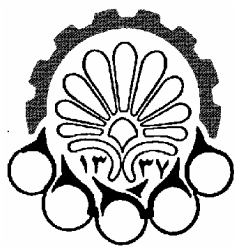


به نام آفریننده دانش و خرد



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی کامپیوتر

و فناوری اطلاعات

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات

گرایش شبکه

بهبود کارایی روش های انتشار اطلاعات در شبکه های حسگر بی سیم از

طریق تجميع اطلاعات

نگارش:

آرش نصیری اقبالی

استاد راهنما:

دکتر مهدی دهقان

اسفند ۱۳۸۵

تصویب نامه

دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

تأییدیه هیئت داوران

عنوان:

بهبود کارایی روش های انتشار اطلاعات در شبکه های حسگر بی سیم از
طریق تجميع اطلاعات

- | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|------------|
| ۱- استاد راهنما | آقای دکتر مهدی دهقان | امضاء..... |
| ۲- ممتحن خارجی | آقای دکتر امیرحسین جهانگیر | امضاء..... |
| ۳- ممتحن داخلی | آقای دکتر مسعود صبايي | امضاء..... |
| ۴- نماینده تحصیلات تکمیلی دانشکده | آقای دکتر محمد رحمتی | امضاء..... |

تقدیم به پدر، مادر و همسر عزیزم

با تشکر فراوان از استاد راهنما، جناب آقای دکتر مهدی دهقان، که در طول اجرای پروژه مرا یاری کردند.

این پروژه طبق قرارداد شماره ۵۰۰/۱۲۵۸۵/ت مورخ ۱۳۸۵/۱۰/۱۲ تحت حمایت مرکز تحقیقات مخابرات ایران ITRC می‌باشد: بدین وسیله مراتب تشکر خود را از آن مرکز اعلام می‌داریم.

چکیده

یکی از مسایل مهم و چالش برانگیز در شبکه‌های حسگر مساله انرژی و دوره زندگی گره‌ها در شبکه است. برای افزایش طول عمر گره‌ها می‌توان از روش‌های متفاوتی استفاده کرد که یکی از این روش‌ها توازن بار در بین گره‌های شبکه، در هنگام انتقال داده‌ها در بین گره‌های منبع و مقصد است. برای این منظور می‌توان از روش‌های مسیریابی چندمسیره استفاده کرد. الگوریتم مسیریابی هدایت شده، یکی از روشهای مطرح در شبکه‌های حسگر می‌باشد که یک الگوریتم داده محور است. در این الگوریتم اطلاعات مسیریابی به صورت محلی در داخل گره‌های شبکه، ذخیره می‌شوند بنابراین در این روش، اطلاعات سراسری در مورد مسیر وجود ندارد. همین امر باعث شده که تشکیل مسیرهای چندگانه مناسب بین گره‌های مبدا و مقصد، نسبتاً پیچیده و دشوار باشد. مشکل دیگر این الگوریتم مسیریابی بین گره‌های منبع و سینک به صورت مجزا می‌باشد که این کار بخش موجب به هدر رفتن بخش عمده‌ای از منابع شبکه می‌شود. برای رفع این مشکل یک روش خوشه‌بندی پیشنهاد شده که در این روش یک سینک مجازی در نزدیکی گره‌های نزدیک به هم، جمع‌آوری اطلاعات از منابع و ارسال آنها به گره سینک را بر عهده می‌گیرد.

در این پایان‌نامه روش ODCP جهت خوشه‌بندی و الگوریتم MDD جهت چند مسیره کردن الگوریتم انتشار هدایت شده، پیشنهاد و بررسی شده‌اند و همچنین روشهایی برای ایجاد کردن توازن بار بین گره‌های مبدا و مقصد، از طریق توزیع ترافیک داده‌های منتقل شده بین گره مبدا و مقصد به صورت غیر یکنواخت، پیشنهاد شده است و در نهایت نتایج بدست آمده را از طریق شبیه‌سازی ارزیابی شده‌اند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که روش ODCP می‌تواند مدت برقراری اتصال را تا دو برابر افزایش دهد و تعداد بسته‌های از دست رفته بر اثر تصادم نیز کاهش پیدا خواهد کرد. البته در این روش میزان تاخیر رسیدن بسته‌های داده‌های اکتشافی به مقصد به دلیل فاز اولیه انتخاب سینک مجازی، افزایش خواهد یافت. روش MDD نیز میزان افزایشی تا چند برابر را در طول مدت برقراری اتصال در بر خواهد داشت و علاوه بر این، میزان تاخیر در این روش کاهش قابل توجهی پیدا خواهد کرد و همچنین داده‌ها با نرخ بالاتری نسبت به الگوریتم انتشار هدایت شده قابل ارسال می‌باشند.

کلمات کلیدی:

شبکه‌های حسگر بی‌سیم، مسیریابی چند مسیره، انتشار هدایت شده، خوشه‌بندی، کارایی انرژی

فهرست علائم اختصاری

ALB	Adaptive Load-Balancing
ALBT	Adaptive Load-Balancing with Threshold
BE	Best Effort
BLFI	Broadcast Limited Forward Improvement
BPMR	Braided Proactive Mutltipath Routing
DD	Directed Diffusion
DPMR	Disjoint Proactive Mutltipath Routing
EAF	Energy Aware Forwarding
ED	Exploratory Data
EDDD	Energy Efficient Differentiated Directed Diffusion
GMR	Greedy Mutipath Routing
HI	Hybrid Improvement
IH	Inhibit
LFI	Limited Forward Improvement
MDD	Multipath Directed Diffusion
ODCP	On-Demand Clustering Protocol
OPP	One-Phase Pull
PCDD	Passive Clustered Directed Diffusion
PR	Positive Reinforcement
PS	Positive reinforcement already Sent

RDI	Random Delay Improvement
RFI	Random Forward Improvement
RT	Real Time
SMR	Simple Multipath Routing
SPMR	Shared Proactive Mutltipath Routing
TPP	Two-Phase Pull
TTL	Time to Live
ULB	Uniform Load-Balancing
VS	Virtual Sink

۱.....	مقدمه	۱
۲.....	۱.۱ روش‌های مطرح شده در پایان‌نامه	۲
۵.....	۲ مروی بر شبکه‌های حسگر	۵
۵.....	۲.۱ کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر	۵
۵.....	- میدان‌های جنگی	۵
۶.....	- شناسایی محیط‌های آلوده	۶
۶.....	- نظارت کردن محیط زیست	۶
۶.....	- بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی	۶
۷.....	- در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند	۷
۷.....	- کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی	۷
۷.....	۲.۲ محدودیتهای سخت افزاری یک گره حسگر	۷
۸.....	- هزینه پائین	۸
۸.....	- حجم کوچک	۸
۸.....	- توان مصرفی پائین	۸
۸.....	- نرخ بیت پائین	۸
۸.....	- خودمختار بودن	۸
۸.....	- قابلیت تطبیق پذیری	۸
۸.....	۲.۳ معماری شبکه‌های حسگر	۸
۹.....	۲.۴ معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر	۹
۱۰.....	۲.۵ اجزای سخت افزاری	۱۰
۱۱.....	۲.۵.۱ اجزای نرم‌افزاری	۱۱
۱۱.....	۲.۵.۲ سیستم عامل Tiny OS	۱۱
۱۳.....	۳ مروزی بر روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر	۱۳
۱۳.....	۳.۱ روش سیل‌آسا:	۱۳
۱۴.....	انفجار	۱۴
۱۴.....	هم‌پوشانی	۱۴
۱۴.....	عدم اطلاع از منابع	۱۴

۱۵.....	۳.۲ روش شایعه پراکنی.....
۱۷.....	۳.۳ روش SPIN.....
۱۷.....	۳.۳.۱ پیغام‌های SPIN.....
۱۸.....	• ADV.....
۱۸.....	• REQ.....
۱۸.....	• DATA.....
۱۸.....	۳.۳.۲ SPIN-1 یک روش دست تکانی سه مرحله‌ای.....
۲۰.....	۳.۳.۳ SPIN-2 SPIN-1 با یک آستانه انرژی پایین.....
۲۰.....	۳.۴ روش انتشار هدایت شده.....
۲۲.....	۳.۴.۱ دسته خصوصیت‌ها.....
۲۳.....	۳.۴.۲ فیلترها.....
۲۴.....	۳.۴.۳ جمعیت اطلاعات درون-شبکه‌ای.....
۲۴.....	۳.۴.۴ جمعیت فرصت طلبانه.....
۲۵.....	۳.۴.۵ جمعیت حریصانه.....
۲۵.....	۳.۴.۶ پرسش تو رد تو.....
۲۶.....	۳.۴.۷ مقایسه روش انتشار هدایت شده با روش SPIN.....
۲۸.....	۳.۴.۸ روش مسیریابی جغرافیایی (GEAR).....
۲۹.....	۳.۵ روش انتشار بیرون دهنده.....
۳۰.....	۳.۶ روش انتشار جذب یک مرحله‌ای.....
۳۲.....	۳.۷ روش LEACH.....
۳۵.....	۳.۸ جزئیات الگوریتم LEACH:.....
۳۵.....	۱- فاز تبلیغات.....
۳۶.....	۲- فاز تشکیل خوشه‌ها.....
۳۷.....	۳- فاز تشکیل برنامه.....
۳۷.....	۴- فاز انتقال داده‌ها.....
۳۸.....	۳.۹ روش EDDD.....
۳۹.....	۳.۹.۱ فیلترهای RT و BE در روش EDDD.....
۳۹.....	۳.۹.۲ گرادیان‌های RT و BE.....
۴۰.....	۳.۹.۳ برپایی گرادیانها BE.....
۴۲.....	۳.۹.۴ برپایی گرادیانهای RT.....
۴۴.....	۳.۹.۵ مکانیسم‌های بازیابی RT و بازیابی BE در روش EDDD.....
۴۵.....	۳.۹.۶ بازیابی در BE.....

۴۵.....	۳.۹.۷ بازیابی در RT
۴۷.....	۳.۱۰ خلاصه
۵۲.....	۴ الگوریتم پیشنهادی خوشه‌بندی در روش انتشار هدایت شده
۵۲.....	۴.۱ مقدمه
۵۵.....	۴.۲ فاز اول: انتخاب سینک مجازی
۵۸.....	۴.۳ فاز دوم: تشکیل مسیر
۵۹.....	۴.۴ فاز سوم: انتخاب مجدد سینک مجازی
۶۱.....	۴.۵ فاز چهارم: انقضای سینک مجازی
۶۲.....	۴.۶ بررسی و مباحثه
۶۴.....	۴.۷ نحوه پیاده‌سازی و ارزیابی
۶۴.....	۴.۷.۱ بستر پیاده‌سازی
۶۵.....	۴.۷.۲ سناریوهای شبیه‌سازی
۶۵.....	۴.۷.۳ مدل انرژی
۶۵.....	۴.۷.۴ محاسبه انرژی
۶۶.....	۴.۷.۵ محاسبه مدت برقراری اتصال
۶۶.....	۴.۷.۶ محاسبه سربار و تاخیر
۶۶.....	۴.۷.۷ محاسبه میزان از دست رفتن بسته‌ها
۶۸.....	۴.۸ بررسی نتایج شبیه‌سازی
۶۸.....	۴.۸.۱ محاسبه انرژی میانگین، حداقل و حداکثر گره‌های شبکه
۷۰.....	۴.۸.۲ محاسبه مدت برقراری اتصال بین منابع و سینک
۷۱.....	۴.۸.۳ مقایسه سربار الگوریتم‌های ODCP و DD
۷۱.....	۴.۸.۴ محاسبه متوسط تاخیر رسیدن بسته‌ها به مقصد
۷۲.....	۴.۸.۵ محاسبه میزان از دست رفتن بسته‌ها
۷۳.....	۴.۸.۶ شبیه‌سازی‌های مربوط به الگوریتم ODCP با استفاده از روش انتشار جذب دومرحله‌ای
۸۱.....	۵ روش MDD: الگوریتم پیشنهادی چند مسیر در روش انتشار هدایت شده
۸۱.....	۵.۱ مقدمه
۸۲.....	۵.۲ روش‌های پیشنهادی برای مسیریابی چند مسیر
۸۲.....	۵.۲.۱ روش چند مسیر ساده SMR (Simple Multi-path Routing)
۸۳.....	۵.۲.۲ روش چند مسیر پیش‌دست‌ان PMR
۸۸.....	۵.۲.۳ روش چند مسیر حریصانه GMR

۵.۳	راهکارهای بهبود مسیریابی پیشدستانه	۸۹
۵.۴	بهبود مسیریابی حریصانه بوسیله مسیریابی آگاه از انرژی	۹۳
۵.۵	بررسی و مقایسه روش‌های مطرح شده	۹۴
۵.۶	نحوه پیاده‌سازی	۹۸
۵.۶.۱	بستر پیاده‌سازی	۹۸
۵.۶.۲	سناریوهای شبیه‌سازی	۹۸
۵.۷	ارزیابی و بررسی نتایج شبیه‌سازی	۹۹
۶	روش‌های پیشنهادی توازن بار در مسیریابی چند مسیره	۱۰۲
۶.۱	روش یکنواخت ULB	۱۰۳
۶.۲	روش سازگار ALB	۱۰۳
۶.۳	روش سازگار با حد آستانه ALBT	۱۰۴
۶.۴	ارزیابی و بررسی نتایج شبیه‌سازی	۱۰۵
۶.۴.۱	نتایج شبیه‌سازی	۱۰۶
۷	نتیجه‌گیری و کارهای آتی	۱۱۱
۷.۱	نتیجه‌گیری	۱۱۱
۷.۱.۱	الگوریتم ODCP	۱۱۱
۷.۱.۲	الگوریتم MDD	۱۱۲
۷.۲	کارهای آتی	۱۱۳
۷.۲.۱	مسیریابی چند مسیره موثر	۱۱۳
۷.۲.۲	مسیریابی PUSH-PULL	۱۱۴
۷.۲.۳	تعمیم روش‌های مسیریابی چند مسیره و ODCP در OPP	۱۱۴
۷.۲.۴	بررسی ادغام الگوریتم GEAR و PCDD با روش‌های مطرح شده	۱۱۴
۱۱۵	مراجع	
۱۱۸	ضمیمه‌ها	
۱۱۸	واژه‌نامه فارسی به انگلیسی	
۱۲۰	واژه‌نامه انگلیسی به فارسی	

فهرست اشکال

شکل ۱-۲: معماری شبکه‌های حسگر	۹
شکل ۲-۲: معماری ارتباطی شبکه‌های حسگر بی سیم	۱۰
شکل ۳-۲: معماری سخت افزار هر گره شبکه‌های حسگر	۱۱
شکل ۱-۳: پدیده تصادم	۱۴
شکل ۲-۳: پدیده هم‌پوشانی	۱۵
شکل ۳-۳: روش شایعه پراکنی	۱۶
شکل ۴-۳: الگوریتم دست‌تکانی در SPIN	۱۹
شکل ۵-۳: نحوه عملکرد الگوریتم انتشار هدایت شده	۲۲
شکل ۶-۳: نحوه خوشه‌بندی در زمانهای t و $t+c$	۳۳
شکل ۷-۳: میزان نرمالیزه شده مصرف انرژی سیستم در مقابل درصد گره‌های سرخوشه	۳۴
شکل ۸-۳: طول عمر حسگرها با میزان انرژی‌های اولیه متفاوت	۳۵
شکل ۹-۳: مشخصات بسته علاقه‌مندی	۳۹
شکل ۱۰-۳: مدخل اطلاعات همسایه	۴۱
شکل ۱۱-۳: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE	۴۳
شکل ۱۲-۳: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک RT	۴۴
۱۳-۳: مکانیسم بازیابی در ترافیک RT	۴۶
شکل ۱-۴: نمونه مسیریابی در دو الگوریتم انتشار هدایت شده و ODCP	۵۳
شکل ۲-۴: نحوه انتخاب گره VS برای بار اول در خوشه	۵۶
شکل ۳-۴: نحوه انتخاب VS در فازهای بعدی	۶۰
شکل ۴-۴: ترتیب ارسال بسته به فیلترهای ODCP و DD	۶۴
شکل ۵-۴: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۶ منبع و فاصله ۱۵۰ سانتیمتر	۶۸
شکل ۶-۴: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۳ منبع و فاصله ۱۵۰ سانتیمتر	۶۹
شکل ۷-۴: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۶ منبع و فاصله ۱۰۰ سانتیمتر	۶۹
شکل ۸-۴: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۳ منبع و فاصله ۱۰۰ سانتیمتر	۷۰
شکل ۹-۴: زمان برقراری اتصال بین منابع و سینک بر اساس تعداد منابع	۷۰
شکل ۱۰-۴: سربار الگوریتم‌های ODCP و DD بر اساس تعداد منابع	۷۱
شکل ۱۱-۴: میزان تاخیر بسته‌ها در دو روش ODCP و DD بر اساس تعداد منابع	۷۲
شکل ۱۲-۴: میزان ازدست رفتن بسته‌ها در دو روش ODCP و DD بر اساس تعداد منابع	۷۳
شکل ۱۳-۴: میزان انرژی مصرفی شبکه در زمان‌های مختلف	۷۴
شکل ۱۴-۴: میانگین انرژی گره‌های شبکه در زمان‌های مختلف	۷۴
شکل ۱۵-۴: طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی اولیه ۵ وات	۷۵
شکل ۱۶-۴: طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی‌های اولیه ۱۰ وات	۷۵
شکل ۱۷-۴: تعداد بسته‌های رسیده به مقصد به ازای انرژی‌های اولیه ۱۰ وات	۷۶

شکل ۴-۱۸: میزان بسته‌های رسیده در طول مدت زمان برقراری اتصال به ازای تعداد منابع مختلف	۷۷
شکل ۴-۱۹: تاخیر متوسط رسیدن بسته‌ها به ازای تعداد منابع مختلف	۷۸
شکل ۴-۲۰: درصد میزان بسته‌های از دست رفته به ازای تعداد منابع مختلف	۷۹
شکل ۴-۲۱: سربار مسیریابی به ازای تعداد منابع مختلف	۷۹
شکل ۴-۲۲: درصد بسته‌های رسیده به کل بسته‌های دریافت شده در گره‌های شبکه به ازای تعداد منابع مختلف	۸۰
شکل ۵-۱: مسیریابی چندمسیره ساده با مسیرهای مشترک و متمایز	۸۳
شکل ۵-۲: نمونه مسیریابی چند مسیره پیشدستانه متمایز در دو توپولوژی نمونه	۸۴
شکل ۵-۳: نمونه مسیریابی چند مسیره تابیده همراه بهبود LFI	۸۵
شکل ۵-۴: نمونه روش مسیریابی چند مسیره پیشدستانه مشترک (SPMR)	۸۶
شکل ۵-۵: نمونه مسیریابی چند مسیره حریصانه	۸۸
شکل ۵-۶: نمونه یک مسیر یابی DPMR همراه با بهبود RFI	۹۰
شکل ۵-۷: مشکل بسته پیشتاز در یک توپولوژی نمونه	۹۵
شکل ۵-۸: تعداد مسیرهای تشکیل شده با استفاده از الگوریتم‌های مطرح شده	۹۹
شکل ۵-۹: سربار بسته‌های مسیریابی برای دریافت ۱۰۰ بسته داده در سینک	۱۰۰
شکل ۶-۱: زمان برقراری اتصال برای داده‌های با نرخ پایین	۱۰۶
شکل ۶-۲: زمان برقراری اتصال برای داده‌های با نرخ بالا	۱۰۷
شکل ۶-۳: میزان تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش‌های مختلف با نرخ ارسال داده پایین	۱۰۸
شکل ۶-۴: میزان تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش‌های مختلف با نرخ ارسال داده بالا	۱۰۸
شکل ۶-۵: درصد بسته‌های از دست رفته در روش‌های مختلف مسیریابی با نرخ ارسال داده‌های پایین	۱۰۹
شکل ۶-۶: درصد بسته‌های از دست رفته در روش‌های مختلف مسیریابی با نرخ ارسال داده‌های بالا	۱۱۰

فهرست جداول

جدول ۵-۱: مقایسه تعداد و کیفیت مسیرهای تشکیل شده در روش‌های مسیریابی مختلف	۱۰۱
--	-----

۱ مقدمه

در سال‌های اخیر، رشد بسیاری را در زمینه شبکه‌های حسگر، شاهد بوده‌ایم. شبکه‌های حسگر شامل تعداد زیادی از گره‌های حسگر بسیار کوچک می‌باشند که برای جمع‌آوری و پردازش اطلاعات محیطی، مورد استفاده قرار می‌گیرند. بر خلاف شبکه‌های موردی که شاید در نگاه اول بسیار شبیه به شبکه‌های حسگر به نظر بیایند، گره‌ها در شبکه‌های حسگر، معمولاً فاقد آدرس‌های منحصر بفرد می‌باشند و آنچه بیشتر در این شبکه‌ها حائز اهمیت است، اطلاعات جمع‌آوری شده توسط حسگرهای شبکه است. همچنین به دلیل عدم دسترسی به گره‌ها پس از فرآیند پراکندن آنها در محیط، گره‌های شبکه پس از مصرف انرژی موجود، عملاً بدون استفاده شده و خواهند مرد. بنابراین مساله انرژی و بهینه‌سازی مصرف آن، یکی از چالش‌های مطرح در این شبکه‌هاست و کارهای زیادی هم در سال‌های اخیر در این مورد صورت گرفته است.

امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های حسگر مطرح شده است و روز به روز هم بر تعداد آنها افزوده می‌شود. از جمله این کاربردها می‌توان به استفاده در میدان‌های جنگی، شناسایی محیط‌های آلوده، نظارت کردن بر محیط زیست، بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی، در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند، کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی و ... اشاره کرد.

در طراحی سخت‌افزار برای شبکه‌های حسگر، محدودیت‌هایی وجود دارد که از جمله این محدودیت‌ها می‌توان به عواملی مانند هزینه پائین، حجم کوچک، توان مصرفی کم، نرخ بیت پائین، خودمختار

بودن گره‌ها و نهایتاً به قابلیت تطبیق پذیری با تغییرات محیط اشاره کرد. هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزان‌قیمت با اندازه کوچک، تشکیل شده است و هر گره نیز از مجموعه‌ای از اجزای سخت‌افزاری تشکیل شده است که در کنار یکدیگر وظایف هر گره را به انجام می‌رسانند. در حال حاضر هر گره حسگر از بهم پیوستن تعدادی قطعات از پیش طراحی شده حاصل می‌شود ولی در آینده می‌توان کلیه مدارهای مورد نیاز یک حسگر را در یک مدار مجتمع فشرده و در اندازه بسیار کوچکتري پیاده‌سازی کرد که کاهش قابل ملاحظه‌ای در اندازه و توان مصرفی هر گره را در بر خواهد داشت. در فصل ۲ مرور کلی بر شبکه‌های حسگر ارائه خواهد شد.

۱.۱ روش‌های مطرح شده در پایان‌نامه

تا کنون روش‌های زیادی برای مسیریابی در شبکه‌های حسگر ارائه شده است که در فصل ۳ مروری بر عملکرد برخی از این روش‌ها خواهیم داشت. یکی از روش‌های مناسب مطرح شده، برای مسیریابی داده محور در شبکه‌های حسگر، روش انتشار هدایت شده است [1] که در آن، گره‌های شبکه تنها از داده‌های محلی جهت مسیریابی بسته‌ها استفاده می‌کنند. در این روش درخواست‌ها به صورت بسته‌های علاقه‌مندی، توسط گره‌های اصلی در سطح شبکه پراکنده می‌شود و به تمام گره‌های شبکه می‌رسند. سپس گره‌هایی که شامل داده‌های مورد نظر هستند (منابع اطلاعات)، با دریافت بسته علاقه‌مندی، اطلاعات جمع‌آوری شده را به سمت گره مقصد هدایت می‌کنند.

روش انتشار هدایت شده^۱ (DD) جهت کاهش سربار در انتقال داده‌ها از دو راه‌کار تجميع^۲ اطلاعات و پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای^۳، بهره می‌گیرد. با این وجود تضمینی وجود ندارد که مسیرهای تشکیل شده ناشی از منابع نزدیک به هم، در این روش بعد از چند گام با هم ادغام شوند. خصوصاً در شرایطی که رویداد مورد بررسی از نظر جغرافیایی گسترده باشد احتمال این امر کاهش می‌یابد. علاوه بر این در روش DD، برای تشکیل مسیر هر یک از منابع به طور مجزا داده‌های اکتشافی را در کل سطح شبکه منتشر می‌کنند که بخش قابل توجهی از منابع شبکه را به هدر می‌دهد در صورتی که در این شرایط، نیازی به تکرار تمامی مراحل به صورت مجزا نیست.

¹ Directed Diffusion

² Aggregation

³ In Network Processing

در روش ^۱ ODCP که در پایان‌نامه پیشنهاد شده، سعی بر آنست تا دو مشکل مطرح شده در الگوریتم DD (تجمیع دیر هنگام و انتشار داده‌های اکتشافی اضافی) برطرف شود. در این روش از یک سینک مجازی در نزدیکی گره‌های منبع استفاده می‌شود که نقش جمع‌آوری اطلاعات و ارسال آنها را به سمت مقصد بر عهده می‌گیرد. در فصل ۴ روش ODCP توضیح داده شده و مکانیزم‌های به‌کار رفته جهت انتخاب سینک مجازی و مسیریابی در داخل خوشه، به تفصیل شرح داده شده است.

علاوه بر این در الگوریتم انتشار هدایت شده، همیشه کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدا و مقصد، جهت انتقال ترافیک بین این دو گره انتخاب می‌شود که این امر باعث می‌شود، انرژی گره‌های مسیر انتخاب شده به سرعت تخلیه شوند، خصوصاً در شرایطی که شبکه ما دارای مقیاس بزرگی باشد و نرخ داده‌های ارسالی از یک ناحیه مشخص نسبتاً بالا باشد که در شبکه‌های حسگر، این شرایط بسیار محتمل است. نکته منفی دیگر که این مشکل را تشدید می‌کند، اینست که در صورت تخلیه شدن یک مسیر، غالباً کوتاه‌ترین مسیر بعدی که معمولاً مسیر مجاور این مسیر است، انتخاب خواهد شد که این امر به مرور زمان، خصوصاً در هنگامی که فاصله بین گره مبدا و مقصد زیاد باشد، می‌تواند باعث جدا شدن قسمت‌های مختلف شبکه گردد. پس ما نیاز به روشی داریم که بتواند ترافیک داده‌های منتقل شده بین گره‌های مبدا و مقصد را میان گره‌های مسیر، به صورت عادلانه‌تری توزیع کند.

یکی از روش‌های معمول در شبکه‌های داده‌ای مانند شبکه‌های موردی، ایجاد مسیرهای چندگانه، بین گره مبدا و مقصد، جهت توازن ترافیک انتقالی بین آنها و خصوصاً افزایش پایداری مسیریابی است ولی در این شبکه‌ها، بر خلاف شبکه‌های حسگر، مسئله انرژی خیلی بحرانی نیست و از سربار ایجاد شده برای ایجاد مسیرهای چندگانه به راحتی می‌توان صرف نظر کرد ولی به دلیل سربار زیاد این الگوریتم‌ها، اغلب آنها در شبکه‌های حسگر، قابل استفاده نیستند. همچنین از آنجایی که الگوریتم انتشار هدایت شده، یک روش مسیریابی محلی است و گره‌های شبکه در این روش، اطلاعات کلی مسیر را در اختیار ندارند، تشکیل مسیرهای چندگانه که دارای تعداد گام مناسبی باشند، در این الگوریتم کار نسبتاً دشواری است.

¹ On-Demand Clustering Protocol

در روش پیشنهاد شده در پایان‌نامه (روش MDD)، برای ایجاد توازن بار در بین گره‌های شبکه در روش انتشار هدایت شده، از روش مسیریابی چندگانه استفاده می‌کنیم و با استفاده از روش‌های مطرح شده در فصل ۴.۸.۶، چند مسیر متمایز یا شبه متمایز، بین گره‌های مبدا و مقصد تشکیل می‌دهیم. در این فصل، سه روش جهت ایجاد مسیریابی چندگانه مطرح شده‌اند که عبارتند از روش مسیریابی چندگانه ساده، مسیریابی چندگانه پیشدستانه و روش مسیریابی چندگانه حریصانه. در فصل ۶۰ هم روش‌هایی جهت توزیع مناسب ترافیک ارسالی توسط گره منبع بر روی مسیرهای چندگانه تشکیل شده در الگوریتم MDD پیشنهاد شده است.

۲ مروری بر شبکه‌های حسگر

در این فصل ابتدا در مورد کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر و نقشی که این شبکه‌ها در زندگی روزمره ما، می‌توانند بر عهده بگیرند، مطالبی آورده خواهد شد و در نهایت در مورد معماری کلی شبکه‌های حسگر، اعم از معماری ارتباطی در آنها و اجزای سخت افزاری هر گره به بحث و بررسی خواهیم پرداخت.

۲.۱ کاربردها و مزایای استفاده از شبکه‌های حسگر

همان‌طور که در بحث مقدمه مطرح شد، امروزه کاربردهای بسیاری برای شبکه‌های حسگر مطرح شده است و روز به روز هم بر تعداد آنها اضافه می‌شود. برخی از کاربردهایی که تا کنون بر روی این شبکه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند، عبارتند از:

- **میدان‌های جنگی:** در میدان‌های جنگی، می‌توان جهت شناسایی و بررسی آماری تجهیزات و نیروی دشمن و همین‌طور رده‌بندی و پیگیری نحوه آرایش و مسیر حرکت نیروهای دشمن یا نیروهای خودی، از شبکه‌های حسگر استفاده کرد و در نهایت وضعیت نیروهای خودی را در قبال نیروهای دشمن بررسی نمود.

- **شناسایی محیطهای آلوده:** در محیطهای مختلف امکان وجود انواع آلودگی‌ها محتمل است. لذا با استفاده از چنین شبکه‌هایی، می‌توان وجود آلودگی‌های مشخصی را در سطح محیط تحت نظر، بررسی کرد و حتی میزان غلظت آلودگی در قسمت‌های مختلف را مشاهده نمود و در نهایت با استفاده از اطلاعات آماری بدست آمده، در خروجی سیستم می‌توان نمودار وضعیت آلودگی در سطح محیط زیر نظر را بدست آورد. نوع آلودگی نیز می‌تواند یکتا نباشد و با توجه به امکانات، هر گره در شبکه حسگر می‌تواند شناسایی چندین نمونه آلودگی را پشتیبانی کند.

