بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

ارائه کیفیت سرویس مطلوب و کاهش حافظه مصرفی در شبکه حسگر دوربین

رساله دکتری مهندسی کامپیوتر

سیدمحمد رضا سروش مهر

استاد راهنما
دکتر شادرخ سماوی

۱۳۹۲

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

رساله دکتری رشتهٔ مهندسی کامپیوتر سیدمحمد رضا سروش مهر

تحت عنوان

ارائه کیفیت سرویس مطلوب و کاهش حافظه مصرفی در شبکه حسگر دوربین

در تاریخ ۱۳۹۲/۳/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای رساله	دکتر شادرخ سماوی
۲- استاد مشاور رساله	دکتر سعید صدری
۳- استاد مشاور رساله	دکتر شهرام شیرانی
۴- استاد داور	دکتر شهره کسایی
۵- استاد داور	دکتر ناصر موحدی‌نیا
۶- استاد داور	دکتر بهزاد نظری
سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده	دکتر مسعود عمومی

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق
به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.

بر در شاهم گدایی نکته‌ای در کار کرد　　گفت بر هر خوان که بنشستم خدا رزاق بود

خدای را سپاس به خاطر بخششهای همیشگی و بی منتش و پدر و مادرم را سپاس که هر آنچه دارم از دعای خیرشان است.

از استاد راهنمای بزرگوارم جناب آقای دکتر سماوی صمیمانه تشکر می نمایم. راهنماییهای ایشان نه تنها در مسائل علمی بلکه در نشان دادن مسیر زندگی همیشه راهگشا بوده است.

از اساتید مشاورم جناب آقای دکتر صدری و جناب آقای دکتر شیرانی سپاسگزارم. حمایتهای این دو بزرگوار نیز در پیشبرد این رساله نقش به سزایی داشته است.

از دوست عزیزم جناب آقای دکتر کریمی که مانند یک برادر همواره کمک کننده بوده اند تشکر می کنم.

از تمام اساتید، معلمان و دوستان گرامیم که هریک نقشی در زندگیم داشته اند سپاسگزارم.

سروش مهر

۱۳۹۲

فهرست مطالب

عنوان.....**صفحه**
فهرست مطالب .....هفت
چکیده ۱
فصل اول: مقدمه..... ..... ۲
۱-۱- کلیات..... ۲
۱-۲- هدف از رساله و ساختار آن ۳
فصل دوم: تعاریف و مرور تحقیقات گذشته ۷
۲-۱- مقدمه ۷
۲-۲- شبکه‌های حسگر ۸
۲-۲-۱- ساختار داخلی یک گره حسگر ۹
۲-۲-۲- کاربردهای شبکه حسگر ۱۰
۲-۲-۳- عوامل تأثیرگذار بر طراحی شبکه حسگر ۱۲
۲-۳- شبکه حسگر دوربین ۱۵
۲-۳-۱- ویژگی‌های شبکه حسگر دوربین ۱۵
۲-۳-۲- کاربردهای شبکه حسگر دوربین..... ۱۷
۲-۳-۳- عوامل موثر در طراحی شبکه حسگر دوربین ۱۸
۲-۳-۴- مدل‌سازی حسگر دوربین ۱۹
۲-۴- تحقیقات صورت‌گرفته در ارتباط با شبکه حسگر..... ۲۰
۲-۵- جمع‌بندی..... ۳۱
فصل سوم: پوشش ناحیه‌ای با وضوح همگن..... ۳۲
۳-۱- مقدمه ۳۲
۳-۲- تعاریف و روابط استفاده‌شده ۳۳
۳-۳- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی..... ۳۶
۳-۴- مسیریابی..... ۳۷
۳-۵- روش‌های پیشنهادی برای انتخاب حسگر ۳۸
۳-۵-۱- روش‌های حریصانه ۳۸
۳-۵-۲- روش تکاملی برای انتخاب حسگر ۴۰
۳-۵-۳- نتایج شبیه‌سازی ۴۵

۳-۶- جمع‌بندی ۴۸
فصل چهارم: پوشش نقاط هدف با وضوح غیر همگن ۴۹
۴-۱- مقدمه ۴۹
۴-۲- تعریف مسأله ۵۰
۴-۳- بررسی پیچیدگی مسأله ۵۳
۴-۴- روش‌های متمرکز پیشنهادی برای حالت دو بعد ۵۵
۴-۴-۱- روش پیشنهادی اول ۵۶
۴-۴-۲- روش پیشنهادی دوم ۵۷
۴-۴-۳- روش جستجوی کامل ۵۸
۴-۵- روش توزیع‌شده پیشنهادی ۵۸
۴-۶- روش‌های پیشنهادی برای حالت یک بعد ۵۹
۴-۷- بررسی امکان حل بهینه حالت دو بعد ۶۴
۴-۸- نتایج شبیه‌سازی ۶۶
۴-۹- جمع‌بندی ۷۲
فصل پنجم:کاهش حجم داده‌ها به منظور کاهش حافظه مصرفی و پهنای باند ۷۴
۵-۱- مقدمه ۷۴
۵-۲- کلیات فشرده‌سازی ویدئویی ۷۵
۵-۳- تخمین حرکت ۷۷
۵-۴- روش تخمین حرکت بر مبنای انطباق بلوک ۷۷
۵-۴-۱- کاهش تعداد نقاط جستجو ۷۹
۵-۴-۲- کاهش محاسبات هر بلوک ۸۰
۵-۴-۳- جستجوی کامل و سریع ۸۱
۵-۴-۴- ساده‌سازی تابع معیار ۸۲
۵-۴-۵- اِعمال تابع معیار روی تصویر با وضوح پایین ۸۲
۵-۴-۶- روش‌های مبتنی بر پیشگویی ۸۳
۵-۴-۷- ساخت هرم ۸۵
۵-۵- روش شبکه‌بندی ۸۵
۵-۶- روش پیشنهادی برای تخمین حرکت ۸۶
۵-۶-۱- همبستگی بردارهای حرکت ۸۶
۵-۶-۲- مشاهده اول ۸۸
۵-۶-۳- مشاهده دوم ۹۱

