

کمینه‌سازی انرژی مصرفی در شبکه‌های حس گر بی سیم دیداری با انتخاب دوربین برای ردگیری هدف متحرک در شبکه با عامل انسداد

رضا غزالیان^۱، دانشجوی دکتری؛ علی آقاگل‌زاده^۲، استاد؛ سیدمهدی حسینی اندارگلی^۳، استادیار

۱- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - بابل - ایران - ghazalian66@gmail.com

۲- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - بابل - ایران - aghagol@nit.ac.ir

۳- دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - بابل - ایران - smh_andargoli@nit.ac.ir

چکیده: در این مقاله کمینه‌سازی انرژی مصرفی برای شبکه‌ای از حس گرهای دیداری با فرض وجود عامل انسداد که مانع ردگیری اهداف می‌شوند؛ بررسی شده و الگوریتمی جهت تنظیم پارامترهای حس گرهای دیداری (فاصله کانونی و نرخ فریم ویدئویی) و انتخاب حس گرهای مناسب به گونه‌ای که کیفیت مورد نیاز کاربر را برآورده نماید، پیشنهاد شده است. جهت مدل‌سازی کیفیت تصاویر دریافتی، یک مدل ریاضی برای مقدار واریانس تصویر دریافتی پیشنهاد شده که از آن در بیان ریاضی مسئله مورد نظر استفاده می‌شود. ابزار استفاده شده برای حل ریاضی مسئله، بهینه‌سازی محدب است که منجر به استخراج توابع اولویت برای انتخاب حس گرها و تنظیم پارامترهای آن‌ها خواهد شد. ترکیب اولویت‌ها با الگوریتم‌های تکراری، ما را به جواب مسئله خواهد رساند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی کارایی قابل قبولی در مقایسه با الگوریتم بهینه و در عین حال پیچیده (جستجوی فراگیر) ارائه می‌دهد در حالی که پیچیدگی آن مناسب جهت کاربردهای عملی است.

واژه‌های کلیدی: شبکه‌های حس گر دیداری، الگوریتم انتخاب دوربین، انسداد، فاصله کانونی، نرخ فریم ویدئویی، الگوریتم مانع لگاریتم.

Wireless Visual Sensor Networks Energy Minimization with Camera Selection for Target Tracking in the Network with the Occlusion Factor

R. Ghazalian¹, PhD Student; A. Aghagolzadeh², Professor; S. M. Hosseini Andargoli³, Assistant Professor

1- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran, Email: ghazalian66@gmail.com

2- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran, Email: aghagol@nit.ac.ir

3- Faculty of Electrical and Computer Engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran, Email: smh_andargoli@nit.ac.ir

Abstract: This paper investigates the wireless visual sensor networks energy minimization in the presence of occlusion which prevents the target tracking. An algorithm is proposed for selecting the suitable visual sensor and adjusting its parameters (the focal length and the frame rate) in a way to satisfy the user quality requirements. For modeling the received image quality, a mathematical model has been proposed for the variance value of the received images that it uses for the considered problem formulation. The used concept for the mathematical problem solving is convex optimization which leads to priority function extraction for visual sensor selection algorithm and its parameters adjustment. Combining the priorities with the repetitive algorithm provides the solution. Simulation results reveal that the proposed algorithm represents an acceptable efficiency in compare with the complex and optimum algorithm (exhaustive search) while its complexity is suitable for the practical applications.

Keywords: Visual sensor networks, camera selection algorithm, occlusion, focal length, video frame rate, logarithm barrier method.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۱۱/۰۳

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۶/۰۳/۰۷ و ۱۳۹۶/۰۷/۰۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۰۸/۲۶

نام نویسنده مسئول: علی آقاگل‌زاده

نشانی نویسنده مسئول: ایران - بابل - خیابان شریعتی - دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر.

۱- مقدمه

حس‌گری به شمار می‌آید. از آنجایی که حس‌گرها در شبکه‌های حس‌گر تصویری از خاصیت حس‌گری به‌صورت جهت‌دار بهره‌مند هستند، وجود انسداد در محیط‌های شلوغ باعث می‌شود که تخمین میزان پوشش با مشکل همراه شود. مراجع [۷،۶] یک مدل جدیدی از تخمین پوشش به‌صورت ریاضی ارائه کرده‌اند که در آن مسئله انسداد و آثار مرزها منظور شده است. در این مدل، مکان حس‌گر و عامل انسداد به‌صورت یک فرآیند تصادفی بیان شده‌اند. Dai و همکارانش یک مدل همبستگی فضایی جدید برای اطلاعات تصویری که توسط شبکه‌های حس‌گر دیداری دریافت می‌شوند، ارائه دادند [۸]. این مدل ویژگی همبستگی اطلاعات تصویری که توسط دوربین‌ها دریافت می‌شود را نشان می‌دهد. Dieber و همکارانش یک ساختار بهینه برای شبکه‌های حس‌گر دیداری ارائه دادند [۹]. در این شبکه برای بهینه‌سازی ساختار از روش انتخاب دوربین بر اساس بیشینه‌کردن طول عمر شبکه بهره‌برداری شده است. همچنین پارامتر نرخ نمونه‌برداری فریم و رزولوشن تصویر از نقاط تحت پوشش شبکه به‌عنوان کیفیت شبکه تنظیم می‌شود. طول عمر شبکه به‌صورت تابعی خطی از نرخ نمونه‌برداری فریم ارائه شده است. Likmawa و همکارانش برای بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های موبایل دیداری، نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی را به‌عنوان پارامتر کیفیت شبکه مطرح کردند و توانستند نرخ ویدئویی را به‌صورت تابعی از تعداد پیکسل‌های تصویر و فرکانس پالس ساعت سیستم مدل‌سازی نمایند [۱۰]. امیری و همکارانش الگوریتمی جهت افزایش طول عمر حس‌گرها در شبکه حس‌گر دیداری پیشنهاد دادند که بر اساس همکاری بین حس‌گرها انجام می‌شود. همکاری بین حس‌گرها علاوه بر کاهش اطلاعات اضافی در حین دریافت اطلاعات از محیط تحت پوشش، می‌تواند برای ارسال داده‌ها به مرکز تصمیم‌گیری، بهترین مسیر را که از نظر مصرف انرژی بهینه است، تعیین نماید [۱۱].

شفیعیان و جمشیدی یک روش تخصیص توان برای مخابرات همکارانه از حس‌گر مبدأ به چاهک جهت کمینه‌سازی مصرف انرژی پیشنهاد داده‌اند [۱۲]. در این الگوریتم از روش خوشه‌بندی حس‌گرها برای کاهش مصرف انرژی بهره‌برده شده است. کیفیت سرویس مطرح‌شده در این مقاله، رسیدن به احتمال خطای مطلوب در گیرنده چاهک است. اقدسی و عباس‌پور الگوریتمی غیرمتمرکز جهت پیاده‌سازی عملی پوشش همه‌جانبه از هدف با استفاده از فعال کردن حس‌گر یا حس‌گرها در شبکه حس‌گر دیداری ارائه داده‌اند [۱۳]. در این الگوریتم حس‌گرها اطلاعات محلی خود نسبت به هدف را در اختیار حس‌گرهای همسایه قرار می‌دهند تا هر حس‌گر در مورد فعال شدن یا فعال‌نشدن خود تصمیم‌گیری نماید. مدل دقیق‌تر پوشش هدف نه تنها تابعی از فاصله دوربین و هدف است بلکه تابعی از پارامتر فاصله کانونی نیز خواهد بود که در این کار توجهی به آن نشده است. پرنده و اقدسی یک الگوریتم مسیریابی به همراه تخصیص توان هر حس‌گر را جهت کاهش مصرفی در شبکه حس‌گر بی‌سیم پیشنهاد

شبکه‌های حس‌گر دیداری به دلیل کاربردهایی چون مراقبت امنیتی، خانه‌های هوشمند، نظارت بر محیط‌های بدون امکان دسترسی انسان (در مواقع آتش‌سوزی، بلاهای طبیعی، حملات شیمیایی نظامی)، ردیابی اهداف، کنترل ترافیک در شهرها، پزشکی و جراحی از راه دور به‌طور روزافزون گسترش پیدا کرده است [۱]. همچنین با پیشرفت تکنولوژی دسترسی به سیستم‌های جمع‌آوری اطلاعات تصویری-صوتی با هزینه پایین، حجم کم و با ویژگی‌های فنی بالا امکان‌پذیر شده است. به همین جهت امکان پیاده‌سازی این نوع شبکه‌ها بسیار آسان شده است به‌طوری که پیشرفت این نوع شبکه‌ها را تشدید کرده است [۱]. شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم معمولاً توسط باتری تغذیه می‌شوند که در خیلی از حالت‌ها امکان شارژ یا تعویض باتری به‌دلیل در دسترس نبودن حس‌گرها امکان‌پذیر نبوده و یا از لحاظ اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست. لذا به‌کارگیری روش‌هایی جهت کاهش مصرف انرژی و حتی به‌کارگیری حداقل تعداد دوربین جهت پوشش اهداف در شبکه لازم است. بهینه‌سازی انرژی مصرفی در شبکه حس‌گر دیداری به‌عنوان چالشی مهم در این شبکه‌ها به شمار می‌آید و تحقیقات زیادی را در سال‌های اخیر متوجه خود ساخته است.

