گزارش پروژه کارشناسی ارشد مهندسی برق- کنترل

ردگیری هدف متحرک مانوردار در شبکه های حسگر بیسیم با استفاده از فیلتر IMM و روش مکان یابی مثلثی

Tracking of High Maneuvering Target in Wireless Sensor Networks Using IMM Filter and Triangulation-Based Target Localization

گرد آورنده :

امین حسنی

استاد راهنما :

دکتر نقیبی سیستانی

اساتید دفاع :

دکتر پریز

دکتر وحیدیان

تابستان ۱۳۸۹

چکیده

ردیابی یک شیئ در دنیای فیزیکی شامل تشخیص، نظارت و دنبال کردن موقعیت مکانی آن با استفاده از مفاهیم صوت، لرزش، الکترومغناطیس و ... است. درچند سال اخیرزیرمجموعه جدیدی از شبکه ها به نام شبکه های حسگر بی سیم پدید آمده است که یکی از مهمترین و بحث برانگیز ترین کاربردهای آن ، ردیابی هدف متحرک در دنیای فیزیکی می باشد. ردیابی یک شیء در شبکه های حسگر بیسیم، عبارت است از تخمین حالت هدف با استفاده از مشاهدات آغشته به نویزی که توسط همه یا بخشی از حسگرهای موجود در شبکه گزارش می شوند. هسته مرکزی یک سیستم ردیابی شامل ۲ قسمت اصلی است: یکی واحد تامین کننده اطلاعات ودیگری واحد تخمین حالات مدل حرکتی متحرک. در واحد تامین اطلاعات در این پایان نامه از شبکه های حسگر بیسیم با تکنیک مثلثی برای مکان یابی متحرک استفاده شده که خود شامل گروه بندی دینامیکی حسگرها می باشد. اغلب در بخش تخمین حالات، از فیلتر کالمن معمولی و فیلتر کالمن توسعه یافته استفاده می شود. ولی در مواردی که متحرک با مانورهای شدید حرکت می کند، این دو فیلتر عملکرد مطلوبی نداشته و معمولا منجربه واگرایی می شوند. در این پایان نامه در ابتدا انواع مدل های قابل اسفاده در فیلتر عنوان شده و سپس از فیلتر چند مدلی تعاملی به عنوان سیستم تخمین حالات در شرایط هدف مانوردار استفاده شده که توانایی این روش در تخمین مکان و سرعت متحرک توسط محیط شبیه سازی شده نشان داده خواهد شد. در نهایت نیز جهت بهبود بخشیدن به دقت در فرآیند ردیابی هدف با فیلتر چند مدلی تعاملی دارای تخمین گر ورودی، از منطق فازی برای تغییر تطبیقی ماتریس کوواریانس نویز سیستم استفاده شده است.

فهرست

فصل اول – شبکه های حسگر بیسیم و ردیابی هدف ۱

۱-۱ شبکه های حسگر بیسیم ۱

۱ ـ ۱ ـ ۱ مقدمه ۱

۱ ـ ۱ ـ ۲ عوامل مؤثر در طراحی شبکه های حسگر ٤

۱ ـ ۱ ـ ۳ مطالعات مصرف توان ٦

۱ ـ ۱ ـ ٤ مثال هایی از کاربردهای شبکه حسگر بیسیم ۷

۱-۲ ردیابی هدف متحرک در شبکه های حسگر بیسیم ۱۱

۱-۳ روش های ردیابی هدف در شبکه های حسگر بیسیم ۱۳

۱-۳-۱ روش های مبتنی بر درخت ۱۳

۱-۳-۱-۱ روش مبتنی بر درخت STUN ۱۳

۱-۳-۱-۲ روش مبتنی بر درخت DCTC ۱۸

۱-۳-۲ روش های مبتنی بر کلاستر بندی پویا ۱۹

۱-۳-۲-۱ کلاستر بندی پویا برای ردیابی هدف صوتی درشبکه های حسگر بیسیم ۲۰

۱-۳-۲-۲ ردیابی هدف پیوسته با کلاستر بندی پویا ۲۲

۱-۳-۳ روش های مبتنی بر پیش بینی ۲۳

فصل دوم – ردیابی هدف های با امکان مانور در شبکه های حسگر ۲۹

۲-۱ روش های فیلترینگ در ردیابی هدف ۲۹

۲-۱-۱ مدل های حرکتی قابل استفاده در ردیابی هدف ۳۰

۲-۱-۱-۱ مدل حرکتی با مدلسازی شتاب با نویز سفید ۳۱

۲-۱-۱-۲ مدل حرکتی با مدلسازی شتاب با فرآیند وینر ۳۲

۲-۱-۱-۳ مدل چرخشی هماهنگ ۳۳

۲-۲ روشهای ردیابی اهداف مانوردار ۳٦

۲-۲-۱ روش نویز معادل ۳٦

۲-۲-۲ روشهای تشخیص و تخمین ورودی (IDE) ۳۸

۲-۲-۲-۱ الگوریتمهای مبتنی بر (GLR) ٤۰

۲-۲-۲-۲ روشهای مبتنی بر GLR بازگشتی ٤۲

۲-۲-۲-۳ الگوریتم های تخمین ورودی ارتقاء یافته ٤۲

۲-۲-۲-٤ الگوریتم های تخمین ورودی اصلاح شده ٤۲
۲-۲-۲-۵ الگوریتمهای تخمین ورودی تعمیم یافته ٤۳
۲-۲-۳ روش سوئیچ کردن مدل ٤٤
۲-۲-۳-۱ روش تغییرابعاد حالت ٤٤
۲-۲-۳-۲ روشهای فیلترینگ دو مرحله ای ٤۵
۲-۲-۳-۳ الگوریتم VSD-IE ترکیبی ٤۵
۲-۲-٤ روشهای فیلترینگ چند مدلی ٤۷
۲-۲-٤-۱ فیلترینگ چند مدلی تغییر ناپذیر با زمان ۵۰
۲-۲-٤-۲ فیلترینگ چند مدلی همکارانه ۵۰
۲-۲-٤-۳ فیلترینگ چند مدلی ساختار متغیر ۵۱
۲-۳ بررسی کارهای انجام شده در شبکه های حسگر بیسیم ۵۱
فصل سوم : بررسی اصول کلی ابزار های مورد نیاز ۵۳
۳-۱ مقدمه ۵۳
۳-۲ فیلتر کالمن ۵۳
۳-۳ فیلتر کالمن توسعه یافته ٦۰
۳-٤ فیلتر چند مدلی تعاملی ٦۲
۳-۵ الگوریتم اجرایی روش *IMM* ٦٤
۳-٦ مفاهیم اساسی مکان یابی در شبکه های حسگر بیسیم ٦۷
۳-٦-۱ مدل تلف مسیر ٦۷
۳-٦-۲ مکان یابی متحرک بر مبنای روش فاصله ای triangulation ۷۰
فصل چهارم :حل مسئله و نتایج شبیه سازی ۷٤
٤-۱ بررسی مدل CT در دو حالت با نرخ چرخش معلوم و مجهول ۷٦
٤-۲ مقایسه IMM دو مدلی و فیلتر کالمن معمولی ۸۲
٤-۳ مقایسه IMM سه مدلی و IMM دو مدلی ۸۷
٤-٤ مقایسه IMM دو مدلی و IMM دو مدلی فازی ۹۲
فصل پنجم: نتیجه گیری و پیشنهادات ۹۹
۵-۱ نتیجه گیری ۹۹
۵-۲ پیشنهادات ۱۰۱
مراجع