۵-۶-۴- جزییات الگوریتم ۹۳
۵-۶-۵- نتایج شبیه‌سازی ۹۴
۵-۷- جمع‌بندی ۹۷
فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادها ۹۸
۶-۱- نتیجه‌گیری ۹۸
۶-۲- موارد پیشنهادی ۱۰۲
مراجع ۱۰۳

چکیده

محدودیت منابع از جمله چالش‌های شبکه‌های حسگر است که می‌بایست در طراحی شبکه و الگوریتمهای مورد استفاده مورد توجه قرار گیرند. از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به توان مصرفی، توان محاسباتی، پهنای باند کانال و حافظه اشاره نمود. از آنجا که معمولاً منبع تغذیه حسگرها در شبکه‌های حسگر باتری می‌باشد استفاده صحیح از این منبع باعث افزایش عمر شبکه می‌گردد. تا کنون راهکارهای متنوعی برای کاهش توان مصرفی در شبکه‌های حسگر پیشنهادشده است که از جمله آنها می‌توان به زمانبندی فعالیت حسگرها، طراحی روش‌های مسیریابی آگاه از توان، طراحی حسگرهای کم مصرف و طراحی نرم افزارهای با پیچیدگی کم اشاره نمود. در این رساله ابتدا تعاریف و کاربردهای شبکه‌های حسگر دوربین بررسی می‌شود. سپس چالش‌های موجود در طراحی شبکه‌های حسگر عنوان می‌گردد. از بین کاربردهای مختلف شبکه‌های حسگر دوربین کاربرد مهم پوشش و پایش نقاط هدف در نظر گرفته‌شده، دو مسأله در این ارتباط مطرح می‌شود. هدف کلی هر دو مسأله انتخاب بهینه حسگر به منظور افزایش طول عمر شبکه است. در مسأله اول پوشش ناحیه‌ای با وضوح همگن مد نظر است. در این ارتباط راه‌حل‌های حریصانه و تکاملی پیشنهاد می‌گردد. در مسأله دوم پوشش نقاط هدف با وضوح غیر همگن مورد نظر است. در این ارتباط ابتدا مسأله به شکل یک مسأله بهینه‌سازی گسسته مطرح شده، ثابت می‌شود که این مسأله در حالت کلی از لحاظ پیچیدگی $NP-Hard$ است. برای حل این مسأله دو راه حل متمرکز حریصانه و یک روش توزیع‌شده پیشنهاد می‌شود. برای حالت خاصِ مسأله که در آن نقاط هدف روی یک خط قرار دارند و از آن تعبیر به حالت یک بعدی می‌شود، یک راه حل بهینه با پیچیدگی محاسباتی کم و با کمک ساختار ترلیس پیشنهاد می‌گردد. روش‌های پیشنهادی از لحاظ عملکرد و زمان اجرا با روش بهینه مقایسه، کارایی آنها بررسی می‌گردد. علاوه بر این روشی طراحی می‌شود که با کمک آن بتوان تشخیص داد که در چه صورتی مسأله پوشش با وضوح غیر همگن در حالت کلی قابل تبدیل به حالت یک بعد و استفاده از روش بهینه برای حل است. برای این منظور یک ساختار درختی پیشنهاد می‌گردد. از آنجا که حجم داده‌های ویدئویی زیاد است و انتقال یا نگهداری آنها نیاز به پهنای باند زیاد دارد و با توجه به محدودیتهای شبکه حسگر از لحاظ حجم حافظه و پهنای باند، روشی ساده و منظم ارائه می‌شود که بتواند پیچیدگی محاسباتی بخش تخمینِ حرکتِ کدکننده‌های ویدئویی را کاهش دهد. این روش بر اساس ویژگی‌هایی از تصاویر ویدئویی طراحی شده که از روی طیف وسیعی از تصاویر استاندارد بدست آمده است. روش پیشنهادی از لحاظ معیار PSNR و سرعت اجرا با روشهای مطرح در این زمینه مقایسه می‌گردد.

کلمات کلیدی: ۱-شبکه حسگر دوربین ۲-پوشش ناحیه‌ای ۳- پوشش نقاط ۴- وضوح غیرهمگن ۵- وضوح همگن ۶-فشرده‌سازی

فصل اول
مقدمه

۱-۱- کلیات

شبکه‌های حسگر بی‌سیم[1] از ابزارهای ساده و کوچکی تشکیل شده‌اند که برای بازبینی رویدادها یا مسیریابی اشیاء یا افرادِ در حال حرکت، در یک ناحیه توزیع می‌گردند[۱]. این شبکه‌ها از لحاظ نوع حسگر بکار برده شده تنوع زیادی دارند که از جمله آنها می‌توان به شبکه‌هایی اشاره نمود که در آنها از حسگرهای دوربین‌دار استفاده می‌شود. این شبکه‌ها را مجموعه‌ای از گره‌های کوچک و ارزان‌قیمت تشکیل می‌دهد. منبع تغذیه این حسگرها معمولاً باتری است و قابلیت ارسال دادها را بصورت بیسیم دارا می‌باشند. همچنین پس از تصویربرداری یا فیلم‌برداری از محیط داده‌های جمع‌آوری شده را پردازش کرده، یا به گره‌های دیگر و واحد پردازش مرکزی انتقال می‌دهند. این کار بستگی به توان پردازشی گره‌ها و نوع کاربرد دارد. در شبکه حسگر بیسیم، معمولاً دوربین‌ها و گره‌های پردازشی روی ناحیه وسیعی پخش می‌شوند. از آنجا که جهت و موقعیت اولیهٔ دوربین‌ها ناشناخته است، نیاز به روشی است که موقعیت، جهت و محدوده دید هر حسگر دوربین در فضای سه بعدی مشخص گردد. این کار توسط روشهایی تحت عنوان کالیبراسیون انجام می‌گیرد[۲]. با موقعیت‌یابی دوربین‌ها در شبکه می‌توان مشخص کرد که هر دوربین چه محدوده‌ای از فضا را می‌بیند و همچنین می توان مشخص نمود که میزان همپوشانی دوربینها چقدر است. این اطلاعات می‌تواند برای کاربردهایی چون مسیریابی اشیاء و تخمین موقعیت آنها و پوشش محیط استفاده شود. با استفاده از این نوع شبکه می‌توان کارهایی مانند نظارت محیط، کنترل و نظارت ترافیک بزرگراه، پایش[2] و مسیریابی

---
[1] Wireless Sensor Networks (WSNs)
[2] Surveillance

اشیاء را انجام داد. در این کاربردها تصاویر محیط از چندین حسگر دوربین دریافت می‌شود و سپس داده‌ها برای شناسایی، مسیریابی و کنترل دوربین‌ها پردازش می‌گردد. در این پردازش‌ها ممکن است از داده‌های گره‌های دیگر نیز استفاده شود که این امر مستلزم تراکنش و هماهنگی بین دوربین‌هاست.