Abu-Ghazaleh و همکارش جهت بیشینه‌کردن تعداد هدف‌های تحت تعقیب در شبکه، مسئله کنترل کنتراست دوربین را مطرح کردند [۲]. آن‌ها این مسئله را به‌صورت یک مسئله بهینه‌سازی برای اهداف ثابت شکل دادند و برای نزدیک شدن به جواب بهینه یک محاسبات پیچیده ارائه نمودند. سبکرو و فتحی روشی جدید را جهت تعقیب هدف در شبکه‌های حس‌گر بی‌سیم تصویری پیشنهاد دادند [۳]. این روش با الهام گرفتن از ارتباط مستقیم بین میزان پوشش و دقت پوشش و بر اساس دو معیار دقت تعقیب هدف و انرژی مصرفی آن، ارائه شده است. Soro و همکارانش جهت کاهش توان مصرفی، روش انتخاب حس‌گرها را پیشنهاد دادند [۴]. برای این منظور دو رویکرد، با توجه به قید پوشش حس‌گرها (دوربین‌ها)، ارائه شده است. در رویکرد اول دوربینی انتخاب می‌شود که زاویه‌ی آن با هدف مورد نظر (جهت مورد نظر) کمینه شود. در این حالت به‌دلیل آن‌که تمام دوربین‌ها فعال نیستند، توان مصرفی کاهش می‌یابد و همچنین قید پوشش نیز اقلان می‌شود. در رویکرد دوم، دوربینی که هزینه پوشش (انرژی لازم جهت پوشش) را کمینه سازد، فعال می‌گردد. Park و همکارانش به مسئله انتخاب دوربین در شبکه‌ی بزرگ دوربین‌ها، پرداختند [۵]. آن‌ها جدولی را تهیه کردند که در آن رتبه کیفیتی دوربین‌ها با توجه به موقعیت دوربین‌ها و میزان پوشش هر ناحیه‌ی دلخواه از شبکه ذکر می‌شود. به‌عبارت دیگر، میزان پوشش مکان‌های ممکن تحت شبکه برای هر دوربین محاسبه می‌شود و آن دوربین که بیشینه پوشش را دارد، رتبه بالاتری در جدول به خود می‌گیرد و برای آن مکان انتخاب می‌شود. تخمین میزان پوشش یکی از چالش‌های موجود در شبکه‌های

انسداد مدل‌سازی ریاضی شده است. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که با اجرای الگوریتم پیشنهادی، علاوه بر کمینه‌سازی انرژی مصرفی شبکه، پوشش مناسب و کیفیت تصویر دریافتی از هدف تحت تعقیب که مطلوب کاربر است، حاصل می‌شود.

ساختار کلی این مقاله بدین ترتیب خواهد بود که در بخش ۲ مدل سیستم بیان می‌شود. در بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی توضیح داده خواهد شد. در بخش ۴ سناریوی تعقیب هدف در شبکه حس‌گر دیداری انجام گرفته است. این سناریو به صورت شبیه‌سازی ارائه می‌شوند و نتایج شبیه‌سازی‌ها در بخش ۵ مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

۲- مدل سیستم در نظر گرفته شده

در این قسمت از مقاله، مدل سیستمی که در سناریوی تعقیب هدف به کار گرفته می‌شود، به صورت ریاضی بیان می‌گردد. در این مدل‌سازی فرض شده است که حس‌گرها دارای ساختارهای مشابه هستند. این حس‌گرها از ماژول تصویربرداری، ماژول مخابراتی (فرستنده مخابراتی) و ماژول تغذیه تشکیل شده‌اند.

ماژول تصویربرداری شامل دوربینی برای گرفتن تصویر، موتور برای گردش دوربین در جهت افقی، موتور کوچک برای جابه‌جا کردن عدسی دوربین به منظور فوکوس کردن و واحد کنترل نرخ نمونه‌برداری فریم است. برای محاسبه توان مصرفی جهت گرفتن تصویر فرض شده است که اگر دوربین روشن باشد توان ثابتی برابر P_i^{video} وات مصرف می‌کند. لذا دوربینی که در مدت زمان T ثانیه روشن است، انرژی معادل $P_i^{video} T$ مصرف می‌نماید. دوربین بر روی موتور جهت چرخش در راستای افق قرار گرفته است. برای آنکه دوربین فعال بتواند هدف را در بیشترین زمان ممکن که در زاویه دید خود قرار دارد تعقیب نماید، باید جهت دوربین طوری به سمت هدف گردش کند که تا هدف در مرکز میدان دید دوربین قرار گیرد. اگر محور دید دوربین نسبت به هدف زاویه β داشته باشد و گشتاور موتور برای گردش دوربین τ فرض شود، موتور برای گردش β به مقدار $E_{rotation}$ انرژی نیاز دارد. این انرژی از رابطه (۱) به دست می‌آید.

$$E_{rotation} = \beta \tau \quad (1)$$

فاصله کانونی یکی از مهم‌ترین پارامترهای عدسی دوربین است. با تغییر فاصله کانونی می‌توان روی جسم خاصی در صحنه متمرکز شد [۱۵]. در دوربین‌ها با قابلیت تنظیم فوکوس، فاصله کانونی دارای مقادیر حداقل و حداکثر است.

$$f_{min} < f_i < f_{max} \quad (2)$$

تغییر فاصله کانونی دوربین باعث ایجاد تغییر در میدان دید (FOV) دوربین می‌شود [۱۶]. اگر عدسی دوربین به اندازه Δf جابه‌جا شود و نیروی لازم برای این جابه‌جایی α فرض شود، انرژی لازم برای جابه‌جا کردن فاصله کانونی به منظور فوکوس کردن بر روی هدف مورد تعقیب توسط دوربین از رابطه (۳) محاسبه می‌شود.

دادند [۱۴]. این الگوریتم بر اساس حل مسئله کمینه‌سازی انرژی مصرفی با توجه به حداقل شدن نرخ خطای بیت به دست آمده است. در واقع کیفیت سرویس مطرح شده نرخ خطای بیت است. در این پروتکل سعی شده است که پیام‌های کنترلی حذف و داده‌های افزونه شده به شبکه کاهش یابد. همچنین حس‌گرها به طور متعادل انرژی مصرف نمایند تا طول عمر شبکه افزایش یابد. باید توجه داشت که کیفیت سرویس در شبکه حس‌گر دیداری باید بر اساس کیفیت تصویر گرفته شده از هدف و انتقال آن با حداقل نرخ خطا باشد.

با توجه به بررسی تحقیقات انجام شده در زمینه شبکه‌های حس‌گر دیداری، معیار کیفیت سرویس مناسب مرتبط با انرژی مصرفی شبکه ارائه نشده است. با توجه به انتقال تصاویر از هدف در شبکه حس‌گر، کیفیت سرویس در شبکه حس‌گر دیداری باید بر اساس کیفیت تصویر دریافتی بیان شود. در کارهای انجام شده توسط محققان دیگر به کیفیت تصویر دریافتی به عنوان کیفیت سرویس در شبکه توجهی نشده است. همچنین مدل مناسبی برای کیفیت تصویر دریافتی بر حسب رابطه‌ی میان انرژی مصرفی در شبکه، موقعیت هدف نسبت به دوربین و پارامترهای دوربین (چون فاصله کانونی دوربین و نرخ نمونه‌برداری دوربین) ارائه نشده است. در بیشتر مقالات، پارامترهای کانال و مشخصات فرستنده، پوشش شبکه حس‌گر و میزان بیشینه سیگنال به نویز تصویر دریافتی توسط حس‌گرها به عنوان قید کیفیت مطرح شده است. مسلماً این معیارها به تنهایی نمی‌توانند به عنوان کیفیت مطلوب به کار گرفته شوند. تنظیم پارامترهایی مثل فاصله‌ی کانونی لنز دوربین و نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی علاوه بر تأثیرگذاری روی کیفیت تصویر دریافتی از محیط شبکه (یا هدف تحت تعقیب)، بر میزان انرژی مصرفی شبکه نیز مؤثر خواهد بود.