فصل اول – شبکه های حسگر بیسیم و ردیابی هدف

۱-۱ شبکه های حسگر بیسیم

۱ ۱ ۱ مقدمه

مرحله بعدی پیشرفت تکاملی در صنایع ساختمان، نظامی و دفاعی، شهری، منازل، کشتی رانی و اتوماسیون سیستم های حمل و نقل همگی توسط محیط های هوشمند ارائه خواهند شد. محیط های هوشمند وابسته به اطلاعات حسی استخراج شده از دنیای واقعی است. اطلاعات دریافتی می توانند از چندین حسگر با انواع مختلف توزیع شده در مکان مطلوب، جمع آوری شوند. درچند سال اخیر زیرمجموعه جدیدی از شبکه ها به نام شبکه های حسگر بی سیم[1] پدید آمده است[1] و[2] . علیرغم این حقیقت که این شبکه ها اغلب شامل محرک[2] نیز می باشند اصطلاح شبکه ی حسگر بی سیم به اسم قابل قبول رایج تبدیل شده است. دربعضی مواقع اسم های دیگری مانند شبکه های حسگر و محرک نیز استفاده می شوند. WSN[3] ها از این لحاظ قدرتمند هستند که قابلیت پشتیبانی از تعداد زیادی از کاربردهای متفاوت دنیای واقعی را دارا هستند. آنها به خاطر این انعطاف، همچنین به عنوان یک موضوع تحقیق بحث برانگیز و یک مساله مهندسی به شمار می آیند.

یک شبکه حسگر متشکل از تعداد زیادی نودهای حسگر است که در یک محیط به طور گسترده پخش شده و به جمع‌آوری اطلاعات از محیط می‌پردازند. لزوماً مکان قرار گرفتن نودهای حسگر ، از قبل‌تعیین‌شده و مشخص نیست. چنین خصوصیتی این امکان را فراهم می‌آورد که بتوانیم آنها را در مکان‌های خطرناک و یا غیرقابل دسترس رها کنیم.

شبکه‌های حسگر از تعدادی حسگر کوچک در اندازه‌های یک تا دو میلیمتر ساخته شده است که به همراه یک دستگاه فرستنده و گیرنده بی‌سیم، اطلاعات را به دستگاه مرکزی به عنوان کاربر نهایی می‌فرستد. کار بر روی شبکه های حسگر در ابتدا با اهداف و کاربردهای نظامی و دفاعی آغاز شد ولی به سرعت کاربردهای بسیار دیگری نیز پیدا کرد که برخی از کاربردهای این فناوری در کاربردهای نظامی و امنیتی (کنترل نیروها و تجهیزات نظامی، تشخیص نفوذ و تجسس در محیط های جنگی)، نظارت بر محیط های داخلی و خارجی (کاربرد در ساختمان های هوشمند، کنترل ترافیک، تشخیص حوادث طبیعی، کشاورزی و نظارت های زیست محیطی)، کاربردهای صنعتی (کنترل دقیق نیروی انسانی،

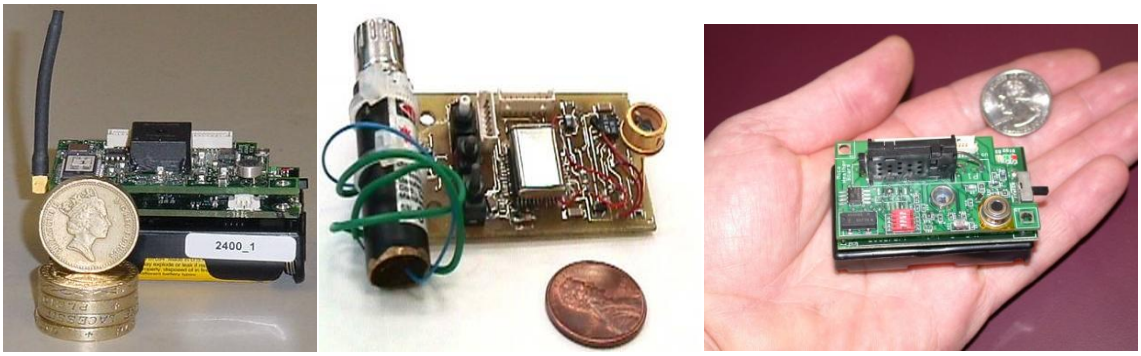
[1] wireless sensor networks
[2] Actuator
[3] wireless sensor network

پیگیری کالاهای تولیدی، نظارت بر خط تولید و حفاظت و کنترل ایمنی محیط) و کاربردهای پزشکی (مراقبت از سلامت انسان و جراحی) است. در بیانی جامع تر کاربردها را به سه دسته نظامی تجاری پزشکی تقسیم می کنیم که سیستم های ارتباطی ، فرماندهی ، شناسایی ، دیده بانی ومیدان مین هوشمند، سیستم های هوشمند دفاعی از کاربردهای نظامی می باشد. در کاربردهای مراقبت پزشکی سیستم های مراقبت از بیماران ناتوان که مراقبی ندارند. محیطهای هوشمند برای افراد سالخوده و شبکه ارتباطی بین مجموعه پزشکان با یکدیگر و پرسنل بیمارستان و نظارت بر بیماران از جمله کاربرد های آن است.کاربردهای تجاری طیف وسیعی از کاربردها را شامل می شود مانند سیستم های امنیتی تشخیص و مقابله با سرقت، آتش سوزی(درجنگل) ، تشخیص آلودگی های زیست محیطی از قبیل آلودگی های شیمیای، میکروبی، هسته ای، سیستم های ردگیری، نظارت وکنترل وسایل نقلیه و ترافیک ، کنترل کیفیت تولیدات صنعتی، مطالعه در مورد پدیده های طبیعی مثل گردباد، زلزله، سیل، تحقیق در مورد زندگی گونه های خاص از گیاهان و جانوران و .. در برخی از کاربردها نیز شبکه حسگر بعنوان گروهی از رباتهای کوچک که با همکاری هم فعالیت خاصی را انجام می دهند استفاده میشود[3].

