directional sensors in randomly deployed wireless sensor networks," *Combinatorial Optimization*, Vol. 11, No. 1, pp. 21-41.
- [7] Cai, Y., Lou, W., and Li, M., 2007, "Cover Set Problem in Directional Sensor Networks," in *Proc. of the Future Generation Communication and Networking*, Vol. 1, pp. 274-278.
- [8] Han, Y. H., Kim, C. M., and Gil, J. M., 2010, "A Greedy Algorithm for Target Coverage Scheduling in Directional Sensor Networks," *Wireless Mobile Networks*, Vol. 1, pp. 96-106.
- [9] Munishwar, V. P., and Abu Ghazaleh N. B., 2010, "Scalable target coverage in smart camera networks," in *Proc. of Distributed Smart Cameras*, pp. 206-213.
- [10] Xiao, F., Wang, R. C., Sun, L. J., and Shuai, W., 2010, "Research on the three-dimensional perception model and coverage-enhancing algorithm for wireless multimedia sensor networks," *Posts and Telecommunications*, Vol. 17, No. 2, pp. 67-72.

در نتیجه از تعداد دوربین کمتری در هر مرحله انتخاب، استفاده کرده است. به این ترتیب، تعداد دوربین های زنده شبکه، تعداد دوربین هایی که در هر لحظه هدف را مشاهده می کند و انرژی باقی مانده شبکه در الگوریتم ژنتیک بیشتر می باشد. مزیت بارز الگوریتم ژنتیک، کاهش انرژی مصرفی و به تبع آن افزایش طول عمر شبکه می باشد.

۵ نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی مسئله تعیین ارتفاع هدف در شبکه های حسگر دوربین پرداخته شد. در ابتدا، تأثیر خطای کوانتیزاسیون صفحه تصویر دوربین در تخمین ارتفاع هدف مورد ارزیابی قرار گرفت. برای محاسبه خطای مذکور، مدل هندسی پیشنهاد گردید که نقاط حاصل از تقاطع میدان دید مخروطی پیکسل های متناظر در دوربین را محاسبه می کند. سپس به بررسی انتخاب حسگرهای مناسب در جهت تخمین ارتفاع هدف با دقت بالا و همچنین افزایش طول عمر شبکه حسگر دوربین پرداخته شد. در این راستا، ابتدا معیار انتخابی از ترکیب هزینه مسیریابی گره های حسگر، انرژی باقی مانده حسگرها، میزان اهمیت حضور حسگر در شبکه و فاصله (سرعت انتخاب) می توان تعادل برقرار کرد. سپس با استفاده از این معیار انتخاب و همچنین خطای تعیین ارتفاع هدف، دو الگوریتم انتخاب حریصانه و الگوریتم ژنتیک به منظور انتخاب دو دوربین مناسب پیشنهاد گردید. شبیه سازی ها نشان می دهد که معیار فاصله بین دوربین ها تأثیر زیادی در کاهش تعداد محاسبات دارد ولی به دلیل بی توجهی به هزینه مصرفی، انرژی باقی مانده حسگرها و همچنین اهمیت حسگر دوربین در شبکه، محدودیت های شبکه در نظر گرفته نمی شود. در مقابل، معیار هزینه، مصرف انرژی در شبکه را کاهش می دهد ولی انتخاب دوربین ها با بررسی های بیشتری انجام می گیرد و تعداد محاسبات برای یافتن دوربین مناسب بیشتر خواهد بود. در نتیجه ترکیب این معیارها، تعادلی بین تعداد محاسبات و طول عمر شبکه برقرار می کند. الگوریتم ژنتیک ارائه شده نیز با توجه به در نظر گرفتن دو تابع ارزیابی مجزا و تولید دو جمعیت در هر نسل، توانست تعداد محاسبات را به میزان ۵۰ درصد کاهش دهد. همچنین با توجه به حداقل کردن معیار هزینه، میزان انرژی باقی مانده، تعداد

- [25] Debaecker, T., Benosman, R., and Ieng, S. H., 2008, "Cone of view camera model using conformal geometric algebra for classic and panoramic image sensors," *Omnidirectional Vision, Camera Networks and Non-classical Cameras*.
- [26] Hartley, R., and Zisserman, A., 2003, *Multiple View Geometry in Computer Vision*, Cambridge University Press.
- [27] فولادگر، ف، افزایش طول عمر شبکه حسگر دوربین با پوشش کامل به منظور پایش و تشخیص ارتفاع هدف، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۰.
- [28] Tanenbaum, A., 2002, *Computer Networks* (4th ed.), Prentice Hall Professional Technical Reference

فهیمة فولادگر، مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه صنعتی اصفهان گذرانده است. او در حال حاضر دانشجوی دکترا در رشته مهندسی کامپیوتر در دانشگاه صنعتی شریف می باشد. زمینه تحقیقاتی او پردازش تصویر،



بینایی ماشین و شبکه حسگر دوربین است.