هدف این مقاله، بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حس‌گر دیداری بی‌سیم با توجه به کیفیت تصویر دریافتی از هدف موجود در این نوع شبکه در سناریوی تعقیب است. در این مقاله برای سنجش معیار کیفیت تصویر دریافتی از هدف تحت تعقیب توسط حس‌گرها، از قانون لامبرت بهره برده شده است. این قانون رابطه میان واریانس تصویر و فاصله حس‌گر (دوربین) از هدف را بیان می‌کند. این مدل نشان می‌دهد که اگر فاصله دوربین از هدف زیاد شود، واریانس تصویر دریافتی به طور نمایی کاهش می‌یابد. همچنین جهت دستیابی به کیفیت مناسب تصویر دریافتی از هدف و پوشش قابل قبول آن توسط دوربین‌ها، پارامتر فاصله کانونی لنز دوربین‌ها با توجه به موقعیت دوربین‌ها نسبت به هدف تنظیم می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی پارامتر دیگر دوربین یعنی نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی بر اساس فاصله هدف از دوربین و سرعت هدف کنترل می‌شود. در سناریوی در نظر گرفته شده (تعقیب یک هدف توسط یک دوربین) برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، عامل انسداد برای تصویربرداری از هدف نیز مد نظر قرار گرفته و اتفاق افتادن انسداد در سناریوی تعقیب هدف به صورت تابعی از موقعیت هدف، موقعیت دوربین و موقعیت عامل

همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده است، هدفی را در نظر بگیرید که با سرعت v در حرکت است. واضح است در مدت‌زمان یک فریم، یعنی زمانی برابر با عکس نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی $\Delta t = \frac{1}{f_{frame}}$ ، هدف با سرعت ذکر شده، از نظر دوربین جابه‌جایی برابر با $\Delta x = v \times \frac{1}{f_{frame}} = \frac{v}{f_{frame}}$ خواهد داشت. با توجه به فرض یکسان بودن ارتفاع دوربین و ارتفاع هدف، تنها جابه‌جایی هدف در دو فریم متوالی در جهت افق خواهد بود. برای نداشتن پرش در ویدئوی گرفته‌شده از هدف، باید در دو فریم متوالی تعداد جابه‌جایی مجاز پیکسل‌هایی که هدف را شامل می‌شوند، N_{pixel}^{th} باشد. بنابراین با توجه به فاصله کانونی و فاصله هدف از دوربین، رابطه جابه‌جایی هدف در صفحه دوربین به صورت (۷) خواهد بود.

$$\Delta x_{pixel} = \frac{\Delta x}{d_i^t} f_i \quad (7)$$

چگالی تعداد پیکسل‌ها در واحد سطح صفحه حس‌گر دوربین ρ_{pixel} است. با توجه مقدار جابه‌جایی هدف و مقدار جابه‌جایی پیکسل و همچنین چگالی تعداد پیکسل‌ها در واحد سطح می‌توان تعداد جابه‌جایی پیکسل را به دست آورد.

$$N_{pixel} = \Delta x_{pixel} \rho_{pixel} = \frac{v}{f_{frame} d_i^t} f_i \rho_{pixel} \quad (8)$$

حال شرط نداشتن پرش در ویدئوی دریافتی از دو فریم متوالی را می‌نویسیم.

$$N_{pixel} \leq N_{pixel}^{th} \quad (9)$$

با در نظر گرفتن رابطه (۸) و رابطه (۹)، یک محدودیتی برای کنترل نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی با توجه به فاصله کانونی دوربین، فاصله هدف تا دوربین و سرعت هدف و چگالی تعداد پیکسل‌ها در واحد سطح صفحه دوربین به دست می‌آید.

$$f_{frame i} \geq \frac{v}{N_{pixel}^{th} d_i^t} f_i \rho_{pixel} \quad (10)$$

رابطه (۱۰) به‌وضوح نشان می‌دهد که برای تعقیب هدفی که سرعت بالاتری دارد، باید نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی بیشتر گردد تا پرش در ویدئوی دریافتی به وجود نیاید. همچنین نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی به‌طور عملی محدودیت زیر را خواهد داشت.

$$f_{frame \min} \leq f_{frame i} \leq f_{frame \max} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (11)$$

اگر تعداد پیکسل‌های حس‌گر در جهت افقی W و تعداد پیکسل‌های حس‌گر در جهت عمودی H و تعداد بیت‌ها برای نمایش مقادیر شدت روشنایی هر پیکسل از تصویر در حسگر N_b فرض شود. تعداد بیت‌های ارسالی در هر فریم از ویدئوی دریافتی (پردازش ویدئو به‌صورت فریم به فریم که هر فریم خود یک تصویر است، انجام می‌شود) برابر WHN_b است. همچنین اگر فاصله دوربین Δ_m تا مرکز تصمیم‌گیری، d_i^{fc} باشد و حداقل نسبت سیگنال به نویز در مرکز

$$E_{focus} = \alpha \Delta f \quad (3)$$

میدان دید هر دوربین ناحیه‌ای است که دوربین می‌تواند بدون هیچ محدودیت فیزیکی آن ناحیه را پوشش دهد [۱۶]. میدان دید در جهت عمودی و افقی تعریف می‌شود. چون در این مقاله فرض شده است که هدف و دوربین در ارتفاعی تقریباً یکسان از هم قرار دارند لذا از میدان دید عمودی استفاده‌ای نشده است. بنابراین برای نظارت محیط شبکه با چنین فرضی میدان دید افقی دوربین نقش دارد. میدان دید افقی به‌صورت رابطه (۴) تعریف می‌شود [۱۷].

$$\theta = 2 \tan^{-1} \left(\frac{w}{2f} \right) \quad (4)$$

که در آن W تعداد پیکسل‌های حس‌گر دوربین در جهت افقی و f فاصله کانونی عدسی دوربین را نشان می‌دهد. میدان دید افقی با فاصله هدف از دوربین رابطه‌ی عکس و با شعاع هدف رابطه‌ی مستقیم دارد. به‌عبارت دیگر می‌توان نوشت:

$$\theta_{th} = \frac{R_i}{d_i^t} \quad (5)$$

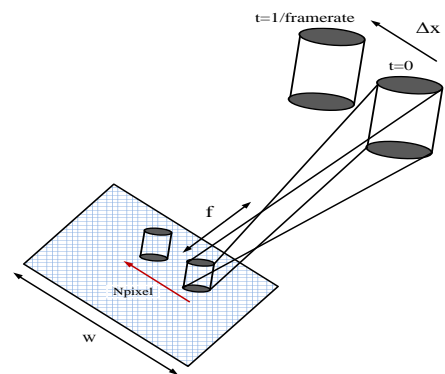
که R_i و d_i^t به ترتیب فاصله هدف از دوربین i ام و شعاع هدف را نشان می‌دهد.

از دیگر معیارهای کیفیت تصویر واریانس مقادیر شدت روشنایی پیکسل‌های تصویر است. واریانس تصویر هدف، با فاصله هدف از دوربین رابطه‌ی نمایی کاهشی دارد [۱۸، ۱۹].

$$\sigma_{output}^2 = e^{-\left(\frac{3d_i^t}{\sigma}\right)} \quad (6)$$

که در رابطه (۶) σ و d_i^t ، σ_{output}^2 به ترتیب مقادیر واریانس تصویر دریافتی، فاصله هدف از دوربین i ام و قابلیت دید لنز دوربین را نشان می‌دهد.

یکی دیگر از واحدهای ماژول تصویربرداری، واحد کنترل‌کننده نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی است. در این واحد، نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی با توجه به سرعت هدف طوری تنظیم می‌شود که ویدئوی دریافتی از هدف دارای پرش نباشد و در عین حال حجم داده‌های دریافتی جهت ارسال به مرکز تصمیم‌گیری بالا نرود. برای مدل‌سازی این ماژول شکل (۱) را در نظر بگیرید.