دیگر خصوصیت‌های منحصر به فرد شبکه‌های حسگری، توانایی همکاری و هماهنگی بین نودهای حسگر است. هر گره حسگر روی برد خود دارای یک پردازشگر است و به جای فرستادن تمامی اطلاعات خام به مرکز یا به گره‌ای که مسئول پردازش و نتیجه‌گیری اطلاعات است، ابتدا خود یک سری پردازش‌های اولیه و ساده را روی اطلاعاتی که به دست آورده است، انجام می‌دهد و سپس داده‌های نیمه پردازش شده را ارسال می‌کند. با اینکه هر حسگر به تنهایی توانایی ناچیزی دارد، ترکیب صدها حسگر کوچک امکانات جدیدی را عرضه می‌کند. در واقع قدرت شبکه‌های بی‌سیم حسگر در توانایی به‌کارگیری تعداد زیادی گره کوچک است که خود قادرند سازماندهی شوند و در موارد متعددی چون مسیریابی هم‌زمان، نظارت بر شرایط محیطی، نظارت بر سلامت ساختارها یا تجهیزات یک سیستم به کار گرفته شوند.

پیشرفت های اخیر در زمینه الکترونیک دیجیتال و مخابرات بیسیم و نیز در زمینه فناوری MEMS بستر را برای طراحی و ساخت حسگرهای با توان مصرفی پایین ، اندازه کوچک ، قیمت مناسب و توانایی ارتباط مطلوب در فواصل کوتاه فراهم کرده است. این نودهای حسگر کوچک که توانایی انجام اعمالی چون دریافت اطلاعات محیطی (بر اساس نوع حسگر) ،پردازش و ارسال آن اطلاعات را دارند ، به کمک همکاری با همنوعان خود ، موجب پیدایش ایده ای برای ایجاد و گسترش شبکه های موسوم به شبکه های حسگر بیسیم (WSN) شده اند [1]. در این سیستم‌ها بر خلاف سیستم‌های سیمی قدیمی، از یک سو هزینه‌های پیکربندی و آرایش شبکه کاسته می‌شود از سوی دیگر به جای نصب

هزاران متر سیم فقط باید دستگاه‌های کوچکی را که تقریباً به اندازه یک سکه هستند (شکل ۱) ، را در نقاط مورد نظر قرار داد. شبکه به سادگی با اضافه کردن چند گره گسترش می‌یابد و نیازی به طراحی پیکربندی پیچیده نیست.



شکل ۱- چند نمونه حسگر بیسیم

شبکه های حسگراز دو جهت در مقایسه با حسگرهای سنتی خدمات بهتری را ارائه میکنند:[4]

۱) حسگرها میتوانند در صورت لزوم در فاصله دور از پدیده قرار گیرند.

۲) چندین حسگر برای شناسایی یک پدیده مورد استفاده قرار گیرند.

یک شبکه حسگر شامل تعداد زیادی نودهای حسگر است که با تراکم زیاد در نزدیکی یا در داخل یک پدیده گسترده شده اند.

با توجه به عدم نیاز تعیین موقعیت نود ها از قبل، گسترش تصادفی آنها در مناطق غیر قابل دسترسی و در عملیات امداد پس از سوانح قابل انجام می باشد. از طرف دیگر دارا بودن این مزیت به این معنی است که الگوریتم ها و پروتکل های شبکه های حسگر باید قابلیت خود سازماندهی را داشته باشند. دیگر قابلیت منحصر به فرد این شبکه ها همکاری نودهای حسگر با یکدیگر است. به جای اینکه نودهای حسگر تمام اطلاعات خام خود را به واحد پردازش مرکزی بفرستند ، از قابلیت پردازشی خود استفاده کرده و به صورت محلی محاسبات ساده را انجام می دهند و فقط داده های مورد نیاز به همراه داده هایی که بخشی از عملیات محاسباتی روی آنها انجام شده است را ارسال می کنند.

ویژگی های فوق متضمن کاربردهای وسیعی برای شبکه های حسگر بیسیم هستند و به عقیده بسیاری از متخصصان این زمینه، اهمیت شبکه های حسگر بیسیم در آینده از اهمیت فعلی کامپیوترهای شخصی در زندگی افراد بیشتر خواهد شد.

۱ ـ ۲ عوامل مؤثر در طراحی شبکه های حسگر :

طراحی شبکه های حسگر توسط عواملی مانند تحمل پذیری نسبت به خطا[1]، مقیاس پذیری[2]، هزینه های تولید ، محیط عملیاتی ، توپولوژی شبکه حسگر ، محدودیت های سخت افزار ، رسانه ی انتقال و مصرف توان تحت تاثیر قرار میگیرد که در ادامه در مورد آنها صحبت می شود.

تحمل پذیری نسبت به خطا : ممکن است بعضی از نودهای حسگر ازنظرفیزیکی دچار مشکل شوند، به خاطر کمبود توان از شبکه خارج شوند و یا ناموفق در عمل خود باشند. در هر کدام از این موارد کارکرد کلی شبکه نباید مختل شود. به این خاصیت قابلیت اطمینان[3] یا تحمل پذیری نسبت به خطا گفته میشود. قابلیت اطمینان و تحمل پذیری یک نود حسگر به صورت احتمال عدم از کار افتادن آن در بازه زمانی $(0,t)$ با استفاده از توزیع پواسن به صورت زیر مدل می شود[5]:

$$R_k(t) = \exp(-\lambda_k t) \qquad (۱-۱)$$

که در آن λ_k نرخ از کار افتادن نود حسگر k و t دوره تناوب زمان است.