- **نظارت کردن محیط زیست:** مجموعه‌ای از تحقیقات در زمینه محیط زیست نیازمند انجام مطالعات مکرر و متمرکز و صرف زمان زیادی جهت جمع آوری اطلاعات می‌باشد که معمولاً از حوصله و توانایی چشمان انسان خارج است و در چنین مواردی از دستگاه‌های مانیتورینگ، تحلیلگر و ذخیره کننده نتایج استفاده می‌شود. از طرفی دیگر، به خاطر وجود برخی شرایط محیط زیست، اکثر کارهای تحقیقاتی بایستی در سکوت و آرامش صورت گیرد تا وجود انسان و تجهیزات در محیط اثر منفی در عملکرد غریزه‌ای و واقعی موجودات نداشته باشد تا موجب کاهش کیفیت تحقیق گردد. از این رو معمولاً تمام سیستم‌های مانیتورینگ، قابلیت کنترل از راه دور را دارند. در عین حال این سیستم‌ها طوری انتخاب می‌گردند که وجود آنها در محیط محسوس نباشد. با در نظر گرفتن تمام موارد فوق، ملاحظه می‌شود که شبکه‌های حسگر، علاوه بر هزینه پایین مصرفی، در زمینه مانیتور کردن محیط زیست، از توانایی بالایی برخوردار می‌باشند. در مواردی همچون بررسی وضعیت آب و هوای جوی محیط و بررسی وضعیت ظاهری آن، بخصوص محیط سرسبز و جنگلی، بررسی رشد و نمو گیاهان و موجودات و موقعیت‌یابی و پیگردی موجودات زنده در محیط زیست می‌توان از قدرت بالای شبکه‌های حسگر استفاده کرد.

- **بررسی و تحلیل وضعیت بناهای ساختمانی:** بسیاری از سازمانها و موسسات تحقیقاتی در زمینه عمران و مسکن برای انجام مطالعات و تحقیقات خود از وضعیت بناهای مدنظر، در طول زمان یا در هنگام بروز حوادث طبیعی بخصوص زلزله، نیازمند استفاده از تجهیزات مانیتورینگ می‌باشند تا اطلاعاتی مانند میزان فشار و تحمل مصالح، وجود ترک، میزان آسیب وارده، وضعیت فرسودگی، امنیت و حفاظت ساختمان و یا سایر جزئیات مرتبط با هدف تحقیقات در مورد بناهایی مثل ساختمان‌های

قدیمی، پل‌ها، سدها، موزه‌ها و... را جمع‌آوری کنند و با توجه به تواناییهای شبکه‌های حسگر، می‌توان از این شبکه‌ها برای دست یافتن به اهداف مطرح شده در بالا استفاده کرد.

- **در جاده‌ها و بزرگراه‌های هوشمند:** یکی از مشکلات جامعه و راهنمایی و رانندگی، کنترل وضعیت ترافیک در سطح شهر می‌باشد. با برپایی شبکه‌ای از گره‌های حسگر در سطح شهر و قرار دادن گره‌ها در بزرگراه‌ها و خیابان‌های شهر، می‌توان بزرگراه‌ها و خیابانها را "هوشمند" ساخت و از وضعیت تراکم عبور و مرور وسایل نقلیه و یا بروز حوادثی مانند برخورد چندین وسیله نقلیه، در نقاط زیر نظر گره‌های سنسور، اطلاع یافت و در نهایت در کل سطح شهر وضعیت ترافیک و تصادفات را شناسایی و پیگیری نمود.

- **کاربردهای مختلف در زمینه پزشکی:** در زمینه بررسی و مطالعات زیست‌شناسی و یا در مورد انسان‌ها، جهت آگاهی از وضعیت جسمانی آنها، می‌توان از گره‌های حسگر استفاده نمود و در موارد مختلف، از جمله قراردادن گره‌ها در لایه‌های زیر پوست برای انجام مطالعات مکرر در طی مدت زمان نسبتاً طولانی، دستگاه‌های پزشکی و بخصوص در زمینه فیزیک پزشکی، می‌توان از شبکه‌های حسگر استفاده نمود.

همچنین با توجه به ماهیت شبکه‌های حسگر، می‌توان مزایایی مانند برپایی سریع در مواقع اضطراری و فوری، استفاده در محیط‌های که عاری از پارازیت و اختلال باشند، اجتناب از قرار گرفتن در محیط‌های خطرناک و غیر عاقلانه برای مطالعات مکرر، شیوه اقتصادی مقرون به صرفه برای جمع‌آوری اطلاعات در طولانی مدت و ... نام برد.

۲.۲ محدودیتهای سخت افزاری یک گره حسگر

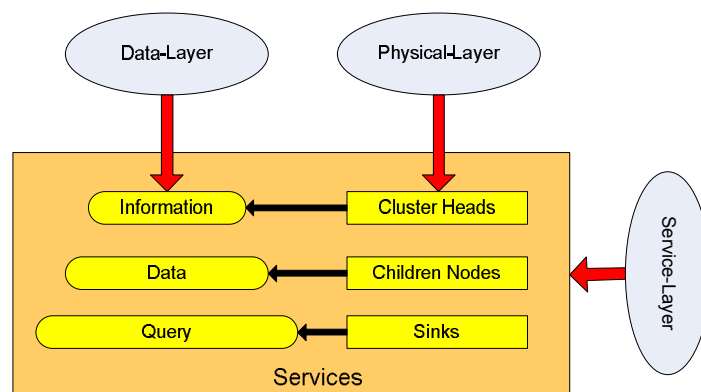
عواملی چون اقتصادی بودن سیستم، قابلیت مورد انتظار، تعداد انبوه گره‌ها و نهایتاً عملی شدن ایده‌ها در محیط واقعی، موجب گشته هر گره یکسری محدودیتهای سخت افزاری داشته باشد. این محدودیتها در ذیل اشاره شده و در مورد هرکدام توضیحی ارائه گردیده است:

- **هزینه پائین:** بایستی سیستم نهایی از نظر اقتصادی مقرون به صرفه باشد. چون تعداد گره‌ها خیلی زیاد بوده و برآورد هزینه هر گره در تعداد زیادی (بالغ بر چند هزار) ضرب می‌گردد، بنابراین هر چه از هزینه هر گره کاسته شود، در سطح کلی شبکه، صرفه جویی زیادی صورت خواهد گرفت و سعی می‌شود هزینه هر گره به کمتر از یک دلار برسد.
- **حجم کوچک:** گره‌ها به نسبت محدوده‌ای که زیر نظر دارند، بخشی را به حجم خود اختصاص می‌دهند. لذا هر چه این نسبت کمتر باشد به همان نسبت کارایی بالاتر می‌رود و از طرفی در اکثر موارد برای اینکه گره‌ها جلب توجه نکند و یا بتوانند در برخی مکان‌ها قرار بگیرند نیازمند داشتن حجم بسیار کوچک می‌باشند.
- **توان مصرفی پائین:** منبع تغذیه در گره‌ها محدود می‌باشد و در عمل، امکان تعویض یا شارژ مجدد آن مقدور نیست؛ لذا بایستی از انرژی موجود به بهترین نحو ممکن استفاده گردد.
- **نرخ بیت پائین:** به خاطر وجود سایر محدودیتها، عملاً میزان نرخ انتقال و پردازش اطلاعات در گره‌ها، نسبتاً پایین می‌باشد.
- **خودمختار بودن:** هر گره‌ای بایستی از سایر گره‌ها مستقل باشد و بتواند وظایف خود را طبق تشخیص و شرایط خود، به انجام برساند.
- **قابلیت انطباق:** در طول انجام نظارت بر محیط، ممکن است شرایط در هر زمانی دچار تغییر و تحول شود. مثلاً برخی از گره‌ها خراب گردند. لذا هر گره بایستی بتواند وضعیت خود را با شرایط بوجود آمده جدید تطبیق دهد.

۲.۳ معماری شبکه‌های حسگر

هر شبکه حسگر از تعداد زیادی گره ارزان‌قیمت با اندازه کوچک، تشکیل شده است و هر گره نیز از مجموعه‌ای از اجزای سخت‌افزاری تشکیل شده است که در کنار یکدیگر وظایف هر گره را به انجام می‌رسانند. در حال حاضر هر گره حسگر از بهم پیوستن تعدادی قطعات از پیش طراحی شده حاصل می‌شود ولی در آینده می‌توان کلیه مدارهای مورد نیاز یک حسگر را در یک مدار مجتمع فشرده و در اندازه بسیار کوچکتری

پیاده‌سازی کرد که کاهش قابل ملاحظه‌ای در اندازه و توان مصرفی هر گره را در بر خواهد داشت. همچنین سیستم عامل نسبتاً ساده‌ای به نام Tiny OS برای گره‌های شبکه حسگر پیشنهاد شده است که بر مبنای کنترل رویدادها طراحی شده است و منابع هر گره را به نحو مناسبی کنترل می‌کند [12].



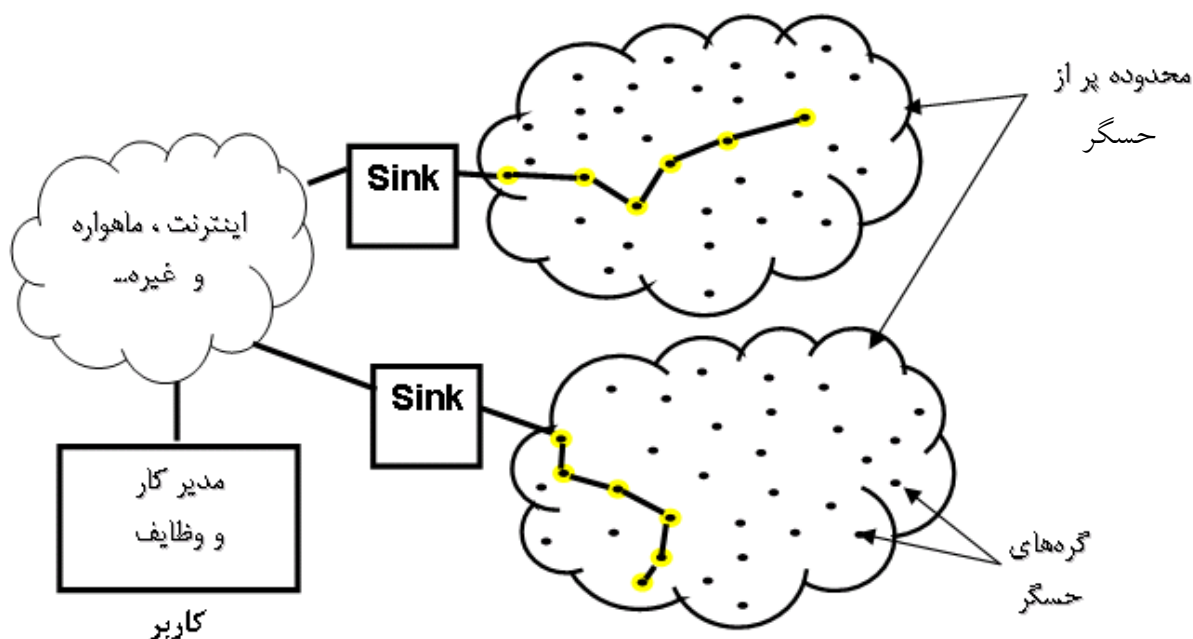
شکل ۲-۱: نحوه طبقه‌بندی گره‌ها در شبکه‌های حسگر [16]

۲.۴ معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر

همانطور که در مقدمه بیان شد، شبکه‌های حسگر در حالت کلی ماهیت داده-محور دارند و بنابراین، ساختار ارتباطی بین گره‌های حسگر باید طوری طراحی شوند که با ماهیت این شبکه‌ها، هماهنگی داشته باشند. چون اکثر کاربردهای شبکه‌های حسگر در مواردی است که عملاً امکان اتصال گره‌ها به یکدیگر عملی یا مقرون به صرفه نیست، در این گونه شبکه‌ها عموماً از ارتباط بیسیم استفاده می‌شود. و ساختار کلی این شبکه‌ها به این صورت است که تعداد زیادی گره همسان، در محیط پراکنده می‌شوند و پس از جمع‌آوری اطلاعات مورد نظر، آن را به یک گیرنده مرکزی یا سینک^۱ ارسال می‌کنند. گیرنده مرکزی، گرهی با میزان انرژی بالا و تجهیزات مورد نیاز می‌باشد و در واقع واسطه بین شبکه حسگر و محیط اطراف می‌باشد. در شبکه‌های با وسعت جغرافیایی زیاد، می‌توان از چندین گیرنده مرکزی استفاده کرد تا مسیر ارسال داده‌ها به گیرنده‌ها، بیش از حد طولانی نگردد.

^۱ Sink

از آنجایی که ارسال مستقیم رادیویی در فواصل زیاد، به انرژی بسیار زیادی نیاز دارد، در شبکه‌های حسگر، از روشهای انتقال اطلاعات به صورت گام به گام استفاده می‌شود. علاوه بر این مورد، در اکثر موارد بین بسیاری از گره‌ها و گیرنده‌های مرکزی، به علت مسایلی مانند فاصله زیاد یا موانع جغرافیایی، ممکن است دید مستقیمی بین گره و گیرنده مرکزی وجود نداشته باشد. روشهای متنوعی جهت پراکندن اطلاعات در شبکه‌های حسگر، پیشنهاد شده است که تعدادی از آنها در فصل بعد، مختصراً آورده شده‌اند. در شکل ۲-۱ و شکل ۲-۲ شمایی از معماری ارتباطی در شبکه‌های حسگر، نشان داده شده است.

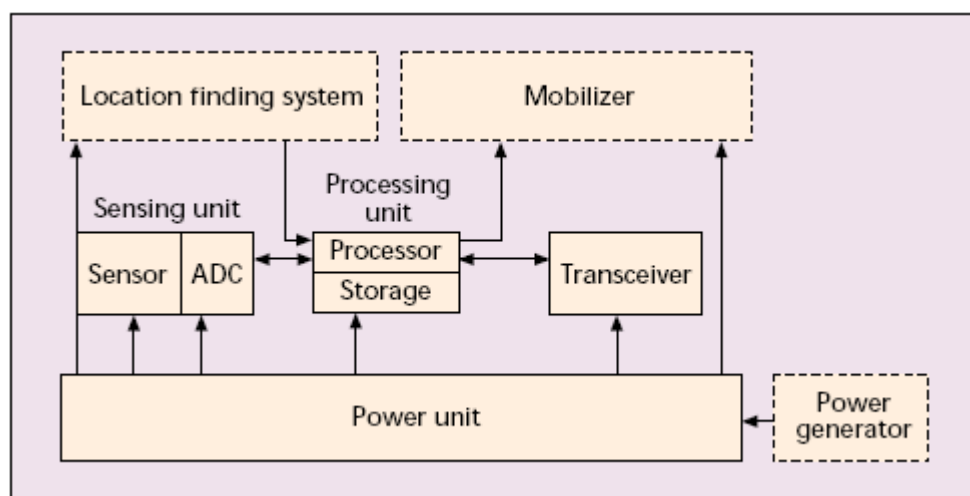


شکل ۲-۲: معماری ارتباطی شبکه‌های حسگر بی سیم [16]

۲.۵ اجزای سخت افزاری

با توجه به عملکرد متفاوت شبکه‌های حسگر، هر گره می‌تواند با توجه به وظایف تعریف شده از اجزای متنوعی تشکیل شده باشد ولی در حالت کلی هر گره از یکسری اجزای کلی تشکیل شده است که

عبارتند از واحد پردازش مرکزی، فرستنده-گیرنده رادیویی، منبع تغذیه که می‌تواند از طریق باتری یا سلولهای خورشیدی یا ترکیب هر دو، انرژی مورد نیاز سیستم را فراهم کند، یک یا تعدادی حسگر که داده‌های مورد نظر را جمع‌آوری می‌کنند، انواع حافظه‌های جانبی در صورت نیاز، موقعیت‌یاب GPS در صورت نیاز و سایر اجزایی که بسته به کاربردهای متفاوت می‌تواند در هر گره گنجانده شود. در شکل ۲-۳ معماری کلی سخت‌افزار یک گره حسگر نشان داده شده است.



شکل ۲-۳: معماری سخت‌افزار هر گره شبکه‌های حسگر [16]

۲.۵.۱ اجزای نرم‌افزاری

با پیچیده‌تر شدن عملیات محول شده به هر گره به تدریج پیچیدگی سیستم افزایش پیدا می‌کند و نیاز به یک سیستم عامل ساده که دسترسی به منابع سخت‌افزاری در هر گره شبکه حسگر را سهولت بخشد، بیشتر احساس می‌شود. یکی از سیستم عامل‌هایی که تا کنون طراحی شده و در انواع مختلفی از شبکه‌های حسگر پیاده‌سازی شده است، سیستم عامل Tiny OS است که در مورد آن توضیح داده خواهد شد.

۲.۵.۲ سیستم عامل Tiny OS

این سیستم عامل یک سیستم عامل رویدادگرا است و از یک هسته چند ریزمانی بسیار کارآمد تشکیل شده است. همچنین این سیستم عامل یک ساختار برنامه ریزی دو سطحی دارد که اجازه می‌دهد تا مقدار

پردازش محدودی بر روی رویدادهای سخت افزاری به صورت ایجاد وقفه در هنگام انجام وظایف طولانی صورت پذیرد.

در طراحی این سیستم عامل، انرژی مهمترین منبع موجود در نظر گرفته می‌شود و به نظر می‌رسد که یکی از راه حل‌های بهینه برای استفاده از منابع پردازنده استفاده از روش رویداد-گرا باشد. مجموعه عملکردهایی که به یک رویداد نسبت داده شده‌اند به سرعت اجرا می‌شوند و در حین اجرای آنها هیچ توقفی اجازه داده نخواهد شد. در حالت خواب، سیکل‌های استفاده نشده در CPU جهت انتظار فعال برای رخ دادن هر گونه رویداد قابل توجه، به کار می‌روند.

۳ مروری بر روش‌های مسیریابی در شبکه‌های حسگر

در این قسمت مرور و مقایسه‌ای بر روش‌های ارائه شده جهت پراکندن و انتشار داده‌ها در شبکه‌های حسگر بیسیم خواهیم داشت:

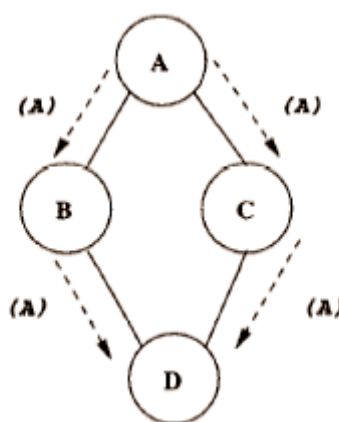
۳.۱ روش سیل‌آسا

در روش سیل‌آسا^۱ [19] یک گره جهت پراکندن قسمتی از داده‌ها در طول شبکه، یک نسخه از داده مورد نظر را به هر یک از همسایگان خود ارسال می‌کند. هر وقت یک گره، داده جدیدی دریافت کرد، از آن نسخه‌برداری می‌کند و داده را به همسایه‌هایش (به جز گرهی که داده را از آن دریافت کرده است) ارسال می‌کند. الگوریتم زمانی هم‌گرا می‌شود یا پایان می‌یابد که تمامی گره‌ها یک نسخه از داده را دریافت کنند.

زمانی که طول می‌کشد تا دسته‌ای از گره‌ها مقداری از داده‌ها را دریافت و سپس ارسال کنند، یک دور نامیده می‌شود. الگوریتم سیل‌آسا در زمان $O(d)$ دور، هم‌گرا می‌شود که d قطر شبکه است چون برای یک قطعه داده d دور طول می‌کشد تا از یک انتهای شبکه به انتهای دیگر حرکت کند. سه مورد از نقاط ضعف روش ارسال ساده جهت استفاده از آن در شبکه‌های حسگر در زیر آورده شده است [2]:

^۱ Flooding

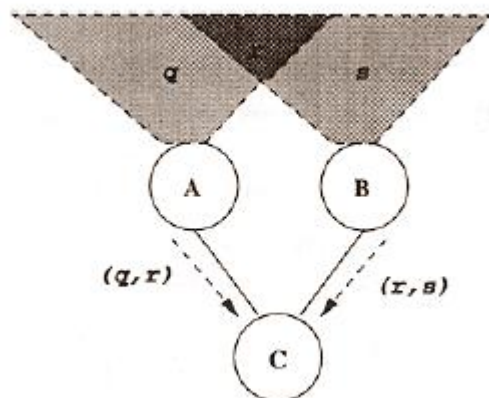
انفجار: در روش سنتی سیل‌آسا، یک گره همیشه داده‌ها را به همسایگانش، بدون در نظر گرفتن اینکه آیا آن همسایه، داده را قبلاً دریافت کرده یا خیر، ارسال می‌کند. این عمل باعث بوجود آمدن مشکل انفجار (implosion) می‌شود که در شکل ۳-۱ آورده شده است. در این شکل گره A پخش سیل‌آسا را با ارسال داده‌ها به همسایگانش یعنی گره‌های B و C آغاز می‌کند. این گره‌ها داده‌ها را دریافت می‌کنند و یک نسخه از آن را به همسایه مشترکشان یعنی گره D ارسال می‌کنند.



شکل ۳-۱: پدیده انفجار [7]

هم‌پوشانی: حسگرها معمولاً نواحی جغرافیایی مشترکی را پوشش می‌دهند و گره‌ها معمولاً قطعه داده‌هایی از حسگرها را دریافت می‌کنند که با هم هم‌پوشانی دارند. شکل ۳-۲ نشان می‌دهد که هنگامی که دو گره A و B داده‌هایی را که هم‌پوشانی دارند دریافت می‌کنند و آن را به همسایه مشترکشان C ارسال می‌کنند چه اتفاقی می‌افتد. الگوریتم در این حالت، انرژی و پهنای باند را جهت ارسال دو نسخه از یک داده به همان گره، به هدر می‌دهد.

عدم اطلاع از منابع: در روش سیل‌آسا، گره‌ها بر اساس میزان انرژی موجودی خود در یک زمان، فعالیت‌های خود را تغییر نمی‌دهند در صورتی که یک شبکه از حسگرهای خاص منظوره، می‌تواند از منابع موجود خود آگاهی داشته باشد و ارتباطات و محاسبات خود را با شرایط منابع انرژی خود مطابقت دهد.

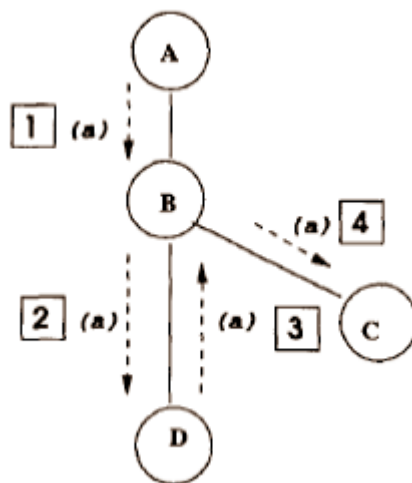


شکل ۳-۲: پدیده هم‌پوشانی [7]

۳.۲ روش شایعه پراکنی^۱

روش شایعه‌پراکنی [19]، یک جایگزین برای روش سیل‌آسا سنتی محسوب می‌شود که از فرایند تصادف برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی بهره می‌برد. به جای ارسال داده‌ها به صورت یکسان، یک گره شایعه پراکن، اطلاعات را به صورت تصادفی تنها به یکی از همسایگانش ارسال می‌کند. اگر یک گره شایعه پراکن، داده‌ای را از همسایه‌اش دریافت کند، می‌تواند در صورتی که همان همسایه به صورت تصادفی انتخاب شد، داده را مجدداً به آن ارسال کند. علت این امر در شکل ۳-۳ بحث شده است. در این شکل اگر گره D هیچ‌گاه داده خود را به سمت گره B باز نگرداند، گره C هیچ‌گاه داده را دریافت نخواهد کرد.

¹ Rumor Routing



شکل ۳-۳: روش شایعه پراکنی [7]

هر گاه داده در روش سیل آسا کلاسیک، به یک گره با مرتبه بالا برسد، نسخه‌های بیشتری از داده شروع به پراکنده شدن در داخل شبکه می‌کنند تا وقتی که این کپی‌ها در اثر تصادم به انتها برسند در صورتی که روش شایعه پراکنی جلوی چنین تصادم‌هایی را می‌گیرد چون در این روش تنها یک کپی از داده در هر گره ایجاد می‌شود و هر چه تعداد کپی‌های ایجاد شده کمتر باشد احتمال تصادم این کپی‌ها کمتر می‌شود.

در حالی که روش شایعه پراکنی اطلاعات را به کندی در شبکه پراکنده می‌کند، سرعت مصرف انرژی آهسته‌ای هم دارد. از آنجایی که هر گره، داده را به صورت تصادفی، تنها به یکی از همسایه‌های خود ارسال می‌کند، سریع‌ترین سرعت پخش داده‌ها در این روش، برابر یک گره در هر دور است؛ بنابراین با وجود C منبع در شبکه، حداکثر سرعت انتشار در این روش برابر C گره در هر دور است.

در نهایت اگرچه روش شایعه پراکنی می‌تواند تا حد زیادی از تصادم جلوگیری کند ولی این روش، هیچ راه‌حلی برای جلوگیری از همپوشانی ارائه نکرده است.

۳.۳ روش SPIN

روش^۱ [8] SPIN خانواده‌ای از پروتکل‌های وقفی است که می‌توانند داده‌ها را به صورت موثری بین حسگرها در یک شبکه حسگر با منابع انرژی محدود، پراکنده کنند. گره‌هایی که پروتکل ارتباطی SPIN را اجرا می‌کنند، داده‌های خود را با استفاده از ابر-داده‌ها^۲ که توصیف کننده‌های سطح بالایی هستند، نامگذاری می‌کنند. همچنین گره‌ها در این روش برای حذف ارسال داده‌های اضافی در شبکه، از مذاکره شبه-داده‌ها استفاده می‌کنند. همچنین گره‌های SPIN می‌توانند تصمیم‌گیری جهت انجام ارتباطات خود را هم بر اساس اطلاعات مربوط به برنامه کاربردی و هم بر اساس اطلاعات مربوط به منابع موجود خود به انجام برسانند. این کار باعث می‌شود که حسگرها بتوانند داده‌ها را با وجود منابع محدود خود، به صورت کارآمدی پراکنده کنند.

دو راه‌کار کلیدی دسته پروتکل‌های SPIN برای برطرف کردن مشکلات مطرح شده در روش کلاسیک سیل‌آسا، استفاده از مذاکره و تطبیق منابع است. برای برطرف کردن مشکل تصادم و هم‌پوشانی، گره‌های SPIN، از مذاکره با یکدیگر قبل از ارسال اطلاعات استفاده می‌کنند. همچنین گره‌ها قبل از ارسال داده‌ها، منابع خود را ارزیابی می‌کنند. هر گره حسگر، مدیر منابع^۳ مخصوص خودش را دارد که مصرف انرژی را دنبال می‌کند. برنامه‌های کاربردی قبل از ارسال یا پردازش داده‌ها مدیر منابع را بررسی می‌کنند که این امر به حسگرها کمک می‌کند تا بعضی از فعالیت‌های خاص را هنگام کمبود انرژی متوقف کنند.

شبه داده‌ها که در SPIN به عنوان نماینده داده‌ها تولید می‌شوند باید حجمی کمتر از داده‌هایی که نماینده آنها هستند داشته باشند. همچنین اگر دو قطعه از داده‌ها با هم قابل تفکیک باشند، باید شبه داده‌های آنها نیز این خاصیت را داشته باشند.

۳.۳.۱ پیغام‌های SPIN

گره‌ها در SPIN برای ارتباط با یکدیگر از سه نوع پیغام استفاده می‌کنند:

^۱Sensor Protocols for Information via Negotiation

^۲Meta-data

^۳ resource manager

- **ADV** – برای تبلیغ داده‌های جدید استفاده می‌شود. وقتی یک گره **SPIN**، داده‌ای برای به اشتراک گذاشتن در اختیار دارد، این امر را می‌تواند با ارسال شبه-داده مربوطه تبلیغ کند.
- **REQ** – جهت درخواست اطلاعات استفاده می‌شود. یک گره **SPIN** می‌تواند هنگامی که می‌خواهد داده حقیقی را دریافت کند از این پیغام استفاده کند.
- **DATA** – شامل پیغام‌های داده‌ای است. پیغام‌های **DATA** محتوی داده حقیقی جمع‌آوری شده توسط حسگرها هستند که شامل یک سراینده شبه داده هستند.

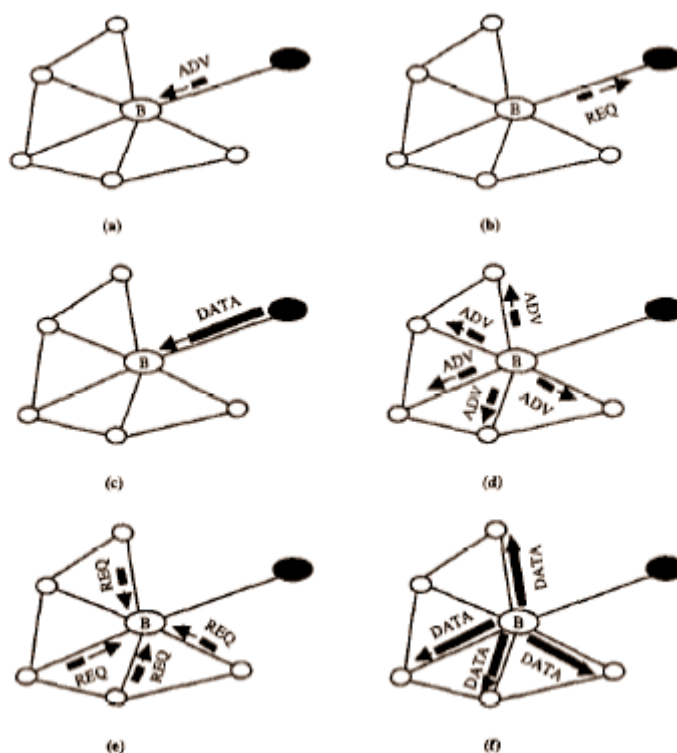
۳.۳.۲ *SPIN-1*: یک روش دست تکانی سه مرحله‌ای

این روش یک روش ساده دست تکانی^۱ برای پراکندن داده‌ها در یک شبکه بدون اتلاف است که در سه مرحله کار می‌کند و در هر یک از مراحل، از یکی از پیغام‌های شرح داده شده در بالا استفاده می‌کند. پروتکل زمانی آغاز می‌شود که یک گره، داده جدیدی بدست می‌آورد که مایل است آن را پراکنده کند و این کار را با نام‌گذاری داده جدید و فرستادن یک پیغام **ADV** به همسایگانش انجام می‌دهد. با دریافت کردن پیغام **ADV**، گرهی همسایه بررسی می‌کند که آیا قبلاً چنین داده‌ای را دریافت کرده‌اند یا درخواست چنین داده‌ای را داده‌اند یا خیر. اگر نه، گره همسایه برای ارسال داده درخواست شده به فرستنده، یک پیغام **REQ** به عنوان پاسخ برمی‌گرداند. پروتکل با ارسال داده مورد نظر یعنی ارسال پیغام **DATA** در جواب پیغام **REQ** تکمیل می‌شود.