شکل ۱: مدل‌سازی ماژول کنترل نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی

حس گر غیرممکن خواهد شد. برای حل این چالش، می‌توان متغیر ρ_i را به یک متغیر پیوسته تبدیل نمود [۲۰].

$$0 \leq \rho_i \leq 1 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (17)$$

حال حس‌گری فعال می‌شود که دارای مقدار ρ_i بیشینه است. مقدار ρ_i بیشینه به مقدار یک نگاشته می‌شود و دیگر ρ_i ها مقدار صفر به خود می‌گیرند. چون در این مقاله فرض شده است که برای تعقیب هدف تنها یک حس‌گر فعال شود، در نتیجه می‌توان نوشت:

$$\sum_{i=1}^{N_c} \rho_i = 1 \quad (18)$$

پارامترهایی که می‌توان با کنترل آن‌ها رابطه (۱۲) را کمینه کرد عبارتند از ρ_i ، f_{frame} و f_i . از طرفی رابطه (۱۲) برحسب این پارامترها، تابعی خطی است. بنابراین این تابع، تابعی محدب است [۲۲].

با تغییر فاصله کانونی دوربین می‌توان میدان دید دوربین را تغییر داد. این امر باعث می‌شود که پوشش دوربین نسبت به هدف بیشتر شود و نتیجتاً کیفیت ویدئوهای دریافتی از هدف افزایش می‌یابد. به بیان ریاضی می‌توان نوشت:

$$\theta_i \geq \theta_{th} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (19)$$

با توجه به رابطه‌های (۴)، (۵) و (۱۹) داریم:

$$f_i \leq \frac{w}{2 \tan\left(\frac{R_i}{2d_i^t}\right)} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (20)$$

از اشتراک قیود (۲) و (۲۰)، ناحیه‌ای برای f_i به دست می‌آید:

$$f_{\min} \leq f_i \leq F_{\max} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (21)$$

که F_{\max} عبارت است از:

$$F_{\max} = \min \left\{ f_{\max}, \frac{w}{2 \tan\left(\frac{R_i}{2d_i^t}\right)} \right\} \quad (22)$$

با توجه به این که تنظیم فاصله کانونی دوربین، برای حس‌گرهای فعال انجام می‌گیرد، داریم:

$$f_{\min} \rho_i \leq f_i \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (23)$$

$$\rho_i f_i \leq F_{\max} \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (24)$$

با تعریف تابع $g_1(f_i, \rho_i) = \rho_i f_{\min} - f_i$ و $g_2(f_i, \rho_i) = F_{\max} - \rho_i f_i$ این تابع‌ها، این نکته برداشت می‌شود که تابع g_1 و g_2 به ترتیب تابع محدب و مقعر هستند. با توجه به اینکه زیرسطحی^۵ یک تابع محدب و

تصمیم‌گیری SNR_{th} فرض شود، میزان انرژی جهت ارسال داده‌ها برای دوربین i ام از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$E_i = b(d_i^{fc})^2 f_{frame_i} WHN_b \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (12)$$

که در آن N_c تعداد دوربین‌ها را نشان می‌دهد. همچنین مقدار b برابر است با:

$$b = \frac{(4\pi^2) SNR_{th} K T_e N_F}{\lambda^2 G_r G_t} \quad (13)$$

که N_F ، T_e ، K ، G_t ، G_r و f_{frame} و λ به ترتیب بیان‌کننده‌ی عدد نویز گیرنده، درجه حرارت مؤثر در گیرنده مرکز تصمیم‌گیری، ثابت بولتزمن، بهره آنتن سیستم دوربین، تعداد فریم‌های دریافتی در واحد زمان، بهره آنتن مرکز تصمیم‌گیری و طول موج سیگنال حامل هستند. این مدل‌سازی با فرض مدل افت سیگنال در فضای آزاد استخراج شده است. همچنین فرض شده است، جهت ارسال داده‌ها به مرکز تصمیم‌گیری از مدولاسیون کلیدزنی فاز دودویی^۲ استفاده شده است. بنابراین کل انرژی‌های مصرفی هر حس‌گر دیداری به صورت رابطه (۱۴) قابل بیان است.

$$E_i^{total} = b(d_i^{fc})^2 f_{frame_i} WHN_b + P_i^{video} T + \alpha \Delta f_i + \tau \beta_i \quad (14)$$

۳- الگوریتم پیشنهادی

در این قسمت مسئله بهینه‌سازی انرژی مصرفی به صورت ریاضی بیان می‌شود. انرژی مصرفی کل شبکه، مجموع انرژی مصرفی کل حس‌گرهای فعال موجود در شبکه است. با توجه به این نکته و با توجه به انرژی مصرفی هر حس‌گر از رابطه (۱۲)، می‌توان انرژی مصرفی کل شبکه را به صورت (۱۵) بیان کرد.

$$E^{total} = \sum_{i=1}^{N_c} b(d_i^{fc})^2 f_{frame_i} WHN_b + P_i^{video} T + \alpha \Delta f_i + \tau \beta_i \quad (15)$$

رابطه (۱۵) زمانی برقرار است که تمام حس‌گرهای شبکه فعال باشند. از آنجاکه در این مقاله روش انتخاب حس‌گر، به عنوان راهکاری جهت کمینه‌سازی مصرف انرژی در نظر گرفته شده است، لذا برای نشان دادن فعال بودن حس‌گر، پارامتر انتخاب حس‌گر ρ_i در نظر گرفته شده است. این پارامتر گسسته دارای دو مقدار صفر و یک است. مقدار صفر بودن ρ_i نشان می‌دهد که حس‌گر i ام غیرفعال است؛ در مقابل یک بودن ρ_i بیان‌کننده فعال بودن حس‌گر i ام است. بنابراین رابطه (۱۵) به صورت زیر اصلاح می‌شود:

$$E^{total} = \sum_{i=1}^{N_c} \rho_i \left(b(d_i^{fc})^2 f_{frame_i} WHN_b + P_i^{video} T + \alpha \Delta f_i + \tau \beta_i \right) \quad (16)$$

با توجه به اینکه متغیر ρ_i ، متغیری گسسته است، برای حل این مسئله باید از روش‌های بهینه‌سازی گسسته همچون برنامه‌ریزی عدد صحیح^۳ با پیچیدگی محاسباتی بالا (از مرتبه $N_c!$) استفاده نمود. با افزایش تعداد حس‌گرها امکان پیاده‌سازی عملی الگوریتم انتخاب

که d^{oc} فاصله بین دوربین و عامل انسداد و d' فاصله بین دوربین و هدف را نشان می‌دهند. در مورد محاسبه زاویه‌های δ_1 و δ_2 (شکل ۲) داریم:

$$\delta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{R_t}{\sqrt{(d')^2 - (R_t)^2}} \right) \quad (28)$$

$$\delta_2 = \tan^{-1} \left(\frac{R_{oc}}{\sqrt{(d^{oc})^2 - (R_{oc})^2}} \right) \quad (29)$$

که R_t و R_{oc} به ترتیب شعاع هدف و شعاع عامل انسداد را نشان می‌دهند. فرآیند انسداد زمانی شروع می‌شود که مجموع دو زاویه δ_1 و δ_2 برابر با زاویه δ شود. همچنین انسداد زمانی رخ می‌دهد که عامل انسداد بین هدف و دوربین قرار گیرد. با توجه به این نکته‌های ذکر شده و روابط (۲۷)، (۲۸) و (۲۹)، قید انسداد جزئی دوربین حس گر فعال i ام را می‌توان نوشت:

$$\text{sgn}(d'_i - d_i^{oc}) \times \left(\begin{array}{l} \delta_{th} + \cos^{-1} \left(\frac{(x_t - x_{ci})(x_{oc} - x_{ci}) + (y_t - y_{ci})(y_{oc} - y_{ci})}{d'_i d_i^{oc}} \right) \\ - \tan^{-1} \left(\frac{R_t}{\sqrt{(d'_i)^2 - (R_t)^2}} \right) \\ - \tan^{-1} \left(\frac{R_{oc}}{\sqrt{(d_i^{oc})^2 - (R_{oc})^2}} \right) \end{array} \right) \geq 0 \quad (30)$$

که δ_{th} آستانه‌ای برای میزان انسداد جزئی است که توسط کاربر تعیین می‌شود. از آنجاکه حس‌گرهای فعال باید شرط انسداد جزئی را رعایت نمایند، رابطه (۳۰) در ρ_i ضرب می‌شود. برای راحتی قید (۳۰) به صورت زیر بازنویسی می‌شود.

$$\rho_i \text{sgn}(d'_i - d_i^{oc}) \text{coverage}_i \geq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, N_c \quad (31)$$

با توجه به اینکه قیود مسئله بهینه‌سازی و تابع هزینه (انرژی مصرفی) تابع خطی برحسب متغیرهای بهینه‌سازی هستند، لذا برای حل مسئله از روش مانع لگاریتم^۲ استفاده شده است [۲۲]. در این روش، لگاریتم در تابع هزینه قرار می‌گیرد. سپس با روش‌های تکرار، نقطه بهینه تابع هزینه به دست می‌آید [۲۲].