از جمله مشکلاتی که در این شبکه وجود دارد این است که بیشتر گره‌ها اطلاعات را تا فاصله محدودی انتقال می‌دهند و پهنای باند آنها محدودیت بیشتری نسبت به شبکه‌های معمول دارد. محدودیت دیگر آنها توان پردازشی و حافظه آنهاست که بسیار محدودتر از کامپیوترهای رومیزی یا کامپیوترهای قابل حمل است. از دیگر محدودیت‌های این شبکه‌ها که اهمیت بسیار زیادی دارد محدودیت توان مصرفی آنهاست. حسگرها معمولاً با باتری تغذیه می‌شوند. از این رو استفاده بهینه از این منابع باعث افزایش طول عمر شبکه می‌شود. وجود چنین محدودیت‌هایی باعث شده که تحقیقات زیادی برای غلبه بر آنها صورت گیرد. به همین دلیل تا کنون روش‌های مختلفی با توجه به نوع کاربرد شبکه معرفی شده است. یکی از کاربردهای بسیار مهم این شبکه‌ها نظارت بر محیط و پایش آن می‌باشد. در این رساله با درنظر گرفتن چنین کاربردی، روش‌هایی ارائه می‌شود که محدودیت‌های بالا را در نظر گرفته، طول عمر شبکه افزایش یابد. در ادامه به شرح مختصر فصول این رساله و ساختار آن می‌پردازیم.

۱-۲- هدف از رساله و ساختار آن

همان طور که گفته شد شبکه‌های حسگر دوربین دارای محدودیت‌هایی در توان پردازشی و محاسباتی، توان مصرفی، پهنای باند و حافظه مصرفی می‌باشند. استفاده بهینه از این منابع می‌تواند در افزایش عمر این شبکه‌ها نقش به‌سزایی داشته باشد. هدف از انجام این رساله ارائه روش‌هایی است که بتواند بر این محدودیت‌ها غلبه کرده، طول عمر شبکه افزایش یابد. به طور خاص، این رساله دارای دو هدف است: ۱- در ارتباط با مسأله پایش محیط، تأمین کیفیت مطلوب خدمات و افزایش عمر شبکه هدف مسأله است. ۲- در ارتباط با محدودیت حافظه مصرفی و توان پردازشی هدف ارائه روشی است که با پیچیدگی کم بتواند حجم داده‌های ویدئویی را کاهش دهد.

در فصل دوم در مورد شبکه‌های حسگر و کاربردهای آن بحث می‌شود. سپس شبکه‌های حسگر دوربین به عنوان شاخه‌ای از شبکه‌های حسگر که اخیراً تحقیقات زیادی را به سمت خود جذب کرده، معرفی می‌شود. در این بخش در مورد کاربردها و چالش‌های طراحی این شبکه‌ها بحث شده، در پایان این فصل مروری بر تحقیقات انجام‌شده درباره شبکه‌های حسگر با دیدگاه پایش و پوشش محیط انجام می‌گیرد.

در فصل سوم مسأله ای در ارتباط با یکی از کاربردهای شبکه حسگر دوربین یعنی پوشش ناحیه‌ای مطرح می‌شود. در این مسأله فرض می‌شود که تعدادی دوربین در یک ناحیه بصورت تصادفی یکنواخت توزیع شده‌اند. این بدین معناست که مکان و زوایای قرارگیری دوربینها بصورت تصادفی تعیین می‌گردد. از آنجا که تعیین پارامترهای دوربین در تعیین ناحیه‌ای که دوربین پوشش می‌دهد و همچنین در تعیین میزان همپوشانی دوربینها نقش دارد در این مسأله فرض شده که با کمک روش‌های کالیبراسیون موقعیت و زوایای قرارگیری دوربینها در دست است. همچنین فرض می‌شود که پس از توزیع دوربینها امکان حرکت یا تغییر زوایای قرارگیری آنها وجود ندارد و پارامترهای دوربین نظیر فاصله کانونی و ... نیز تغییر نمی‌کند. هدف این مسأله پوشش ناحیه‌ای است که به عنوان ناحیه هدف در ارتفاع مشخصی از ناحیه توزیع دوربین‌ها قرار دارد. فرض شده که این دوربینها با باتری تغذیه می‌شوند و در ناحیه‌ای