مقیاس پذیری : در مطالعه ی یک پدیده تعداد نودهای حسگر گسترش داده شده ممکن است صدها یا هزاران عدد باشد. وابسته به برنامه کاربردی این تعداد ممکن است به میلیون ها عدد برسد. رهیافت های جدید باید توانایی کار با این نود را داشته باشند. آنها همچنین باید قابلیت استفاده از شبکه های حسگر با چگالی بالا را داشته باشند. محدوده ی چگالی میتواند از چند تا چند صد حسگر در یک ناحیه به قطر کمتر از ده متر باشد. چگالی μ را می توان بر اساس فرمول زیر محاسبه کرد[6]:

$$\mu(R) = (N.\pi R^2)/A \qquad (۲-۱)$$

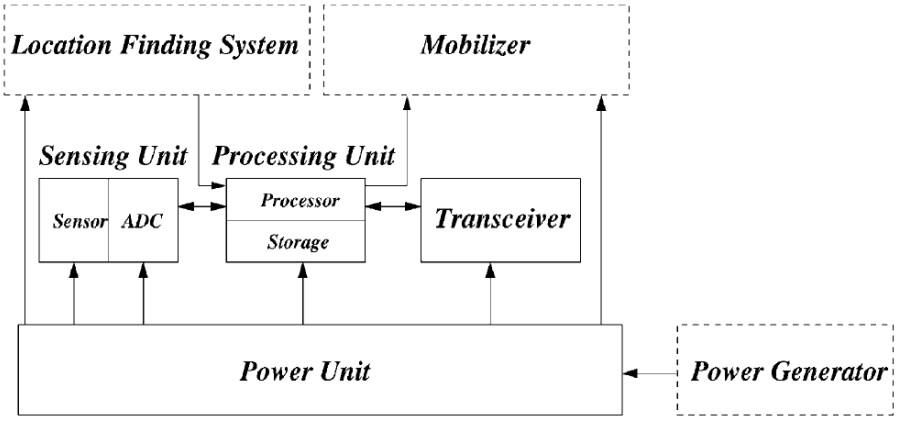
که در آن N تعداد نودهای حسگر پراکنده شده در ناحیه A و R برد انتقال رادیویی است. به طور کلی $\mu(R)$ تعداد نودهای داخل شعاع ارسال هر نود در ناحیه A را می دهد.

هزینه های تولید: از آنجایی که شبکه های حسگر شامل تعداد زیادی از نودهای حسگر هستند ، هزینه ی یک نود در تعیین هزینه ی کلی شبکه خیلی مؤثر است و در نتیجه هزینه ی هر نود حسگر باید پایین نگه داشته شود. تکنولوژی

[1] Fault tolerance
[2] Scalability
[3] Reliablity

جدید، امکان ساخت سیستم بلوتوث رادیویی با قیمت کمتر از ۱۰ دلار را فراهم کرده است [7]. هدف، ساختن نود حسگر با هزینه کمتر از ۱ دلار می باشد[8].

محدودیت های سخت افزار : یک گره حسگر از چهار مؤلفه اصلی که شامل واحدهای حسی ، پردازش، ارسال اطلاعات و تغذیه هستند ، تشکیل شده است . شماتیک کلی گره حسگر در شکل ۲ نشان داده شده است. نودهای حسگر همچنین ممکن است بنا به نیاز کاربرد های خاص، شامل بخش هایی مثل سیستم مکان یابی[1]، مولد توان و یا بخش حرکت دهنده[2] نیز باشند.



شکل۲ – اجزای تشکیل دهنده نود حسگر

واحدهای حسی معمولاً از دو زیر واحد تشکیل شده اند: حسگرها و تبدیل کننده های آنالوگ به دیجیتال(ADC). سیگنال های آنالوگی که حسگرها بر مبنای مشاهده پدیده ها تولید می کنند توسط ADC به سیگنال های دیجیتال تبدیل شده و به واحد پردازش ارسال می شوند. واحد پردازش که به صورت کلی با یک واحد ذخیره سازی کوچک همراه میشود، نحوه ارتباط بین سنسورها برای عملیات حسی تعیین شده را مدیریت می کند. واحد ارسال و دریافت اطلاعات نود حسگر را به شبکه متصل می کند. واحد تغذیه یکی از مهم ترین بخش های نود حسگر محسوب میشود. در عمل ممکن است واحدهای دیگری نیز با توجه به نیاز کاربرد خاص در نود در نظر گرفته شوند. بیشتر تکنیک های مسیر یابی شبکه های حسگر و عملیات حسی شبکه نیاز به دانستن موقعیت مکانی نودهای حسگر با دقت بالا را دارند. بنابراین وجود یک سیستم مکان یابی در نودهای حسگر معمول است. در مواقعی که نیز بنا به نیاز یک واحد حرکت دهنده نود حسگر می تواند به کار گرفته شود.

[1] Location finding system
[2] Mobilizer

تمام واحد های فوق باید بتوانند در داخل یک مجموعه بسیار کوچک (در بعضی موارد حتی به کوچکی یک سانتیمتر مربع) فشرده شوند[4]. صرفنظر از اندازه نودها، همه انواع آنها باید بتوانند شرایط کلی زیر را بر آورده سازند:

- مصرف حداقل انرژی
- توانایی کارکرد در شرایط با چگالی حجمی زیاد نودها
- ارزان قیمت بودن و قابلیت توزیع
- خودکار و خود مختار بودن
- منطبق بودن با شرایط محیطی

روش های کاهش مصرف انرژی در شبکه های حسگر بیسیم به صورت زیر هستند:

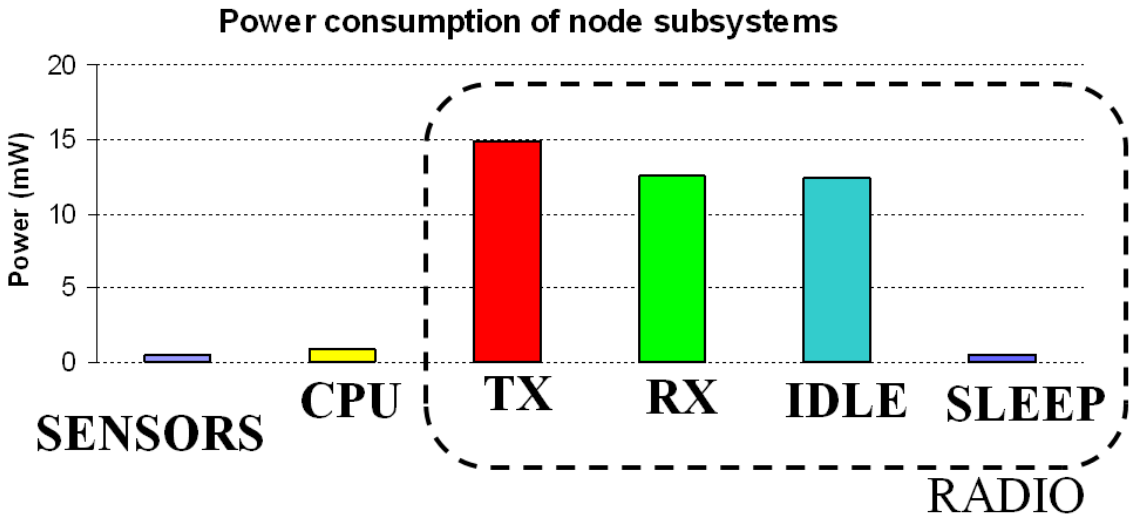
۱) کم کردن مدت کارکرد
۲) انجام محاسبات محلی در داخل شبکه برای جلوگیری از حجیم شدن اطلاعات و در نتیجه زیاد شدن مدت زمان ارتباط
۳) پیاده سازی شبکه بر مبنای روش multi-hop برای حذف نیاز انتقال دوربرد.