رویکرد حل مسئله به این صورت است که ابتدا دوربین‌هایی که قیدهای کیفیت تصویر دریافتی را با توجه به موقعیتشان نسبت به هدف برآورده می‌سازند، به عنوان گزینه برای انتخاب شدن جهت

بالاسطحی^۶ یک تابع مقعر، ناحیه محدب را تشکیل می‌دهند [۲۲]، قیدهای (۲۳) و (۲۴) قیدهای محدب هستند.

یکی دیگر از قیود کیفیتی، رابطه بین فاصله هدف از دوربین و مقدار واریانس تصویر است، که در رابطه (۶) بیان شده است. کاربر می‌تواند سطح آستانه برای واریانس مقادیر شدت روشنایی پیکسل‌های فریم ویدئویی را به عنوان کیفیت تعیین نماید. با این کار حس‌گری که با تعداد بیت کمتر این کیفیت تعیین شده توسط کاربر را اقلان می‌کند، می‌تواند به عنوان کاندید برای تعقیب هدف انتخاب شود. به بیان ریاضی می‌توان نوشت:

$$\rho_i e^{-\left(\frac{3d'_i}{\sigma}\right)} \geq \sigma_{th}^2 \quad (25)$$

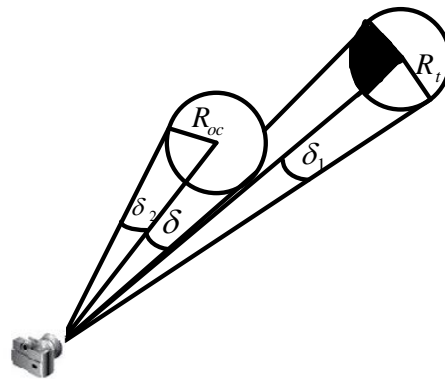
که σ_{th}^2 مقدار واریانس آستانه‌ای است که توسط کاربر تعیین می‌گردد. با توجه به اینکه (۲۵) برحسب ρ_i قیدی خطی است، بنابراین ناحیه‌ای که این قید تشکیل می‌دهد، محدب است.

در مورد محدودیت نرخ نمونه‌برداری فریم‌های ویدئویی حس‌گر فعال می‌توان نوشت:

$$f_{frame_i} \geq \rho_i \frac{v}{N_{pixel}^{th} d'_i} f_i \rho_{pixel} \quad (26)$$

قید (۲۶) برحسب متغیرهای f_i و f_{frame_i} خطی است، در نتیجه این قید ناحیه محدب را تشکیل می‌دهد. با استدلال‌های مشابه، ناحیه‌ای که قید (۱۱) را شامل می‌شود محدب خواهد بود.

عدم انسداد میان دوربین و هدف و یا انسداد جزئی در تصویر دریافتی از هدف توسط دوربین، یکی از معیارهایی است که در کیفیت تصویر دریافتی از هدف مؤثر است. برای این منظور در این مقاله انسداد جزئی به صورت ریاضی درآمده است (شکل ۲).



شکل ۲: مدل انسداد جزئی

فرض کنید هدف در مختصات (x_t, y_t) قرار دارد (عامل انسداد و هدف و دوربین در یک ارتفاع قرار دارند). همچنین فرض کنید عامل انسداد و دوربین به ترتیب در مختصات (x_{oc}, y_{oc}) و (x_{cam}, y_{cam}) قرار دارند. زاویه بردار واصل بین هدف و دوربین و بردار واصل عامل انسداد و دوربین، δ ، را به دست می‌آوریم:

$$\delta = \cos^{-1} \left(\frac{(x_t - x_{cam})(x_{oc} - x_{cam}) + (y_t - y_{cam})(y_{oc} - y_{cam})}{d' d^{oc}} \right) \quad (27)$$

۲. محاسبه مقدار کمینه تابع هزینه با روش نیوتن (مراحل ۲،۱ تا ۲،۵)
 ۲،۱. مقداردهی اولیه دقت الگوریتم نیوتن (\mathcal{E}_{Newton})، مقادیر به‌روزرسانی شده متغیرهای بهینه‌سازی حاصل از الگوریتم مانع لگاریتم.
 ۲،۲. محاسبه مقدار نمو متغیرهای بهینه‌سازی و پارامتر کاهش نیوتن (λ^2):

$$\Delta(f_i, f_{frame i}) = - \left(\nabla^2 \text{cost}(f_i, f_{frame i}) \right)^{-1} \nabla \text{cost}(f_i, f_{frame i})$$

$$\lambda^2 = \nabla^T \text{cost}(f_i, f_{frame i}) \left(\nabla^2 \text{cost}(f_i, f_{frame i}) \right)^{-1} \nabla \text{cost}(f_i, f_{frame i})$$

- ۲،۳. اجرای مرحله (۲،۴) در صورت بیشتر بودن مقدار $\frac{\lambda^2}{2}$ از مقدار دقت (\mathcal{E}_{Newton})، توقف الگوریتم نیوتن و اجرای مرحله (۳) در صورت کمتر بودن مقدار $\frac{\lambda^2}{2}$ از مقدار دقت (\mathcal{E}_{Newton}).

- ۲،۴. محاسبه گام الگوریتم نیوتن ($t_{back tracking}$) به روش back tracking
 ۲،۴،۱. مقداردهی اولیه پارامترهای $\alpha_{back tracking} \in (0, 0.5)$ و $\beta_{back tracking} \in (0, 1)$ به‌طور تصادفی
 ۲،۴،۲. در نظر گرفتن مقدار $t_{back tracking} = 1$
 ۲،۴،۳. به‌روزرسانی $t_{back tracking}^{new} = \beta_{back tracking} t_{back tracking}^{old}$ در صورت اقیان شرط:

$$\text{cost}(f_i + t_{back tracking} \Delta f_i, f_{frame i} + t_{back tracking} \Delta f_{frame i}) > \text{cost}(f_i, f_{frame i}) + \alpha_{back tracking} t_{back tracking} \nabla^T \text{cost}(f_i, f_{frame i}) \Delta(f_i, f_{frame i})$$

۲،۵. به‌روزرسانی مقدار متغیرهای بهینه‌سازی f_i و $f_{frame i}$:

$$f_i \leftarrow f_i + t_{back tracking} \Delta f_i$$

$$f_{frame i} \leftarrow f_{frame i} + t_{back tracking} \Delta f_{frame i}$$

۳. اجرای مرحله ۲ در صورت برقراری شرط $\frac{m}{t} < \mathcal{E}_{barrier}$ و به‌روزرسانی گام الگوریتم مانع لگاریتم:

$$t \leftarrow \mu t$$

۴- نتایج شبیه‌سازی

الگوریتم پیشنهادی به‌صورت سناریوی تعقیب هدف با شکل استوانه‌ای در شبکه‌حس‌گر دیداری بی‌سیم پیاده‌سازی شده است. سناریوی شبیه‌سازی شده به‌این‌صورت است که هدف با بیشینه سرعت ۵ متر در ثانیه و با جهت تصادفی در شبکه‌حس‌گر دیداری بی‌سیم در حرکت است. همچنین مکان ورود هدف در شبکه تصادفی است. هر دوربینی که بتواند با توجه به موقعیت هدف تحت تعقیب نسبت به خود، با کیفیت مناسبی که در قسمت‌های قبل مطرح شد، از هدف تصویربرداری نماید و درعین‌حال میزان انرژی مصرفی در شبکه کمینه شود، روشن می‌شود. در ادامه، عملکرد و انرژی مصرفی الگوریتم پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. تابه‌حال الگوریتم معیاری که بتواند الگوریتم پیشنهادی را بر اساس کیفیت‌های مطرح‌شده برای کمینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر دیداری بی‌سیم، با آن مقایسه کرد، مطرح نشده است. به‌همین‌منظور در این مقاله، الگوریتم پیشنهادی با دو الگوریتم پایه (معیار) یعنی الگوریتم جستجوی فراگیر^۸

تعقیب هدف انتخاب می‌شوند. سپس مقدار پارامتر انتخاب، یعنی ρ_i ، برای این دوربین‌ها برابر با یک در نظر گرفته می‌شود و مسئله به‌صورت (۳۲) درمی‌آید.