مثل نواحی جنگی توزیع شده‌اند که پس از توزیع، امکان دسترسی به آنها برای شارژ یا تعویض باتری وجود ندارد. با توجه به چنین شرایطی، معمولاً دوربینها بیش از تعدادی توزیع می‌شوند که برای پوشش ناحیه لازم است تا امکان انتخاب تعدادی از دوربینها (کمتر از تعداد توزیع شده) برای دستیابی به پوشش مورد نظر وجود داشته باشد. پس از انتخاب مجموعه‌ای از دوربین‌ها، دوربینهای انتخاب شده از ناحیه مورد نظر تصویر(فیلم) برداری می‌کنند تا زمانیکه باتری حداقل یکی از آنها تمام شود. پس از آن می‌بایست دوربینی(دوربینهایی) جایگزین آن دوربین‌ها شود یا مجموعه‌ای جدید از دوربینها انتخاب گردد. این کار تا جایی ادامه می‌یابد که پوشش شبکه از آستانه‌ای بیشتر باشد. در این مسأله تعداد حسگرهایی که انتخاب می‌شود می‌بایست حداقل باشد تا عمر شبکه افزایش یابد. حسگرها باید به گونه‌ای انتخاب شوند که پوشش مطلوب ناحیه مورد نظر تا حداکثر بازه زمانی ممکن ادامه یابد. منظور از پوشش مطلوب پوشش کامل ناحیه در حالتی است که چنین امکانی وجود داشته باشد و یا تأمین حداقل درصدی از پوشش حسگرهای زنده است در حالتی‌که حسگرهای زنده نمی‌توانند پوشش کامل را تأمین کنند. در این فصل ابتدا تعاریف و روابط مورد نیاز برای حل مسأله تشریح می‌شود. سپس دو دسته راه حل یکی حریصانه[1] و دیگری تکاملی[2] برای حل مسأله پیشنهاد می‌گردد. الگوریتمهای دسته اول دوربین‌ها را بر اساس یک تابع اولویت انتخاب می‌کنند. پارامترهای این تابع شامل میزان پوشش هر حسگر، میزان همپوشانی و میزان باتری باقیمانده آن است. از میان حالات مختلفی که می‌توان تابع اولویت را تعریف کرد، در این فصل سه تابع بررسی می‌شود. در تابع اول انتخاب دوربین‌ها صرفاً بر اساس میزان مساحت دید آن صورت می‌گیرد. به این معنا که دوربین‌ها بر اساس مساحتی که از ناحیه هدف پوشش می‌دهند مرتب می‌شوند. سپس انتخاب آنها بر اساس لیست مرتب شده صورت می‌گیرد. این کار تا جایی ادامه می یابد که پوشش مطلوب تأمین گردد. در روش حریصانه دوم، تابع اولویت بر اساس میزان همپوشانی و باتری باقیمانده دوربین‌ها تعریف می‌شود. بدین معنا که اشتراک ناحیه پوشش هر یک از دوربین‌هایی که انتخاب نشده‌اند با کل ناحیه پوشش دوربینهای انتخاب شده بدست می‌آید. سپس تابعی بر اساس عکس این مقدار و باتری باقیمانده دوربین‌ها تعریف می‌شود. دوربینی که مقدار تابع برای آن بیشترین باشد انتخاب می گردد. در روش سوم تفاضل متقارن میزان پوشش هر حسگر با ناحیه پوشیده شده توسط حسگرهای انتخاب شده اولویت حسگر برای انتخاب شدن را مشخص می‌کند. در دسته دومِ الگوریتم‌ها دو الگوریتم ژنتیک[3] و بهینه‌سازی دسته ذرات[4] پیشنهاد می‌گردد. روش‌های پیشنهادشده با توجه به پارامترهایی مانند میزان پوشش، همپوشانی، عمر شبکه، تعداد حسگرهای انتخابی و تعداد حسگرهای زنده در هر بازه و همچنین زمان اجرا مقایسه می‌شوند.

در فصل چهارم مسأله ای در قالب پایش نقاط هدف مطرح می‌شود. این مسأله شکل کلی‌تری از مسأله فصل قبل است که در آن هر نقطه هدف می‌بایست با وضوح مشخصی دیده شود. برای هر نقطه هدف مقدار وضوح مطلوب دیده شدن آن مشخص است و هدف این مسأله تأمین کیفیت خدمات[5] مطلوب با وضوح غیر همگن برای نقاط هدف با انتخاب حداقل تعداد دوربین است. منظور از کیفیت خدمات مطلوب در این مسأله این است که اختلاف بین

---

[1] Greedy
[2] Evolutionary
[3] Genetic Algorithm
[4] Particle Swarm Optimization (PSO)
[5] Quality of Services (QoS)

وضوح دید مطلوب برای نقاط هدف و میزان وضوحی که دوربین‌ها این نقاط را می‌بینند حداقل باشد. فرض این مسأله این است که دوربین‌ها قابلیت تغییر میزان وضوح دید خود را به طور گسسته دارند. منظور از وضوح بیشتر دیده شدن با میزان بزرگنمایی[1] بیشتر است. در این مسأله، یک نقطه یا مجموعه‌ای از نقاط می‌تواند معرف یک شیء باشد. همچنین فرض شده که مسأله‌ای مثل انسداد[2] وجود ندارد. علاوه بر این فرض شده که برای هر نقطه میزان وضوح دیده شدنِ مطلوب آن و همچنین موقعیت آن مشخص است. برای دوربینها نیز فرض شده که فقط قابلیت تغییر میزان بزرگنمایی وجود دارد و پس از توزیعِ دوربینها، مکان و زوایای قرارگیری آنها ثابت می‌ماند. برای حل مسأله، ابتدا آنرا به شکل یک مسأله بهینه‌سازی گسسته تعریف می‌کنیم. سپس ثابت می‌کنیم که پیچیدگی این مسأله $NP-Hard$ است و راه حل بهینه با پیچیدگی چندجمله‌ای ندارد. برای حل مسأله در حالت کلی راه‌حلهای تقریبی ارائه می‌کنیم. راه‌حل‌های پیشنهادی را در دو دسته متمرکز و توزیع شده ارائه می‌کنیم. در حالت متمرکز دو الگوریتم حریصانه و در حالت توزیع شده یک الگوریتم حریصانه پیشنهاد می‌کنیم. این الگوریتم‌ها را با روش بهینه (الگوریتم جستجوی کامل) از لحاظ خطا و زمان اجرای الگوریتم‌ها مقایسه می‌کنیم. برای حالت خاصِ مسأله که در آن می‌توان فرض کرد که نقاط هدف روی یک خط قرار دارند راه‌حلی بهینه با پیچیدگی کم و با کمک ساختار ترلیس ارائه می‌کنیم. در این ساختار نظیر هر نقطهٔ هدف دوربین‌هایی که آن نقطه را می‌بینند تشکیل یک چندتایی می‌دهند و یک چندتایی یک حالت را در ساختار ترلیس مشخص می‌کند. ترکیبات مختلف برای مقادیر وضوح دوربینهایی که یک نقطه را می‌بینند، حالت‌های مختلف را تشکیل می دهد. برای انتقال از یک حالت به حالت دیگر و در نتیجه پیدا کردن مسیر معتبر در ساختار ترلیس قوانینی را معرفی می‌نماییم. پس از آن از بین مسیرهای مختلف مسیری را که دارای خطای کمتر باشد انتخاب می‌کنیم. این مسیر در واقع مشخص کننده دوربینهای انتخابی و میزان وضوح آنها است. از آنجا که روش ارائه‌شده در حالت یک بعدی بهینه است، در این فصل راه‌حلی را ارائه می‌کنیم که بر اساس آن می‌توان مشخص نمود که آیا مسأله در حالت کلی قابلیت تبدیل شدن به مسأله در حالت یک بعد را دارد یا نه. اگر چنین امکانی وجود داشته باشد راه‌حل ارائه‌شده در قسمت یک بعدی قابل اعمال به مسأله در حالت کلی خواهد بود.