شادرخ سماوی استاد دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان می باشند. ایشان مدرک کارشناسی مدیریت صنعتی و مدرک کارشناسی مهندسی برق را از دانشگاه ایالتی کالیفرنیا اخذ کرده اند و همچنین مدرک کارشناسی ارشد در



مهندسی کامپیوتر از دانشگاه ممفیس و مدرک دکتری مهندسی برق از دانشگاه ایالتی میسیسیپی آمریکا دارند. زمینه های تحقیقاتی دکتر سماوی طراحی سخت افزارهای پردازش سیگنالهای تصویر و همچنین الگوریتمهای ته نقش نگاری می باشد. دکتر سماوی تا کنون بیش از دویست مقاله در مجلات و کنفرانسهای بین المللی و داخلی به انتشار رسانده اند و اکنون استاد همبسته دانشگاه مکماستر کانادا، عضو انجمن مهندسی حرفه ای آمریکا، عضو انجمن مهندسی برق و الکترونیک IEEE و انجمنهای EKN و TBP می باشند.

محمد رضا سروش مهر مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه صنعتی اصفهان گذرانده است. او همچنین فارغ التحصیل دکترا در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۹۲ است. زمینه تحقیقاتی او پردازش تصویر و شبکه حسگر دوربین است.



- [11] Soro, S., "Application-aware resource management in wireless and visual sensor networks," Ph. D Dissertation, Electrical and Computer Engineering, University of Rochester, 2008.
- [12] Soro, S., and Heinzelman, W., 2007, "Camera selection in visual sensor networks," *Advanced Video and Signal Based Surveillance*, pp. 81-86.
- [13] Liang, L., Huadong, M., and Xi, Z., 2008, "Optimal camera selection for target localization in camera sensor networks," *Information Sciences and Systems*, pp. 140-145.
- [14] Liang, L., Xi, Z., and Huadong, M., 2010, "Optimal Node Selection for Target Localization in Wireless Camera Sensor Networks," *Vehicular Technology*, Vol. 59, No. 7, pp. 3562-3576.
- [15] Rui, D., and Akyildiz, I. F., 2009, "A Spatial Correlation Model for Visual Information in Wireless Multimedia Sensor Networks," *Multimedia*, Vol. 11, No. 6, pp. 1148-1159.
- [16] Isler, V., and Bajcsy, R., 2005, "The sensor selection problem for bounded uncertainty sensing models," in *Proc. of Information Processing in Sensor Networks*, pp. 151-158.
- [17] Karakaya, M., and Qi, H., 2010, "Distributed target localization using a progressive certainty map in visual sensor networks," *Ad Hoc Networks*, Vol. 9, No. 4, pp. 576-590.
- [18] Ercan, A., Yang, D. B., Gamal, A. E., and Guibas, L. J., 2006, "Optimal placement and selection of camera network nodes for target localization," *Distributed Computing in Sensor Systems*.
- [19] Farrella, R., Garciac, R., Lucarellib, D., Terzis, A., and Wang, I. J., 2009, "Target localization in camera wireless networks," *Pervasive and Mobile Computing*, Vol. 5, pp. 165-181.
- [20] Fooladgar, F., Sorousmehr, S. M. R., and Samavi, S., 2011, "Camera selection for reduction of altitude estimation error caused by pixel quantization," *Machin Vision and Image Processing*.
- [21] Park, J., Bhat, P. C., and Kak, A. C., 2006, "A look-up table based approach for solving the camera selection problem in large camera networks," *Distributed Smart Cameras*.
- [22] Monari, E., and Kroschel, K., 2009, "A knowledge-based camera selection approach for object tracking in large sensor networks," *Distributed Smart Cameras*, pp. 1-8.
- [23] Wu, J. J., Huang, T. S., and Sharma, R., 1998, "Analysis of uncertainty bounds due to quantization for three-dimensional position estimation using multiple cameras," *Optical Engineering*, Vol. 37, No. 1, pp. 280-292.
- [24] Chen, Q., Wu, H., and Wada, T., 2004, "Camera calibration with two arbitrary coplanar circles," in *Proc. of ECCV*, pp. 521-532.