۳-۱-۱ مطالعات مصرف توان

نود حسگر بیسیم یک وسیله میکرو الکترونیکی است که با منابع توان محدود (کمتر از ۰.۵ اهم و ۱.۲ ولت) ، تغذیه می شود. ممکن است در بعضی برنامه های کاربردی دوباره پر کردن منابع توان غیر ممکن باشد. بنابراین طول عمر نود حسگر وابستگی شدید به طول عمر باتری دارد. در شبکه های حسگر ad hoc ، هر نود نقش دوگانه ی تولید کننده داده و مسیریاب داده را بر عهده دارد . اگر چند نود کار خود را به خوبی انجام ندهند ، ممکن است موجب تغییرات توپولوژی شود و بسته ها و ساختار شبکه نیاز به مسیریابی مجدد پیدا کنند و بر این اساس نگهداری و مدیریت توان اهمیت ویژه ای پیدا میکند.

میزان هزینه های عملیات محاسباتی و ارتباطی اثرتعیین کننده ای از نقطه نظر توان مصرفی، بر طول عمر شبکه های حسگر دارند. از جنبه محدودیت های مصرف انرژی، هزینه محاسبات محلی داخل نودهای شبکه کمتر از هزینه مربوط به ارتباط آنها با یکدیگر است. در نتیجه، حداقل سازی نیاز به ارسال و دریافت اطلاعات و مدت زمان انجام آن و نیز حذف ارتباط های غیر ضروری، تا حد ممکن باید مورد تاکید و توجه قرار گیرند. شکل ۳ انرژی مصرفی در یک نود

متعلق به شبکه حسگررا نمایش میدهد و همانطور که واضح است انرژی مصرفی در cpu بسیار کمتر از انرژی مصرفی در حالت دریافت و ارسال اطلاعات است. در نتیجه واحد ارتباط رادیویی باید به صورت موثر و بهینه مورد استفاده قرار گیرد.



شکل ۳ – وضعیت توان مصرفی در حالت های مختلف

۱-۱-٤ مثال هایی از کاربردهای شبکه حسگر بیسیم:

ادعای طرفداران WSN این است که با این دید تکنولوژیکی بسیاری از کاربردهای کنونی در زمینه های متفاوت آسان می شود و زمینه های جدیدی نیز قدم به عرصه ی وجود می گذارند. این ادعا به چندین عامل بستگی دارد، اما چندین کاربرد مورد بررسی قرار می گیرند.

جدا از نیاز به ساختن گره هایی ارزان ، با قابلیت برنامه ریزی و شبکه کردن آسان و طول عمر بالقوه ی زیاد، یک عنصر اساسی برای ایجاد کردن کاربردهای واقعی، توانایی های واقعی حس کردن و تحریک کردن[1] است که به یک گره می تواند داده شود. برای بسیاری از پارامترهای فیزیکی، تکنولوژی مناسب حسگر وجود دارد که می تواند در یک گره WSN مجتمع شود. تعداد کمی از کاربرد های محبوب عبارتند از: دما،رطوبت ،تصویری و نورمادون قرمز(از روشنایی ساده تا دوربین ها)، صوت، لرزش (برای مثال برای تشخیص تغییرات لرزش زمین، فشار، حسگرهای شیمیایی (برای نوع های مختلف گاز یا تشخیص ساختار زمین) وفشار مکانیکی، حسگرهای مغناطیسی (تشخیص اتومبیل های درحال

[1] sensing and actuating faculties

عبور و حتی بطور بالقوه در رادار (برای مثال [9,10] را ببیند) اما حتی توانایی های حسگری پیچیده تری قابل تصور می باشد. برای مثال اسباب بازی ها در مهدکودک ها ممکن است حسگر لمسی یا حرکتی داشته باشند یا این قابلیت را داشته باشند که سرعت و مکان خود را مشخص کنند [11].

محرک هایی که با یک گره WSN کنترل می شوند شاید مانند حسگر چند وجهی نباشند. به طور معمول آنها یک وسیله مکانیکی مانند سرو درایو[1] را کنترل می کنند یا ممکن است یک وسیله ی الکتریکی را به وسیله یک رله ی الکتریکی مانند لامپ یا وسیله مشابه روشن کند.

به وسیله گره هایی که دارای این گونه توانایی های حسگری یا تحریکی می باشند، در ترکیب باتوانایی های محاسباتی و ارتباطی، کاربردهای متفاوتی می تواند ساخته شود. با گره هایی از نوع های بسیار متفاوت، حتی از نوع های گوناگون دریک کاربرد، فهرست مختصری از سناریوها، باید فضای وسیع طراحی و نیازهای مختلف کاربردهای گوناگون را آشکار کند. در حالت کلی کاربردهای این شبکه ها به ۳ دسته کلی نظامی، تجاری و پزشکی تقسیم می شوند.

- کاربردهای رهایی از فاجعه[2]:

یکی از کاربردهایی که اکثراً برای WSN ذکر می شود، عمل های رهایی از فاجعه می باشد. یکی از سناریوهای رایج تشخیص آتش سریع گستر[3] است . گره های حسگر با اندازه گیر دما مجهز شده اند و می توانند مکان خود را مشخص کنند (بطور نسبی نسبت به هم، یا به طور مطلق). این حسگرها از هواپیما برروی آتش سریع گستر، برای مثال یک جنگل، ریخته می شوند. آنها به طور جمعی یک نقشه دمایی ازمحل ایجاد می کند، یا محیط منطقه ای با دمای بالا که قابل دسترسی از بیرون است، برای مثال به وسیله ی آتش نشانانی که به PDA[4] مجهز شده اند، را مشخص می کنند . سناریوهای مشابه مثالاً برای کنترل حوادث دریک کارخانه شیمیایی ممکن می باشند.

بعضی از این کاربردهای رهایی از فاجعه اشتراکاتی را با کاربردهای نظامی دارند. جاهایی که حسگرها مثالاً باید گروه سربازان دشمن را بجای آتش سریع گستر تشخیص دهند. درچنین کاربردی،حسگرها باید به حد کافی ارزان باشد که دورریختنی[5] درنظر گرفته شوند. زیرا تعداد زیادی از آنها مورد نیاز است و به طول عمر زیادی نیاز نمی باشد[1].

[1] Servo drive
[2] Disaster relief
[3] wildfire
[4] Personal Digital Assistant
[5] disposable

-کنترل محیط ونقشه برداری تنوع زیستی:

WSN می تواند برای کنترل محیط استفاده شوند. برای مثال، باتوجه به آلاینده های شیمیایی، یک کاربرد ممکن، جایگاه های دورریختن زباله است. مثال دیگر نظارت بر بستر دریاست. همچنین مساله ای که ارتباط تنگاتنگی با کنترل محیط دارد، استفاده از WSN برای به دست آوردن شناخت از تعداد گونه های جانوری که در محیط موردنظر زندگی می کنند (نقشه برداری تنوع زیستی) می باشد.