در شکل ۳-۴ نمونه‌ای از این پروتکل نشان داده شده است. با دریافت یک پیغام **ADV** از طریق گره **A**، گره **B** بررسی می‌کند که آیا تمامی داده تبلیغ شده را در اختیار دارد یا خیر. در غیر این صورت، گره **B** یک پیغام **REQ** به **A** برمی‌گرداند که در آن تمامی داده‌هایی که گره **B** نیاز دارد، فهرست شده است. وقتی گره **A** پیغام **REQ** را دریافت کرد، داده‌های درخواست شده را استخراج می‌کند و آنها را بوسیله یک پیغام **DATA** به **B** ارسال می‌کند. سپس گره **B** یک پیغام **ADV** جدید تولید می‌کند که در آن داده جدید به دست آمده را به

¹ handshake

همه همسایگانش تبلیغ می‌کند ولی پیغام ADV را برای گره A ارسال نمی‌کند، چون می‌داند که گره A قبلاً داده مورد نظر را در اختیار دارد یا خیر. سپس این گره‌ها هم تبلیغات مربوط به داده جدید را به همسایگانشان ارسال می‌کنند و پروتکل ادامه می‌یابد.



شکل ۳-۴: الگوریتم دست‌تکانی در SPIN [7]

اگرچه این پروتکل برای شبکه‌های بدون اتلاف طراحی شده است، به سادگی می‌توان آن را برای استفاده در شبکه‌های با اتلاف تعمیم داد به این‌صورت که گره‌ها، برای جبران پیغام‌های ADV از دست رفته، می‌توانند به صورت متناوب این پیغام‌ها ارسال کنند و همچنین برای جبران پیغام‌های REQ و DATA از دست رفته، گره‌ها می‌توانند داده‌های مورد نیاز خود را در صورتی که در یک بازه زمانی مشخص دریافت نشدند، دوباره درخواست دهند. همچنین در مورد شبکه‌های سیار در صورتی که گرهی مشاهده کرد که همسایگانش تغییر کرده‌اند می‌تواند فوراً تمامی داده خود را تبلیغ کند.

مهمترین مزیت SPIN سادگی آن و همچنین محلی بودن و عدم وابستگی به یک چینش خاص است که باعث می‌گردد بتوان آن را به سادگی بر روی هر شبکه‌ای پیاده‌سازی کرد.

۳.۳.۳ SPIN-2: SPIN-1 با یک آستانه انرژی پایین

این روش یک فکر هوشمندانه ساده، جهت صرفه‌جویی در منابع به SPIN-1 اضافه می‌کند به این‌صورت که وقتی که منابع به اندازه کافی موجود است گره‌های SPIN-2 مانند گره‌ها در SPIN-1 از پروتکل سه مرحله‌ای استفاده می‌کنند. وقتی گرهی مشاهده می‌کند که میزان منابع انرژی‌اش از یک حد خاص کمتر شده است، خودش را بوسیله کاهش شرکت خود در پروتکل با شرایط جدید تطبیق می‌دهد و در حالت کلی یک گره تنها هنگامی در پروتکل شرکت می‌کند که اطمینان دارد می‌تواند تمامی مراحل دیگر پروتکل را بدون اینکه منابع انرژی‌اش از محدوده تعیین شده پایین‌تر رود، به انتها برساند. در غیر این‌صورت گره با دریافت پیغام ADV هیچ‌گونه پیغام REQ تولید نمی‌کند. این روش باعث می‌شود که گره هنگام پایین بودن انرژی درگیر پیغام‌های DATA نشود.

۳.۴ روش انتشار هدایت شده^۱

در این روش [2] منابع و دریافت‌کننده‌ها از خصوصیات، برای مشخص کردن اطلاعات تولید شده یا مورد نیاز استفاده می‌کنند و هدف روش انتشار هدایت شده پیدا کردن یک مسیر کارآمد چند طرفه بین فرستنده‌ها و گیرنده‌هاست. در این روش هر وظیفه^۲ به صورت یک علاقه‌مندی^۳ منعکس می‌شود که هر علاقه‌مندی مجموعه‌ای است از زوجهای خصوصیت-مقدار^۴. برای انجام یک وظیفه، علاقه‌مندی در شبکه در ناحیه مورد نظر منتشر می‌شود. در این روش هر گره، گرهی را که اطلاعات را از آن دریافت کرده بخاطر می‌سپارد و برای آن یک گرادیان تشکیل می‌دهد که هم مشخص‌کننده جهت جریان اطلاعات است و هم وضعیت درخواست را نشان می‌دهد (که فعال یا غیر فعال است یا نیاز به بروز شدن دارد). در صورتی که گره

¹ Directed Diffusion

² Task

³ Interest

⁴ Attribute-value

از روی گرادیان‌های قبلی یا اطلاعات جغرافیایی بتواند مسیر بعدی را پیش‌بینی کند تنها درخواست را به همسایه‌های مرتبط با درخواست ارسال می‌کند و در غیر اینصورت، درخواست را به همه همسایه‌های مجاور ارسال می‌کند. وقتی یک علاقه‌مندی به گرهی رسید که داده‌های منطبق با آن را در اختیار دارد، گره منبع، حسگرهای خود را فعال می‌کند تا اطلاعات مورد نیاز را جمع‌آوری کنند و اطلاعات را به صورت بسته‌های اطلاعاتی ارسال می‌کند.

داده‌ها همچنین می‌توانند به صورت مدل خصوصیت - نام ارسال شوند. گرهی که داده‌ها را ارسال می‌کند به عنوان یک منبع شناخته می‌شود. داده هنگام ارسال به مقصد در گره‌های میانی ذخیره می‌شود که این عمل در اصل برای جلوگیری از ارسال داده‌های تکراری و جلوگیری از بوجود آمدن حلقه استفاده می‌شود. همچنین از این اطلاعات می‌توان برای پردازش اطلاعات درون شبکه^۱ و خلاصه سازی اطلاعات استفاده کرد.

پیغام‌های اولیه ارسالی به عنوان داده‌های اکتشافی^۲ برچسب زده می‌شوند و به همه همسایه‌هایی که به گره دارای داده، گرادیان دارند ارسال می‌شوند یا می‌توانند از میان این همسایه‌ها، یکی یا تعدادی را بر حسب اولویت جهت ارسال بسته‌های اطلاعات انتخاب کنند. (مثلا همسایه‌هایی که زودتر از بقیه پیغام را به این گره ارسال کرده‌اند) برای انجام این کار، گیرنده یا سینک^۳ همسایه‌ای را که جهت دریافت اطلاعات ترجیح می‌دهد تقویت می‌کند^۴. اگر یکی از گره‌ها در این مسیر ترجیحی از کار بیافتد، گره‌های شبکه به طور موضعی مسیر از کار افتاده را بازیابی می‌کنند. در نهایت گیرنده ممکن است همسایه جاری خود را تقویت منفی^۵ کند در صورتی که مثلا همسایه دیگری اطلاعات بیشتری جمع‌آوری کند.

پس از ارسال داده‌های اکتشافی اولیه، داده‌های بعدی تنها از طریق مسیرهای تقویت شده ارسال می‌شوند. منبع اطلاعات به صورت متناوب هر چند وقت یکبار داده‌های اکتشافی ارسال می‌کند تا گرادیان‌ها در صورت تغییرات پویای شبکه، بروز شوند. نحوه عملکرد این الگوریتم در شکل ۳-۵ به صورت خلاصه آورده شده است.

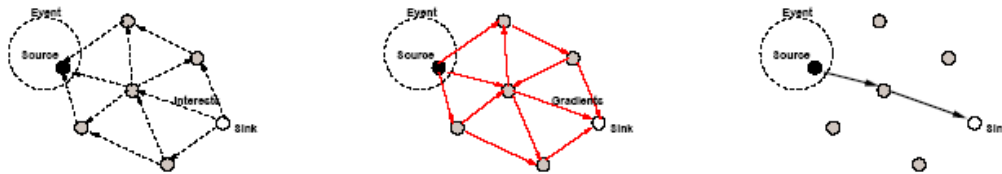
^۱ In-network processing

^۲ Exploratory

^۳ Sink

^۴ Reinforcement

^۵ Negative Reinforcement



ارسال داده‌ها از طریق مسیر تقویت شده c) تنظیم کردن اولیه گرادینان‌ها b) پراکندن علاقه‌مندی‌ها a)

شکل ۳-۵: نحوه عملکرد الگوریتم انتشار هدایت شده [1]

بعضی از خصوصیات کلیدی روش انتشار هدایت شده اطلاعات که آن را از روش‌های سنتی در شبکه متمایز می‌کند عبارتند است اول اینکه روش پخش اطلاعات یک روش داده - محور^۱ است و تمام ارتباطات در یک شبکه حسگر بر این مبنا از علاقه‌مندی‌ها جهت مشخص کردن اطلاعات نامگذاری شده استفاده می‌کنند. دوم برخلاف شبکه‌های سنتی که روش انتقال آنها به انتها^۲ دارند در این روش از ارتباط همسایه با همسایه یا گام به گام^۳ استفاده می‌شود و هر گرهی می‌تواند داده‌ها و علاقه‌مندی‌ها را تفسیر کند زیرا شبکه‌های حسگر معمولاً عملکرد واحدی دارند و وظیفه یکسانی را بر عهده دارند. سوم در این روش، گره‌ها آدرس سراسری یکسان یا مشخصه واحدی ندارند ولی هر گره باید از همسایگانش به صورت محلی قابل تفکیک باشد و نهایتاً چون هر گره می‌تواند داده‌ها را پردازش کند، می‌توان حجم داده‌ها را در شبکه کاهش داد و داده‌ها را به صورت خلاصه ارسال کرد.

۳.۴.۱ دسته خصوصیت‌ها

در روش پخش اطلاعات برای تطبیق دادن خواسته‌ها و صفات از دسته‌های خصوصیت-مقدار-عملگر^۴ استفاده می‌شود که خصوصیت‌ها هم در قالب داده (مانند اعداد صحیح ۳۲ بیتی در ساده‌ترین شکل) تعریف

^۱ Data-Centric

^۲ End to end

^۳ Hop by hop

^۴ Attribute tuples

می‌شوند و عملگرها مقایسه‌گرهای دودویی معمول هستند که عبارتند از مساوی، بزرگتر، کوچکتر، بزرگتر مساوی و غیره (EQ, NE, LE, GT, GE, ...). عملگر EQ_ANY که با همه چیز مطابقت دارد و IS که به کاربر اجازه می‌دهد یک مقدار ثابت را مشخص کند. نمونه یک علاقه‌مندی و یک داده منطبق با آن را در زیر مشاهده می‌کنیم.

Interest: class IS interest

(type EQ four-legged-animal-search, interval IS 20ms, duration IS 10 seconds, x GE 100, x LE 200, y GE 100, y LE 400)

Data:

(type IS four-leg-animal-search, instance IS elephant, x IS 125, y IS 220, intensity IS 0.6, confidence IS 0.85, timestamp IS 1:20, class IS data)

۳.۴.۲ فیلترها

همچنین در این روش از فیلترها [5] استفاده می‌شود که وظیفه تجمیع^۱ و خلاصه کردن داده‌ها را در گره‌ها بر عهده دارند. فیلترها پیمانه‌های نرم‌افزاری هستند که داده را هنگام عبور از داخل شبکه حسگر پردازش و قواعد سازگاری را تعیین می‌کنند که چه فیلترهایی باید در هر مرحله فعال شوند و منابع و گیرنده‌ها چگونه به هم مربوط می‌شوند. از فیلترها در مواردی مانند تجمیع داده‌ها در داخل شبکه پردازش داده‌ها به صورت موازی و پیمانکاری^۲، ذخیره کردن موقت اطلاعات^۳ و سایر عملکردهای مشابهی که جهت کنترل کردن حرکت اطلاعات کاربرد دارند، استفاده می‌شود.

روش انتشار هدایت شده به صورت پایه داخل فیلتر گرادیان^۴ پیاده‌سازی می‌شود. این فیلتر گرادیان‌هایی را فراهم می‌کند که حالت هر جریان به تمامی همسایه‌های هر گره را نگهداری می‌کنند و همچنین مسئولیت ارسال متناوب پیغام‌های علاقه‌مندی‌ها و پیغام‌های تقویت کننده را بر عهده دارد.

یک جفت فیلتر به نام GEAR^۵ به صورت بهینه، فیلتر گرادیان را در بر می‌گیرند تا بتوانند مسیریابی جغرافیایی با قابلیت کنترل مصرف انرژی را پیاده سازی کنند. یک فیلتر پیش پردازنده بلای فیلتر گرادیان

¹ Aggregation

² Collaborative

³ Caching

⁴ Gradient filter

⁵ geographic energy aware routing

می‌نشینند تا پیغام‌های مخصوص GEAR را دریافت کند و اطلاعات گذرای موقعیت جغرافیایی آن را هنگام رسیدن بردارد و یک فیلتر مسیریابی جغرافیایی که بعد از مازول گرادیان وارد عمل می‌شود تا خواسته‌ها را در جهت مناسب ارسال کند. علاوه بر اینها برای کاربردها مختلف مانند پردازش داده‌ها و ردگیری^۱ و سایر کاربردها فیلترهای دیگری پیاده‌سازی شده است.

یکی از کاربردهایی که برای کاهش حجم اطلاعات بوسیله فیلترها پیاده می‌شود تجمیع اطلاعات می‌باشد. همچنین یکی دیگر از تکنیک‌های نرم‌افزاری که برای بهبود کارایی روش انتشار به کار می‌رود استفاده از پرسش‌های تو در تو^۲ است که توضیح هر کدام در ذیل آورده شده است.

۳.۴.۳ تجمیع اطلاعات درون-شبکه‌ای

در شبکه‌های حسگر، به منظور ایجاد پایداری و بالا بردن دقت حسگرها طوری در شبکه قرار داده می‌شوند که مقداری هم‌پوشانی داشته باشند. به همین دلیل رخ دادن یک رویداد چندین حسگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد و همه حسگرها اطلاعات دریافت شده را به گیرنده ارسال می‌کنند ولی با تجمیع اطلاعات می‌توان هزینه مصرف انرژی این تبادلات را تا حد زیادی کم کرد و از حجم اطلاعات مبادله شده به میزان محسوسی کاست.

۳.۴.۴ تجمیع فرصت طلبانه^۳

به طور کلی روشهای متعددی جهت تجمیع اطلاعات ارائه شده است که یکی از این روشها که بر اساس روش انتشار مطرح شده است روش تجمیع تصادفی [2] است به این صورت که هنگامی که داده‌ها توسط منابع جمع‌آوری می‌شوند و به سمت گیرنده‌ها ارسال می‌شوند، گره‌های میانی اطلاعات مربوط به هم را ذخیره می‌کنند که این کار را با فیلترهایی در سطح برنامه کاربردی انجام می‌دهند. سپس این گره‌های میانی اطلاعات تکراری را حذف می‌کنند یا می‌توانند اندکی تاخیر در ارسال اطلاعات ایجاد کنند و اطلاعات جمع‌آوری شده از منابع مختلف را تجمیع کنند.

¹ Logging

² Nested Query

³ Opportunistic data aggregation

در این روش درختی از منابع به سمت یک گیرنده به عنوان ریشه درخت، تشکیل می‌شود و اگر در هنگام ادغام شدن شاخه‌ای درخت داده‌های یکسان با هم برخورد کنند تنها یکی از آنها به سمت ریشه درخت ارسال می‌شود. یکی اشکال‌های این روش اینست که مسیر داده‌ها ممکن است تا نزدیکی گیرنده به هم نرسند و در هم ادغام نشوند که کارایی الگوریتم خلاصه‌سازی را کاهش می‌دهد. روش تجمیع حریصانه^۱ جهت برطرف کردن این مشکل مطرح شده است.

۳.۴.۵ تجمیع حریصانه

تفاوت این روش با روش تجمیع تصادفی، تشکیل مسیر و نگهداری مسیر است. برای ساختن یک درخت حریصانه افزایشی، کوتاه‌ترین مسیر تنها برای اولین منبع به سمت گیرنده تشکیل می‌شود و سایر منابع به صورت افزایشی به نزدیکترین نقطه درخت حاصل شده، متصل می‌شوند. در روش حریصانه هر نمونه داده اکتشافی یک هزینه انرژی برای رساندن این نمونه از منبع به گره جاری دارد و علاوه بر این هر منبع بر روی درخت موجود یک پیغام هزینه افزایشی روی درخت^۲ تولید می‌کند که مربوط به هر نمونه اکتشافی جدید دریافت شده است که این پیغام محتوی هزینه انرژی افزایشی است که برای رساندن نمونه اکتشافی به درخت موجود مورد نیاز است. این پیغام مربوط به هزینه افزایشی تنها در طول درخت خلاصه‌سازی به سمت گیرنده ارسال می‌شود. برای یافتن نزدیک‌ترین نقطه روی درخت، فیلد هزینه افزایشی انرژی تنها می‌تواند توسط گره‌های نزدیکتر بروز شود (مثلاً گره‌ای که نمونه اکتشافی مربوطه را با هزینه پایین‌تری دریافت کرده‌اند).

۳.۴.۶ پرسش تور د تو^۳

رویدادها در جهان واقعی معمولاً در پاسخ به یکسری تغییرات محیطی رخ می‌دهند. در شبکه‌های حسگر، حسگرها هم می‌توانند از این پدیده همگرایی، برای فعال کردن بعضی دیگر از حسگرها استفاده کنند و در عمل یک پرسش درون یک پرسش دیگر ایجاد کنند. با این کار می‌توان زمان فعال بودن دسته‌ای از حسگرها را (که معمولاً جزء حسگرهای با مصرف انرژی بالا هستند) کاهش داد و با این عمل مصرف انرژی کل شبکه را کاهش داد. (مثلاً ممکن است یک حسگر شتاب سنج، یک گیرنده GPS را که یک حسگر پر مصرف است

^۱ Greedy

^۲ On-tree incremental cost message

^۳ Nested query

فعال کند)؛ علاوه بر این در بعضی موارد می‌توان ترافیک شبکه را هم کم کرد (مثلاً یک حسگر تصویر بردار محرک ترافیک بسیار کمتری نسبت به یک جریان ویدیویی ثابت ایجاد می‌کند).

مزیت استفاده از پرسشهای تو در تو [2] اینست که در آن اطلاعات حسگرهای اولیه، برای حسگرهای دیگر قابل دریافت و تفسیر است و نیازی به ارسال آنها به کاربر نمی‌باشد. در کاربردهای نظارتی شبکه‌های حسگر، حسگرهای اولیه و حسگرهای تحریک شونده معمولاً بسیار به یکدیگر نزدیک هستند، در صورتی که کاربر ممکن است بسیار دور باشد. استفاده از پرسش تو در تو باعث می‌شود که ترافیک به جای ارسال شدن به کاربر در دوردست، به صورت محلی در اطراف رویداد تحریک کنند ایجاد شود و بنابراین تاخیر و ترافیک شبکه کاهش پیدا می‌کند.

۳.۴.۷ مقایسه روش انتشار هدایت شده با روش SPIN:

روش SPIN و روش انتشار هدایت شده هر دو، روش ارتباطی برای کاربرد های خاص و بر اساس موضوع در شبکه‌های حسگر هستند [8]. در شبکه‌های حسگر به منظور دستیابی به مسیریابی بهینه از لحاظ انرژی، مدیریت منابع و مسیریابی باید کاملاً با کاربردها هماهنگ و منطبق شوند.

هر دو پروتکل بر خلاف روش‌ها سنتی مسیریابی، داده محور هستند که به این معنی است که در آنها همه ارتباطات بر مبنای داده‌های نامگذاری شده صورت می‌گیرد. در روش انتشار هدایت شده، داده نامگذاری می‌شود و بوسیله یکسری خصوصیات مشخص می‌شود. در روش SPIN نیز داده‌ها توسط شبه-داده‌ها نامگذاری می‌شوند.

هر دو روش SPIN و انتشار هدایت شده به منظور ایجاد یک واسطه ارتباطی مطمئن طراحی شده‌اند. روش SPIN بدین منظور طراحی شده است که مشکلات روش کلاسیک سیل‌آسا با مباحثه بین گره‌ها قبل از ارسال داده‌های حقیقی برطرف شود، بنابراین روش SPIN یک روش فرستنده محور^۱ است.

در مورد الگوریتم انتشار هدایت شده گیرنده علاقه‌مندی‌های خود را در سطح شبکه منتشر می‌کند و اگر این علاقه‌مندی با داده‌های استخراج شده توسط منابع انطباق داشته باشد، فرستنده داده‌ها را به سمت گره

¹ Sender initiated

فرستنده علاقه‌مندی، منتشر می‌کند. بنابر این در روش انتشار هدایت شده ارسال داده‌ها به صورت گیرنده محور^۱ صورت می‌گیرد.

همچنین هر دو پروتکل نسبت به مصرف انرژی آگاه^۲ هستند. در SPIN گره‌ها منابع موجود را استخراج می‌کنند و بنابراین می‌توانند بر اساس منابع موجود تصمیم‌گیری نمایند و به صورت مشابه در روش انتشار هدایت شده، مسیریابی جغرافیایی آگاه از انرژی (GEAR) کمک می‌کند که داده‌ها بتوانند به طرف ناحیه مورد نظر پراکنده شوند و عمل پخش سیل‌آسا را محلی می‌کند (توضیح این روش در ذیل آورده شده است). به یک مفهوم هر دو الگوریتم بر مبنای پخش سیل‌آسا کار می‌کنند ولی از لحاظ پیاده‌سازی روش‌های مختلف برای جلوگیری از پخش سیل‌آسای ناخواسته در شبکه با روش کلاسیک آن متفاوتند.

کارهای زیادی بر روی الگوریتم انتشار هدایت شده پایه صورت گرفته است که هر یک به نحوی عملکرد آن را بهبود داده‌اند. الگوریتم انتشار هدایت شده پایه به الگوریتم انتشار، با خاصیت جذب دو مرحله‌ای^۳ هم معروف است چون در این روش در فاز اول، ابتدا گره گیرنده یا مقصد یک علاقه‌مندی را به سمت داخل شبکه منتشر می‌کند و هنگامی که گرهی متوجه انطباق داده‌های جمع‌آوری توسط حسگرهای خود با علاقه‌مندی منتشر شده گردید، یک پیغام داده اکتشافی به سمت مقصد ارسال می‌کند و این داده از بین گرادیان‌هایی که هنگام انتشار پیغام علاقه‌مندی تشکیل شده‌اند، سعی می‌کند گرادسانی با بهترین زمان پاسخ یا کیفیت کانال را انتخاب کند و به همین صورت پیش می‌رود تا به مقصد برسد و سپس گره مبدا داده‌های جمع‌آوری شده را به سمت مقصد ارسال می‌کند.

یکی از روش‌هایی که برای بهبود مسیریابی الگوریتم بکار رفته، الگوریتم^۴ GEAR [6] است که با استفاده از اطلاعات جغرافیایی، فضای مسیریابی را محدود می‌کند. روش جذب دومرحله برای بعضی از کاربردها روش بسیار مناسبی است ولی در مقابل برای برخی کاربردها هم بسیار ضعیف عمل می‌کند؛ خصوصاً کاربردهایی که در آنها تعداد زیادی منبع و گیرنده وجود دارد و گیرنده‌ها به نحوی با هم ارتباط دارند، حجم داده‌های ترافیکی بسیار افزایش می‌یابد به صورتی که حتی محدود کردن دامنه با مسیریابی جغرافیایی هم

¹ Receiver initiated

² Energy Aware

³ Two-Phase Pull (TPP)

⁴ Geographic Energy-Aware Routing

نمی‌تواند مشکل را بر طرف نماید. برای برطرف شدن این مشکل، روش انتشار بیرون دهنده^۱ مطرح شده [3] که در آن نقش منتشر کنندگان اطلاعات و استفاده کنندگان داده‌ها جابه‌جا می‌شود و باعث می‌شود که منابع داده‌ها، به صورت فعالانه دنبال استفاده‌کنندگان بگردند. مزیت روش انتشار بیرون دهنده اینست که بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای تنها یک فاز دارد که در آن اطلاعات کنترل پراکنده می‌شوند تا گیرنده‌ها را پیدا کنند. همچنین روش دیگری بنام روش جذب یک مرحله‌ای^۲ [3] وجود دارد که این روش هم با حذف کردن یکی از مراحل روش جذب دو مرحله‌ای آن را ساده‌تر می‌کند.

۳.۴.۸ روش مسیریابی جغرافیایی (GEAR)

بر اساس ماهیت شبکه‌های حسگر، در این شبکه‌ها پرسش‌های با دامنه جغرافیایی امری کاملاً طبیعی است و اگر هر گره‌ها بتوانند محل خود را تشخیص دهند پرسش‌های بر مبنای ناحیه جغرافیایی می‌توانند عمل پخش داده‌ها را سهولت بخشند و نیاز به انتشار سیل‌آسا را برای دستیابی به ناحیه مربوطه برطرف کنند. این الگوریتم [6] ارتباطات در سطح شبکه را با ارتباطات محدود شده جغرافیایی جایگزین می‌کند به این صورت که هنگامی که این الگوریتم به الگوریتم جذب دو مرحله‌ای اضافه می‌شود، وقتی که کاربران به صورت فعالانه علاقه‌مندی‌ها را به داخل شبکه ارسال می‌کنند، پرسش‌هایی که علاقه‌مندی در یک ناحیه خاص را ایجاد می‌کنند، بوسیله الگوریتم مسیریابی حریصانه جغرافیایی به سمت ناحیه مورد نظر ارسال می‌شوند و عمل انتشار سیل‌آسا تنها وقتی صورت می‌گیرد که علاقه‌مندی به ناحیه مورد نظر رسیده باشد و دیگر عمل انتشار سیل‌آسا در سطح کل شبکه صورت نمی‌گیرد. همچنین داده‌های اکتشافی هم تنها در جهت گرادینان‌هایی حرکت می‌کنند که توسط علاقه‌مندی‌ها ایجاد شده‌اند و بنابراین هزینه داده‌های اکتشافی نیز کاهش پیدا می‌کند. در نهایت الگوریتم GEAR باعث عمل انتشار بهینه برای کاربردها و شبکه‌هایی می‌شود که از پرسش‌هایی در سطح ناحیه جغرافیایی استفاده می‌کنند. فرایند ارسال بسته‌ها به مقصد در این روش از دو مرحله تشکیل شده است:

¹ Push Diffusion

² One-Phase Pull (OPP)

(۱) مرحله اول ارسال بسته‌ها به سمت ناحیه هدف است. GEAR برای مسیریابی بسته‌ها به سمت ناحیه مورد نظر از ایده هوشمندانه انتخاب آگاهانه همسایه‌ها بر اساس میزان انرژی و ناحیه جغرافیایی، استفاده می‌کند و برای این عمل دو حالت را در نظر می‌گیرد:

هنگامی که یک همسایه نزدیکتر به مقصد وجود دارد، GEAR، گرهی را انتخاب می‌کند که در میان گره‌های موجود به گره مقصد نزدیک‌تر باشد.

(۲) هنگامی که فاصله همه همسایه‌ها از گره مقصد خیلی زیاد باشد به این معنی است که یک حفره در مسیر وجود دارد. الگوریتم GEAR در چنین شرایطی، گره‌ای را انتخاب می‌کند که بعضی از هزینه‌های این همسایه را به حداقل برساند.

مرحله دوم پخش کردن بسته‌ها در داخل ناحیه مورد نظر است و در اغلب موارد برای این منظور از یک الگوریتم بازگشتی پیش‌برنده جغرافیایی استفاده می‌شود. البته تحت بعضی از شرایط مکان‌یابی ضعیف، این مسیریابی بازگشتی ممکن است خاتمه پیدا نکند. در چنین شرایطی می‌توان از روش سیل‌آسای محدود شده استفاده کرد.

۳.۵ روش انتشار بیرون دهنده^۱

روش جذب دو مرحله‌ای برای شبکه‌های با تعداد گیرنده کم به خوبی کار می‌کند ولی بعضی از دسته برنامه‌های کاربردی نیاز به رابطه حسگر به حسگر دارند. مثلاً شبکه ممکن است تعدادی حسگر داشته باشد که اغلب در حالت کم مصرف قرار گرفته باشند ولی هنگام به وقوع پیوستن یکی رویداد خاص توسط گره‌های همسایه تحریک شوند و فعال گردند. خاصیت این رده از برنامه‌های کاربردی این است که تعداد زیادی از حسگرها به این داده‌ها علاقه‌مندند و بسیاری از حسگرها هم این داده‌ها را منتشر می‌کنند. در چنین کاربردی روش جذب دو مرحله‌ای بسیار ضعیف عمل می‌کند چون همه به طور فعال پیغام‌های علاقه‌مندی ارسال می‌کنند و حتی در صورتی هم که چیزی تشخیص داده نشود برای حسگرهای دیگر گرادیان تشکیل می‌دهند.

^۱ Push diffusion

روش انتشار بیرون دهنده [3] برای چنین کاربردهایی طراحی شده است و با وجود یکی بودن API های این روش با روش جذب دو مرحله‌ای در این روش نقش منابع و گیرنده‌ها جا به جا می‌شود یعنی گیرنده غیر فعال شده و اطلاعات مربوط به علاقه‌مندی‌ها به صورت محلی در داخل گره‌ای که درخواست داده مورد نظر را دارد باقی می‌ماند. همچنین در مقابل، منابع نقش فعالانه‌ای بر عهده می‌گیرند و در این حالت، داده‌های اکتشافی بدون رسیدن علاقه‌مندی‌ها به داخل شبکه فرستاده می‌شود. در این روش مانند روش جذب دو مرحله‌ای، با رسیدن داده اکتشافی به گیرنده، یک پیغام تقویت کننده تولید می‌شود و به صورت بازگشتی مسیر برگشتی را به سمت منبع طی می‌کند و یک گرادیان تقویت شده را شکل دهی می‌کند.

روش انتشار بیرون دهنده بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای، برای کاربردهای با تعداد منابع بالا و همچنین تعداد گیرنده‌های بسیار، طراحی شده ولی در حالتی که منابع، داده‌ها را هر از چندگاه تولید نمایند. روش انتشار بیرون دهنده برای کاربردهایی که در آنها تعداد زیادی منابع به صورت پیوسته اطلاعات تولید می‌کنند، مناسب نیست چون در این روش ممکن است داده‌ها حتی در صورت عدم نیاز هم در سطح کل شبکه ارسال گردد.

یکی از مزایای روش انتشار بیرون دهنده اینست که در این روش تنها در یک صورت اطلاعات به کل شبکه ارسال می‌شود (داده‌های اکتشافی) بر خلاف روش جذب دو مرحله‌ای که چنین عملی در دو حالت انجام می‌گیرد (علاقه‌مندی‌ها و داده‌های اکتشافی). در شبکه‌های بزرگ و بدون پرسش‌های محدود به دامنه جغرافیایی، به حداقل رساندن عمل انتشار سیل آسا مزیت بزرگی محسوب می‌شود.