در دو فصل قبل حداقل دوربینها برای رسیدن به هدفی خاص از جمله پوشش ناحیه و پوشش نقاط انتخاب شدند. درصورتیکه دوربینهای انتخابی بخواهند تصاویر گرفته شده را بصورت خام ذخیره یا ارسال کنند نیاز به حافظه زیاد یا پهنای باند زیاد دارند. با توجه به اینکه حافظه مورد نیاز، پهنای باند و توان مصرفی از جمله محدودیت‌های شبکه حسگر دوربین است، در فصل پنجم روشی ساده و منظم برای غلبه بر این محدودیت‌ها ارائه می‌شود. برای این منظور از دیدگاه فشرده‌سازی به مسأله نگاه کرده، بخش‌های مختلف یک کدکننده ویدئویی را بصورت مختصر بررسی می‌کنیم. از بین این بخش‌ها روی بخش تخمین حرکت[3] که پیچیدگی محاسباتی بالایی دارد تمرکز می‌کنیم. کاهش حجم محاسبات و افزایش سرعت تخمین حرکت می‌تواند باعث کاهش توان مصرفی و در نتیجه افزایش عمر شبکه گردد. در این فصل روشهای ارائه شده در مراجع در زمینه تخمین حرکت را دسته بندی می‌کنیم. پس از آن با

[1] Zoom
[2] Occlusion
[3] Motion Estimation (ME)

کمک شبیه‌سازی‌های انجام شده روی تصاویر ویدئویی استاندارد نشان می‌دهیم که بردار حرکت یک بلوک با احتمال زیاد داخل پنجره‌ای مربع-مستطیلی قرار می‌گیرد که مختصات رئوس آنرا بردارهای پیشگوی مکانی و زمانی تعیین می‌کنند. برای این پنجره پارامتری را تعریف می‌کنیم که این پارامتر میزان گسترش پنجره را در چهار سمت خود مشخص می‌کند. با کمک شبیه‌سازی‌های دیگر مقدار مناسب برای این پارامتر را تعیین می‌کنیم. بر اساس این نتایج الگوریتمی‌ساده و منظم ارائه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی از لحاظ معیارهای PSNR و درصد کاهش محاسبات نسبت به روش جستجوی کامل با چند روش مطرح مقایسه می‌شود.

فصل ششم رساله به نتیجه‌گیری و ارائه پیشنهادهایی برای ادامه کار اختصاص می‌یابد.

فصل دوم
تعاریف و مرور تحقیقات گذشته

۲-۱- مقدمه

امروزه تحقیقات در زمینه شبکه حسگر به خاطر توسعه سیستمهای تعبیه شده[۱] با قابلیت‌های بالا و قیمت کم در حال گسترش می‌باشد. این شبکه‌ها از ابزارهای ساده و کوچکی تشکیل شده‌اند که دارای طیف وسیعی از کاربرد می‌باشند. در حالت کلی، شبکه حسگر بی‌سیم را می‌توان به دو دسته جهت‌دار[۲] و همه جهته[۳] تقسیم نمود. حسگرهای جهت‌دار حسگرهایی هستند که زاویه دید[۴] یا جهت عملکرد[۵] آنها محدود است. حسگرهای فراصوت[۶]، مادون قرمز[۷] و حسگرهای دوربین نمونه‌هایی از حسگرهای جهت دار هستند[۳]. این حسگرها ممکن است قابلیت تغییر زاویه دید خود را نیز داشته باشند و متناسب با نیاز، زاویه دید یا جهت عملکردشان تغییر کند. به طور مثال در دوربین‌های PTZ[۸] امکان تغییر فاصله کانونی[۹] (متناسب با میزان بزرگنمایی[۱۰]) و تغییر زاویه دوربین در دو راستا وجود دارد. علاوه بر این ممکن است قابلیت حرکت[۱۱] نیز به حسگرها اضافه شود تا تعداد حسگر کمتری در کل استفاده شود و بتوان میزان

---

[1] Embedded systems
[2] Directional
[3] Omnidirectional
[4] Angle of view
[5] Working direction
[6] Ultrasound
[7] Infrared
[8] Pan-Tilt-Zoom
[9] Focal length
[10] Zoom
[11] Motility

همپوشانی و همچنین میزان انسداد[1] را کاهش داد[۳]. به خاطر پیشرفتی که در سالهای اخیر در سیستمهای میکرو الکترو مکانیک[2]، کنترل و ... صورت گرفته، حسگرهای دوربین دار نسبت به سالهای قبل دارای قیمت کمتر و امکانات بیشتری شده‌اند. از این رو داشتن چنین شبکه‌ای نسبت به قبل امکان‌پذیرتر شده است. شبکه‌های حسگر دارای کاربردهای گسترده‌ای از جمله نظارت در محیط‌هایی مانند مراکز خرید و فرودگاه‌ها، کنترل فرایندهای صنعتی، تعقیب اشیاء و ... می‌باشد[۱، ۴-۵]. از جمله کاربردهای دیگر شبکه حسگر می‌توان به موقعیت‌یابی اهداف اشاره نمود[۶-۸]. حسگرهای دوربین معمولاً توسط باتری کار می‌کنند و قابلیت ارسال اطلاعات به صورت بی‌سیم را دارند و می‌توانند از ناحیه تحت بررسی تصویربرداری کنند و پس از پردازش، داده‌ها را به گره‌های دیگر یا واحد پردازش مرکزی انتقال دهند[۹]. در شبکه حسگر دوربین، دوربین‌ها و گره‌های پردازشی معمولاً روی ناحیه وسیعی به طور تصادفی پخش می‌شوند. به طور مثال در مناطق نظامی و نواحی کوهستانی امکان قراردادن حسگر در مکان‌های مورد نظر به طور دستی وجود ندارد. بنابراین پس از توزیع حسگرهای دوربین جهت و موقعیت اولیه آنها ناشناخته است. اولین مرحله قبل از بکارگیری شبکه، تعیین پارامترهای دوربین می‌باشد. بدست آوردن پارامترهای دوربین توسط روشهایی انجام می گیرد که تحت عنوان کالیبراسیون دوربین شناخته می‌شوند. در واقع کالیبره کردن شبکه حسگر دوربین شامل مشخص‌کردن موقعیت، جهت و محدوده هر حسگر دوربین در فضای سه بعدی است. با توجه به مکان و زوایای قرارگیری حسگر می‌توان محدوده دید آن را مشخص کرد و در کاربردهای مورد نظر از آن استفاده نمود.