در اینجا مزیت اصلی شبکه های حسگر، کارکرد حسگرهای نزدیک به اشیاء مورد مشاهده، به طور بلندمدت، بدون حضور و بدون سیم می باشد. زیرا حسگرها می توانند به قدر کافی کوچک ساخته شوند که مانعی نباشند. آنها تنها به طورقابل اغماضی برای حیوانات وگیاهان مورد مشاهده، مشکل ایجاد می کنند. اغلب تعداد زیادی حسگر با طول عمر طولانی مورد نیاز است[12].

- ساختمان های هوشمند:

ساختمان ها مقدار زیادی انرژی را با تبادل رطوبت ودما از دست می دهند . یک نظارت همزمان[1] و با دقت بالا برروی دما، جریان هوا، رطوبت وسایر پارامترهای فیزیکی دریک ساختمان به وسیله WSN می تواند به طور قابل ملاحظه ای سطح آسایش ساکنان را افزایش داده ومصرف انرژی را کاهش دهد. (در مورد ذخیره سازی بالقوه دو کوادریلیون[2] ($۱۰^{۲۹}$) واحد گرمایی انگلیسی تنها در امریکا، بررسی هایی انجام شده است [13]). کارایی بهتر انرژی همگام با افزایش آسایش بعضی از اهداف ساختمان های هوشمند می باشند [14] .

- مدیریت امکانات:

در مدیریت امکاناتی بزرگتر از یک ساختمان ، شبکه های حسگر بی سیم، گستره ای از کاربرد ها را دارند، مثال های ساده شامل کاربردهای ورود بدون کلید[3] است که در آن افراد نشانه هایی را می بندند که به WSN اجازه می دهد که بررسی کند کدام شخص اجازه ی ورود به کدام قسمت های یک شرکت بزرگ را دارد.

[1] real-time
[2] quadrillion
[3] keyless entry

این مثال می تواند به مزاحمانی، برای مثال وسایل نقلیه ای که خارج از ساعات اداری معمول از یک خیابان عبور می کنند، تعمیم داده شود. یک WSN با پوشش وسیع می تواند مکان چنین وسیله ای را ردیابی کند و به مسئولان امنیتی هشدار دهد. این کاربرد اشتراکات زیادی با کاربردهای نظامی مرتبط دارد. در همین راستا، یک WSN می تواند در یک نیروگاه شیمیایی برای جستجوی مواد شیمیایی نشتی به کار رود.

- **نظارت بر ماشین وتعمیرو نگهداری پیش گیرانه**[1]:

یک ایده این است که گره های حسگر بر روی مکانهای با دسترسی دشوار ماشین ها، یعنی جاهایی که حسگر ها می توانند الگوهای لرزشی که نیاز به تعمیر را مشخص می کند تشخیص دهند، نصب شوند. مثالهایی برای این ماشینها می تواند رباتیک یا محور قطارها باشد.

- **ترافیک و حمل و نقل**:

در این موارد مثلا حسگرها در خیابان یا کنار جاده ها جاسازی شده و می تواند اطلاعاتی درباره ی وضعیت عبور و مرور با دقتی بسیار بالاتر از آنچه امروز ممکن است را جمع آوری کند [15] . این سیستم هوشمند جاده ای[2] می تواند همچنین با ماشین ها تعامل داشته باشد تا هشدارهای خطر درباره ی وضعیت راه یا گره های ترافیکی در پیش رو را گزارش کند.

علاوه بر این ها، کاربرد های دیگری نیز درمقالات اشاره شده است که شامل بالهای هواپیما و پشتیبانی فضای هوشمند[3] [10] کاربردهایی در چگونگی برخورد با آب زائد نیروگاه ها [16] ، فرآیند ساخت نیمه هادی و تونل های باد [12] مهد کودک های هوشمند که اسباب بازی ها با کودکان تعامل دارند [17]، تشخیص سیل [18] موزه های تعامل گر[4] [19]، مانیتور کردن محیط زندگی یک پرنده در یک جزیره دور افتاده [20] و کاشتن حسگر در بدن انسان برای مانیتور کردن گلوکز[21]، می باشند.

[1] Machine surveillance and preventive maintenance
[2] intelligent roadside
[3] support for smart spaces
[4] Interactive museums

۱-۲ ردیابی هدف متحرک در شبکه های حسگر بیسیم

ردیابی یک شیئ در دنیای فیزیکی شامل تشخیص، نظارت و دنبال کردن موقعیت مکانی آن با استفاده از مفاهیم صوت، لرزش، الکترومغناطیس و ...، است. کاربردهای متعددی از ردیابی مثل کنترل ترافیک هوایی، ردیابی ناوگان، نظارت های زیست محیطی، سیستم های مخابراتی متحرک و .. در حال حاضر مورد استفاده قرار می گیرند[22].

شبکه های حسگر بیسیم اصولاً برای مانیتور کردن محیط استفاده می شوند که یکی از مسائل اساسی آن ردیابی موقعیت است. در ردیابی موقعیت توسط شبکه های حسگر، هدف این است که مسیرهایی را که اشیای متحرک در ناحیه ای که نودهای حسگر گسترده شده اند را دنبال کنیم. این مسئله از دو دیدگاه چالش برانگیز است: ۱- هیچ مکانیزم کنترل مرکزی و زیر ساخت شبکه ای در محیط وجود ندارد، ۲- ارتباطات بیسیم خیلی محدود هستند. ردیابی موقعیت در حالت کلی توسط GPS انجام می شود. GPS محدودیت های خاص خود را دارد. در بیشتر محیط های سقف دار قابل استفاده نیست و نیز برای تنظیمات خارج شهری بسیار وابسته به نوع زمین، شاخ و برگ درختان و تنظیمات مربوط به نقشه نگاری مکانی که شیء در آن قرار گرفته است، می باشد. همچنین گیرنده های GPS ممکن است بسیار بزرگ، گران و مصرف توان بالایی داشته باشند[23] . استفاده از شبکه های حسگر بیسیم برای ردیابی هدف مناسب تر به نظر می رسد، چون نودها نسبتاً کوچک، ارزان و مصرف توان پایینی دارند. نوع سیگنالی که باید حس شود، به نوع جنس متحرک بستگی دارد.