۳.۶ روش انتشار جذب یک مرحله‌ای^۱

روش جذب یک مرحله‌ای [3] یک روش بر مبنای درخواست کننده است که یکی از مرحله‌های روش جذب دو مرحله‌ای را حذف می‌کند. در این روش همانند روش جذب دو مرحله‌ای درخواست کننده‌ها پیغام‌های علاقه‌مندی را تولید می‌کنند و در سطح شبکه پراکنده می‌کنند و گرادیان‌ها را شکل می‌دهند ولی بر

¹ One-phase pull diffusion

خلاف روش جذب دو مرحله‌ای هنگامی که یک علاقه‌مندی به منبع رسید، منبع اولین بسته داده‌ها را به عنوان داده اکتشافی برچسب نمی‌زند و به جای این کار داده‌ها را تنها از طریق گرادیان‌های ترجیح داده شده ارسال می‌کند. گرادیان ترجیح داده شده بوسیله همسایه‌ای ایجاد شده که برای اولین بار علاقه‌مندی را به گره جاری ارسال کرده است و بنابراین کمتری تاخیر را نسبت به سایر همسایه‌های خود دارد. بنابراین با این راهکار روش جذب دو مرحله‌ای دیگر نیازی به پیغام‌های تقویت کننده ندارد.

روش جذب یک مرحله‌ای دو عیب عمده نسبت به روش جذب دو مرحله‌ای دارد به این ترتیب که این فرض را می‌کند که همیشه یک ارتباط متقارن بین گره‌ها برقرار است چون در این روش، مسیر داده‌ها (مسیر منابع به گیرنده‌ها) توسط کانال با کمترین تاخیر در مسیر ارسال علاقه‌مندی مشخص می‌شود. روش جذب دو مرحله‌ای جریمه ناشی از ارتباطات غیر متقارن را کاهش می‌دهد چون انتخاب مسیر داده‌ها بوسیله داده‌های اکتشافی با کمترین تاخیر صورت می‌گیرد. با این وجود الگوریتم انتشار جذب دو مرحله‌ای هنوز به سطوحی از تقارن نیاز دارد چون پیغام‌های تقویت کننده مسیرهای برعکس را طی می‌کنند. در هنگام استفاده از این روشها لایه MAC باید به الگوریتم انتشار این اجازه را بدهد که رابط‌های غیر متقارن را تشخیص دهد.

ایراد دیگر روش جذب یک مرحله‌ای اینست که در این روش پیغام‌های علاقه‌مندی باید یک مشخصه جریان^۱ با خود حمل نمایند. اگرچه تولید کردن مشخصه‌های جریان بسیار ساده است و می‌تواند توسط آدرس‌های MAC مشخص شود یا به صورت تصادفی انتخاب شود این کار به نسبت تعداد منابع باعث افزایش اندازه پیغام‌های علاقه‌مندی می‌شود و همچنین استفاده از مشخصه جریان انتها به انتها، به این معنی است که در این روش برای تصمیم‌گیری جهت ارسال اطلاعات، تنها از اطلاعات محلی استفاده نمی‌شود. در نهایت روش جذب یک مرحله‌ای برای کاربرهایی مناسب است که در آنها تعداد زیادی از منابع داده‌ها را به تعداد کمی از گیرنده‌ها ارسال می‌کنند.

در مرجع [3] مقایسه و ارزیابی کاملی جهت انتخاب الگوریتم پخش اطلاعات مناسب با توجه به تعداد منابع و گیرنده‌ها، به عمل آمده است.

^۱ Flow-id

۳.۷ روش LEACH^۱

روش LEACH [23] یک پروتکل خود سامانده با خوشه‌بندی به صورت پویاست که برای پخش کردن مصرف انرژی میان گره‌ها به صورت متعادل از روش تصادفی استفاده می‌کند. در این روش، گره‌ها خود را به صورت خوشه‌های محلی سازماندهی می‌کنند و در این میان یک گره نقش ایستگاه پایه محلی^۲ یا راس گروه را بر عهده می‌گیرد. در صورتی که رئوس خوشه‌ها به صورت ثابتی بر اساس یک اولویت انتخاب شوند و در طول مدت عمر سیستم ثابت باشند، کاملاً مشخص است که حسگرهای بدشانسی که به عنوان رئوس خوشه‌ها انتخاب شده‌اند بزودی خواهند مرد و دوران مفید تمامی گره‌های موجود در این خوشه‌ها نیز پایان خواهد یافت. به همین منظور الگوریتم LEACH از چرخش تصادفی رئوس خوشه‌ها بین گره‌های پر انرژی بهره می‌برد تا باتری یک گره خاص، فوراً تخلیه نشود. علاوه بر این مورد در الگوریتم LEACH، از همجوشی داده‌ها^۳ به صورت محلی، جهت فشرده کردن میزان داده‌های ارسالی از خوشه‌ها به سمت سینک^۴ است که این کار باعث کاهش انرژی لازم برای پراکندن اطلاعات و به تبع آن موجب افزایش طول عمر مفید سیستم می‌شود.

حسگرها در هر زمانی با احتمال مشخصی خود را به عنوان سرخوشه محلی انتخاب می‌کنند و سپس این گره‌های سرخوشه، وضعیت خود را به سایر حسگرها در شبکه، به صورت سیل‌آسا منتقل می‌کنند. سپس هر گره حسگر، از روی هزینه حداقل انرژی مورد نیاز جهت ارتباط، تعیین می‌کند که به کدام خوشه تعلق دارد. بعد از اینکه همه گره‌ها توسط سرخوشه‌ها شناخته شدند، هر سرخوشه یک برنامه برای گره‌های موجود در خوشه خود تدارک می‌بیند. این امر به گره‌ها اجازه می‌دهد که اجزای رادیویی خود را، به جز در زمان برنامه‌ریزی شده، خاموش نگه دارند و بدین وسیله انرژی مصرف شده در حسگرهای معمولی به حداقل می‌رسد. هنگامی که یک سرخوشه، اطلاعات مربوط به تمامی گره‌های تحت پوشش خود را دریافت کرد، داده‌ها را جمع می‌کند و سپس داده‌ها فشرده شده را به ایستگاه پایه ارسال می‌کند. از آنجاییکه ایستگاه مرکزی ممکن است از سرخوشه‌ها فاصله زیادی داشته باشد، این مرحله به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت ولی این امر تعداد گره‌های کمی را تحت تاثیر قرار خواهد داد، چون تعداد سرخوشه‌های کمی در مجموع وجود دارد.

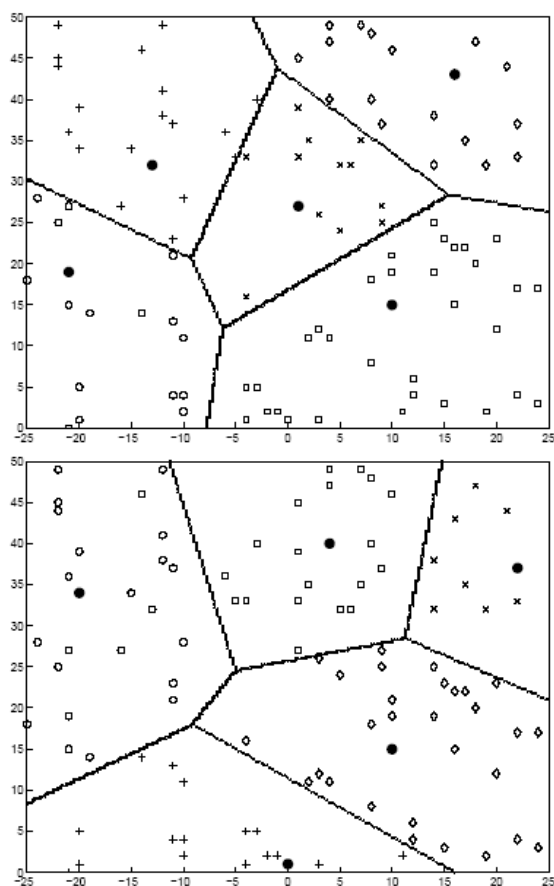
^۱ Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy

^۲ local base station

^۳ Data Fusion

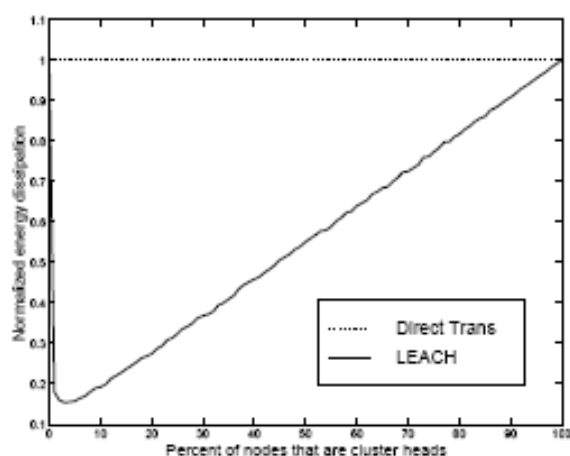
^۴ Base Station

همانطور که می‌دانیم، منابع انرژی یک سرخوشه گروه، به سرعت تخلیه می‌شود. جهت پراکندن میزان انرژی مصرف شده بین چندین گره، سرخوشه‌ها به صورت ثابت انتخاب نمی‌شوند و انتخاب آنها در بازه‌های زمانی مختلف، به صورت داخلی صورت می‌گیرد. مثلاً در زمان tl ممکن است مجموعه گره‌های C ، سرخوشه باشند و در زمان $tl+d$ مجموعه جدید C' سرخوشه شوند؛ همانطور که در شکل ۳-۶ نشان داده شده است. انتخاب سرگروه شدن در هر گره با میزان انرژی باقیمانده در آن گره رابطه مستقیم دارد. با این روش گره‌هایی که بیشترین انرژی باقیمانده در شبکه را دارند، اعمالی را بر عهده می‌گیرند که بیشترین میزان انرژی را مصرف می‌کنند. هر گره به صورت مستقل از سایر گره‌های شبکه تصمیم می‌گیرد که سرگروه شود یا خیر؛ بنابراین هیچ به مذاکره‌ای جهت مشخص کردن سرخوشه‌ها در این روش نیاز نداریم.



شکل ۳-۶: نحوه خوشه‌بندی در زمانهای t و $t+c$ [10]

در این روش سیستم می‌تواند بر اساس پارامترهای متنوعی از قبیل توپولوژی شبکه، و هزینه نسبی ارتباطات در مقابل محاسبات در هر گره و ... تعداد بهینه خوشه‌ها را مشخص کند. بر اساس نمونه‌های بدست آمده در این روش، میزان ۵٪ از کل تعداد گره‌های شبکه به عنوان سرخوشه، مقدار مناسبی می‌باشد. همچنین بر اساس نمودار شکل ۳-۷ میزان انرژی مصرفی در الگوریتم LEACH هفت الی هشت برابر نسبت به میزان انرژی مصرف شده در روش ارتباط مستقیم با ایستگاه مرکزی کمتر است.



شکل ۳-۷: میزان هنجار شده مصرف انرژی سیستم در مقابل درصد گره‌های سرخوشه [10]

در شکل زیر مقایسه‌ای بین بعضی از روشهای مطرح شده و الگوریتم LEACH آورده شده است:

Energy (J/node)	Protocol	Round first node dies	Round last node dies
0.25	Direct	55	117
	MTE	5	221
	Static Clustering	41	67
	LEACH	394	665
0.5	Direct	109	234
	MTE	8	429
	Static Clustering	80	110
	LEACH	932	1312
1	Direct	217	468
	MTE	15	843
	Static Clustering	106	240
	LEACH	1848	2608

شکل ۳-۸: طول عمر حسگرها با میزان انرژی‌های اولیه متفاوت [10]

۳.۸ جزئیات الگوریتم LEACH:

عملیات انجام شده در الگوریتم LEACH به صورت دوره‌ای تکرار می‌شوند و هر دوره چند مرحله دارد. هر دوره با یک مرحله تنظیمات اولیه شروع می‌شود و به دنبال آن وارد یک مرحله پایدار می‌شود که در این مرحله، داده‌ها به ایستگاه مرکزی ارسال می‌شوند. برای به حداقل رساندن سربار اطلاعات، طول مرحله پایدار باید در مقایسه با مرحله تنظیمات اولیه، بزرگ باشد. مراحل الگوریتم LEACH به شرح زیر است:

۱- مرحله تبلیغات

در ابتدا هنگامی که خوشه‌ها^۱ تشکیل می‌شوند، هر گره تصمیم می‌گیرد که در مرحله جاری سرخوشه شود یا خیر. این تصمیم به میزان درصد توصیه شده برای تعداد سرخوشه‌ها، رابطه مستقیم دارد و باید از قبل تعیین شود. همچنین عامل موثر دیگر در این تصمیم‌گیری، تعداد دفعاتی است که یک گره قبلاً به عنوان سرخوشه انتخاب شده است. گره n جهت تصمیم‌گیری در این مورد یک عدد تصادفی بین ۰ و ۱ انتخاب می‌کند و اگر عدد انتخاب شده از یک مرز به نام $T(n)$ کمتر بود، گره به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شود.

¹ Clusters

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - p * (r \bmod \frac{1}{p})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

در این فرمول P برابر درصد مورد نظر سرخوشه‌هاست و G مجموعه گره‌هایی است که در آخرین I/P دور، سرخوشه نبوده‌اند. با استفاده از این حد آستانه، هر گره در هر I/P دور، در یکی از دوره‌ها سرخوشه می‌شود. در اولین دور همه گره‌ها با احتمال P می‌توانند سرخوشه شوند ولی هر گره بعد از سرخوشه شدن حداقل به تعداد I/P دور نمی‌تواند سرخوشه شود. در دوره‌های بعدی احتمال انتخاب شدن گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب نشده‌اند افزایش پیدا می‌کند تا جایی که در دور $I/P - I$ ام T برابر ۱ خواهد شد. این الگوریتم در حال حاضر میزان انرژی‌های متفاوت را در گره‌ها در نظر نمی‌گیرد.

هر گرهی که خود را در دور حاضر به عنوان سرخوشه انتخاب کرده است، یک پیغام به صورت سیل‌آسا به سایر گره‌ها ارسال می‌کند. در این مرحله سرخوشه‌ها از یک روش CSMA MAC استفاده می‌کنند و همه سرخوشه‌ها پیغام‌های تبلیغات خودشان را با یک انرژی ارسال می‌کنند و گره‌هایی که خودشان را در این مرحله به عنوان فرستنده انتخاب نکرده‌اند باید گیرنده‌های خودشان را روشن نگاه دارند. بعد از اتمام این مرحله، هر گره غیر سرخوشه، خوشه‌ای را که به آن تعلق خواهد داشت را از روی قدرت سیگنال دریافتی محاسبه می‌کند و در شرایط مساوی یک گره را به صورت تصادفی از بین سرخوشه‌ها انتخاب می‌کند.

۲- مرحله تشکیل خوشه‌ها

در این فاز بعد از اینکه هر گره مشخص کرد که به کدام خوشه تعلق دارد، باید این موضوع را به سرخوشه آن خوشه، اطلاع دهد. هر گره در این مرحله مجدداً با استفاده از روش CSMA MAC اطلاعات را به سرخوشه‌ها انتقال می‌دهد. همچنین در این مرحله همه سرخوشه‌ها باید گیرنده‌های خود را روشن نگاه دارند.

۳- مرحله تشکیل برنامه

در این مرحله، سرخوشه‌ها تمام پیغام گره‌هایی را که به خوشه آنها تعلق دارند را دریافت کرده‌اند. بر اساس تعداد گره‌های موجود در خوشه، گره سرخوشه یک برنامه زمانی TDMA تشکیل می‌دهد که به هر گره زمان ارسال اطلاعات آن را اعلان می‌کند. این برنامه زمانی به صورت سیل آسا به گره‌های موجود در خوشه منعکس می‌شود.

۴- مرحله انتقال داده‌ها

هنگامی که خوشه‌ها تشکیل شدند و برنامه TDMA ثابت شد، انتقال اطلاعات می‌تواند شروع شود. گره‌ها در زمان اختصاص داده شده به خود می‌توانند اطلاعات جمع‌آوری شده را به سرخوشه‌ها ارسال کنند. همانطور که در قبل بیان شد این ارتباط به حداقل انرژی نیاز دارد. دستگاه رادیویی هر گره که به عنوان سرخوشه انتخاب نشده باشد، می‌تواند تا رسیدن زمان ارسال اطلاعات آن گره خاموش بماند. در این روش فرض شده که تمامی گره‌ها همیشه داده‌ای برای ارسال کردن در اختیار دارند. در این مرحله گره سرخوشه باید گیرنده خود را تماماً روشن نگه دارد تا بتواند تمامی اطلاعات را از گره‌های موجود در خوشه خود دریافت کند. پس از دریافت کامل اطلاعات، گره سرخوشه می‌تواند از عملیات پردازش سیگنال برای فشرده و جمع‌بندی کلیه داده‌ها به صورت یک سیگنال واحد، استفاده کند. سپس سیگنال حاصل به گیرنده مرکزی ارسال می‌شود و از آنجاییکه ایستگاه پایه ممکن است خیلی دور باشد، این عمل به انرژی زیادی نیاز خواهد داشت.

این مرحله حالت پایدار عملکرد شبکه‌های LEACH است. پس از یک زمان مشخص، دور بعدی آغاز می‌شود که در آن هر گره مشخص می‌کند که آیا به عنوان سرخوشه فعالیت خواهد کرد یا خیر. در این روش برای جلوگیری از بوجود آمدن تداخل در بین سیگنال‌های ارسالی در خوشه‌های مجاور، از روش CDMA با کدهای متفاوت برای گره‌های همسایه، در ارتباطات هر خوشه استفاده می‌شود بنابراین هر گره که خود را به عنوان سرخوشه انتخاب کرد، یک کد تصادفی از میان فهرستی از کدهای موجود انتخاب می‌کند و به همه گره‌های خوشه خود اطلاع می‌دهد که از این کد برای تبادل اطلاعات استفاده کنند.

۳.۹ روش EDDD^۱

روشهای زیادی برای شبکه‌های حسگر در سالهای اخیر، پیشنهاد شده است. بیشتر روشهای مطرح شده هدف اولیه خود را بهینه سازی مصرف انرژی در شبکه قرار می‌دهند و با استفاده از اطلاعات جغرافیایی و سایر عناصر، بر روی کاهش دادن تعداد بسته‌های ارسال شده تکیه دارند. به منظور جبران کردن این امر، روش انتشار هدایت شده مطرح شده که از محتوای داده‌های برنامه‌های کاربردی در پراکندن اطلاعات بهره می‌برد. با این وجود روش انتشار هدایت شده نمی‌تواند از ترافیک حساس به زمان پشتیبانی کند یا برای افزایش زمان عمر شبکه از روشهای متعادل کننده انرژی استفاده کند. روش EDDD، [10] الگوریتم انتشار هدایت شده را در زمینه‌های زیر بهبود می‌بخشد:

(۱) فیلترهای بی‌درنگ برای فراهم کردن کارایی بهتر در زمان تاخیر انتها به انتها^۲ ETE برای ترافیک زمان حقیقی.

(۲) فیلترهای بهترین سعی^۳ BE برای رسیدن به یک تعادل انرژی سراسری برای افزایش طول عمر شبکه.

(۳) بازیابی‌های RT (بلادرنگ) برای جبران سریع خطای گره یا لینک برای ترافیک RT.

روش EDDD نسبت به سایر روشهای مطرح شده از لحاظ فراهم کردن سرویس‌های پراکندن متمایز برای ترافیک‌های RT و BE نسبت به روش انتشار هدایت شده مزیت دارد. همچنین در این روش، ترافیک RT تاخیر کمتری را نسبت به روش DD احساس می‌کند و همچنین طول عمر این شبکه از شبکه‌هایی که بر پایه روش انتشار هدایت شده بنا شده‌اند، بالاتر است.

بیشتر روشهای مطرح شده جهت پراکندن اطلاعات بر روی مسیریابی در لایه ۳ متمرکز شده‌اند و بنابراین این الگوریتم‌ها به اندازه کافی به محتوای برنامه‌های کاربردی برای فیلتر کردن یا پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای، دسترسی ندارند (مانند مسیریابی که در سطح برنامه کاربردی و با کد خاصی تعیین می‌شود، همجوشی داده‌ها و پردازش اطلاعات با همکاری یکدیگر).

^۱ Energy-efficient differentiated directed diffusion

^۲ end-to-end

^۳ Best-effort

۳.۹.۱ فیلترهای RT و BE در روش $EDDD$

روش DD جذب دو مرحله‌ای، علاوه بر علاقه‌مندی‌ها، به پخش سیل‌آسای داده‌های اکتشافی هم نیازمند است که موجب تاخیر نسبی ETE می‌شود و بازیابی خرابی گره یا اتصال به اندازه کافی برای پوشش دادن ترافیک حساس به زمان، سریع نمی‌باشد. همچنین روش بیرون دهنده یک مرحله‌ای تنها برای کاربردهای خاصی طراحی شده است که در آنها بسته‌های داده‌ها همیشه به روش سیل‌آسا پراکنده می‌شوند به طوریکه در این روش با وجود اینکه تاخیر ETE می‌تواند بسیار پایین بیاید، انرژی بسیاری مصوف خواهد شد. بین روشهای پیشنهاد شده برای انتشار هدایت شده، به نظر می‌رسد که روش جذب یک مرحله‌ای برای توسعه از سایر روش‌های پیشنهاد شده مناسب‌تر باشد.

۳.۹.۲ گرادیان‌های RT و BE

فیلترهای RT و BE بوسیله گرادیانهای مربوطه تشخیص داده می‌شوند که این کار هنگام دریافت پیام‌های علاقه‌مندی اولیه صورت می‌پذیرد. اطلاعات موجود در یک علاقه‌مندی در شکل ۳-۹ آورده شده است.

INTEREST Packet	
<i>Fixed Attributes</i>	
SinkID	
Application Context (e.g key, type, operator, value)	
ISeqNum	
Flow-id	
<i>Variable Attributes</i>	
TTL (only for RT traffic)	
PreviousHopID	
PreviousHopEnergy	
<i>Neighbor Information Table Update Flag</i>	
RT-gradient_UpdateFlag (RUF)	
BE-gradient_UpdateFlag (BUF)	
<i>Gradients</i>	
HopCount (HC)	
PreviousMFE	

شکل ۳-۹: مشخصات بسته علاقه‌مندی [10]

خصوصیات ثابت مشخص شده در شکل، مشخص کننده منابع و گیرنده‌هایی هستند که با هم در ارتباط می‌باشند و هر گاه یک گیرنده پیغام علاقه‌مند جدیدی تولید کرد، متغیر `IsSeqNum` یک واحد افزایش پیدا می‌کند. خصوصیات ثابت هنگام پراکنده شدن علاقه‌مندی در شبکه تغییر نمی‌کنند. از طرف دیگر هنگامی که یک گره میانی، یک علاقه‌مندی را پخش می‌کند، خصوصیات متغیرها را تغییر می‌دهد. بخش `TTL` تعداد مراحل می‌باشد که یک علاقه‌مندی می‌تواند از این پس انتشار یابد. این بخش برای ترافیک `RT` بکار می‌رود و باید در گیرنده تعیین شود تا حداکثر طول مسیر را محدود کند زیرا `TTL` بالاتر، تاخیر `ETE` بیشتری را بین یک جفت فرستنده گیرنده، مجاز می‌شمارد. `(RUF)` `RT_gradient_UpdateFlag` و `BE_gradient_UpdateFlag` `(BUF)` مشخص کننده نوع گرادیانی هستند که باید بروز شود. خصوصیات مربوط به گرادیان‌ها، برای برپایی یا به روز کردن گرادیان‌ها برای فیلترهای `RT` یا `BE` بکار می‌روند. برای حل کردن مشکل توازن انرژی، گرادیان جدیدی به نام حداقل انرژی مسیر `(MPE)` معرفی شده است که مشخص کننده پایین‌ترین سطح انرژی گره‌ها در طول یک مسیر است. این گرادیان برای فیلترهای `BE` طراحی شده تا بتوانند عمل توازن انرژی را به انجام برسانند و در مقابل آن گرادیان `HopCount` `(HC)` برای انتخاب کوتاه‌ترین مسیر برای فراهم کردن تاخیر پایین‌تر برای ترافیک `RT` در نظر گرفته شده است. فیلتر `RT` ابتدا از میان نامزدهایی که میزان `HC` پایین‌تری دارند، گرادیانی را ترجیح می‌دهد که بیشترین میزان `MPE` را داشته باشد ولی در فیلتر `BE` این ترتیب بالعکس می‌شود و این فیلتر از میان گرادیان‌هایی با `MPE` حداکثر، گرادیانی را انتخاب می‌کند که کمترین میزان `HC` را داشته باشد. این دو گرادیان با هم همکاری می‌کنند تا موازنه‌ای میان مصرف انرژی و حداقل تاخیر بوجود بیاورد. `MPE` و `HC` گرادیان‌هایی هستند که برای هر مسیر تعریف می‌شوند و هرگاه علاقه‌مندی جدیدی تولید شد، مقادیر این گرادیان‌ها بروز می‌شود در حالی که گرادیان‌های موجود در روش سنتی `DD` در سطح هر گره تعریف می‌شوند.

۳.۹.۳ برپایی گرادیان‌ها *BE*

شکل ۳-۱۱ چگونگی برخورد یک گره میانی با یک بسته علاقه‌مندی برای ترافیک `BE` را نشان می‌دهد. متغیر `PreviousHopID` در پیغام علاقه‌مندی، نشان دهنده شماره مدخل اطلاعات همسایه `(NIE)` متناظر می‌باشد که اطلاعات موجود در آن در شکل ۲-۱ آورده شده است. مجموعه `NIE` ها جدول اطلاعات همسایگان `(NIT)` را تشکیل می‌دهند. `ID` برای هر همسایه یکتاست (مانند آدرس `MAC` هر همسایه).

Neighbor Information Entry		
[Node #] x [Sink #] x [Neighbor #]		
Neighbor Attributes		
NeighborID		
Energy		
ISeqNum		
BreakageFlag		
RT-gradient and BE-gradient		
RT_HopCount		
RT_MPE		
BE_HopCount		
BE_MPE		
Lowest-Latency-gradient		
ETE_Delay (only for traditional DD filter)		

شکل ۳-۱۰: مدخل اطلاعات همسایه [10]

گره میانی NIE خود را بر اساس نوع بروز کردن مورد نیاز که با متغیرهای BUF یا RUF مشخص می‌شوند، به انجام می‌رساند. هنگامی که گرهی اولین پیغام علاقه‌مندی را دریافت می‌کند، ابتدا یک گرادیان BE به گره فرستنده تشکیل می‌دهد و سپس مدخل جریان BE آن را بروز کرده و گره فرستنده را به عنوان گره بعدی انتخاب می‌کند و نهایتاً BUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند. در این حالت گره میانی قبل از ارسال بسته برای یک زمان کوتاه تصادفی صبر می‌کند تا شاید بسته‌ای با MPE بالاتری را دریافت کند و همچنین احتمال تصادم در پراکندن علاقه‌مندی به صورت سیل‌آسا، با این عمل کاهش پیدا می‌کند.

وقتی که گره، علاقه‌مندی بعدی را دریافت می‌کند، یک گرادیان BE به سمت گره دریافت کننده تشکیل می‌دهد و در صورتی که MPE علاقه‌مندی دریافت شده کمتر از MPE جاری باشد، از آن صرف نظر می‌کند. ولی در صورتی که MPE آن بیشتر باشد، گره مدخل جریان خود را بروز می‌کند و فرستنده جدید را به عنوان گره بعدی خود در نظر می‌گیرد و BUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند. اگر گره میانی چند علاقه‌مندی با MPE برابر دریافت کند، مسیر با پایین‌ترین HC را انتخاب خواهد کرد.

۳.۹.۴ برپایی گرادیانهای RT

مراحل برپایی گرادیانهای RT برای یک گره میانی در شکل ۳-۱۲ نشان داده شده است. اگر یک گره میانی اولین بسته علاقه‌مندی را دریافت کند، یک گرادیان RT به سمت گره‌ای که بسته را از آن دریافت کرده است، ایجاد می‌کند و سپس مدخل جریان RT خود را بروز می‌کند و گره فرستنده علاقه‌مندی را به عنوان اولین گره بعدی انتخاب می‌کند و در نهایت RUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند. در مورد ترافیک RT، اولین بسته علاقه‌مندی هر چه سریع‌تر به صورت سیل‌آسا ارسال می‌شود چون رساندن به موقع بسته مورد توجه است.

هنگامی که یک گره میانی بسته علاقه‌مندی بعدی را دریافت می‌کند، ابتدا یک گرادیان RT برای گره ارسال کننده آن بسته، تشکیل می‌دهد و در صورتی که علاقه‌مندی دریافت شده HC پایین‌تری داشته باشد، گره ارسال کننده این پیغام را به عنوان گام بعدی قرار می‌دهد (و علاوه بر این آخرین گام بعدی را برای بازیابی خرابی، برای ترافیک RT، ذخیره می‌کند) و در نهایت RUF را در بسته علاقه‌مندی فعال می‌کند ولی در صورتی که بعد از این، گره میانی بسته‌ای دریافت کند که HC بزرگتری نسبت به HC علاقه‌مندی جاری داشته باشد، بعد از تشکیل یک گرادیان به سمت فرستنده بسته علاقه‌مندی، این گره از بسته صرف‌نظر می‌کند و آن را به عنوان یکی دیگر از گام‌های پشتیبانی بعدی در نظر می‌گیرد و در نهایت در صورتی که بسته علاقه‌مندی با HC برابر HC جاری دریافت کند بسته با MPE بزرگ‌تر را به عنوان گام بعدی انتخاب خواهد کرد.