در این فصل ابتدا درباره شبکه‌های حسگر معمولی و کاربردهای آن‌ها بحث می‌شود. در ادامه پارامترهای مرتبط با طراحی شبکه حسگر شرح داده می‌شود. پس از آن تعاریف و مسأله‌های مرتبط با شبکه‌های حسگر دوربین بیان می‌شود و در بخش بعد تحقیقات انجام‌شده در مورد شبکه‌های حسگر بررسی می‌گردد.

۲-۲- شبکه‌های حسگر

شبکه‌های حسگر بیسیم در سال‌های اخیر توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است. این امر باعث شده که زمینه‌های کاربرد این شبکه‌ها نیز گسترده‌تر گردد. این شبکه‌ها معمولاً از تعداد زیادی حسگر تشکیل شده‌اند بطوریکه هر یک از حسگرهای بکاربرده شده در این شبکه (که از لحاظ اندازه نیز معمولاً کوچک می‌باشند) قادرند اطلاعاتی را از محیط پیرامونی خود جمع‌آوری نموده، پردازش کمی روی آن‌ها انجام دهند و داده‌های پردازش شده را به گره‌های دیگر ارسال نمایند. تا به امروز شبکه‌های حسگر بیسیم برای اندازه‌گیری پدیده‌های فیزیکی مانند دما، فشار، رطوبت و موقعیت اشیاء بکار رفته‌اند. در بیشتر این کاربردها نیاز به پهنای باند کم برای انتقال بوده است. پیشرفت‌های اخیر در زمینه سیستم‌های میکروالکترومکانیکی، ارتباطات بی‌سیم و الکترونیک دیجیتال سبب شده که حسگرهایی چندمنظوره و ارزان‌قیمت با مصرف انرژی پایین و در اندازه‌های کوچک ساخته شوند. بطور مثال می‌توان به دوربینهای CMOS و میکروفن‌ها اشاره نمود که می‌توانند داده‌های ویدئویی، تصاویر و داده‌های تک‌بعدی را

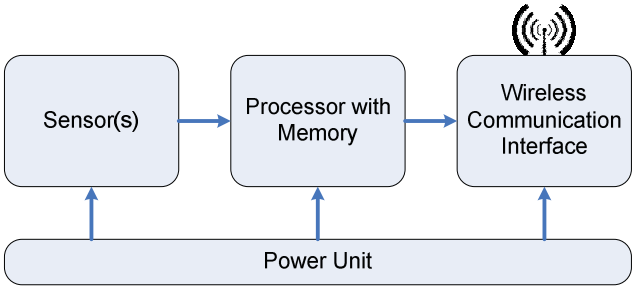
[1] Occlusion
[2] Micro-Electro-Mechanical Systems (MEMS)

جمع‌آوری کنند. این حسگرها می‌توانند بوسیله ارتباط بیسیم در محدوده کم با همدیگر ارتباط برقرار نمایند و در تعداد بالا به شبکه ای از حسگرها تبدیل گردند که با همکاری[۱] هم فعالیت می‌کنند[۱۰].

مکان گره‌های حسگر در برخی از کاربردها الزاماً از ابتدا مشخص نیست. مثلاً در محیط‌هایی که قابلیت دسترسی ندارند یا دسترسی به آنها مشکل است گره‌های حسگر را بطور تصادفی در محیط توزیع می‌کنند. بنابراین پروتکل‌های شبکه حسگر می‌بایست قابلیت خودسازمان‌دهی[۲] را داشته باشند[۱۱]. از جمله ویژگی‌های منحصر به فرد دیگر شبکه حسگر این است که گره‌ها باید قابلیت همکاری[۳] با یکدیگر را داشته باشند. این حسگرها شامل یک پردازنده نیز هستند تا نیاز به ارسال داده‌های خام نباشد و بتوانند پردازش‌های ساده را روی داده‌ها انجام دهند. در نتیجه هر حسگر می‌تواند با توجه به توان پردازشی خود داده‌های درخواست شده و یا داده‌هایی که پردازش اولیه روی آنها انجام‌شده را به یک مرکز ارسال کند که به این مرکز چاهک[۴] گفته می‌شود[۱۱]. این ویژگی‌ها باعث شده که دامنه وسیعی از کاربرد برای این شبکه‌ها بوجود آید. از جمله موارد کاربرد این شبکه‌ها می‌توان به امکان نظارت[۵] دقیق و نامحسوس بر یک فضای فیزیکی، کاربردهای سلامت و کاربردهای نظامی اشاره نمود. این نظارت می‌تواند در محیط‌هایی مانندمنطقه‌ای از محیط زیست، ساختمان، سطح زیر دریا و یا منطقه جنگی باشد.

۲-۲-۱- ساختار داخلی یک گره حسگر

یک گره حسگر از چند قسمت اصلی تشکیل شده است. همانطور که در شکل ۲-۱ نمایش داده شده این قسمتها عبارتند از: واحد حس‌کننده، واحد پردازشگر و حافظه، واحد انتقال[۶] و واحد توان که در ادامه در مورد هر یک از این بخشها توضیح داده می‌شود.