ردیابی هدف با استفاده از شبکه های حسگر اولین بار در سال ۲۰۰۲ میلادی مورد تحقیق و مطالعه قرار گرفت [24]. پیش از این ردیابی با استفاده از سیستم های چند حسگری گسترده با تعداد محدودی از حسگرهای قدرتمند انجام می شد. با ظهور تکنولوژی در عرصه تولید حسگرهای کوچک و ارزان، تعداد کم حسگرهای سنتی با تعداد زیاد نودهای حسگر جایگزین شد. ولی از طرف دیگر هر نود حسگر توانایی حسی و پردازشی محدودی داشت. در این حالت سیستم ردیابی هدف متحرک شامل مزیت های زیر است:

۱ -واحد حسی می تواند در فاصله کمتری از هدف قرار بگیرد و در نتیجه اطلاعات استخراج شده از کیفیت بیشتری بهره می گیرد.

۲ -پیشرفت دراین زمینه، متضمن گسترش سریع شبکه های حسگر بیسیم می باشد .

۳ -اطلاعات همزمان توسط چند نود حسگر جمع آوری می شود که این مسئله موجب افزایش مقاومت و دقت ردیابی هدف میشود.

همچنین مشکلات و چالش هایی برای ردیابی هدف متحرک با استفاده از شبکه حسگر بیسیم وجود دارد که عبارتند از:

۱ -به دلیل ناقص و غیر دقیق بودن اطلاعات تولید شده توسط یک نود حسگر، ردیابی احتیاج به ارتباط و محاسبات گروهی دارد.

۲ -هر نود حسگر توانایی محاسباتی محدودی دارد و در نتیجه روشهای سنتی ردیابی هدف که مبتنی بر الگوریتم های پردازش سیگنال پیچیده بودند، در اینجا قابل اعمال نیست.

۳ -با توجه به ذخیره محدود انرژی در هر نود، تمام نود ها در هر زمان نمی توانند فعال باشند و در نتیجه تمام پروتکل ها و روش ها باید مسئله مصرف انرژی را در نظر بگیرند.

طرح کلی ردیابی هدف در این شبکه ها از دو بخش تشکیل شده اند. قسمت اول که شامل تعیین مکان فعلی متحرک است، شامل مکان یابی و ردگیری هدف متحرک میشود. قسمت دوم شامل الگوریتم ها و پروتکل هایی است که وظیفه همکاری برای پردازش سیگنال بین چندین نود را هماهنگ می کنند[25].

چند استراتژی ردیابی کلی وجود دارد:

۱ -فعالسازی ساده[1]: همه ی نودهای حسگر در هر زمانی در وضعیت ردیابی هستند. این استراتژی بهینگی خیلی کم در مصرف انرژی دارد.

۲ -فعالسازی تصادفی[2] : هر نود حسگر با احتمال قطعی p در وضعیت ردیابی است. از نظر مصرف انرژی از مورد ۱ بهینه تر است.

۳ -فعالسازی انتخابی[3] : نودهای کمی از شبکه در حوالی ناحیه هدف بنا به انتخاب فعال می شوند.

[1] *Naive Activation*
[2] *Random Activation*
[3] *Selective Activation*

٤ -فعالسازی چرخه کار[1] : کل شبکه حسگر به صورت متناوب با یک چرخه کار منظم خاموش و روشن می شوند.

بین مصرف انرژی و کیفیت سرویس در حالت های فوق یک trade-off وجود دارد.

سیستم های ردیابی هدف دو عملیات اصلی دارند:

۱ -مانیتور کردن : نودهای حسگر باید حرکت اشیاء متحرک را شناسایی و ردیابی کنند.

۲ -گزارش دادن: نودهایی که عملیات حس کردن اشیاء را انجام داده اند باید یافته های خود را به واحد مرکزی گزارش دهند.

۱-۳ روش های ردیابی هدف در شبکه های حسگر بیسیم

روش های ردگیری هدف در حالت کلی به دسته زیر تقسیم بندی می شوند: ۱) مبتنی بر درخت[2] ۲) مبتنی بر کلاستربندی پویا[3] ۳) مبتنی بر پیش بینی[4]. در این فصل ابتدا دو مثال از روش درخت با عنوان STUN و DCTC ارائه خواهد شد. سپس روش کلاستر بندی پویا برای دو مسئله هدف متمرکز و هدف پیوسته مورد بررسی قرار خواهد گرفت. درادامه نیز روش های مبتنی بر پیش بینی حرکت متحرک، هم بر اساس تئوری های هندسی و هم بر اساس تئوری های فیلترینگ که موضوع اصلی این رساله است، به تفضیل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

۱-۳-۱ روش های مبتنی بر درخت

در این روش ها فرض می شود که با ساختار بندی شبکه به صورت درخت، به شرایط مطلوب از جمله حداقل کردن زمان تاخیر و حداقل کردن مصرف توان برسیم. در این راستا کلیات دو روش را بررسی می کنیم.

۱-۳-۱-۱ روش مبتنی بر درخت STUN[5]

خصوصیات کلی این روش [26] به صورت زیر است:

---

[1] *Duty Activation*
[2] Tree-based Methods
[3] Dynamic Clustering-Based Methods
[4] Prediction-Based Methods
[5] Scalable Tracking Using Networked Sensors

۱) این روش از یک ساختار سلسله مراتبی استفاده می کند تا اطلاعاتی در مورد حضور اشیاء را گزارش دهد.

۲) این سیستم می تواند بیش از یک شیء را ردیابی کند.

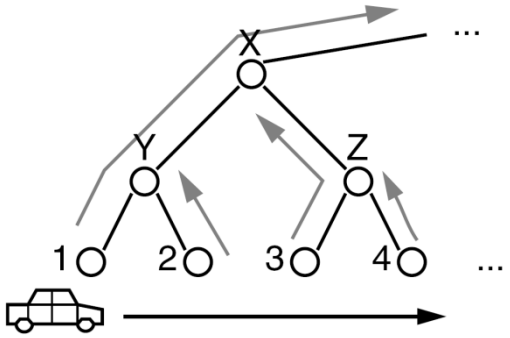
۳) فرض اساسی روش این است که اشیاء متحرکی که ما تمایل به ردیابی آنها را داریم حرکتی قابل پیش بینی دارند و در نتیجه حداکثر جابه جایی آنها در یک زمان خاص، محدود می باشد.

این روش از یک ساختار سلسله مراتبی برای اتصال حسگرها استفاده می کند که در آن نقطه ی درخواست دهنده به عنوان ریشه قرار می گیرد. به این ساختار درخت سلسله مراتبی[۱] می گویند. برگ های این درخت حسگرها هستند و دیگر نودها، نودهای ارتباطی هستند که نودهای میانی نیز نامیده می شوند. اطلاعات در موردحضور اشیای شناسایی شده در نودهای میانی ذخیره می شود. به بیان دیگر هر نود میانی مجموعه اشیایی که توسط نسل[۲] های آن کشف شده اند را ذخیره می کند که به این مجموعه، مجموعه ی شناسایی[۳] می گویند. به عنوان مثال مجموعه ی شناسایی در یک نود برگ (حسگر) خاص تنها شامل اشیایی است که در محدوده ی شناسایی آن حسگر وجود دارند. در حالی که مجموعه شناسایی نود ریشه شامل همه ی اشیای موجود در منطقه است.