<i>Intermediate Node Handles Interest Packet with BUF Set</i>
Step 1: Get Information from Interest Packet
<i>SinkID</i> : the identifier of the sink node <i>ISeqNum</i> : interest Sequence Number <i>TTL</i> : time to live, only used by RT traffic <i>PreviousHopID</i> : the identifier of the previous hop node <i>RUF</i> : RT-gradient_UpdateFlag <i>BUF</i> : BE-gradient_UpdateFlag <i>HopCount</i> : hop count of the path from sink to this node. <i>PreviousMPE</i> : the Minimum-Path-Energy of the path from sink to previous hop node
Step 2: Find NIE in NIT according to PreviousHopID
<i>NIT</i> : Neighbor Information Table <i>NIE</i> : Neighbor Information Entry
Step 3: In the NIE, update gradient for best-effort traffic
Step 4: Decide whether the interest should be broadcast or not, and update the BE Flow Entry
<i>CurrentMPE</i> : the Min-Path-Energy of the path from sink to this node. The path traverses the previous-hop node. <i>MaxMPE</i> : maximum MPE among all the previous-hop nodes. It's updated based on CurrentMPE. <i>HC_with_MaxMPE</i> : hop count of the path with MaxMPE. <i>(*Note: MaxMPE and HC_with_MaxMPE are best gradients for BE traffic in the history of arriving interest packets *)</i> <i>CurrentMPE</i> = min(<i>Self_Energy</i> , <i>PreviousMPE</i>); Case 1: "First time to receive the interest with new SinkID or Flow-id or ISeqNum": <i>MaxMPE</i> = <i>CurrentMPE</i> ; <i>HC_with_MaxMPE</i> = <i>HopCount</i> ; <i>NextHopNode</i> = this node <i>(* Update BE flow entry *)</i> Case BE-1: " <i>CurrentMPE</i> > <i>MaxMPE</i> " <i>MaxMPE</i> = <i>CurrentMPE</i> ; <i>HC_with_MaxMPE</i> = <i>HopCount</i> ; <i>NextHopNode</i> = this node <i>(* Update BE flow entry *)</i> Case BE-2: " <i>(CurrentMPE == MaxMPE) && (HopCount < HC_with_MaxMPE)</i> " <i>HC_with_MaxMPE</i> = <i>HopCount</i> ; <i>NextHopNode</i> = this node <i>(* Update BE flow entry *)</i>
Step 5: If one of the above three cases happens, update the interest packet and broadcast it.

شکل ۳-۱۱: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک BE [10]

شکل ۳-۱۱ و شکل ۳-۱۲، Case 1 همان حالت سنتی الگوریتم انتشار هدایت شده است و حالت‌های BE-1 و RT-1 مشخص می‌کنند که *CurrentMPE* و *HC* در آن لحظه بزرگترین هستند و حالت‌های BE-2 و RT-2 مشخص کننده این موضوع هستند که یک گرادیان با اولویت بالاتر برابر آخرین مقدار بزرگ قبلی شده است و بنابراین این گرادیان باید با مقدار گرادیان قبلی مقایسه شود. این روش، مکانیسم چند سطحی گرادیان، نامیده می‌شود. فیلترهای RT، گرادیان *HC* با اولویت بالاتر را در نظر می‌گیرند و گرادیان‌های *HC*، گرادیان *MPE* را با اولویت بالاتری نسبت به گرادیان *HC* در نظر می‌گیرند. این اولویت دو سطحی با مفاهیم *MaxMPE* و *HC_with_MaxMPE* در شکل ۳-۱۱ برای ترافیک BE و *MinHC* و *MPE_with_MaxMPE* در شکل ۳-۱۲ برای ترافیک RT معرفی می‌شود.

در مقایسه با تشکیل گرادیان در طول هر گره در روش DD اولیه، در این روش چهار حالت اضافی ایجاد شده است که بسته‌های علاقه‌مندی را برای برپایی یا بروز کردن گرادیان‌های در طول مسیر، به صورت سیل‌آسا منتشر می‌کنند و این کار را به منظور توازن انرژی یا تعدا گام‌ها انجام می‌دهند. این کار به تعداد پیغام‌های کنترلی بیشتری نیاز خواهد داشت ولی با این وجود این هزینه به نسبت، هزینه پائینی است زیرا زمان تشکیل گرادیان‌ها، زمان بسیار کمتری نسبت به بازه انتشار اطلاعات، به خود اختصاص می‌دهد.

<i>Intermediate Node Handles Interest Packet with RUF Set</i>
Step 1: Get Information from Interest Packet
Step 2: Find NIE in NIT according to PreviousHopID
Step 3: In the NIE, update gradient for real-time traffic
Step 4: Decide whether the interest should be broadcast or not, and update the BE Flow Entry
<i>MinHC</i> : minimum hop count among all the previous-hop nodes. <i>MPE_with_MinHC</i> : CurrentMPE of the path with MinHC <i>(*Note: MinHC and MPE_with_MinHC are best gradients for RT traffic in the history of arriving interest packets *)</i>
$CurrentMPE = \min(Self_Energy, PreviousMPE);$ Case 1: "First time to receive the interest with new SinkID or Flow-id or ISeqNum": $MinHC = HopCount; \quad MPE_with_MinHC = CurrentMPE;$ <i>(* Update RT flow entry*)</i> Case RT-1: " $HopCount < MinHC$ ": $MinHC = HopCount; \quad MPE_with_MinHC = CurrentMPE;$ <i>(* Update RT flow entry*)</i> Case RT-2: " $(HopCount == MinHC) \&\& (CurrentMPE > CurrentMPE_with_MinHC)$ ": $MPE_with_MinHC = CurrentMPE;$ <i>(* Update RT flow entry*)</i>
Step 5: If one of the above three cases happens, update the interest packet and broadcast it.

شکل ۳-۱۲: الگوریتم بر خورد گره میانی با ترافیک RT [10]

۳.۹.۵ مکانیسم‌های بازیابی RT و بازیابی BE در روش EDD

در میان سه روش قبل مطرح شده برای روش انتشار هدایت شده، هیچ مکانیسم بازیابی محلی تعبیه نشده است. تنها در روش جذب دو مرحله‌ای، منبع هر چند از گاهی، پیغام‌های اکتشافی جدیدی منتشر می‌کند تا گرادیان‌ها را تنظیم کند و بعد از آن، گیرنده پیغام‌های تقویت منفی کننده منتشر می‌کند تا مسیر را از میان بردارد و پیغام‌های تقویت مثبت منتشر می‌کند تا تا یک مسیر جدید بوجود بیاید. این مکانیسم بازیابی، به قدری کند است که برای آن حفظ نیازمندی‌های ترافیک‌های حساس به زمان بسیار مشکل است.

در این الگوریتم دو روش برای بازیابی محلی، پیشنهاد شده است. برای ترافیک زمان - حقیقی برای دست یافتن به بازیابی سریع، بهترین همسایه انتخاب می‌شود و برای ترافیک best-effort، اعلان خرابی به صورت سیل‌آسا منتشر می‌شود تا مسیر جدیدی ساخته شود. همچنین فرض بر آنست که در لایه MAC، مکانیسم ارسال مجددی بر مبنای بسته‌های تصدیق کننده^۱ وجود دارد و اگر تعداد از قبل تعیین شده‌ای از ارسال‌ها ناموفق باشند، لایه MAC خطا را به لایه‌های بالاتر اطلاع می‌دهد که موجودیت EDDDD است.

۳.۹.۶ بازیابی در BE

اگر لایه MAC اطلاع دهد که انتقال بسته به گام بعدی دچار مشکل شده است، گره میانی، گره گام بعد را که دچار خرابی شده است را در NIE خود علامتگذاری می‌کند. از آنجایی که تاخیر ETE در ترافیک BE اولویت اول نمی‌باشد، گره میانی در این حالت یک بسته BreakageNotification را به صورت سیل‌آسا منتشر می‌کند. وقتی گیرنده بسته BreakageNotification را دریافت می‌کند، بلافاصله یک بسته علاقه‌مندی ارسال می‌کند تا گرادیان‌های قدیمی را بروز کند.

۳.۹.۷ بازیابی در RT

در ترافیک RT هنگام از کار افتادن یک اتصال یا گره، ابتدا گره میانی آن را در NIE علامت می‌زند. برای فراهم کردن تاخیر ETE کمتر، این گره بهترین گره را از میان همسایگان موجود (AN) انتخاب می‌کند. AN ها طوری انتخاب می‌شوند که به هیچ وجه حلقه‌ای با گره میانی تشکیل ندهند و بقیه گره‌ها به عنوان گره‌های غیر موجود^۲ مشخص می‌شوند. انتخاب AN ها در شکل ۳-۱۳ آورده شده است. همسایگانی که تعداد گامی برابر MinHC+1 دارند، به عنوان همسایه همتا^۳ تعریف شده‌اند.

¹ Acknowledgment

² unavailable

³ peer

RT-Repair Mechanism	
MinHC: Minimum Hop Count	Peer Node: the node whose hop-count is equal to MinHC +1
PeerTransmissionFlag: set in the data packet when an intermediate node forward it to its peer node	
AN: Available Neighbor, includes: (1) MinHC neighbor, (2) peer neighbor	
UN: Those who do not belong to ANs are deemed as unavailable Neighbors	
#UN: Number of UN	#AN: Number of AN
IFReqFlag: Interest Flooding Request Flag	
<i>If the information feedback from MAC layer indicates the next hop node fails to transmit RT data packet</i>	
Step 1: Set it as breakage neighbor;	
Step 2: /*Determines possible ANs to ensure no loop*/	
<i>If (PeerTransmissionFlag == 1), ANs = {MinHC neighbors}</i>	
<i>/* data packet is sent by its peer node*/</i>	
<i>Else ANs = {MinHC neighbors} ∪ {peer neighbors}</i>	
Step 3: <i>If (#AN == 0)</i>	
<i>Drop RT data packet, flood BreakageNotification Packet immediately.</i>	
Else	
<i>Find the best next hop node among ANs;</i>	
<i>If (#AN == 1) Set IFReqFlag in the RT data packet header;</i>	
<i>If (the next hop is a peer node) Set PeerTransmissionFlag in RT data packet header;</i>	
<i>Retransmit the lost data packet.</i>	

۱۳-۳: مکانیسم بازیابی در ترافیک RT [10]

هنگامی که به دلیل خالی شدن باتری در بعضی از گره‌ها در مسیر داده‌ها، مسیر جاری ناپایدار شود، انتشار سیل‌آسای علاقه‌مندی‌ها برای بروز کردن گرادیان‌ها آغاز می‌شود. اگر تنها یک AN باقیمانده باشد، گره میانی IFReqFlag پرچم درخواست انتشار علاقه‌مندی^۱ را در بسته داده‌ای RT فعال می‌کند.

هنگامی که گیرنده یک بسته RT محتوی IFReqFlag را دریافت می‌کند، بلافاصله یک علاقه‌مندی را به صورت سیل‌آسا منشر می‌کند تا گرادیان‌های قدیمی را بروز کند. هنگامی که تمامی همسایگان یک گره میانی جزو خوشه UN باشند، گره، بسته داده را رها کرده و یک پیغام BreakageNotification را به صورت سیل‌آسا (همانند بازیابی در ترافیک BE) منشر می‌کند. زمانی که چنین اتفاقی روی دهد زمان LifeTimeTypeII نامیده می‌شود چون مسیر بین یک فرستنده و گیرنده قطع شده است و زمان LifeTimeTypeI زمانی است که اولین گره در شبکه از کار باز می‌ماند.

¹ Interest Flooding Request Flag

۳.۱۰ خلاصه

یکی از ساده‌ترین روشهای بکار رفته جهت پخش داده‌ها در شبکه‌های حسگر، روش انتشار سیل‌آسا است که در این روش هر گره جهت پخش کردن داده‌های خود، به سادگی آنها را به همه همسایگان خود ارسال می‌کند و گره‌های همسایه نیز در صورتی که قبلاً داده دریافت شده را در اختیار نداشته باشند، به همین ترتیب یک نسخه از داده‌ها را نزد خود نگهداری می‌کنند و سپس آن را به تمام همسایگان دیگر (بجز همسایه‌ای که داده را از آن دریافت کرده‌اند)، ارسال می‌کنند. به چند اشکال عمده در این روش می‌توان اشاره کرد مانند مشکل انفجار که در آن گره‌ها داده‌ها را به صورت تکراری از چندین گره دریافت می‌کنند و این فرایند تا حد زیادی باعث اتلاف منابع گره‌ها می‌شود؛ همچنین مشکل همپوشانی که عبارتست از اشتراک داده‌های جمع‌آوری شده توسط حسگر. برای دستیابی به پایداری بیشتر در شبکه‌های حسگر معمولاً مقداری همپوشانی بین نواحی تحت پوشش حسگرها در نظر می‌گیرند و همین امر باعث می‌شود تا یک پدیده توسط دو یا چند حسگر مختلف تشخیص داده شود. نهایتاً یک نقطه ضعف مهم این روش، عدم آگاهی روش انتشار، از منابع موجود گره‌هاست که یکی از نکات ضروری برای روشهای بکار رفته در انتقال اطلاعات برای شبکه‌های حسگر محسوب می‌شود زیرا با آگاهی از این موضوع می‌توان تا حد امکان از گره‌هایی که منابع انرژی آنها از حد معینی پایین تر است، در مسیریابی استفاده نکرد و با این عمل، مدت زمان متوسط کارکرد گره‌ها را در شبکه افزایش داد.

به صورت کلی این روش تنها در مواردی می‌تواند کارایی داشته باشد که مایل هستیم اطلاعاتی را به صورت سیل‌آسا برای تمامی گره‌های شبکه ارسال کنیم. اصولاً این موضوع در مورد شبکه‌های حسگر که معمولاً ماهیت جغرافیایی گسترده دارند، کمتر رخ می‌دهد و در این شبکه‌ها معمولاً از پرس‌وجوهایی مربوط به یک ناحیه جغرافیایی خاص استفاده می‌شود یا ارتباطات معمولاً بین چند گره محدود به عنوان منبع و یک یا چند گیرنده صورت می‌گیرد. بنا به دلایل ذکر شده در بالا استفاده از روش سیل‌آسا برای شبکه‌های حسگر که دارای منابع انرژی محدود هستند، مناسب نمی‌باشد. رویه‌های مختلفی جهت کاهش یا برطرف کردن مشکلات یاد شده پیشنهاد شده است که یکی از ساده‌ترین آنها روش شایعه‌پراکنی است که این روش تا حد زیادی شبیه روش سیل‌آساست، با این تفاوت که در این روش هر همسایه هنگام دریافت داده‌ها، به صورت تصادفی یکی از همسایه‌هایش را انتخاب می‌کند و داده‌ها را (در صورتی که قبلاً دریافت نشده باشند) به آن گره ارسال می‌کند.

(حتی اگر داده‌ها را از همان گره گرفته باشد). این رویکرد می‌تواند تا حدی مشکل انفجار را برطرف کند ولی در مورد سایر مشکلات نمی‌تواند کار خاصی انجام دهد و علاوه بر این سرعت انتشار هم در این روش پایین است چون در هر مرتبه در هر بار ارسال، داده فرستاده شده تنها یک گره را طی می‌کند و به این ترتیب جهت ارسال داده بین دو گره شبکه، در بدترین حالت ممکن است به اندازه زمان ارسال داده بین تمام گره‌های شبکه تاخیر داشته باشیم و این امر با افزایش تعداد گره‌های شبکه می‌تواند مشکل ساز گردد.

رویکرد دیگری که جهت پخش اطلاعات در شبکه‌های حسگر مطرح شده روش ¹SPIN است که در این روش از ابر-داده‌ها² جهت نامگذاری داده‌های واقعی استفاده می‌شود و هر گره هنگام ارسال داده‌ها، ابتدا شبه-داده مورد نظر را به همسایگانش در قالب یک پیغام ADV، ارسال می‌کند و آنها در صورت در اختیار نداشتن داده‌ها، با تولید کردن یک پیغام REQ، تمامی داده یا بخشی از داده را که در اختیار ندارند را درخواست می‌کنند و گره اولیه با دریافت پیغام REQ، داده‌های حقیقی را در قالب یک پیغام DATA، به آنها ارسال می‌کند. چنین رویکردی می‌تواند مشکل انفجار و هم‌پوشانی را برطرف کند چون در این رویکرد قبل از ارسال داده‌ها، تنها شبه-داده‌ها ارسال می‌شوند که حجم بسیار کمتری نسبت به خود داده دارند و همچنین محتویات داده اصلی بوسیله آنها قابل استخراج است. علاوه بر موارد ذکر شده در این روش برای هر گره یک مدیر منابع در نظر گرفته شده که می‌تواند عملگر هر گره را تحت تاثیر قرار دهد و در صورت کمبود منابع، بخشی از فعالیت‌های آن گره را متوقف کند (مثلا جلوی شرکت کردن گره در امر مسیریابی را بگیرد).

با وجود اینکه این روش تا حد زیادی نسبت به روشهای قبلی بهینه‌تر است، با این وجود از تکنیکهای مانند فشرده‌سازی و جمع‌آوری اطلاعات که می‌توانند تا حد زیادی سربار ترافیکی شبکه را کاهش دهند، استفاده نمی‌کند و در ضمن این روش یک راهکار فرستنده-محور است که خود این امر می‌تواند تا حدی مانع استفاده بهینه از منابع موجود در شبکه گردد.

روش پیشنهادی دیگری که گام‌هایی در جهت برطرف کردن نواقص اشاره شده در روش SPIN برداشته است، روش انتشار هدایت شده است که از مفهوم نامگذاری داده‌ها بهره برده است و یک روش گیرنده-محور است. در این روش، داده‌ها به صورت زوجهای داده-مقدار نمایش داده می‌شوند. نحوه عملکرد

¹ Sensor Protocols for Information via Negotiation

² meta-data

این الگوریتم، به این صورت است که گره گیرنده، ابتدا یک پیغام علاقه‌مندی تولید می‌کند و آن را در طول شبکه پراکنده می‌کند. سپس گره‌های شبکه با مقایسه علاقه‌مندی دریافتی با داده‌های جمع‌آوری شده، پی می‌برند که داده درخواستی را در اختیار دارند یا خیر و در صورت در اختیار داشتن داده‌ها، یک پیغام داده اکتشافی به سمت گیرنده ارسال می‌کنند تا مسیر داده‌ها مشخص شود. با مشخص شدن مسیر، داده‌های درخواستی به سمت گیرنده ارسال می‌شوند. در این رویکرد برای تشکیل مسیر از مفهومی به نام گرادیان استفاده شده است که در هر گره هنگام عبور علاقه‌مندی‌ها تشکیل می‌شود و در آن، مشخصه علاقه‌مندی و گره همسایه‌ای که علاقه‌مندی از طریق آن دریافت شده، ذخیره می‌شود. هنگام تشکیل شدن مسیر، داده‌های اکتشافی از همین گرادیان‌ها برای تشخیص بهترین مسیر (مثلاً از طریق همسایه‌ای برای اولین بار علاقه‌مندی را به این گره ارسال کرده است) به سمت گیرنده، استفاده می‌کنند. همچنین در این الگوریتم، گیرنده از مکانیسمی به نام تقویت کردن استفاده می‌کند تا همسایه‌هایی را که سرعت جمع‌آوری داده بالاتری دارند را نسبت به سایرین در اولویت قرار دهد.

علاوه بر موارد ذکر شده، در این روش هر گره‌ای می‌تواند داده‌ها را پردازش کند و آنها را پس از ترکیب و تجمیع، به سمت گره بعدی ارسال نماید که این امر می‌تواند تا حد زیاد از ترافیک عبوری شبکه بکاهد. در ابتدا روش پیشنهادی جهت این کار، روش تجمیع فرصت طلبانه بود که در این روش، داده‌ها هر گاه در طول مسیر تشکیل شده به سمت گیرنده به هم می‌رسیدند، تجمیع می‌شدند. به دلیل امکان رسیدن مسیرها در نزدیکی گره مقصد، در بعضی موارد ممکن است این روش کارایی لازم را نداشته باشد. روش دیگری که جهت بهبود این امر پیشنهاد شده، روش تجمیع حریصانه است که در این روش درختی از مسیر منابع داده‌ها به سمت یک گیرنده طوری تشکیل می‌شود که تا حد امکان، انشعاب درخت در نزدیکی منابع صورت گیرد.

همچنین روشی به نام ¹GEAR جهت بهبود عملکرد روش انتشار هدایت شده پیشنهاد شده است که در این روش، به جای انتشار علاقه‌مندی‌ها به صورت سیل آسا، از محتویات آنها جهت انتشارشان استفاده می‌کنیم و علاقه‌مندی‌ها تنها در ناحیه مورد نظر، انتشار می‌یابند. همچنین به کمک این روش، منابع موجود، در مسیریابی تاثیر داده می‌شوند تا استفاده از منابع به صورت بهینه‌تری صورت پذیرد. روشهای دیگری نیز برای بهبود

¹ Geographic Energy-Aware Routing

مصرف انرژی در روش انتشار هدایت شده پیشنهاد شده‌اند که در بین آنها می‌توان به روش ¹EDDD اشاره کرد.

در حالت کلی روش‌های گوناگونی جهت بهبود عملکرد الگوریتم انتشار هدایت شده ارائه شده است که می‌توان از میان آنها به روش انتشار بیرون دهنده برای کاربردهایی که در آنها تعداد گیرنده‌ها زیاد است و داده‌های تولید شده نیز حجم بالایی ندارد، اشاره کرد یا روش انتشار جذب یک مرحله‌ای (در مقابل روش اصلی که جذب دو مرحله‌ای هم نامیده می‌شود) که در این روش، منابع پس از دریافت علاقه‌مندی منطبق با داده‌هایشان، مستقیماً پیغام‌های داده را به سمت گیرنده ارسال می‌کنند. همچنین روش‌هایی برای تقسیم کردن شبکه به خوشه‌های کوچکتر پیشنهاد شده است مانند روش LEACH که یک روش سلسله مراتبی فعال است ولی از روش انتشار هدایت شده بهره نمی‌برد.

در این روش برای صرفه‌جویی در مصرف انرژی و جلوگیری از خالی شدن باتری گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند، از الگوریتمی جهت پراکندن آنها در سطح شبکه به صورت تصادفی، پیشنهاد شده است. در این روش گره‌ها خودشان و بدون نیاز به ارتباط با گره‌های دیگر، تعیین می‌کنند که در ابتدای هر دور به عنوان سرخوشه فعالیت کنند یا خیر. سپس گره‌هایی که به عنوان سرخوشه انتخاب می‌شوند این موضوع را به گره‌های اطراف خود اطلاع می‌دهند و گره‌های اطراف نیز با دریافت پیغام سرخوشه‌ها، گره‌ای را به عنوان سرخوشه انتخاب می‌کنند که بیشترین قدرت سیگنال را از آن دریافت کنند. سپس در داخل هر خوشه برای جلوگیری از تداخل بین سیگنال‌های خوشه‌های مجاور از روش CDMA استفاده می‌شود.

روش‌های مطرح شده در بالا همگی بر اساس به حداقل رساندن مصرف کل انرژی در شبکه طراحی شده‌اند و هیچ‌گونه تفکیکی بین کیفیت سرویس ارائه شده بین جریان‌های مختلف قائل نمی‌شوند ولی در برخی از روش‌ها مانند روش EDDD، علاوه بر هدف بهینه کردن توان مصرف شده در گره‌ها، بر روی کیفیت سرویس ارائه شده برای جریان داده‌های مختلف نیز تاکید می‌شود. در روش EDDD، دو ترافیک مختلف BE که حساسیت زمانی خاصی ندارد و ترافیک RT (زمان حقیقی) که به تاخیر زمانی حساس است، معرفی می‌شود و بر خورد گره‌ها میانی در طول یک مسیر با این دو جریان متفاوت است. گره‌ها در برخورد با جریان‌های BE،

¹ Energy-efficient differentiated directed diffusion

گره‌های بعدی را از روی گره‌هایی با حداکثر انرژی موجود انتخاب می‌کنند تا مصرف توان در شبکه را متعادل سازند ولی در مورد جریان‌های RT، گره‌هایی با حداقل فاصله با مقصد ترجیح داده می‌شوند تا تاخیر ناشی از ارسال اطلاعات به حداقل مقدار ممکن برسد. البته در این روش برای هر دو جریان، توازنی میان مصرف متعادل انرژی و حداقل فاصله با مقصد ایجاد شده است.

۴ روش ODCP: الگوریتم پیشنهادی خوشه‌بندی^۱ در روش انتشار هدایت شده

۴.۱ مقدمه

روش انتشار هدایت شده^۲ (DD) جهت کاهش سربار در انتقال داده‌ها از دو راه‌کار تجمع اطلاعات^۳ و پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای^۴ بهره می‌گیرد. با این وجود تضمینی وجود ندارد که مسیرهای تشکیل شده ناشی از منابع نزدیک به هم، در این روش بعد از چند گام با هم ادغام شوند. خصوصاً در شرایطی که رویداد مورد بررسی از نظر جغرافیایی گسترده باشد احتمال این امر کاهش می‌یابد. علاوه بر این در روش DD، برای تشکیل مسیر هر یک از منابع به طور مجزا داده‌های اکتشافی را در کل سطح شبکه منتشر می‌کنند که بخش قابل توجهی از منابع شبکه را به هدر می‌دهد در صورتی که در این شرایط، نیازی به تکرار تمامی مراحل به صورت مجزا نیست.

در روش پیشنهادی این پایان‌نامه به نام ODCP^۵، سعی بر آنست تا دو مشکل مطرح شده در الگوریتم DD (تجمع دیر هنگام و انتشار داده‌های اکتشافی اضافی) برطرف شود. در این روش از یک سینک مجازی در نزدیکی گره‌های منبع استفاده می‌شود که نقش جمع‌آوری اطلاعات و ارسال آنها به سمت مقصد را بر عهده

^۱ Clustering

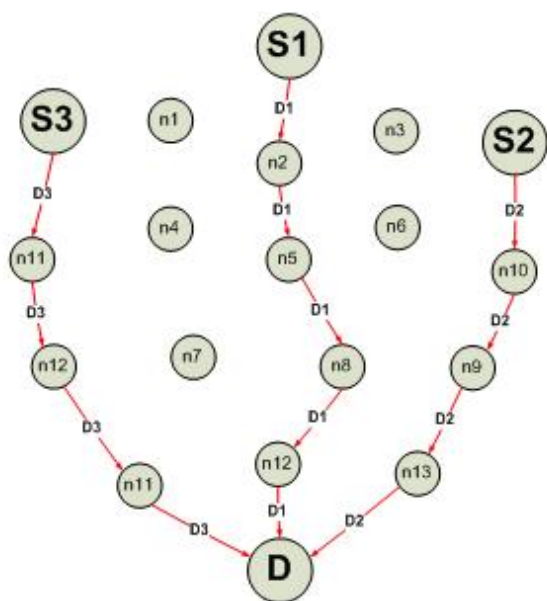
^۲ Directed Diffusion

^۳ Aggregation

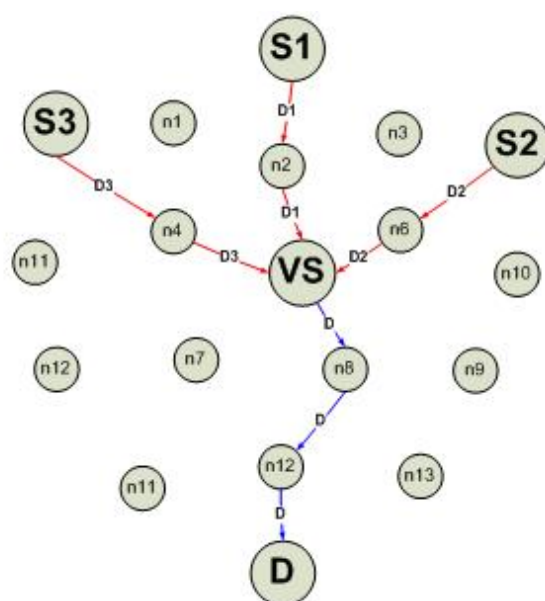
^۴ in-network processing

^۵ On-Demand Clustering Protocol

می‌گیرد. در این فصل روش ODCP توضیح داده شده و مکانیزم‌های به‌کار رفته جهت انتخاب سینک مجازی^۱ و مسیریابی در داخل خوشه، به تفصیل شرح داده شده است.



a) نمونه مسیریابی در الگوریتم انتشار هدایت شده



b) نمونه مسیریابی در الگوریتم ODCP

شکل ۴-۱: نمونه مسیریابی در دو الگوریتم انتشار هدایت شده و ODCP

^۱ Virtual Sink

پروتکل ODCP از چهار مرحله تشکیل شده است. در مرحله اول یک گره مناسب در نزدیکی منابع به عنوان سینک مجازی انتخاب می‌شود. در مرحله دوم، سینک مجازی انتخاب شده مسیری به سمت مقصد تشکیل می‌دهد. بعد از گذشت مدتی، در مرحله سوم از میان همسایه‌های سینک مجازی، یک گره دیگر به عنوان سینک مجازی انتخاب می‌شود. نهایتاً در مرحله چهارم در صورتی که گره‌های منبع برای مدتی بسته علاقه‌مندی محلی را دریافت نکنند از سینک مجازی صرف‌نظر می‌کنند و داده‌های جمع‌آوری شده را مستقیماً به سمت مقصد ارسال می‌کنند.

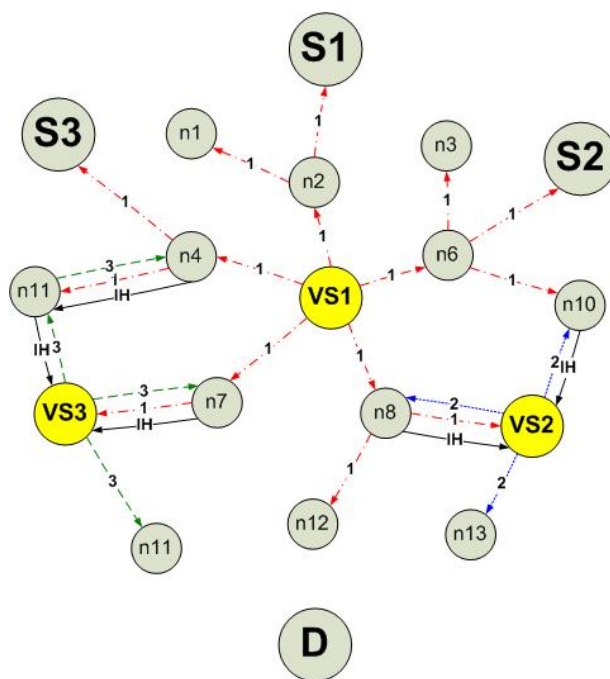
در شکل ۴-۱ نمونه مسیریابی در دو الگوریتم انتشار هدایت شده و ODCP نشان داده شده است. در این شکل همانطور که می‌بینیم، انتخاب یک گره به عنوان VS باعث می‌شود که اطلاعات در فاصله نزدیک‌تری به هم برسند و تجمع شوند.

۴.۲ فاز اول: انتخاب سینک مجازی

یکی از مهمترین و دشوارترین مراحل الگوریتم، انتخاب یک گره به عنوان سینک مجازی می‌باشد. این گره باید حداقل دارای دو مشخصه باشد. از لحاظ موقعیت مکانی این گره باید در مکانی در نزدیکی منابع قرار بگیرد تا بتواند داده‌های جمع‌آوری‌شده را هر چه سریع‌تر جمع کند. همچنین از لحاظ منابع انرژی، میزان انرژی باقیمانده این گره نباید از حد معینی (e_{th}) کمتر باشد زیرا گره VS^1 باید حجم نسبتاً زیادی از داده‌ها را دریافت و به سمت مقصد ارسال کند. علاوه بر این عمل انتخاب گره VS ، سربار نسبتاً زیادی را به گره‌های داخل خوشه تحمیل خواهد کرد پس بهتر است تا جای ممکن این عمل در فواصل زمانی طولانی‌تری انجام پذیرد که این امر بدون انتخاب گره VS با انرژی مناسب، امکان‌پذیر نمی‌باشد. نهایتاً بهتر است که این گره در نقطه‌ای بین منابع و سینک انتخاب گردد تا طول مسیر تشکیل شده و تاخیر رسیدن داده‌ها به مقصد، نسبت به حالت اولیه تغییر چندانی پیدا نکنند.