شکل ۲-۱: شمای کلی ساختار درونی یک گره

واحد حس‌کننده: این واحد از یک یا چند حسگر متناسب با نوع کاربرد تشکیل می‌شود. برای مثال می‌توان از حسگرهایی چون نور، دما، حرارت، شتاب، مادون قرمز و ... نام برد. مقادیر و سیگنال‌های تولید شده توسط حسگرها می‌بایست بصورت دیجیتال درآیند تا امکان پردازش آن‌ها توسط پردازنده و ذخیره آن‌ها در حافظه وجود داشته باشد. با استفاده از یک مبدل آنالوگ به دیجیتال، مقادیر تولید شده توسط حسگرها به مقادیر دیجیتال تبدیل

[1] Collaboratively
[2] Self-organizing
[3] Cooperation
[4] Sink
[5] Monitor
[6] Transceiver

می‌گردد. گره‌های حسگر معمولاً یا محرکی[1] ندارند یا وظیفه آنها برای پاسخ به محیط در حد فعال سازی یک سیگنال برای روشن کردن یک دستگاه خارجی است.

پردازشگر و حافظه: این واحد وظیفه دریافت داده از واحد حس‌کننده، پردازش آن و مدیریت و اجرای توابع و روال‌ها را بر عهده دارد. این واحد پس از پردازش داده‌ها آنرا به واحد انتقال می‌فرستد. در این بخش معمولاً از یک میکروکنترولر یا ریزپردازنده استفاده می‌شود. ریزپردازنده علاوه بر ارزان بودن، معمولاً دارای حافظه نیز می‌باشد. به همین دلیل گزینه مناسبی برای استفاده در این بخش است. علاوه بر ریزپردازنده می‌توان از تکنولوژی‌های دیگر نظیر FPGA[2] یا پردازنده‌های خاص منظوره[3] نیز در این بخش استفاده نمود.

واحد توان: این واحد یکی از مهم‌ترین واحدهای یک گره است. بطوریکه در حسگرهایی که با باتری تغذیه می‌شوند عمر شبکه بستگی به نحوه استفاده از این واحد و عمر این واحد دارد. این واحد می‌بایست توان لازم برای بقیه واحدها را فراهم نماید. در برخی از موارد این واحد می‌تواند توان مورد نیاز را از محیط جذب کند. بطور مثال می‌توان به سلولهای خورشیدی در این زمینه اشاره نمود. از آنجا که در برخی از کاربردها گره‌های حسگر پس از توزیع در ناحیه دیگر قابل دسترسی نیستند بنابراین نحوه استفاده از گره‌های حسگر و زمان‌بندی استفاده از آنها نقش به‌سزایی در طول عمر شبکه خواهد داشت. به همین خاطر حتی در طراحی الگوریتمهایی نظیر مسیریابی نیز بحث توان مورد توجه قرار می‌گیرد.

واحد انتقال: در این واحد معمولاً داده‌ها بصورت بیسیم منتقل می‌شوند هرچند در پاره‌ای از کاربردها ارتباطات سیمی نیز وجود دارد. ارتباط بیسیم می‌تواند از طریق امواج رادیویی، امواج نوری و امواج فراصوت صورت گیرد. فرکانسهای رادیویی نیاز به مداراتی برای مدولاسیون، فیلترکردن و ... دارند که باعث پیچیده و گران‌قیمت شدن آنها می‌شود. همچنین میزان گم‌شدن مسیر سیگنال منتقل شده از یک گره به گره دیگر در این حالت بالاست. علیرغم این موارد مخابرات فرکانس رادیویی در بسیاری از پروژه‌های مربوط به شبکه حسگر استفاده می‌شود. دلیل آن این است که بسته‌ها در اینجا کوچک هستند و نرخ انتقال داده پایین است و بخاطر فواصل کوتاه بین گره‌ها استفاده مجدد از فرکانس[4] زیاد است.

۲-۲-۲- کاربردهای شبکه حسگر

یک شبکه حسگر ممکن است از حسگرهای متنوعی مانند حسگرهای حرارتی[5]، حسگرهای مادون قرمز، حسگرهای صوتی، حسگرهای بصری[6]، حسگرهای مغناطیسی با نرخ نمونه‌برداری کم، ارتعاش و رادار تشکیل شده باشد. این حسگرها می‌توانند برای بررسی طیف وسیعی از شرایط بکار برده شوند که از جمله آن‌ها می توان به موارد زیر اشاره نمود[۷].

- دما

---

[1] Actuator
[2] Field Programmable Gate Array
[3] Application Specific Integrated Circuit(ASIC)
[4] Frequency re-use
[5] Thermal
[6] Visual

- رطوبت
- حرکت وسایل نقلیه
- رعد و برق
- فشار
- سرعت، جهت و اندازه شیء
- حضور یا عدم حضور انواع خاصی از اشیاء

گره‌های حسگر می‌توانند برای تشخیص اتفاقات نیز بکار برده شوند. از یک دیدگاه کاربردهای این شبکه‌ها را می‌توان به کاربردهای نظامی، سلامت، خانگی و تجاری تقسیم‌بندی نمود. این تقسیم‌بندی می‌تواند گسترده‌تر از این هم باشد که از جمله موارد دیگر می‌توان به اکتشاف فضا، فرآیندهای شیمیایی اشاره نمود. در ادامه به شرح برخی از این کاربردها بصورت جزیی‌تر می‌پردازیم[۱۱].

کاربردهای نظامی: شبکه‌های حسگر می‌تواند در بخشهای مختلف نظامی نظیر بخش کنترل، مخابرات، محاسبات، پایش و هدف‌یابی بکار برده شود. دلیل اینکه در بخشهای نظامی از این شبکه‌ها استفاده می‌شود بخاطر ویژگیهای این شبکه نظیر نصب/قرارگیری سریع، تحمل‌پذیری خطا[1] و خودسازمان‌دهی آن است. از آنجا که این حسگرها در چگالی بالا در یک ناحیه توزیع می‌شوند، از بین رفتن تعدادی از آنها بخاطر عملیات دشمن باعث آسیب رساندن زیاد به عملیات نظامی نمی‌شود. برخی از کاربردهای شبکه حسگر در زمینه نظامی شامل نظارت بر نیروهای خودی، تجهیزات و مهمات، پایش منطقه جنگی، تخمین خسارات جنگ و تشخیص حملات بیولوژیکی و شیمیایی است. در زمینه نظارت بر نیروهای خودی، فرماندهان می‌توانند وضعیت نیروهای خودی، آماده بودن و در دسترس بودن تجهیزات و مهمات را مورد بررسی قرار دهند. این کار می‌تواند از طریق اتصال حسگر به اشخاص(نیروها) و یا تجهیزات صورت گیرد. اطلاعات حسگرها می‌تواند به سطوح بالای نظامی نیز ارسال شود. در زمینه پایش منطقه جنگی، مسیرها و راه‌های مبادلاتی به مناطق جنگی می‌تواند مورد رصد قرار گیرد تا وضعیت نیروهای دشمن از نزدیک تحت نظر باشد.