برای اینکه مجموعه های شناسایی ویرایش و شامل آخرین تغییرات باشند، حسگرهای برگ ها پیام های شناسایی خود را به سمت ریشه می فرستند. با این حال، همیشه نیاز نیست این پیام ها به ریشه برسند. یک نود میانی پیام شناسایی را فقط در صورتی به بالا می فرستد که آن پیام، مجموعه ی شناسایی او را تغییر دهد و در غیر این صورت پیام در همان نود میانی از بین می رود، چون هیچ نود بالاتری را تغییر نمی دهد. درنتیجه کلید رسیدن به هزینه ی ارتباطی پایین تر، حذف ارسال پیام های اضافی و هرس کردن سلسله مراتبی پیام ها[٤] است.

یک مثال در شکل ٤ نشان داده شده است که در آن حسگرهایی که یک منطقه را تحت پوشش قرار می دهند نسل هایی از نود میانی X هستند. وقتی یک شیء، که در اینجا یک ماشین است، در این منطقه حرکت می کند، هر حسگر سرعت و انحراف آن را شناسایی کرده و پیام های شناسایی مورد نظر را تولید می کند. برای سادگی عنوان مطلب، فقط پیام هایی را در نظر می گیریم که سرعت ماشین را شناسایی می کنند.

[1] Hierarchy tree
[2] Descendant
[3] Detected set
[4] Message-pruning hierarchy



شکل ٤ – نمونه یک درخت و هرس کردن سلسله مراتبی پیام ها

پیام دریافتی از حسگر ۱ موجب می شود که Y و همه ی اجدادش ماشین را به مجموعه های شناسایی خودشان اضافه کنند. پیام های تولید شده از تمام حسگرهای دیگرموجب اضافه شدن عضوی در مجموعه شناسایی X نمی شود و در نتیجه X آنها را به بالا ارسال نمی کند .به طور مشابه پیام حسگر ۳ ماشین را به مجموعه شناسایی Z اضافه می کند، Z آن را به X می فرستد اما به خاطر اینکه مجموعه شناسایی x را تغییر نمی دهد در آن متوقف می شود. پیام های ارسال شده از حسگرهای ۲ و ٤ مجموعه شناسایی والدینشان را تغییر نمی دهند و بنابراین از آن به بعد انتشار پیدا نمی کنند.

هدف اصلی از نگهداری مجموعه های شناسایی، افزایش کارایی درخواست های نقطه درخواست کننده[1] است. یک درخواست از بالای ساختار سلسله مراتبی از طریق یک مسیر واحد به حسگری که شیئ دیده شده را گزارش داده است، منتقل می شود. بدون اطلاعات موجود در مجموعه های شناسایی، درخواست ها باید به همه ی برگ ها بروند و بنابراین هزینه مصرفی خیلی بیشتر می شود.

معیارهای کارایی: هزینه ی ارتباطات و تأخیر

کارایی روش ردیابی فوق با دو معیار ارزیابی می شود. اول هزینه ی ارتباطی که به عنوان تعداد کل پیام های شناسایی در شبکه در واحد زمان تعریف می شود و دوم تأخیر که معادل مدت زمان لازم برای رسیدن اطلاعات مربوط به شناسایی از حسگر شناسایی کننده به نقطه ی درخواست دهنده، می باشد. یک روش ردیابی خوب باید دارای پایین ترین میزان هزینه ی ارتباطی و تأخیر باشد.

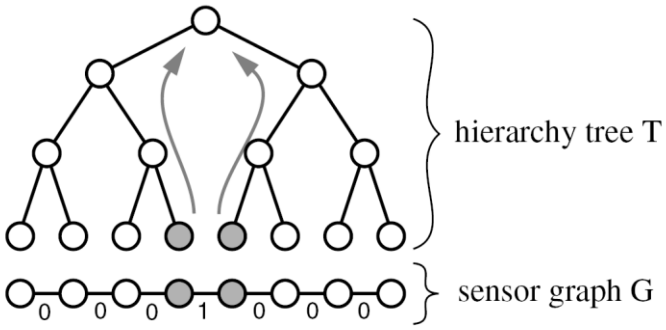
[1] Querying point

عملکرد STUN با ساختار سلسله مراتبی هرس کردن پیام ها و الگوهای حرکت اشیای ردیابی شده تعیین می گردد. با استفاده از اطلاعات داده شده در این دو مورد می توان هزینه ی ارتباطی و تأخیر STUN را محاسبه کرد.

هزینه ارتباطی: با استفاده از گراف حسگر و یک درخت سلسله مراتبی T با قابلیت هرس شدن پیام، می توان هزینه ای که شبکه متحمل می شود تا مجموعه های شناسایی نودهای میانی را با درنظر گرفتن آخرین تغییرات به روز کند را محاسبه کرد.

در حالت خاص هزینه ی ایجاد شده توسط یک جفت از حسگرهای همسایه ی x و y با وزن w(x,y) را در نظر می گیریم. پیام های شناسایی که درنتیجه حرکت یک شیء بین x و y به وجود می آیند، به سمت بالا حرکت کرده و در اولین گره مشترک دو حسگر (z) جذب می شوند. بنابراین رخداد های بین x و y موجب هزینه ی w(x,y) به ازای هر واحد زمان در مسیر از x و y تا z می شوند.

به عنوان مثال در شکل ٦ فرض می کنیم که همه ی رویدادهای شناسایی بین دو حسگر میانی با نرخ واحد اتفاق می افتند. این رویدادها موجب می شوند که پیام های شناسایی ٦ لینک را تا رسیدن به پدر مشترک خود طی کنند که منجر به هزینه ی ٦ پیام به ازای هر واحد زمان می شود. این لینک ها تنها مسیری را بیان می کنند که در T بین دو حسگر مربوطه وجود دارد.



شکل ٦ – مثال یک شبکه حسگر

بنابراین هزینه ی ارتباطات برای گراف حسگر G و درخت سلسله مراتبی T به صورت مجموع هزینه ی همه ی جفت حسگرهای همسایه در G به صورت زیر تعریف می شود.

$$\text{CommunicationCost}(G, T) = \sum_{(x,y)\in E_G} w(x, y).\, \text{PathCost}_T(x, y) \qquad (۳\text{-}۱)$$