$$\min \sum_{i=1}^m \left(b \left(d_i^{fc} \right)^2 f_{frame i} WHN_b + P_i^{video} T + \alpha \Delta f_i + \tau \beta_i \right)$$

$$f_{\min} - f_i \leq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$f_i - F_{\max} \leq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$f_{frame \min} - f_{frame i} \leq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$f_{frame i} - f_{frame \max} \leq 0 \quad \forall i = 1, 2, \dots, m$$

$$f_{frame i} \geq \frac{v}{N_{pixel}^{th} d_i^{th}} f_i \rho_{pixel} \quad \forall i = 1, 2, \dots, m$$

(۳۲)

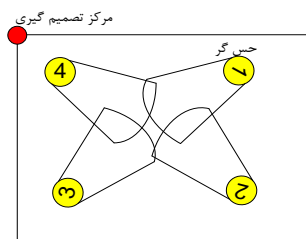
که m تعداد دوربین‌هایی است که قیدهای کیفیتی را برآورده می‌سازند. همان‌طور که قبلاً به آن اشاره شده است، در روش مانع لگاریتم، قیدهای نامساوی به‌صورت قیدهای مساوی تبدیل شده و در تابع هدف قرار می‌گیرد تا با الگوریتم‌های بهینه‌سازی بدون قید (روش نیوتن) نقطه بهینه مسئله بهینه‌سازی به‌دست آید. برای این منظور تابع هدف به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$\text{cost} = \sum_{i=1}^m \left(b \left(d_i^{fc} \right)^2 f_{frame i} WHN_b + P_i^{video} T + \alpha \Delta f_i + \tau \beta_i \right) - \left(\frac{1}{t} \right) \text{Log} \left(\sum_{i=1}^m - (f_{\min} - f) \right) - \left(\frac{1}{t} \right) \text{Log} \left(\sum_{i=1}^m - (f_i - F_{\max}) \right) - \left(\frac{1}{t} \right) \text{Log} \left(\sum_{i=1}^m - (f_{frame \min} - f_{frame i}) \right) - \left(\frac{1}{t} \right) \text{Log} \left(\sum_{i=1}^m - (f_{frame i} - f_{frame \max}) \right) - \left(\frac{1}{t} \right) \text{Log} \left(\sum_{i=1}^m - \left(\frac{v}{N_{pixel}^{th} d_i^{th}} f_i \rho_{pixel} - f_{frame i} \right) \right)$$

(۳۳)

که در رابطه (۳۳) $t \in \mathbb{R}$ ، $t > 0$ است. حال مقدار بهینه تابع هزینه و پارامترهای فاصله کانونی f ، نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی، f_{frame} ، برای دوربین‌هایی که می‌توانند قیود کیفیتی را برآورده سازند، محاسبه می‌شوند. برای این منظور الگوریتم زیر برای هر دوربین اجرا می‌گردد. در این حالت دوربینی برای ردگیری هدف انتخاب خواهد شد که با توجه به پارامترهای زیر بهینه به‌دست‌آمده (فاصله کانونی و نرخ فریم ویدئویی) انرژی مصرفی کمتری داشته باشد. به‌این‌ترتیب مقدار پارامتر انتخاب دوربین یعنی ρ_i برای دوربین انتخاب‌شده یک و برای بقیه دوربین‌ها صفر در نظر گرفته می‌شود.

۱. مقداردهی اولیه متغیرهای بهینه‌سازی (فاصله کانونی دوربین نام f_i و مقدار نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی $f_{frame i}$) بین مقادیر حداقل و حداکثرشان، به‌طور تصادفی، مقداردهی اولیه پارامترهای الگوریتم مانع لگاریتم یعنی $t \in \mathbb{R}$ ، $t > 0$ ، مقدار گام تکرار الگوریتم ($\mu > 1$) و مقدار دقت ($\mathcal{E}_{barrier}$)

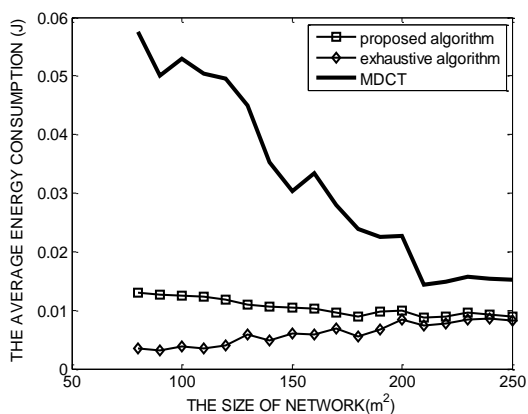


شکل ۳: ساختار شبکه در نظر گرفته شده در سناریوی تعقیب هدف

برای شبیه‌سازی اندازه شبکه از 100×100 مترمربع تا 250×250 مترمربع با گام ۱۰ مترمربع تغییر داده شده است. الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم‌های پایه با نرم‌افزار متلب شبیه‌سازی شده‌اند. در هر اندازه از شبکه، سناریوی تعقیب هدف ۴۰ بار تکرار شده است. متوسط انرژی مصرفی شبکه و دقت عملکرد در برآورده ساختن کیفیت‌های مطرح شده در این الگوریتم‌ها اندازه‌گیری و باهم مقایسه شده‌اند. برای مقایسه انرژی مصرفی این الگوریتم‌ها، انرژی مصرفی برای زمان‌هایی که معیارهای کیفیتی برآورده می‌شوند، محاسبه شده‌اند. برای محاسبه دقت عملکرد هر الگوریتم، تعداد دفعاتی را که شرایط کیفیتی در هر الگوریتم اقلان می‌شود، شمارش کرده و این تعداد بر کل دفعات اجرای الگوریتم تقسیم شده‌اند.

$$Accuracy(\%) = \frac{N_{satisfaction}}{N_{run}} \quad (34)$$

که $N_{satisfaction}$ تعداد دفعات برآورده شدن قیود کیفیت در هر الگوریتم و N_{run} دفعات اجرای الگوریتم را نشان می‌دهد. مقایسه انرژی مصرفی شبکه در الگوریتم‌های بیان شده، در شکل (۴) نشان داده شده است.



شکل ۴: مقایسه انرژی مصرفی در الگوریتم پیشنهادی، exhaustive algorithm و MDCT بر حسب اندازه شبکه

همان‌طور که در شکل (۴) نشان داده شده است، الگوریتم پیشنهادی در مقابل جستجوی فراگیر انرژی مصرفی بیشتری دارد البته این اختلاف در انرژی مصرفی در اندازه‌های بزرگ‌تر شبکه کاهش می‌یابد. اگر جواب الگوریتم جستجوی فراگیر در انتخاب دوربین به ترتیب از بهترین تا بدترین به صورت $\{\rho_{EXH}^*, \rho_{EXH}^1, \rho_{EXH}^2, \dots, \rho_{EXH}^{m-1}\}$ مرتب شود که ρ_{EXH}^* جواب بهینه الگوریتم جستجوی فراگیر و ρ_{EXH}^i اولویت i ام جواب الگوریتم

و الگوریتم حداقل فاصله بین دوربین و هدف^۳ (MDCT) مقایسه شده است. در الگوریتم فراگیر ابتدا آن دوربین‌هایی که قیدهای کیفیتی را اقلان می‌کنند، برای مرحله انتخاب شدن جهت تعقیب هدف کاندید می‌شوند. برای دوربین‌های کاندید شده، مقادیر ممکن فاصله کانونی و نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی به ترتیب با دقت ۰.۰۱ میلی‌متر و یک فریم در ثانیه در نظر گرفته شده است. میزان انرژی مصرفی شبکه برای تمام ترکیب‌های ممکن فاصله کانونی و نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی برای هر دوربین کاندید شده محاسبه شده و حالت بهینه پارامترهای فاصله کانونی و نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی (برای هر دوربین) محاسبه می‌شود. سرانجام دوربین با پارامترهای بهینه انتخاب شده (فاصله کانونی و نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی) که کمترین انرژی مصرفی را دارد، برای تعقیب هدف انتخاب می‌شود. در الگوریتم MDCT، معیار انتخاب حس‌گر (دوربین) برای تعقیب هدف، نزدیک بودن آن با هدف ملاک قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر، در این الگوریتم هر حس‌گری که فاصله کمتری با هدف دارد، انتخاب می‌شود. لازم به ذکر است که قبل از آنکه دوربین نزدیک به هدف انتخاب شود، آن دوربین‌هایی که کیفیت‌های مورد نظر را برآورده می‌سازند، برای انتخاب شدن کاندید می‌شوند. الگوریتم پیشنهادی در انرژی مصرفی و دقت عملکرد با الگوریتم‌های بیان شده، مقایسه شده است. مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱: مقادیر پارامترهای شبیه‌سازی

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
p_i^{video}	$3 \times 10^{-5} \text{ Jules / sec}$	C	$0.3 \mu m$
f_{min}	3.5 mm	D	1.5 f
f_{max}	91 mm	Δ	0.4 m
σ	50 m	R_f	0.5 m
SNR_{th}	10 dBm	λ	0.125 m
T_e	$35^\circ C$	N_f	۱
N_{bi}	8 bits	G_r	۲
G_f	۲	W	160 pixels
H	90 pixels	σ_{th}^2	۰.۳
τ	$0.04 \text{ Jules / radian}$	δ_{th}	5 deg
R_{oc}	0.5 m	V	5 m / sec
μ	1.25	$\epsilon_{barrier}$	10^{-6}
ϵ_{Newton}	10^{-4}		

برای عملی کردن الگوریتم پیشنهادی و پیاده‌سازی آن نیاز است که یک سیستم تخمین‌گر فاصله و سرعت در کنار سیستم پیشنهادی قرار گیرد تا بتواند موقعیت هدف و موقعیت عامل انسداد و همچنین سرعت‌هایشان را برای تصمیم‌گیری در اختیار سیستم پیشنهادی قرار دهد. ساختار شبکه برای شبیه‌سازی در شکل (۳) نشان داده شده است.