کاربردهای محیط زیست: کاربردهای شبکه حسگر در زمینه محیط زیست شامل تعقیب حرکت پرندگان، حیوانات کوچک و حشرات، نظارت بر شرایط محیطی که بر محصولات کشاورزی و دام‌ها تأثیرگذارند، آبیاری، نظارت بر زمین در مناطق معدنی، تشخیص آتش‌سوزی جنگل و سیل و تحقیقات هواشناسی و بیولوژیکی و ... است.

کاربردهای سلامت: برخی از کاربردهای شبکه حسگر در این زمینه عبارتند از فراهم نمودن واسط برای افرادی که دارای ناتوانی هستند، نظارت بر بیماران، نظارت بر حرکت حشرات و حیوانات کوچک، نظارت از راه دور بر داده‌های فیزیولوژی، پزشکی از راه دور و نظارت و ردیابی پزشکان و بیماران. در زمینه نظارت از راه دور بر داده‌های فیزیولوژی، این داده‌ها می‌توانند در طول مدت زمان طولانی جمع‌آوری شده، برای تشخیص‌های پزشکی مورد استفاده قرار گیرند. حسگرهای نصب شده در محیط می‌توانند برای نظارت و تشخیص حرکات افراد سالمند مورد استفاده قرار گیرد. بطور مثال در مرجع[۱۲] روشی ساده برای تشخیص افتادن افراد روی زمین پیشنهاد شده است.

[1] Fault tolerance

استفاده از این حسگرها در زمینه پزشکی نه تنها آزادی بیشتری برای حرکت به افراد می‌دهد بلکه کیفیت زندگی بیماران در مقایسه با بستری شدن در مراکز درمان نیز افزایش می‌یابد[۱۳]. در صورتیکه گره‌های حسگر به جعبه داروها وصل شوند احتمال تجویز داروی اشتباه نیز کم می‌شود. دلیل این امر این است که افراد بیمار نیز دارای حسگر هستند که حساسیت آنها به داروهای خاص با کمک این حسگرها قابل تشخیص است[۱۴].

کاربردهای خانگی: بخاطر پیشرفت تکنولوژی، گره‌های حسگر هوشمند می‌توانند در لوازم خانگی نظیر جاروبرقی، مایکروویو، اجاق گاز، یخچال و VCR[1] بکار گرفته شوند. این حسگرها می‌توانند با یکدیگر و همچنین با شبکه بیرون خانه (از طریق اینترنت یا ماهواره) در ارتباط باشند. به این ترتیب امکان مدیریت این لوازم و وسایل از داخل خانه و همچنین از محیط بیرون منزل فراهم می‌گردد. در محیط هوشمند[2] یک سرویس‌دهنده مرکزی وظیفه کنترل لوازم خانه را بر عهده دارد. همچنین هر سرویس دهنده می‌تواند با سرویس‌دهنده‌های سایر خانه‌ها نیز در ارتباط باشد تا درمورد خدماتی که بقیه سرویس‌دهنده‌ها ارائه می‌دهند اطلاعات کسب کند[۱۵].

از دیگر کاربردهای شبکه حسگر می‌توان به کنترل ساختمان‌های اداری، شناسایی و نظارت بر سرقت اتومبیل[۱۷]، ساخت صفحه‌کلید مجازی، مدیریت کیفیت محصولات، ساخت فضاهای اداری هوشمند، کنترل محیط در ساختمان‌های اداری، اسباب‌بازی‌های محاوره‌ای[3]، کنترل ربات، موزه‌های محاوره‌ای، کنترل فرایند کارخانه، اتوماسیون، سازه‌های هوشمند و حمل و نقل اشاره نمود. استفاده از یک شبکه توزیع‌شده از حسگرهای بیسیم می‌تواند جهت کنترل دما و جریان هوا در بخش‌های مختلف یک سالن بکار رود تا در مصرف انرژی صرفه‌جویی شود[۱۶].

۲-۲-۳- عوامل تأثیرگذار بر طراحی شبکه حسگر

طراحی شبکه حسگر از عوامل مختلفی نظیر تحمل‌پذیری خطا، مقیاس‌پذیری، هزینه تولید، محیط عملیاتی، توپولوژی[4] شبکه حسگر، محدودیت‌های سخت‌افزاری، رسانه انتقال[5] و مصرف توان تأثیر می‌بینند. این عوامل توسط محققین زیادی تاکنون مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. این عوامل از این لحاظ دارای اهمیتند که می‌توانند به عنوان راهنمایی برای طراحی پروتکل‌ها و الگوریتم‌های مرتبط با شبکه حسگر باشند. در ادامه این عوامل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تحمل پذیری خطا: گره‌های حسگر ممکن است به دلایل مختلف از جمله کمبود توانِ مورد نیاز و یا خرابی قابل استفاده نباشند. این موارد باعث می‌شود که یک گره نتواند وظایف خود را به درستی انجام دهد. آنچه اهمیت دارد این است که خرابی حسگر نباید بر عملکرد کلی شبکه حسگر تأثیر بگذارد. این بدین معناست که شبکه باید قابلیت اطمینان[6] داشته باشد یا به عبارت دیگر تحمل‌پذیر خطا باشد. در واقع منظور از تحمل‌پذیری خطا در شبکه حسگر، قابلیت سیستم به انجام کار، بدون ایجاد وقفه به علت خرابی برخی گره‌های شبکه است. در طراحی

---

[1] Video Cassette Recorder
[2] Smart environment
[3] Interactive toys
[4] Topology
[5] Transmission media
[6] Reliability