همانطور که می‌دانیم، DD یک الگوریتم محلی است و هر گره در داخل شبکه تنها با همسایگانش در ارتباط است. بنابراین انتخاب گره سینک مجازی که دارای خصوصیت‌های مطرح شده در فوق باشد کار ساده‌ای به نظر نمی‌رسد. شاید انتخاب یکی از منابع به عنوان VS ، اولین انتخابی باشد که مناسب به نظر برسد. با این وجود ترجیح داده می‌شود که تا جای ممکن طول عمر منابع بر اثر عمل مسیریابی کاهش پیدا نکند. در الگوریتم $ODCP$ ، یکی از گره‌های میانی در مسیر بین گره منبع و سینک به عنوان گره VS در نظر گرفته می‌شود. این انتخاب باعث خواهد شد تا شرایط مطرح شده برای VS ، تا حدی برآورده شوند. حداقل فاصله این گره با منبع مقدار D_{src} در نظر گرفته شده است که این پارامتر بر اساس میزان تراکم گره‌ها در داخل شبکه و مشخصات جغرافیایی منابع، انتخاب می‌شود. در شبیه‌سازی‌های انجام شده، مقدار این پارامتر برابر با ۲ گام در نظر گرفته شده است.

¹ Virtual Sink



شکل ۴-۲: نحوه انتخاب گره VS برای بار اول در خوشه

روش انتخاب گره VS به این ترتیب است که اولین گره در مسیر بازگشت اولین داده اکتشافی^۱ پس از طی حداقل D_{scr} گام و حداکثر D_{max} گام، که دارای میزان انرژی بیشتر از حد e_{th} باشد به عنوان VS انتخاب خواهد شد. هر گره که به عنوان VS انتخاب شود یک بسته علاقه‌مندی^۲ با شعاع محدود شده به صورت سیل آسا^۳ در داخل خوشه منتشر می‌کند. برای محدود کردن انتشار این بسته از برچسب TTL ^۴ (طول عمر بسته) در بسته‌های علاقه‌مندی استفاده می‌کنیم که مقدار این پارامتر در هر گام، یک واحد کم می‌شود تا نهایتاً به مقدار صفر برسد و انتشار بسته متوقف گردد. گره‌هایی که در این مرحله بسته علاقه‌مندی را دریافت کنند، یک مسیر به سمت VS به صورت محلی تشکیل خواهند داد. و داده‌های جمع‌آوری شده را از این پس به سمت VS ارسال خواهند کرد. همانطور که مشخص است، در داخل خوشه از مسیریابی OPP^۵ استفاده شده است ولی این

^۱ Exploratory Data

^۲ Interest

^۳ Flooding

^۴ Time-to-Live

^۵ One-Phase-Pull

امر به راحتی به مسیریابی TPP^۱ قابل تعمیم است به این صورت که هر منبع می‌تواند با دریافت یک بسته علاقه‌مندی، یک داده اکتشافی با TTL برابر با TTL بسته علاقه‌مندی دریافتی به سمت VS ارسال کند و VS هم با دریافت این داده اکتشافی، مسیر طی شده توسط این بسته را با ارسال یک بسته تقویت کننده مثبت، تقویت کند.

در این مرحله از الگوریتم تعداد VS های انتخاب شده حداکثر برابر با تعداد منابع خواهد بود. اکنون باید از بین VS های انتخاب شده یکی به عنوان VS نهایی تعیین گردد. برای این منظور می‌توان یک عدد تصادفی به هریک از VS ها نسبت داد و VS دارای بزرگترین مقدار را به عنوان VS نهایی انتخاب کرد یا VS ای که زودتر از بقیه انتخاب شده را به عنوان VS نهایی تعیین کرد که ما در ODPC، از روش دوم استفاده می‌کنیم. این انتخاب موجب می‌شود که از بین VS های انتخاب شده، نزدیکترین VS به سمت سینک به عنوان VS نهایی انتخاب شود. برای دست یافتن به این هدف بسته‌های علاقه‌مندی منتشر شده توسط VS ها، با مقدار زمان انتخاب شدن VS ، برچسب زده می‌شوند. در این حالت اگر گره‌ای بیش از یک بسته علاقه‌مندی دریافت کند، VS با برچسب زمانی کمتر را به عنوان VS نهایی انتخاب خواهد کرد. اگر این گره خود یک VS باشد و یک بسته علاقه‌مندی با برچسب زمانی کمتر دریافت کند، خود را VS در نظر نخواهد گرفت و اگر از TPP استفاده شده باشد، این گره می‌تواند یک بسته تقویت منفی به سمت تمامی گرادیان‌های تقویت شده ارسال کند. البته با در نظر گرفتن یک تاخیر مناسب در منابع، قبل از ارسال بسته اکتشافی دیگر نیازی به این امر نخواهد بود. ما جهت بهبود عملکرد الگوریتم، رویکرد دیگری را در نظر گرفته‌ایم. در این رویکرد بسته‌های تقویت کننده مثبت^۲ نیز با زمان تشکیل VS برچسب زمانی زده می‌شوند. در این حالت اگر یک منبع بیش از یک مسیر تقویت شده داشته باشد، از مسیر با زمان کمتر استفاده خواهد کرد. مزیت این رویکرد نسبت به رویکرد قبلی اینست که در شرایطی که گره منبعی در محدوده VS نهایی قرار نگیرد ولی VS متناظر آن در محدوده VS اصلی قرار بگیرد، منبع داده‌های خود را به سمت VS متناظر ارسال خواهد کرد و این VS نیز داده‌های دریافتی را به سمت VS اصلی ارسال خواهد کرد و نقش واسطه را بین VS اصلی و گره منبع خارج

^۱ Two-Phase-Pull

^۲ Positive Reinforcement

از محدوده آن را بازی خواهد کرد. با این رویکرد می توان محدوده انتشار VS ها و متناظر با آن، سربار الگوریتم را کاهش داد.

یک رویکرد دیگر برای بهبود عمل انتخاب VS نهایی این است که هر گره در زمان انتشار بسته های علاقه مندی محلی، اگر بسته ای با برچسب زمانی بزرگتر از بسته دریافتی قبلی دریافت کرد آن را منتشر نکند. این کار باعث تا حد زیادی باعث کاهش سربار الگوریتم خواهد شد.

روش دیگری که در الگوریتم ODCP به کار گرفته شده استفاده از پیغام VIRTUAL_SINK_INHIBIT یا (IH) در نقطه تلاقی ناحیه انتشار بسته های علاقه مندی ناشی از دو VS متفاوت است. در این حالت اگر یک گره بیش از یک بسته علاقه مندی دریافت کند، هیچکدام را ارسال نخواهد کرد (حتی بسته با برچسب زمانی کمتر). در عوض این گره در این حالت به سمت تمامی همسایه هایی که از آنها بسته علاقه مندی با برچسب زمانی بزرگتر را دریافت کرده است، یک بسته IH ارسال می کند. بسته IH در خلاف مسیر بسته علاقه مندی منتشر می شود تا نهایتاً به یک گره VS برسد. این بسته باعث می شود تا VS غیر اصلی، غیر فعال شود.

در شکل ۴-۲ نحوه انتخاب گره VS برای بار اول در خوشه نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود در این شکل در ابتدا سه گره VS1، VS2 و VS3 به عنوان سینک مجازی انتخاب شده اند و در نهایت VS نزدیک تر به مقصد به عنوان VS نهایی انتخاب شده است. در این شکل پیغام های VS_INHIBIT با IH نشان داده شده اند.

۴.۳ فاز دوم: تشکیل مسیر

جهت تشکیل مسیر، سینک مجازی همانند منابع در الگوریتم DD عمل می کند. در این حالت گره VS یک داده اکتشافی را به صورت سیل آسا منتشر می کند. با رسیدن این بسته به گره سینک، این گره در مسیر اولین داده اکتشافی دریافت شده یک بسته تقویت کننده ارسال می کند. به این ترتیب با دریافت بسته تقویت کننده، VS یک مسیر به سمت سینک تشکیل خواهد داد. این مسیر جهت ارسال داده های منابع داخل خوشه مورد استفاده قرار خواهد گرفت. همانطور که مشاهده می شود، تشکیل مسیر در این روش مشابه تشکیل مسیر در

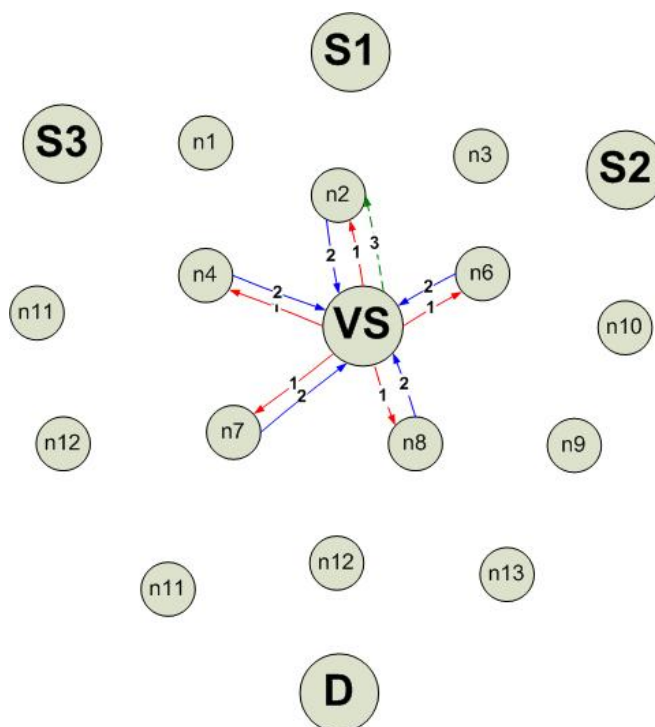
روش TPP بین منابع و سینک است. همانند الگوریتم TPP، در این روش نیز مسیر با دریافت بسته‌های علاقه‌مندی از طرف گره سینک توسط VS و ارسال مجدد داده‌های اکتشافی توسط این گره، بروز می‌شود.

۴.۴ فاز سوم: انتخاب مجدد سینک مجازی

از آنجایی که گره VS باید حجم زیادی از داده‌ها را دریافت و ارسال کند، بعد از مدتی بر اثر اتمام منابع انرژی، خواهد مرد. برای جلوگیری از مردن گره VS و به تبع آن از دست رفتن داده‌ها، بعد از طی شدن یک بازه زمانی، گره جدیدی به عنوان سینک مجازی انتخاب خواهد شد. این امر علاوه بر موارد بالا موجب توزیع بار^۱ در بین گره‌های خوشه خواهد شد. این زمان در ODCP، VS_EXPIRATION_PERIOD یا (P_{exp}) نامگذاری شده است.

دو روش برای انتخاب VS جدید می‌توان پیشنهاد داد. روش اول تکرار مجدد مراحل طی شده در فاز اول است که این روش به دلیل سربار زیادی که به گره‌های خوشه تحمیل می‌کند روش مناسبی نیست. روش دوم که در الگوریتم ODCP بکار رفته انتخاب VS جدید بوسیله VS قبلی است. در این حالت VS قبلی یکی از همسایه‌هایش را به عنوان VS جدید انتخاب خواهد کرد. برای این منظور، گره VS پس از طی زمان P_{exp} یک پیغام NEIGHBOR_REQUEST به صورت سیل آسا همسایگانش ارسال می‌کند.

¹ Load-Balancing



شکل ۳-۴: نحوه انتخاب VS در فازهای بعدی

گره‌های همسایه با دریافت این پیغام یک بسته NEIGHBOT_REPLY به سمت VS ارسال می‌کنند این بسته حاوی انرژی باقیمانده در گره است. گره VS یک تاخیر جهت رسیدن جواب همسایه‌ها در نظر می‌گیرد و بعد از این زمان، از میان همسایه‌هایش، گره با حداکثر انرژی را به عنوان VS بعدی در نظر می‌گیرد و یک پیغام SELECT_NEW_VS به سمت آن ارسال می‌کند. سپس گره انتخاب شده، یک پیغام علاقه‌مندی با دامنه محدود به صورت سیل‌آسا در داخل خوشه منتشر می‌کند تا مسیرهای قبلی به سمت VS جدید بروز شوند. نهایتاً بعد از مدتی مشخص، گره VS جدید، برای پیدا کردن مسیری به سمت سینک، یک داده اکتشافی را در سطح شبکه به صورت سیل‌آسا منتشر می‌کند.

در شکل ۳-۴ پیغام‌های تبادلی بین گره VS و همسایگانش بعد از اتمام دوره فعالیت VS نشان داده شده است. در شکل فوق پیغام‌های شماره ۱ مربوط به NEIGHBOR_REQUEST و پیغام‌های شماره ۲ مربوط به NEIGHBOR_REPLY و نهایتاً پیغام شماره ۳ مربوط به انتخاب گره VS بعدی می‌باشد.

۴.۵ فاز چهارم: انقضاء^۱ سینک مجازی

در شرایطی ممکن است گره سینک مجازی از کار بیافتد. این امر می‌تواند به دلایلی از قبیل اشکالات سخت‌افزاری، گذشتن بازه کاری یا مصرف کردن منابع انرژی و نیافتن گره‌ای با انرژی مناسب در میان همسایه‌ها یا سایر عوامل خارجی اتفاق بیافتد. در این حالت اگر VS هنوز از کار نیفتاده باشد یک پیغام CLUSTER_INHIBIT را به صورت سیل‌آسا در سطح شبکه منتشر می‌کند. این پیغام موجب می‌شد تا گره‌های منبع از گره VS صرف‌نظر کنند و برای یافتن مسیر به سمت گره مقصد، هر یک به صورت جداگانه (مانند الگوریتم TPP) یک بسته داده اکتشافی در شبکه به صورت سیل‌آسا منتشر کنند. در شرایطی که گره VS به هر دلیلی از کار بیفتد، با سپری شدن زمان انقضای خوشه^۲ یا T_{exp} ، گره‌های منبع همانطور که در بالا شرح داده شد به صورت جداگانه اقدام به تشکیل مسیر می‌کنند.

^۱ Expiration

^۲ Cluster Expiration Period

۴.۶ بررسی و مباحثه

در این قسمت مروری خواهیم داشت بر نحوه عملکرد الگوریتم ODCP و در مورد مزایا و معایب آن به بحث و بررسی خواهیم پرداخت.

همانطور که در قسمت مقدمه فصل بیان کردیم، بزرگترین مزیت روش ODCP تشکیل مسیرهای یکسان برای منابع نزدیک به هم و کاهش سربار نسبتاً زیاد در الگوریتم TPP است که در آن هر منبع برای تشکیل مسیر، یک بسته اکتشافی را به صورت جداگانه در کل سطح شبکه پراکنده می‌کند. در روش پیشنهادی ما این عمل تنها یک بار و برای گره سینک مجازی صورت می‌پذیرد. برای تشکیل مسیر بین منابع و گره VS، مسیریابی مانند روش TPP یا OPP انجام می‌پذیرد با این تفاوت که در روش ODCP بسته‌های علاقه‌مندی و داده‌های اکتشافی تنها در ناحیه داخل خوشه منتشر می‌شوند که معمولاً نسبت به کل فضای شبکه بسیار کوچکتر است.

علاوه بر کاهش سربار بسته‌های علاقه‌مندی، در الگوریتم ODCP داده‌ها جمع‌آوری شده در اولین فرصت و در سینک مجازی تجمع می‌شوند که همین امر باعث کاهش حجم داده‌های ارسالی در طول شبکه خواهد شد. البته تجمع داده‌ها در روش انتشار هدایت شده در حالت پایه هم انجام می‌پذیرد ولی محل این تجمع نسبت به روش ODCP معمولاً چند گام جلوتر است و در این روش هیچ‌گونه تضمینی برای تجمع زود هنگام داده‌ها وجود ندارد.

با وجود کاهش قابل ملاحظه سربار مسیریابی در الگوریتم انتشار هدایت شده، یک ایراد اساسی در این روش استفاده از مسیر یکسان برای انتقال داده‌های تمامی منابع اطراف است که باعث می‌گردد که انرژی گره‌های مسیر بین VS و سینک نسبت به الگوریتم DD، زودتر تخلیه شود. در مورد گره VS در روش ODCP تدابیری در نظر گرفته شده است تا بعد از مدتی گره مجاور VS با بیشترین انرژی به عنوان VS بعدی انتخاب شود. در مورد مسیر بین VS و سینک، جهت افزایش طول عمر مسیر می‌توان از روش‌های مسیریابی چند مسیر مطرح شده در فصل بعد بهره برد تا بار بین گره‌های مسیر به صورت عادلانه‌تری توزیع شود.

الگوریتم ODCP هزینه پردازشی قابل ملاحظه‌ای را بر هیچ‌یک از گره‌های شبکه تحمیل نمی‌کند و تنها ممکن است هزینه ناشی از تجمع داده‌های دریافت شده در گره سینک مجازی افزایش یابد که اجتناب ناپذیر است. در الگوریتم DD این هزینه ممکن است بین گره‌های مسیر توزیع شود.

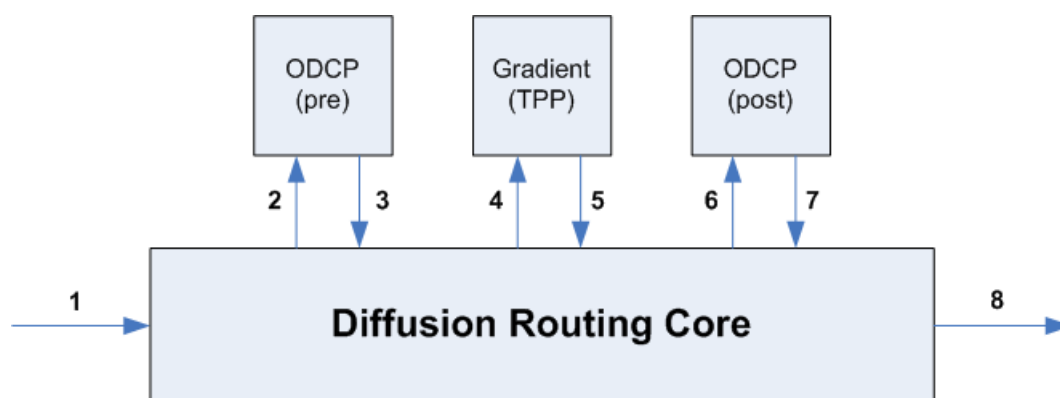
سربار زمانی تشکیل خوشه مجازی با بزرگتر شدن اندازه خوشه در مرحله اولیه افزایش خواهد یافت. البته در مراحل بعدی این سربار وجود نخواهد داشت. با این وجود بعد از مدتی کلیه مسیرها باید بروز شوند تا اتصالات برقرار بمانند. هرچه اندازه خوشه بزرگتر انتخاب شود، سربار زمانی تشکیل خوشه و بار پردازشی بر روی VS افزایش می‌یابد ولی عمل تجمع به طور موثرتری صورت می‌پذیرد. با کوچکتر در نظر گرفتن اندازه خوشه، اگرچه زمان پاسخ‌دهی اولیه شبکه به بسته‌های علاقه‌مندی کاهش خواهد یافت، در عوض تعداد سینک‌های مجازی و به تبع آن سربار مسیریابی افزایش خواهد یافت. پس برای انتخاب اندازه خوشه‌ها می‌توان بین دو عامل زمان پاسخ‌دهی و سربار مسیریابی یک توازن ایجاد نمود.

روش ODCP در کاربردهای خاص مانند کاربردهای رهگیری هدف، بهتر عمل می‌کند و در این کاربردها می‌توان اندازه خوشه را با توجه به چگالی حسگرهای تعبیه شده در محیط به گونه‌ای در نظر گرفت که تمامی حسگرهایی که در دامنه هدف مورد نظر قرار دارند، داخل خوشه مجازی قرار بگیرند.

۴.۷ نحوه پیاده سازی و ارزیابی

۴.۷.۱ بستر پیاده سازی

برای پیاده سازی الگوریتم از کد diffusion 3.20 همراه بسته نرم افزاری ns 2.30 [21] عرضه شده، استفاده شده است. در این بسته دو نسخه از الگوریتم انتشار هدایت شده وجود دارد که عبارتند از diffusion و diffusion3. نسخه diffusion، پیاده سازی ساده شده الگوریتم می باشد و جزئیات کمتری را در بر می گیرد. در الگوریتم ODCP از فیلتر TPP در diffusion3 استفاده شده است که در آن نسخه کامل الگوریتم diffusion 3.20 پیاده سازی شده است. الگوریتم ODCP به صورت دو عدد فیلتر با اولویت های کمتر و بیشتر از فیلتر گرادیان و با استفاده از API مطرح شده در [5] پیاده سازی شده است. فیلتر با اولویت بیشتر را پیش-فیلتر^۱ و فیلتر با اولویت کمتر را پس-فیلتر^۲ می نامیم. ساختار این فیلترها و ترتیب ارسال پیغام ها به فیلترهای مختلف در شکل ۴-۴ توضیح داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می شود، پیغام های diffusion ابتدا به فیلتر ODCP Pre-Filter ارسال می شوند. این فیلتر بسته ها را پس از پردازش مورد نیاز پیغام ها، آنها را بنابر شرایط موجود به فیلتر پایین تر یعنی Gradient-Filter، یا مستقیماً به فیلتر ODCP Post-Filter ارسال می کند یا در بعضی حالات از آنها صرف نظر می کند. در شرایطی هم ممکن است پیغام ها بدون رسیدن به فیلترهای پایینی، مستقیماً به داخل شبکه ارسال گردند.



شکل ۴-۴: ترتیب ارسال بسته به فیلترهای ODCP و DD

¹ pre-filter
² post-filter

۴.۷.۲ سناریوهای شبیه‌سازی

جهت بررسی عملکرد این الگوریتم از یک شبکه گرید^۱ 10×20 استفاده شده است که فاصله بین گره‌های مجاور را در آن برابر ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتیمتر در نظر گرفته‌ایم. همچنین دامنه ارسال هر گره برابر دو متر می‌باشد. برای شبیه‌سازی از یک گره سینک استفاده شده است ولی تعداد منابع در سناریوهای مختلف بین یک تا شش منبع متغیر است. فاصله زمانی ارسال بسته‌های علاقه‌مندی برابر ۳۰ ثانیه و زمان ارسال مجدد داده‌های اکتشافی هر ۵۰ ثانیه می‌باشد (مقادیر پیش فرض در DD). مقدار پارامتر D_{exp} (بازه معتبر بودن یک VS) معمولاً برابر ۱۵۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. این زمان را می‌توان با توجه به انرژی گره‌ها و میزان منابع و بزرگی یک خوشه انتخاب کرد. زمان شبیه‌سازی و انرژی اولیه گره‌ها در سناریوهای مختلف شبیه‌سازی، متفاوت است. در شبیه‌سازی ODPC از برنامه ping با بازه‌های ارسال داده برابر ۱ بسته در ثانیه بهره‌برده شده است. تاخیر نیز بر اساس تاخیر بدست آمده توسط بسته‌های ping، محاسبه می‌شود. در قسمتهای بعدی سناریوی بکار رفته جهت بررسی هر یک از پارامترهای انرژی گره‌ها، طول مدت ارتباط، میزان سربار الگوریتم، تاخیر و میزان بسته‌های حذف شده در مسیریابی آورده شده است.

۴.۷.۳ مدل انرژی

در شبیه‌ساز ns، از پروتکل 802.11 جهت شبیه‌سازی سناریوهای بیسیم استفاده می‌گردد. مدل انرژی و پارامترهای 802.11 در شبیه‌سازی ODPC مطابق با کد اصلی DD در نظر گرفته شده‌اند و میزان انرژی مورد نیاز برای دریافت و ارسال مطابق با [9] به ترتیب برابر با 0.660 وات برای ارسال و 0.395 وات برای دریافت داده‌ها در نظر گرفته شده است که مطابق با انرژی مصرفی در کارت PCM-CIA WLAN معرفی شده در ns2 است.

۴.۷.۴ محاسبه انرژی

برای کارایی ODPC از لحاظ انرژی مصرف شده در گره‌ها، این الگوریتم در چهار حالت با الگوریتم DD مورد مقایسه قرار گرفته است. در این سناریوها دو پارامتر فاصله بین گره‌ها (میزان تراکم گره‌ها در شبکه) برابر با ۱۰۰ و ۱۵۰ سانتیمتر و تعداد گره‌های منبع برابر با ۳ و ۶ عدد در نظر گرفته شده است. زمان شبیه‌سازی

¹ Grid

در این چهار سناریو برابر ۵۰۰ ثانیه است و در هر ۱۰۰ ثانیه، میانگین میزان انرژی باقیمانده در گره‌ها و انرژی گره‌های با انرژی حداقل و حداکثر آورده شده است. انرژی اولیه در حالتی که فاصله بین گره‌ها ۱۰۰ سانتی‌متر است برابر ۱۰۰ وات و در حالتی که فاصله بین گره‌ها ۱۵۰ سانتی‌متر است برابر ۵۰ وات در نظر گرفته شده است.

۴.۷.۵ محاسبه مدت برقراری اتصال

برای محاسبه حداکثر زمان برقراری ارتباط بین منابع و گره سینک، از گریدی 10×20 با فاصله ۱۰۰ سانتی‌متر استفاده شده است و تعداد منابع، متغیر و بین اعداد ۱ تا ۶ در نظر گرفته شده است. در این حالت بسته‌های ping به طور مرتب و در هر ثانیه یک مرتبه از طرف منبع یا منابع، به سمت سینک ارسال می‌گردند. زمان رسیدن آخرین بسته به مقصد به عنوان پارامتر مورد بررسی انتخاب شده و میزان این پارامتر با تغییر تعداد منابع مورد بررسی قرار گرفته است. انرژی اولیه گره‌ها در این سناریو برابر ۵ وات فرض شده است.

۴.۷.۶ محاسبه سربار^۱ و تاخیر^۲

برای محاسبه سربار و تاخیر در یک حالت در سناریوی مطرح شده در قسمت قبل، تعداد بسته‌های داده دریافت شده و بسته‌های غیر داده ارسال شده در طول مدت زمان برقراری اتصال شمارش شده است و نسبت بسته‌های غیر از داده به بسته‌های رسیده ping به عنوان سربار الگوریتم با تعداد منابع متغیر (از ۱ تا ۶ منبع) مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین میزان تاخیر متوسط بسته‌های ping نیز در هر حالت محاسبه شده است. در سناریوی برای اندازه‌گیری تاخیر و سربار، مدت شبیه‌سازی ثابت و برابر ۲۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است و پارامترهای فوق به ازای تعداد منابع ۱ تا ۶ عدد، محاسبه شده است.

۴.۷.۷ محاسبه میزان از دست رفتن بسته‌ها^۳

برای محاسبه میزان از دست رفتن بسته‌ها از سناریوهای مطرح شده در قسمت قبل استفاده شده، و نسبت تعداد بسته‌های داده دریافت نشده به بسته‌های داده دریافت شده، در دو حالت مدت زمان برقراری

^۱ Overhead

^۲ Delay

^۳ Packet Loss

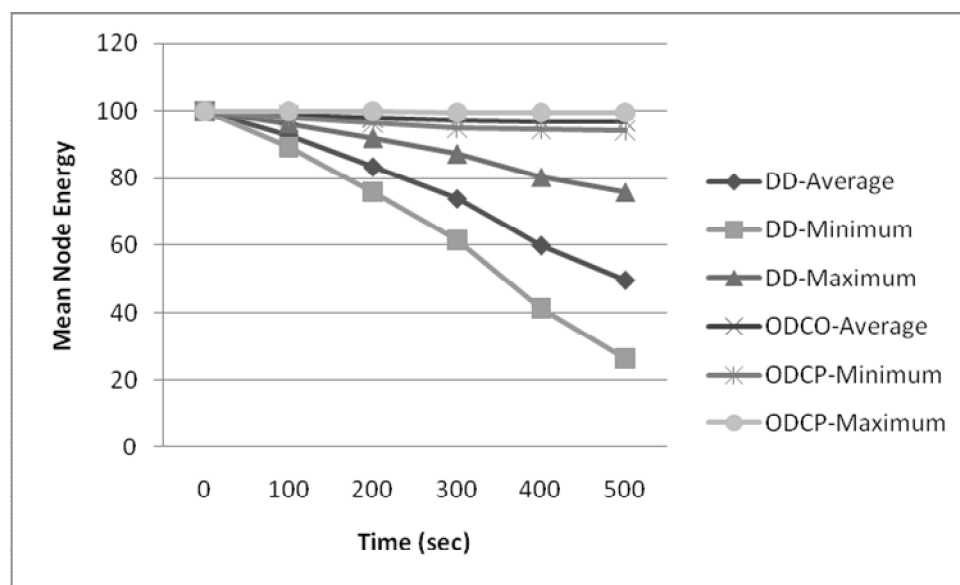
اتصال و مدت زمان ۲۰۰ ثانیه شمارش شده است و این نسبت با تعداد منابع متغیر (از ۱ تا ۶ منبع) مورد بررسی قرار گرفته است.

۴.۸ بررسی نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت نتایج شبیه‌سازی برای هر یک از سناریوهای مطرح شده در قسمت قبل آورده شده و نمودار مربوط به نتایج بدست آمده نشان داده شده است. سپس نتایج بدست آمده از هر شبیه‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است.