فرض شود و دقت الگوریتم پیشنهادی در رسیدن به جواب ϵ باشد،

پیچیدگی محاسباتی از مرتبه $m \frac{\text{Log}\left(\frac{m}{\epsilon t(0)}\right)}{\text{Log}(\mu)}$ خواهد بود که با

تقریب می‌توان این پیچیدگی را از مرتبه m در نظر گرفت. در الگوریتم جستجوی فراگیر، اگر رزولوشن نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی و رزولوشن فاصله کانونی به ترتیب N_{focal} و N_{frame} باشند، پیچیدگی محاسباتی $N_{focal} N_{frame} m$ است که با افزایش تعداد دورین پیچیدگی محاسباتی روش پیشنهادی بسیار کمتر خواهد بود. مقادیر فاصله کانونی و نرخ فریم ویدئویی، مقادیری پیوسته هستند ولی در شبیه‌سازی رایانه‌ای، و حتی پیاده‌سازی دیجیتال، گسسته در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین الگوریتم جستجوی فراگیر برای دست یافتن به

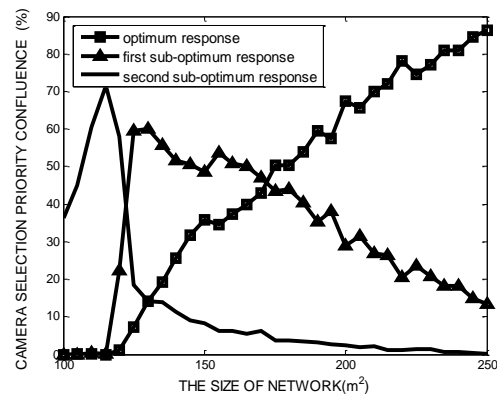
نقطه‌ی بهینه، نیاز به پیچیدگی محاسباتی از مرتبه $m \frac{\text{Log}\left(\frac{m}{\epsilon t(0)}\right)}{\text{Log}(\mu)}$

دارد. در الگوریتم MDCT معیار انتخاب دورین تنها به فاصله هدف و دورین است. در واقع دورینی که کمترین فاصله را با هدف داشته باشد برای تعقیب هدف انتخاب و فعال می‌شود. در نتیجه، پیچیدگی محاسباتی روش MDCT از مرتبه خطی m (تعداد دورین‌هایی که می‌تواند با توجه به فاصله از هدف فاصله کانونی خود را تنظیم نمایند و قادرند از هدف با حداکثر انسداد جزئی تصویربرداری نمایند) خواهد بود که از پیچیدگی روش پیشنهادی کمتر است. اما پیچیدگی روش پیشنهادی به گونه‌ای است که امکان پیاده‌سازی عملی آن وجود داشته و انرژی پردازشی قابل توجهی به دورین‌ها اعمال نمی‌کند. با توجه به این‌که مصرف انرژی در روش MDCT به مراتب بیشتر از روش پیشنهادی (تقریباً شش برابر در اندازه‌های پایین شبکه) است و همچنین با نظر به اینکه روش پیشنهادی در بیشتر مواقع کیفیت سرویس (کیفیت تصویر دریافتی) را اقلان می‌کند، کاهش مصرف انرژی در الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با روش MDCT نتیجه مطلوبی خواهد بود. الگوریتم MDCT دورین نزدیک به هدف را انتخاب می‌کند، باعث می‌شود که برای برآورده شدن کیفیت ویدئوی دریافتی از هدف (نداشتن پرش در ویدئو)، نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی بالا رود که منجر به افزایش انرژی مصرفی خواهد شد. از طرفی، ممکن است دورینی که به هدف نزدیک است فاصله بیشتری نسبت به مرکز تصمیم‌گیری داشته باشد که این امر نیز موجب افزایش انرژی مصرفی در الگوریتم MDCT خواهد شد. حال آن‌که در الگوریتم پیشنهادی برای انتخاب حس‌گر، به فاصله‌های حس‌گر نسبت به مرکز تصمیم‌گیری و حس‌گر نسبت به هدف توجه می‌شود که هم کیفیت تصویر دریافتی از هدف افزایش یابد و هم انرژی مصرفی برای انتقال تصویرهای دریافتی به مرکز تصمیم‌گیری کاهش یابد. شکل (۶) مقایسه دقت عملکرد الگوریتم‌ها (الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم جستجوی فراگیر و الگوریتم MDCT)، برآورده ساختن کیفیت‌های مطرح‌شده را نشان می‌دهد.

جستجوی فراگیر را نشان می‌دهد، آنگاه تعداد دفعاتی که جواب الگوریتم پیشنهادی یعنی $\rho_{PROPOSED}$ با جواب بهینه و یا جواب با اولویت i ام یکسان می‌شود، را شمارش کرده و بر تعداد کل دفعات اجرای الگوریتم پیشنهادی، N_{run} ، (الگوریتم‌ها به‌طور همزمان و با تعداد دفعات یکسان اجرا می‌شوند) تقسیم نموده تا احتمال یکسان شدن جواب الگوریتم پیشنهادی با جواب بهینه یا جواب با اولویت i ام الگوریتم جستجوی فراگیر محاسبه شود. رابطه (۳۵) این احتمال را در هر اندازه از شبکه نشان می‌دهد.

$$p_i(\%) = \frac{\sum_{j=1}^{N_{run}} (\rho_{PROPOSED} = \rho_{EXH}^j)}{N_{run}} \quad (35)$$

که عبارت شرطی $(\rho_{PROPOSED} = \rho_{EXH}^j)$ زمانی که جواب روش پیشنهادی و اولویت i ام جواب روش جستجوی فراگیر یکسان شود، مقدار یک به خود می‌گیرد؛ در غیر این صورت، مقدار صفر خواهد داشت. احتمال یکسان شدن جواب روش پیشنهادی با جواب بهینه و جواب‌ها با اولویت‌های اول و دوم روش جستجوی فراگیر، در شکل (۵) نشان داده شده است.

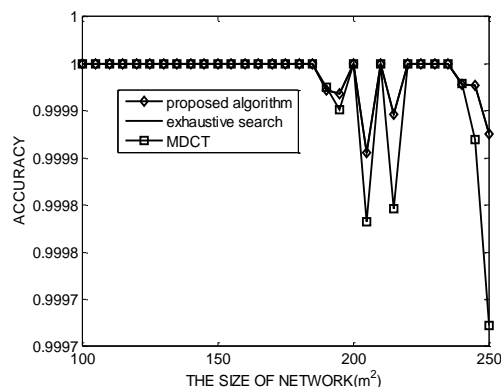


شکل ۵: درصد تلافی نتیجه اولویت‌های انتخاب دورین در دو الگوریتم جستجوی فراگیر و الگوریتم پیشنهادی

همان‌طور که در شکل (۵) نشان داده شده است وقتی اندازه شبکه کم است، اولویت دوم انتخاب دورین الگوریتم جستجوی فراگیر با اولویت اول انتخاب دورین الگوریتم پیشنهادی یکسان است. با افزایش اندازه شبکه، اولویت اول دو الگوریتم باهم یکسان می‌شوند. این به آن علت است که با افزایش شبکه، تعداد انتخاب برای فعال کردن دورین کاهش می‌یابد. اختلاف اولویت‌ها در دو الگوریتم (فاصله نقطه بهینه الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم جستجوی فراگیر) به آن علت است که در الگوریتم پیشنهادی دو پارامتر فاصله کانونی و نرخ نمونه‌برداری فریم ویدئویی کمیت‌های گسسته‌ای هستند که به‌صورت پیوسته در نظر گرفته می‌شوند درحالی‌که در الگوریتم جستجوی فراگیر کل مقادیر ممکن بین حداقل و حداکثر این پارامترها جستجو می‌شود. در نتیجه این اختلاف، سرعت همگرایی الگوریتم پیشنهادی بسیار بیشتر از الگوریتم جستجوی فراگیر خواهد بود. اگر تعداد دورین‌های کاندید m