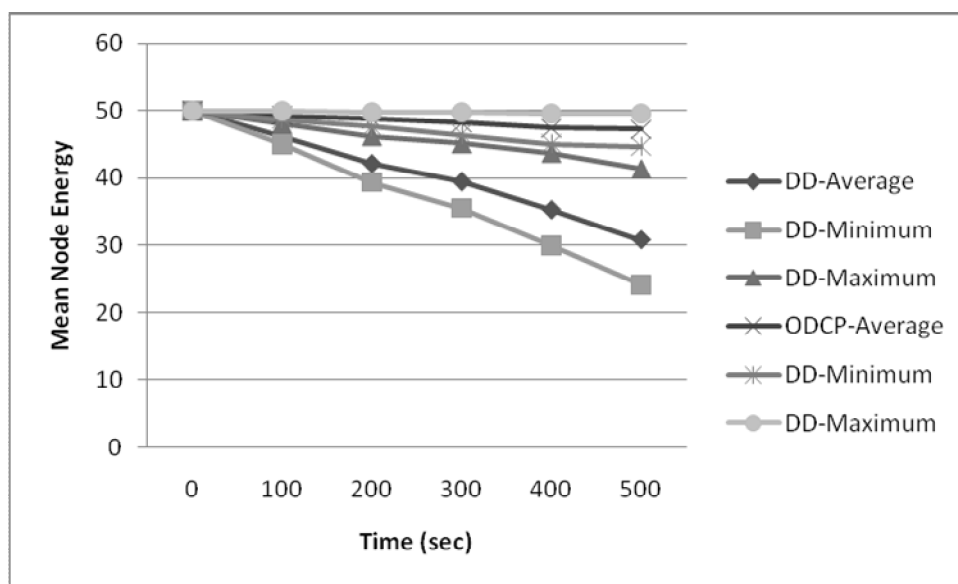
۴.۸.۱ محاسبه انرژی میانگین، حداقل و حداکثر گره‌های شبکه

همانطور که در شکل‌های شکل ۴-۵، شکل ۴-۶، شکل ۴-۷ و شکل ۴-۸ مشاهده می‌شود انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم ODCP بهبود قابل ملاحظه‌ای نسبت به الگوریتم DD پیدا می‌کنند.



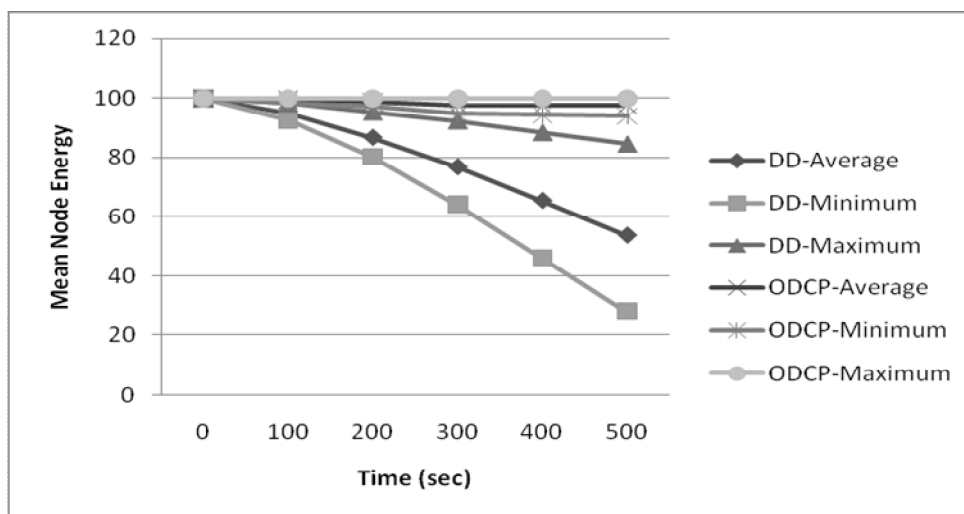
شکل ۴-۵: انرژی متوسط (ژول)، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۶ منبع و فاصله ۱۵۰ سانتیمتر

با افزایش تعداد منابع اختلاف انرژی گره‌ها بیشتر خود را نشان می‌دهد که این امر به این دلیل است که در روش ODCP افزایش منابع کنارهم تاثیر چندانی روی سربار مسیریابی نمی‌گذارند در صورتی که در DD تعداد داده‌های اکتشافی که به صورت سیل‌آسا منتشر می‌شوند با افزایش تعداد منابع به صورت خطی زیاد می‌شوند.

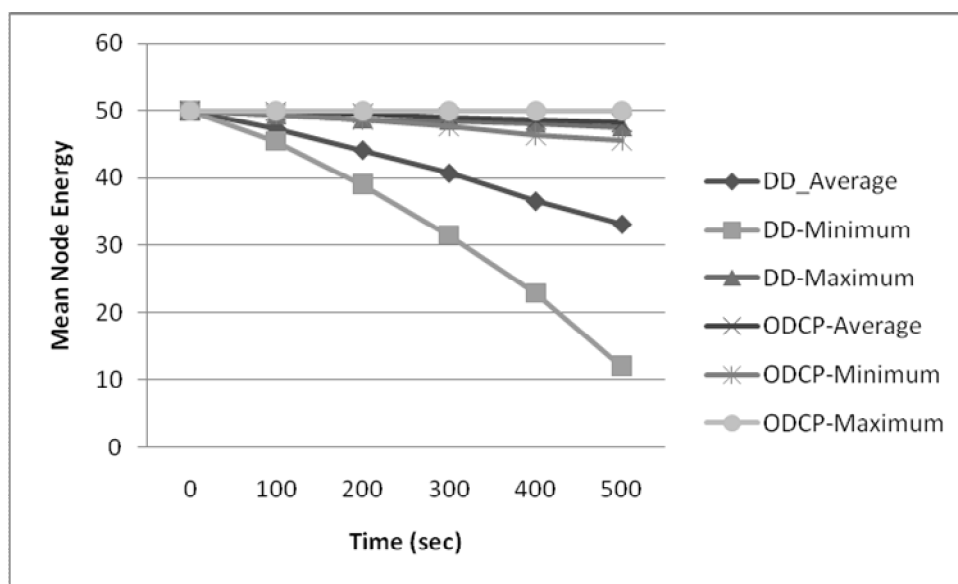


شکل ۴-۶: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۳ منبع و فاصله ۱۵۰ سانتیمتر

همچنین با کاهش فاصله بین گره‌ها، تعداد بسته‌های ED افزایش می‌یابد زیرا با افزایش برد هر گره، بر تعداد داده‌های ارسال شده تکراری افزوده می‌گردد و همین امر باعث می‌شود تا در تراکم‌های بالاتر باز هم به میزان برتری ODCP نسبت به DD از لحاظ میزان انرژی مصرفی افزوده شود.



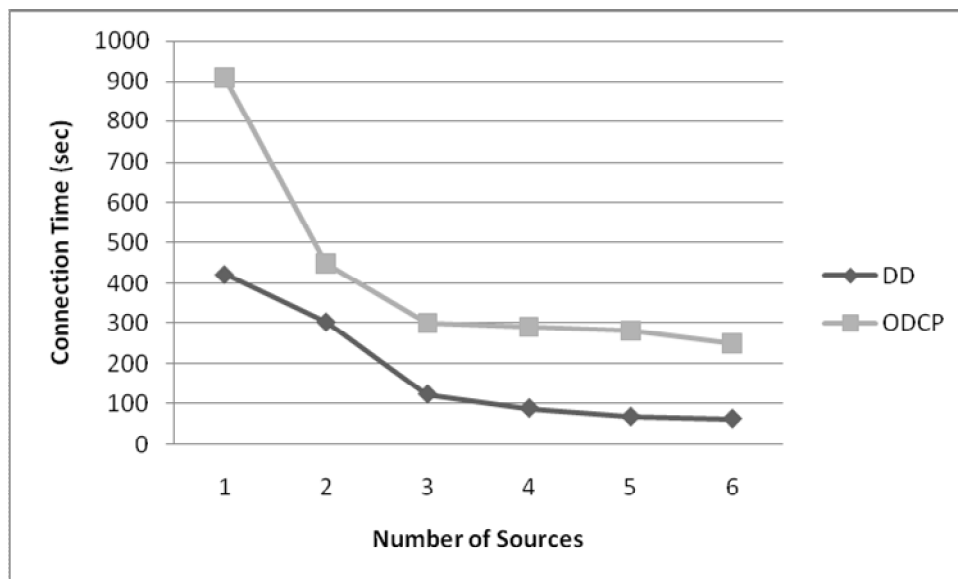
شکل ۴-۷: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۶ منبع و فاصله ۱۰۰ سانتیمتر



شکل ۴-۸: انرژی متوسط، حداقل و حداکثر گره‌ها در الگوریتم‌های DD و ODCP برای ۳ منبع و فاصله ۱۰۰ سانتیمتر

۴.۸.۲ محاسبه مدت برقراری اتصال بین منابع و سینک

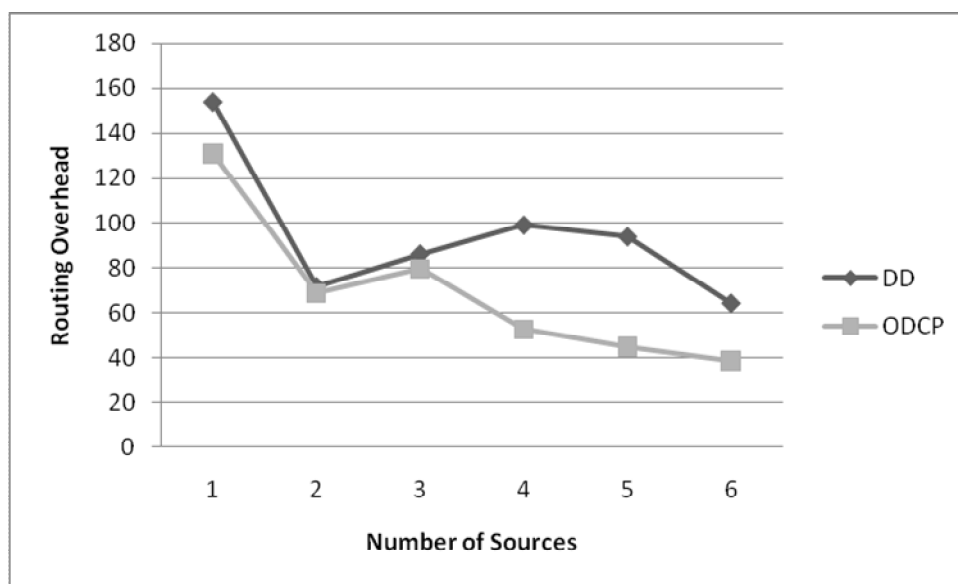
همانطور که در شکل ۴-۹ مشاهده می‌شود زمان برقراری اتصال در الگوریتم ODCP نسبت به DD بیشتر است که این به دلیل سربار کمتر مسیریابی در ODCP است.



شکل ۴-۹: زمان برقراری اتصال بین منابع و سینک بر اساس تعداد منابع

۴.۸.۳ مقایسه سربار الگوریتم‌های DD و ODCP

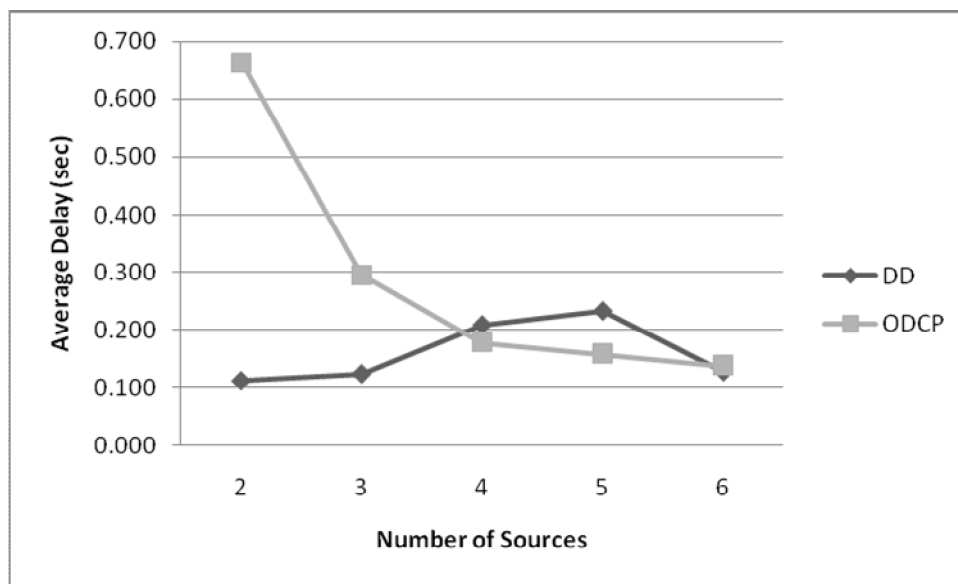
سربار الگوریتم ODCP همانطور که در شکل ۴-۱۰ مشاهده می‌شود در مقایسه با الگوریتم DD بسیار کمتر است زیرا با وجود پراکندن بسته‌های علاقه‌مندی محلی، در حالت کلی به دلیل کاهش بسته‌های ED که در DD به تعداد منابع به صورت جداگانه در کل شبکه انتشار پیدا می‌کند، سربار به صورت قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. البته هر چه میزان اختلاف اندازه خوشه مورد بررسی نسبت به اندازه کل شبکه بزرگتر باشد، اختلاف سربار دو الگوریتم بیشتر خود را نشان خواهد داد.



شکل ۴-۱۰: سربار الگوریتم‌های DD و ODCP بر اساس تعداد منابع

۴.۸.۴ محاسبه متوسط تاخیر رسیدن بسته‌ها به مقصد

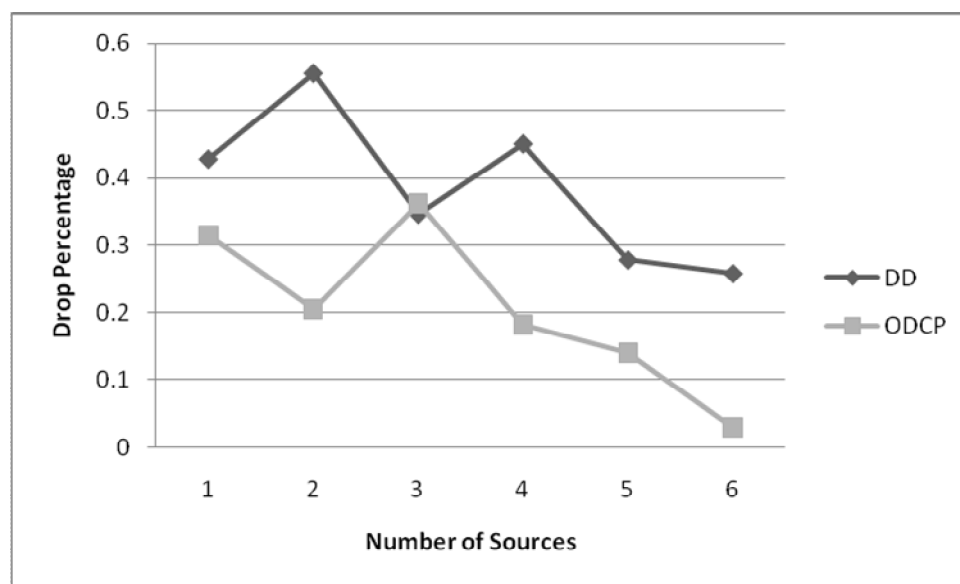
تاخیر رسیدن بسته‌ها در ODCP نسبت به DD بیشتر است چون در محاسبات انجام گرفته زمان رسیدن اولین بسته داده اکتشافی هم در نظر گرفته شده است که در روش ODCP به دلیل وجود فاز تشکیل VS و انتشار بسته‌های علاقه‌مندی محلی نسبت به DD بسیار بیشتر است. البته تاخیر رسیدن بسته برای سایر بسته‌ها مشابه DD می‌باشد و همانطور که در شکل ۴-۱۱ مشاهده می‌شود با افزایش تعداد بسته‌های داده، اثر تاخیر اولیه ODCP تا حد زیادی از بین می‌رود.



شکل ۴-۱۱: میزان تاخیر بسته‌ها در دو روش ODCP و DD بر اساس تعداد منابع

۴.۸.۵ محاسبه میزان از دست رفتن بسته‌ها

میزان بسته‌های از دست رفته در ODCP نسبت به DD کاهش می‌یابد و کاهش این نسبت در تعداد منابع بالاتر، بیشتر خود را نشان می‌دهد. به نظر می‌رسد علت اصلی از دست رفتن بسته‌های داده، انتشار بسته‌های علاقه‌مندی و داده‌های اکتشافی به صورت سیل‌آسا است که با پر کردن ظرفیت رسانه ارتباطی، مانع از رسیدن داده‌ها به گره سینک می‌شوند. همانطور که در شکل ۴-۱۲ مشاهده می‌شود تعداد کمتری از بسته‌ها در ODCP از دست رفته‌اند که این امر می‌تواند ناشی از کاهش انتشار داده‌های اکتشافی در ODCP نسبت به DD باشد.



شکل ۴-۱۲: میزان ازدست رفتن بسته‌ها در دو روش DD و ODCP بر اساس تعداد منابع

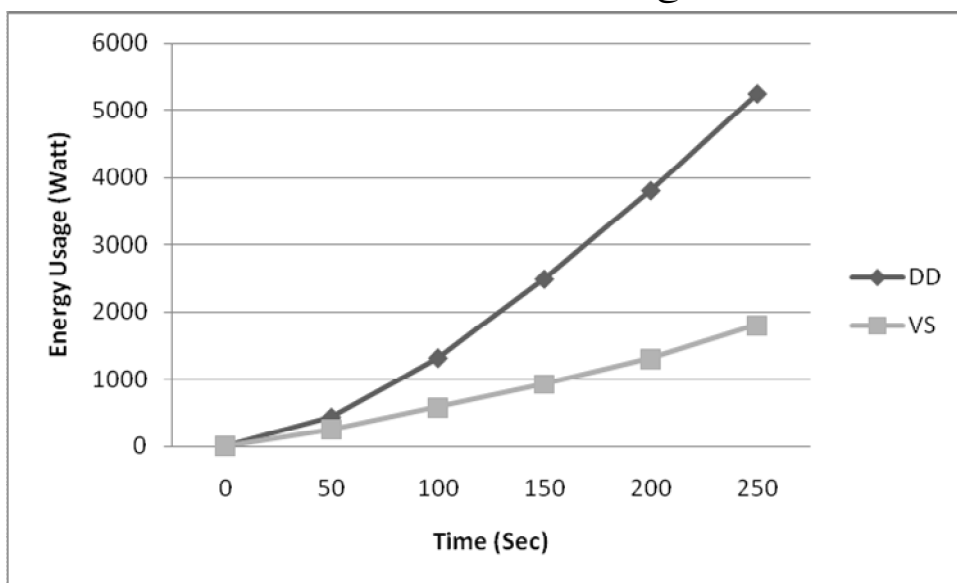
۴.۸.۶ شبیه‌سازی‌های مربوط به الگوریتم ODCP با استفاده از روش انتشار جذب دومرحله‌ای

در این بخش میزان انرژی مصرفی شبکه، میانگین انرژی گره‌ها، طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی اولیه ۵ ژول و ۱۰ ژول در گره‌ها، میزان بسته‌های رسیده در طول مدت زمان برقراری اتصال، تاخیر متوسط رسیدن بسته‌ها، درصد میزان بسته‌های از دست رفته، سربار مسیریابی و نهایتاً درصد بسته‌های رسیده به کل بسته‌های دریافت شده در گره‌های شبکه در قالب چند نمودار آورده شده است.

۴.۸.۶.۱ میزان انرژی مصرفی شبکه

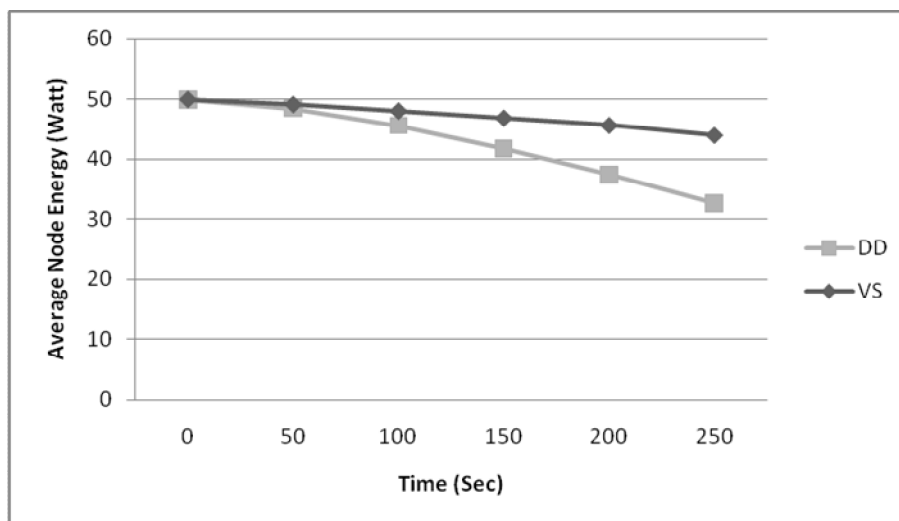
میزان مصرف انرژی کل گره‌های شبکه در شکل ۴-۱۴ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، مصرف انرژی ODCP نسبت به DD بسیار کمتر است. علت اصلی این کاهش اول کاهش تعداد بسته‌های ED و کاهش تعداد مسیرهای انتقال اطلاعات در شبکه است زیرا در DD برای افزایش احتمال تشکیل حداقل یک مسیر بین منبع و گره سینک، گاهی چندین مسیر بین منبع و مقصد یا گره‌های میانی مسیر تشکیل می‌شود که با زیاد شدن تعداد منابع، سربار این مسیرهای موازی به صورت چشمگیری افزایش خواهد

یافت. در این شبیه‌سازی از ۶ منبع در یک شبکه گرید 30×10 شامل ۳۰۰ گره استفاده شده است.



شکل ۴-۱۳: میزان انرژی مصرفی شبکه در زمان‌های مختلف

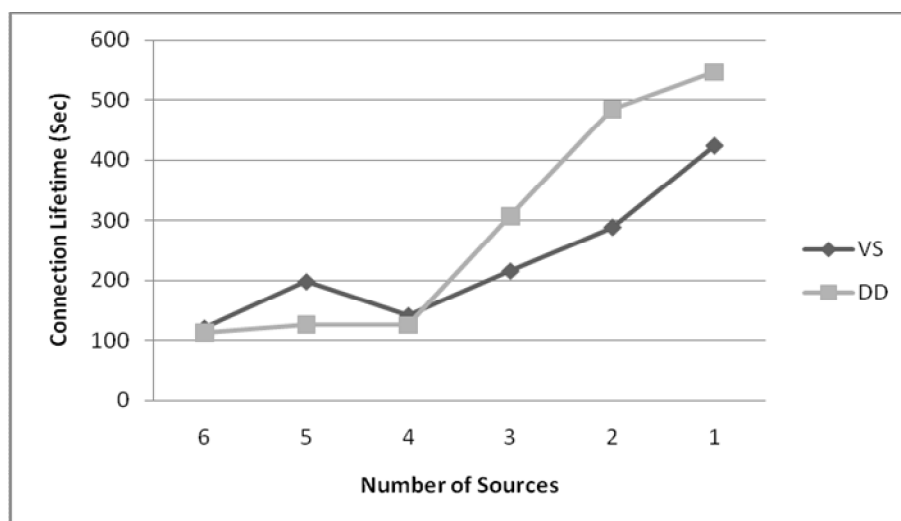
۴.۱.۶.۲ میانگین انرژی گره‌ها



شکل ۴-۱۴: میانگین انرژی گره‌های شبکه در زمان‌های مختلف

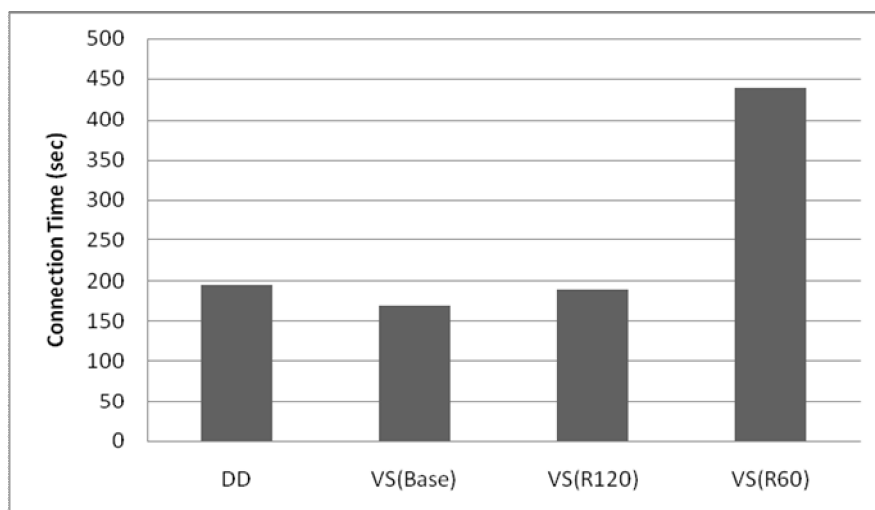
میانگین انرژی گره‌ها در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. در این شبیه‌سازی نیز مانند سناریوی قبلی از ۶ منبع استفاده شده است.

۴.۱.۶.۳ طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی‌های اولیه مختلف



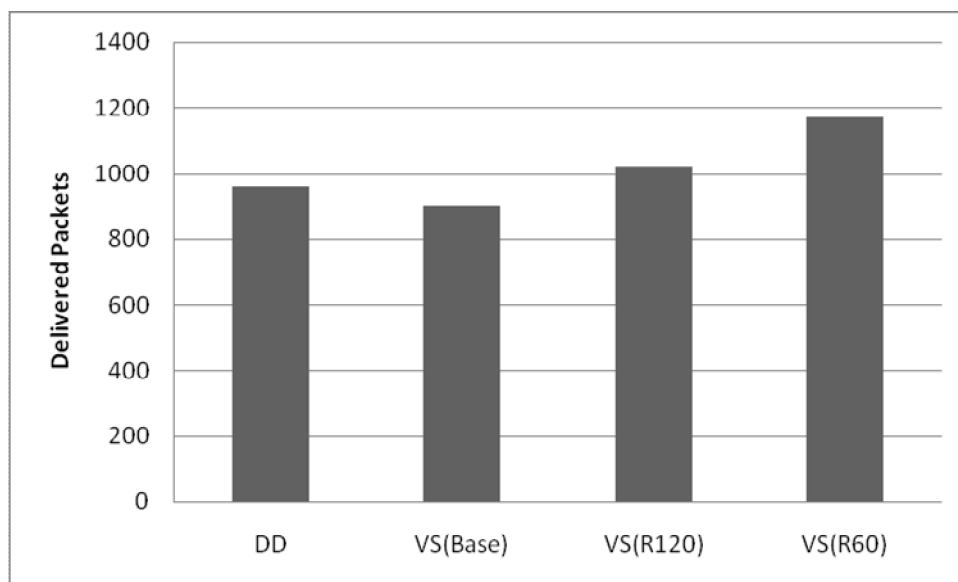
شکل ۴-۱۵: طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی اولیه ۵ وات

مدت زمان اتصال بین گره‌های منبع و مقصد با انرژی اولیه ۵ وات به ازای تعداد منابع مختلف در شکل ۴-۱۵ نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، روش ODCP برای تعداد منابع کمتر از ۳، نسبت به روش DD، طول عمر کمتری دارد.



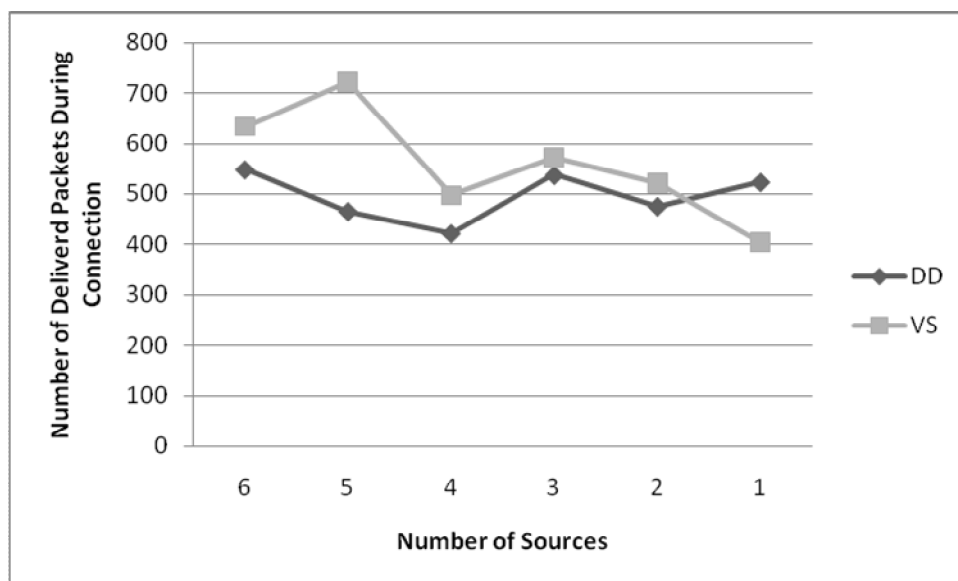
شکل ۴-۱۶: طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی‌های اولیه ۱۰ وات برای روش‌های DD و ODCP با زمان‌های تازه‌سازی متفاوت

در شکل ۴-۱۶ طول عمر زمان اتصال به ازای انرژی اولیه ۱۰ وات برای گره‌های شبکه به ازای ۶ منبع نشان داده شده است. در این شکل سه حالت مختلف پیاده‌یازی ODCP با زمان‌های تازه‌سازی‌های مختلف گره VS، با الگوریتم DD مقایسه شده‌اند. در VS(base) گره VS در طول مدت برقراری اتصال ثابت می‌ماند و در VS(R120) و VS(R60) گره VS به ترتیب بعد از ۱۲۰ و ۶۰ ثانیه بروز می‌شود. همانطور که در شکل مشخص است طول عمر VS(R60) نسبت به روش‌های دیگر بهبود قابل توجهی پیدا کرده است. در شکل ۴-۱۷ نیز تعداد بسته‌های رسیده به مقصد در هر الگوریتم نشان داده شده است.



شکل ۴-۱۷: تعداد بسته‌های رسیده به مقصد به ازای انرژی‌های اولیه ۱۰ وات برای روش‌های DD و ODCP با زمان‌های تازه‌سازی متفاوت

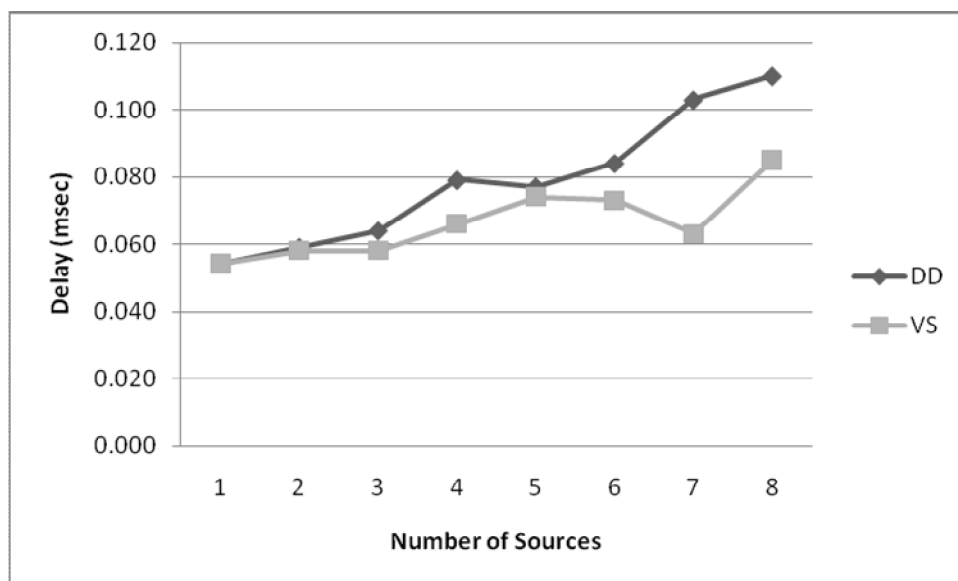
۴.۸.۶.۴ میزان بسته‌های رسیده در طول مدت زمان برقراری اتصال



شکل ۴-۱۸: میزان بسته‌های رسیده در طول مدت زمان برقراری اتصال به ازای تعداد منابع مختلف

در شکل ۴-۱۸ میزان بسته‌های رسیده به مقصد در زمان برقراری اتصال بین گره‌های مبدا و مقصد به ازای تعداد منابع مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که در شکل مشخص است، تعداد بسته‌های رسیده در روش ODCP به ازای منابع بزرگتر از ۲، نسبت به روش DD بیشتر است.