مراجع

- [1] I. F. Akyildiz, T. Melodia and K. R. Chowdhury, "A survey on wireless multimedia sensor networks," *Computer Networks*, vol. 51, no. 4, pp. 921-960, 2007.
- [2] V. P. Munishwar and N. B. Abu-Ghazaleh, "Scalable target coverage in smart camera networks," In *Proceedings of the 4th ACM/IEEE International Conference on Distributed Smart Cameras*, 2010.
- [3] M. Sabokrou, M. Fathy and M. Hoseni, "Intelligent target tracking in Wireless Visual Sensor Networks," *The 2nd IEEE International Conference on Computer and Knowledge Engineering (ICCKE)*, 2012.
- [4] S. Soro and W. Heinzelman, "Camera selection in visual sensor networks," *IEEE International Conference on Advance Video and Signal based Surveillance*. 2007
- [5] J. Park, P. C. Bhat and A. C. Kak, "A look-up table based approach for solving the camera selection problem in large camera networks," In *Proceedings of the International Workshop on Distributed Smart Cameras (DCS '06)*, 2006.
- [6] M. Karakaya and H. Qi, "Coverage estimation for crowded targets in visual sensor networks," *ACM Transactions on Sensor Networks (TOSN)*, vol. 8, no. 3, Article No. 26, 2012.
- [7] M. Karakaya and H. Qi, "Coverage estimation in heterogeneous visual sensor networks," *The 8th IEEE International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems (DCOSS)*, 2012.
- [8] R. Dai and I. F. Akyildiz, "A spatial correlation model for visual information in wireless multimedia sensor networks," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 11, no. 6, pp. 1148-1159, 2009.
- [9] D. Bernhard, C. Micheloni and B. Rinner, "Resource-aware coverage and task assignment in visual sensor networks," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 21, no. 10, pp. 1424-1437, 2011.
- [10] R. LiKamWa, B. Priyantha, M. Philipose, L. Zhong and P. Bahl, "Energy characterization and optimization of image sensing toward continuous mobile vision," In *Proceeding of the 11th ACM annual International Conference on Mobile Systems, Applications and Services*, pp. 69-82, 2013.
- [11] S. M. Amiri, P. Nasiopoulos and V. C. M. Leung, "Collaborative routing and camera selection for wireless visual sensor networks," *IET Communications*, vol. 5, no. 17, pp. 2443-2450, 2011.
- [12] M. Shafieian and A. Jamshidi, "A. Power Allocation and Partner Selection in Energy Efficient Cooperative WSN," *Arabian Journal for Science & Engineering (Springer Science & Business Media BV)*, vol. 39, no. 3, pp. 2071-2081, 2014.
- [۱۳] سیدهدای اقدسی و مقصود عباس‌پور، «الگوریتم توزیع‌شده جهت فراهم آوردن پوشش چندجانبه از هدف در شبکه‌های حسگر بصری»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۲، شماره ۲، صفحه ۶۳-۵۳، ۱۳۹۲.
- [۱۴] محمود پرند و سیدهدای اقدسی علمداری، «ارائه پروتکل ارسال داده انرژی-کارا مبتنی بر موقعیت برای شبکه‌های حسگر بصری»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۷، شماره ۱، صفحه ۳۸-۲۹، ۱۳۹۶.



شکل ۶: مقایسه دقت عملکرد در الگوریتم پیشنهادی، exhaustive algorithm و MDCT برحسب اندازه شبکه

همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده است الگوریتم پیشنهادی عملکرد نزدیکی با الگوریتم جستجوی فراگیر دارد. در مقایسه با الگوریتم MDCT، الگوریتم پیشنهادی عملکرد بالاتری دارد. این به آن علت است که اگر در الگوریتم MDCT دوربین نزدیک به هدف، سرعت بالایی داشته باشد، نمی‌تواند قید کیفیت ویدئوی بدون پرش را برآورده سازد. همچنین اگر هدف خیلی به دوربین نزدیک باشد، فاصله کانونی نمی‌تواند با توجه به محدودیتش تنظیم شود و این امر نیز باعث کاهش در عملکرد الگوریتم MDCT در مقایسه با الگوریتم پیشنهادی خواهد شد.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله بهینه‌سازی مصرف انرژی در شبکه‌های حسگر دیداری بی‌سیم مورد بررسی قرار گرفته شده است. برای بهینه‌سازی مصرف انرژی، رویکرد انتخاب حسگر در نظر گرفته شد. برای ارائه الگوریتم انتخاب حسگر، معیارهای بر اساس کیفیت ویدئوی دریافتی مطرح شد. همچنین انسداد جزئی در تصاویر دریافتی از هدف به‌عنوان یک معیار کیفیتی جهت انتخاب حسگر در نظر گرفته و به‌صورت ریاضی بیان گردید. الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های معیار مقایسه شد. شبیه‌سازی‌ها نشان داد که الگوریتم پیشنهادی دارای عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم MDCT در برآورده‌سازی کیفیت است. همچنین الگوریتم پیشنهادی قادر است نرخ فریم ویدئوی دریافتی از هدف را با توجه به فاصله هدف از دوربین و سرعت هدف تعیین نماید. به‌علاوه واریانس مقادیر شدت روشنایی پیکسل‌های ویدئوی دریافتی از هدف به‌عنوان کیفیت ویدئوی دریافتی از هدف بر اساس فاصله هدف از دوربین تنظیم می‌گردد. در الگوریتم پیشنهادی برای برآورده شدن کیفیت تصویر مورد انتظار کاربر، فاصله کانونی با توجه به شعاع هدف و فاصله آن از حسگر به‌طور خودکار تنظیم می‌شود. در مقایسه با الگوریتم جستجوی فراگیر الگوریتم پیشنهادی با عملکردی تقریباً مشابه و صرف انرژی بیشتر، اما با سرعت همگرایی بالاتر و پیچیدگی محاسباتی کمتر، هدف در حال حرکت در شبکه را تعقیب می‌نماید.

- optimization,” The 7th International Symposium on Telecommunications (IST), pp. 312-315, 2014.
- [19] T. M. Kwon, Atmospheric Visibility Measurements Using Video Cameras Relative Visibility, Technical Report, University of Minnesota, Duluth, Department of Electrical and Computer Engineering, Report No, CTS 04-03, July 2004.
- [20] S. Joshi and S Boyd, “Sensor Selection via Convex Optimization,” IEEE Transaction on Signal Processing, vol. 57, no. 2, 2009.
- [21] M. Najimi, A. Ebrahimzadeh, S. M. H. Andargoli, and A. Fallahi, “A novel sensing nodes and decision node selection method for energy efficiency of cooperative spectrum sensing in cognitive sensor networks,” IEEE Sensors Journal, vol. 13, no. 5, pp. 1610-1621, 2013.
- [22] S. Boyd and L. Vanderberghe, Convex Optimization, Cambridge University Press, 2009.
- [15] A. Naeem, N. Lawal, M. O’Nils, B. Oelmann, M. Imran and K. Khursheed, “Model and placement optimization of a sky surveillance visual sensor network,” IEEE International Conference on Broadband and Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), pp. 357-362, 2011.
- [16] V. P. Munishwar, V. Kolar and N. B. Abu-Ghazaleh, “Coverage in visual sensor networks with pan-tilt-zoom cameras: the maxFoV problem,” In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Communications (INFOCOM), pp.1492-1500, 2014.
- [17] R. Hartley and A. Zisserman, Multiple View Geometry in Computer Vision, Cambridge University Press, 2003.
- [18] R. Ghazalian, A. Aghagolzadeh and S. M. Hosseini Andargoli, “Energy consumption minimization in wireless visual sensor networks using convex

زیر نویس ها

¹ Field of View

² Binary Phase Shift Keying

³ Integer Programming

⁴ Hessian Matrix

⁵ Sub Level Set

⁶ Super Level Set

⁷ Logarithm Barrier

⁸ Exhaustive Algorithm

⁹ Minimum Distance between the Camera and the Target