۴.۸.۶.۵ تاخیر متوسط رسیدن بسته‌ها

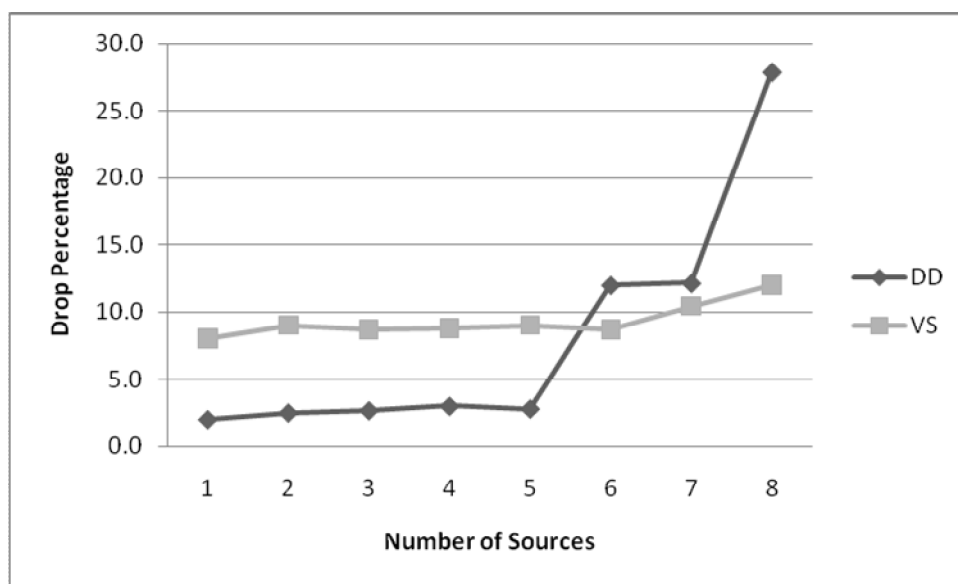


شکل ۴-۱۹: تاخیر متوسط رسیدن بسته‌ها به ازای تعداد منابع مختلف

در شکل ۴-۱۹ میزان متوسط تاخیر بسته‌های رسیده به مقصد در زمان برقراری اتصال بین گره‌های مبدا و مقصد به ازای تعداد منابع مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که در شکل مشخص است، تعداد بسته‌های رسیده در روش ODCP در تمامی حالات، نسبت به روش DD کمتر است. علت این کاهش را می‌توان در کاهش ترافیک مسیریابی در ODCP نسبت به DD دانست.

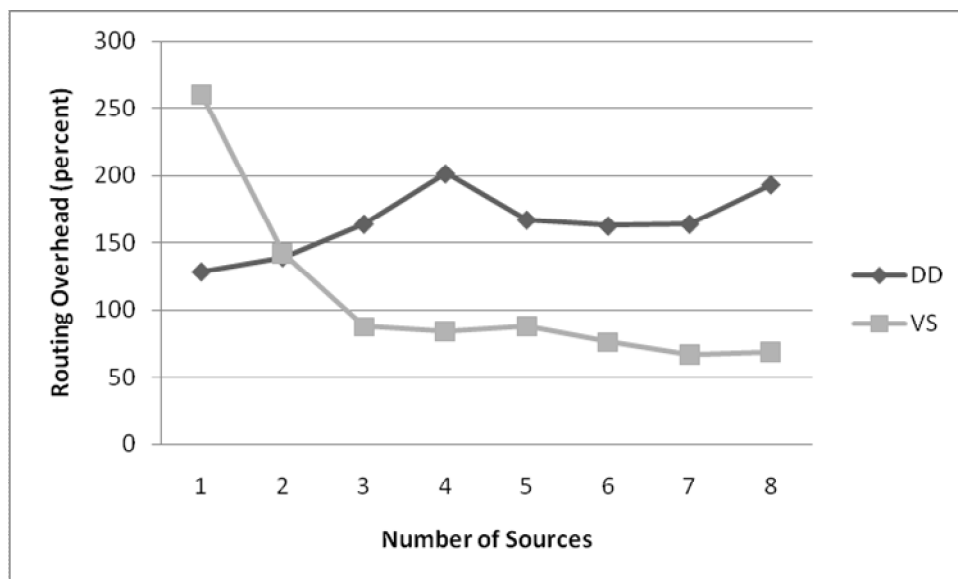
۴.۸.۶.۶ درصد میزان بسته‌های از دست رفته

در شکل ۴-۲۰ تعداد بسته‌های از دست رفته در زمان برقراری اتصال بین گره‌های مبدا و مقصد به ازای تعداد منابع مختلف با یکدیگر مقایسه شده است. همانطور که در شکل مشخص است، تعداد بسته‌های رسیده در روش ODCP به ازای افزایش تعداد منابع تغییر چندانی پیدا نخواهد کرد و علت بیشتر بودن آن نسبت به DD، زمان صرف شده برای تشکیل مسیرهای داخل خوشه است ولی در DD با افزایش تعداد منابع خصوصاً از ۵ به ۶ میزان بسته‌های ازدست رفته به میزان قابل توجهی افزایش می‌یابد.



شکل ۴-۲۰: درصد میزان بسته‌های از دست رفته به ازای تعداد منابع مختلف

۴.۸.۶.۷ سربار مسیریابی



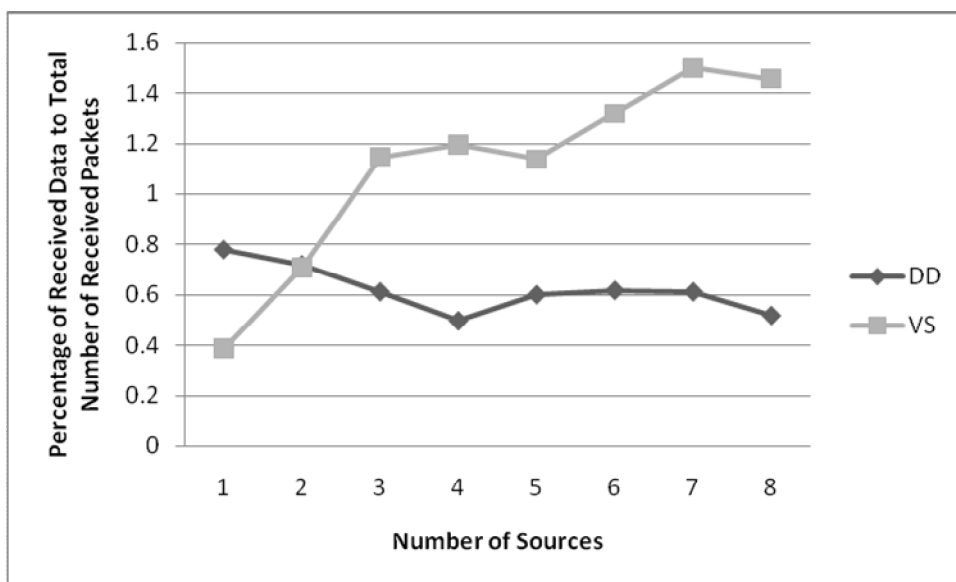
شکل ۴-۲۱: سربار مسیریابی به ازای تعداد منابع مختلف

میزان سربار مسیریابی در شکل ۴-۲۱ نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، سربار مسیریابی در ODCP به ازای تعداد منابع بزرگتر از ۳ نسبت به روش DD کمتر است. البته برای

محاسبه سربار درصد نسبت بسته‌های داده دریافت شده در گره‌ها نسبت به کل بسته‌های دریافت شده در آنها محاسبه شده است.

۴.۱.۶.۱ درصد بسته‌های رسیده به کل بسته‌های دریافت شده در گره‌های شبکه

در شکل ۴-۲۲ درصد بسته‌های رسیده به کل بسته‌های دریافت شده در گره‌های شبکه نشان داده شده است. همانطور که در این شکل نشان داده شده تعداد بسته‌های ارسالی در ODCP نسبت به DD برای منابع بیشتر از ۲ کاهش چشمگیری نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲۲: درصد بسته‌های رسیده به کل بسته‌های دریافت شده در گره‌های شبکه به ازای تعداد منابع مختلف

۵ روش MDD^۱: الگوریتم پیشنهادی چند مسیر^۲ در روش انتشار هدایت شده

۵.۱ مقدمه

همانطور که در فصل قبل مطرح شد، الگوریتم DD یک الگوریتم داده-محور^۳ در شبکه‌های حسگر است و در این الگوریتم مسیریابی از طریق تبادل داده‌های محلی بین گره‌های همسایه صورت می‌پذیرد. یکی از مشکلات این روش مکانیزم بکار رفته در این روش جهت مسیریابی است که عموماً باعث می‌گردد تا کوتاه‌ترین مسیر بین منبع و سینک (از لحاظ تعداد گام^۴) انتخاب شود. این انتخاب ممکن است در نگاه اول انتخاب معقولی به نظر برسد ولی به مرور زمان انرژی گره‌های مسیر انتخاب شده رو به اتمام می‌رود. این مشکل هنگامی تشدید می‌شود که مسیر مجاور مسیر قبلی که کوتاه‌ترین مسیر ممکن فعلی است به عنوان مسیر جایگزین انتخاب شود که با توجه به روش مسیریابی بکار رفته در DD، احتمال این امر کم نیست. بنابراین در شرایطی که بخواهیم اطلاعات را از یک نقطه دور ثابت در مدت زمان نسبتاً طولانی به گره سینک انتقال دهیم بعد از مدتی دو بخش راست و چپ شبکه از هم جدا خواهند شد و ارتباط بین آنها قطع می‌شود.

^۱ Multipath Directed Diffusion

^۲ Multipath

^۳ Data-Centric

^۴ Hop

در روش MDD به منظور توزیع بار^۱ میان گره‌های میانی در مسیر بین گره‌های مبدا و مقصد، از روش مسیریابی چند مسیر بهره برده‌ایم تا بدین وسیله بتوانیم طول عمر گره‌های میانی را افزایش دهیم و از جدا شدن قسمت‌های مختلف شبکه جلوگیری کنیم. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با این کار می‌توان طول عمر شبکه را به میزان قابل توجهی بهبود داد.

۵.۲ روش‌های پیشنهادی برای مسیریابی چند مسیر

در این بخش، سه روش جهت ایجاد مسیریابی چندگانه پیشنهاد می‌شوند که عبارتند از روش مسیریابی چندگانه ساده، مسیریابی چندگانه پیشدستانه و روش مسیریابی چندگانه حریصانه. در این بخش به معرفی و طرز کار این روش‌ها خواهیم پرداخت و روش‌هایی نیز جهت بهبود عملکرد آنها ارائه خواهیم داد. بررسی دقیق‌تر و مقایسه بین این روش‌ها را به بخش بعد موکول می‌کنیم.

۵.۲.۱ روش چند مسیر ساده SMR^2

در این روش گره مقصد (سینک) تمامی بسته‌های داده‌های اکتشافی^۳ (ED) را که از طریق همسایه‌های مختلف به مقصد می‌رسند، تقویت می‌کند (یک بسته تقویت کننده مثبت به همسایه‌ای که داده اکتشافی را فرستاده ارسال می‌کند). این روش ساده‌ترین روش ممکن برای تشکیل مسیرهای چندگانه می‌باشد. برای تشکیل مسیرهای متمایز می‌توان در نقطه‌ای که یک بسته تقویت کننده به مسیر تکراری رسید، گره دریافت کننده بسته، یک بسته تقویت کننده منفی را در جهت خلاف حرکت بسته تقویت کننده مثبت (به سمت سینک) ارسال کند. این روش در [21] مورد استفاده قرار گرفته است. البته در مرجع ذکر شده مسیریابی چند مسیر به منظور بهبود حالت ارتجاعی^۴ شبکه به کار برده شده است. در شکل ۵-۱ نحوه مسیریابی در دو حالت مسیریابی با گره‌های مشترک (الف) و مسیریابی با گره‌های متمایز (ب) در یک توپولوژی نمونه نشان داده شده است. در

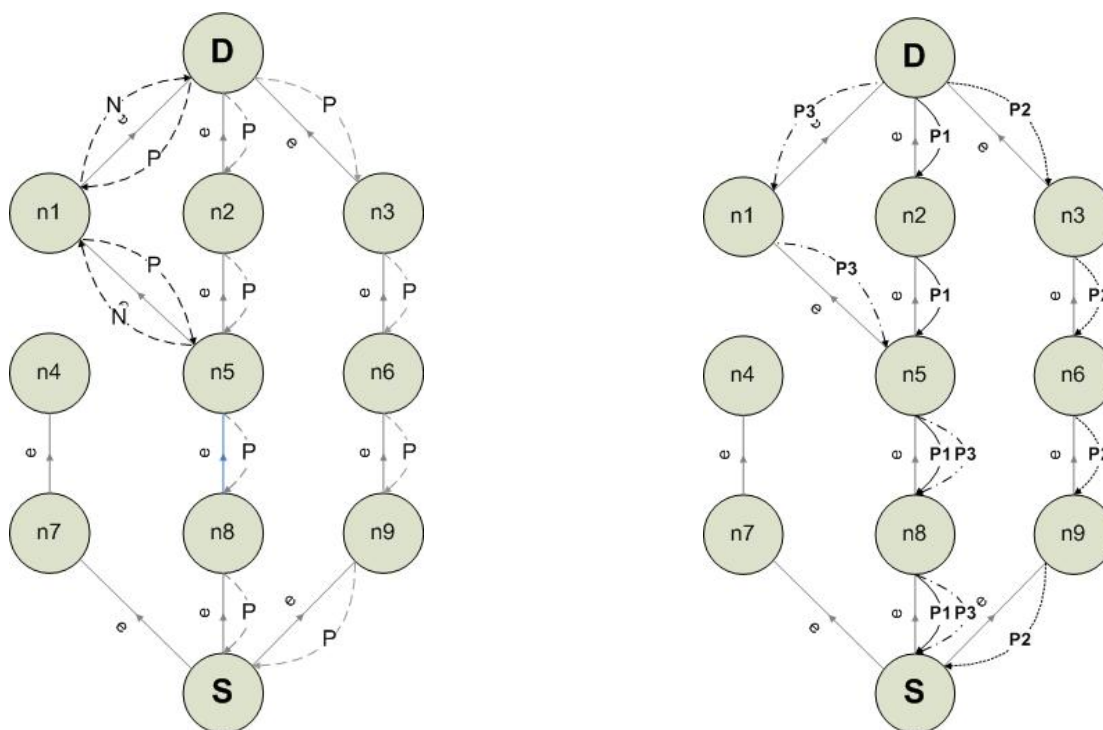
¹ Load-Balancing

² Simple Multipath Routing

³ Exploratory Data

⁴ Resiliency

این شکل P نشان دهنده بسته تقویت کننده مثبت و N نشان دهنده بسته تقویت کننده منفی و e نشان دهنده داده اکتشافی است.



الف) نحوه تشکیل مسیرهای مشترک

ب) نحوه تشکیل مسیرهای متمایز

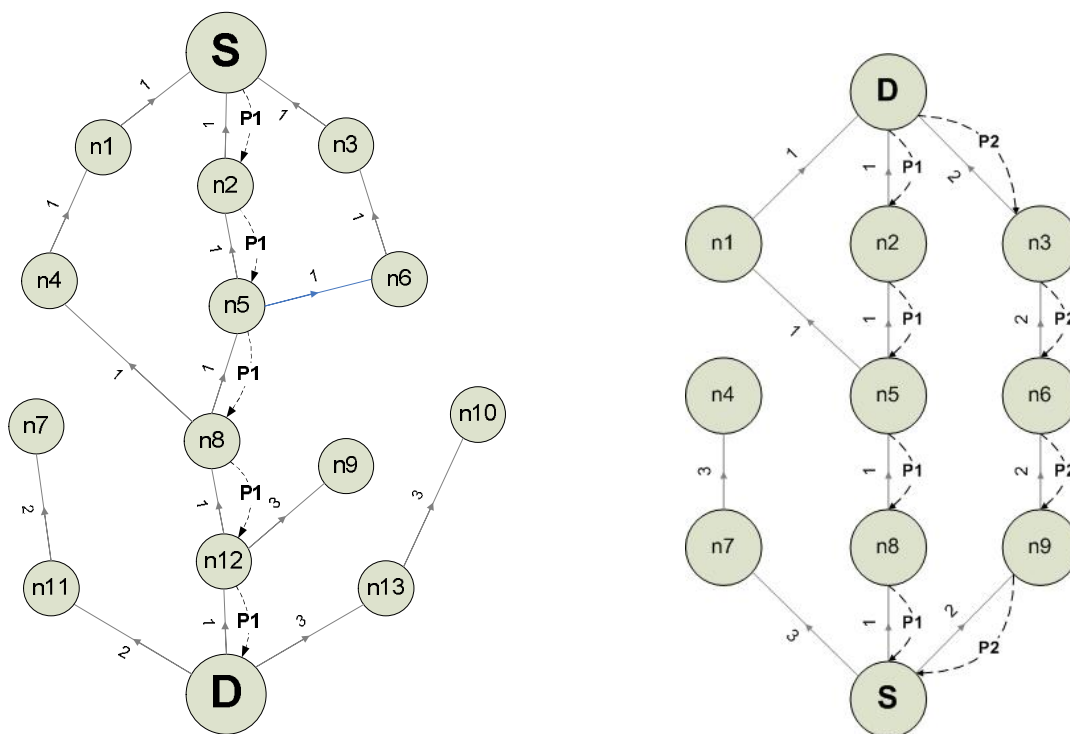
شکل ۵-۱: مسیریابی چندمسیره ساده با مسیرهای مشترک و متمایز

۵.۲.۲ روش چند مسیره پیشدستانه ^۱PMR

در این مسیریابی چندگانه، هنگام فرستادن بسته‌های ED، آنها را در منبع برچسب شناسه مسیر (MP_ID) می‌زنیم. سپس هنگام رسیدن آنها به گره مقصد، اولین گره‌ای که از هر شناسه به گره مقصد می‌رسد را تقویت می‌کنیم. در این مسیریابی از سه راهبرد متفاوت برای تشکیل مسیر می‌توان استفاده کرد که عبارتند از

^۱ Proactive Multipath Routing

تشکیل مسیرهای کاملاً متمایز و تشکیل مسیرهای شبه متمایز (مسیرهای تابیده) یا مسیرهای غیر متمایز (مسیرهای مشترک). در بخش بعدی راهکارهای برای بهبود عملکرد روش پیشدستانه مطرح شده است.



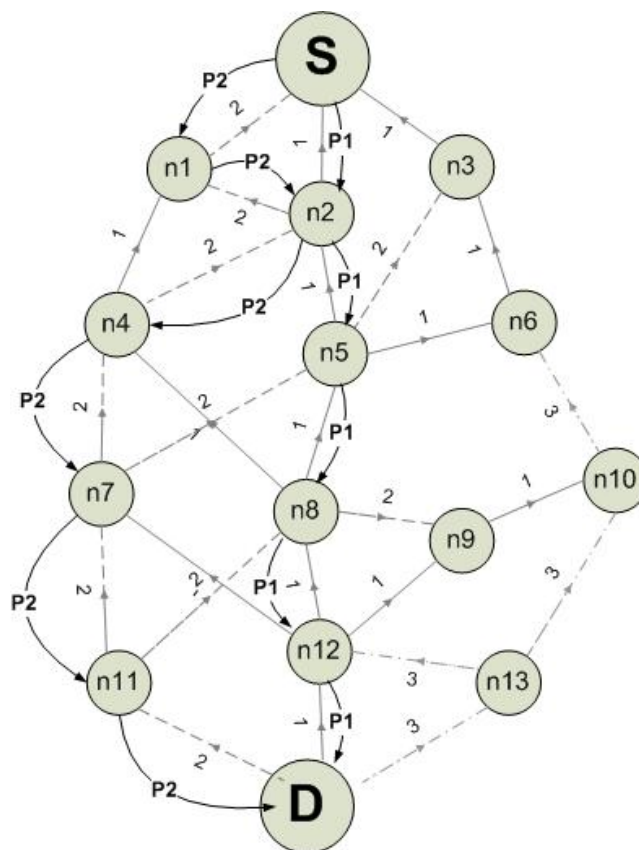
شکل ۵-۲: نمونه مسیریابی چند مسیر پیشدستانه متمایز در دو توپولوژی نمونه

۵.۲.۲.۱ روش چند مسیر متمایز^۱ DPMR

در این روش از داده‌های اکتشافی با مشخصه‌های یکسان (شناسه عدد تصادفی و شماره بسته) و شناسه مسیر متفاوت برای تشکیل مسیر استفاده می‌شود. بنابراین در این روش، مسیرهای کاملاً متمایزی در صورت امکان تشکیل خواهند شد زیرا هر گره (البته به جز گره مقصد) از داده‌های اکتشافی تکراری صرف نظر خواهد کرد. در شکل ۵-۲ نمونه مسیریابی DPMR برای دو توپولوژی نمونه نشان داده شده است. همانطور که از شکل می‌توان دریافت، مسیرهای تشکیل شده در این روش مشابه روش SMR با مسیرهای متمایز می‌باشد.

^۱ Disjoint Proactive Multipath Routing

همچنین مطابق توپولوژی سمت چپ شکل ۵-۲، این روش بدون اعمال بهبودهای مطرح شده در بخش‌های آتی، در بسیاری از حالات قادر به تشکیل مسیرهای جداگانه متمایز نمی‌باشد.



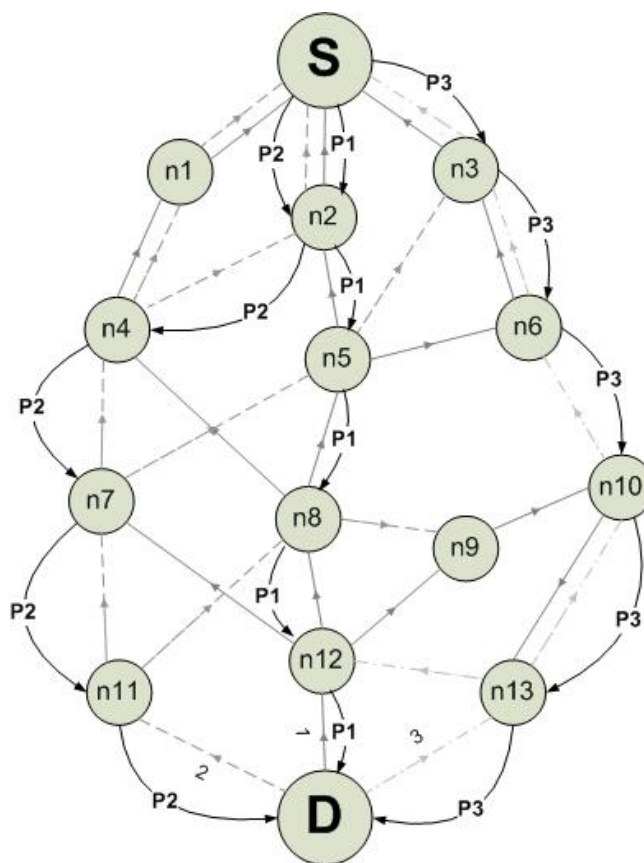
شکل ۵-۳: نمونه مسیریابی چند مسیره تابیده همراه بهبود LFI

۵.۲.۲.۲ روش چند مسیره تابیده^۱ BPMR

این روش مبتنی بر تشکیل مسیرهای شبه متمایز یا تابیده می‌باشد که در آنها ممکن است بخشی از مسیر بین مسیرهای چندگانه مشترک باشد و یا از دیدگاه دیگر، هر گره ممکن است در چند مسیر مشترک باشد که حداکثر مسیرهای مشترک بین دو گره را T می‌نامیم. هر چقدر میزان T را افزایش دهیم به همان میزان تعداد مسیرهای احتمالی تشکیل شده افزایش خواهد یافت. در این راهبرد برای تشکیل مسیرهای متفاوت، گره منبع

^۱ Braided Proactive Multipath Routing

همانند راهبرد اول، داده‌های اکتشافی را برچسب می‌زند و هر کدام را به یکی از گره‌های همسایه می‌فرستد. تفاوت این راهبرد با راهبرد اول در این نکته است که در این روش به جای استفاده از داده‌های اکتشافی یکسان (با شناسه‌های مسیر متفاوت) از داده‌های اکتشافی متفاوتی استفاده می‌کنیم به این صورت که عدد تصادفی شناسه بسته را با شناسه مسیر جمع می‌کنیم. این عمل باعث می‌شود تا بسته‌های تکراری با شناسه‌های متفاوت در یک گره حذف نشوند. همچنین هر بسته حداکثر T داده اکتشافی متفاوت را به گره‌های همسایه منتقل می‌کند. بنابراین در این راهبرد هر گره می‌تواند در حداکثر T مسیر متفاوت عضو باشد. در شکل ۵-۳ نمونه مسیریابی BPMR همراه بهبود LFI که در بخش ۵.۳.۱.۳ توضیح داده شده، آورده شده است.



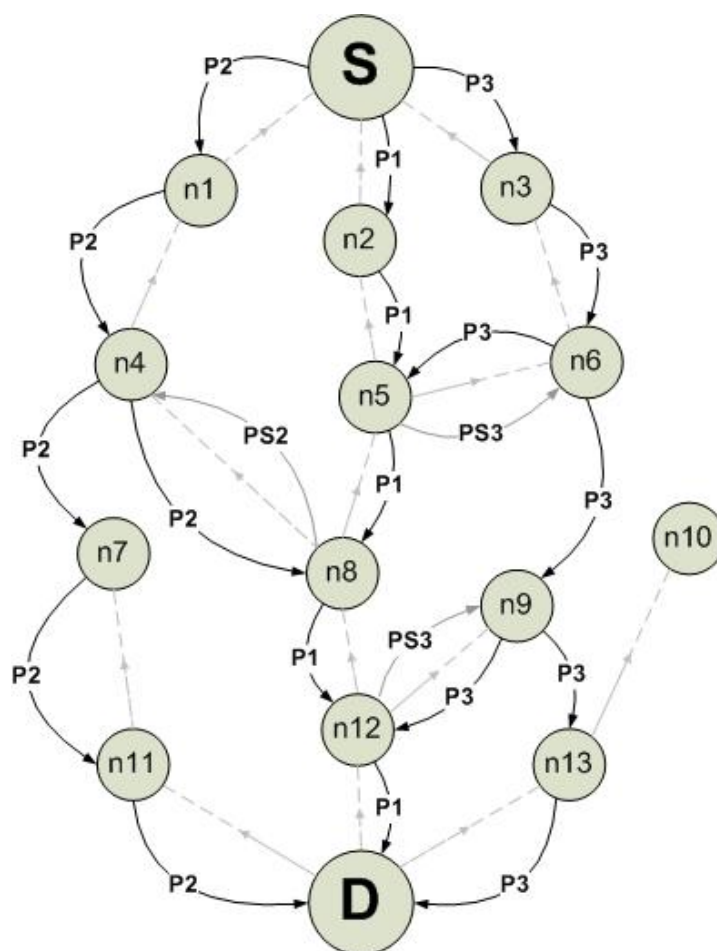
شکل ۵-۴: نمونه روش مسیریابی چند مسیره پیشدستانه مشترک (SPMR)

۵.۲.۲.۳ روش چند مسیر مشترک $SPMR^1$

در روش BPMR هر گرادیان تنها می‌تواند متعلق به یک مسیر باشد و تنها گره‌ها می‌توانند در مسیرهای متفاوت مشترک باشند. روش BPMR بدون اعمال بهبودهای مطرح شده در بخش بعدی مانند راهکار ارسال محدود، عملاً مشابه روش DPMR رفتار خواهد کرد زیرا یک گره به محض دریافت یک بسته ED جدید، آن را به تمامی همایگانش به صورت سیل‌آسا ارسال خواهد کرد. بنابراین احتمال اینکه یک گره عضو بیش از یک مسیر باشد در روش BPMR به صورت پایه وجود ندارد.

روش SPMR مشابه روش BPMR است تنها با این تفاوت که علاوه بر گره‌ها، در این روش گرادیان‌ها نیز می‌توانند بین مسیر مشترک باشند. بنابراین در این روش احتمال تشکیل شدن مسیرهای متفاوت نسبت به روش‌های قبلی بیشتر است ولی این امر باعث افزایش قابل توجهی در سربار الگوریتم می‌شود. در شکل ۴-۵ نمونه مسیریابی SPMR در یک توپولوژی نمونه نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود تعداد مسیرهای تشکیل شده در این روش نسبت به روش‌های دیگر پیش‌دستانه بهبود می‌یابد ولی این بهبود به قیمت افزایش قابل توجه در سربار بسته‌های ED ارسال شده بدست خواهد آمد.

¹ Shared Proactive Multipath Routing



شکل ۵-۵: نمونه مسیریابی چند مسیره حریصانه

۵.۲.۳ روش چند مسیره حریصانه^۱ GMR

در این روش تنها از یک نوع داده اکتشافی برای تشکیل مسیر استفاده می‌شود و برای تشکیل مسیرهای چندگانه، بسته‌های تقویت کننده مسیر، با شناسه‌های مسیر متفاوت در مسیر برگشت داده‌های اکتشافی ارسال می‌شوند. در این روش اگر بسته‌ای در مسیر برگشت (که هنگام ارسال داده اکتشافی به سمت مقصد، ذخیره شده است) به گره‌ای رسید که قبلاً آن بسته را ارسال کرده بود (البته با شناسه مسیر متفاوت)، به جای صرف نظر کردن از بسته، یک پیغام POSITIVE_REINFORCEMENT_ALREADY_SENT (PS) به گره

^۱ Greedy Multipath Routing

ارسال کننده بسته، می‌فرستد و آن را از مسدود بودن مسیر آگاه می‌کند. در این هنگام این گره می‌تواند بسته را به یکی دیگر از گره‌های همسایه ارسال کند.

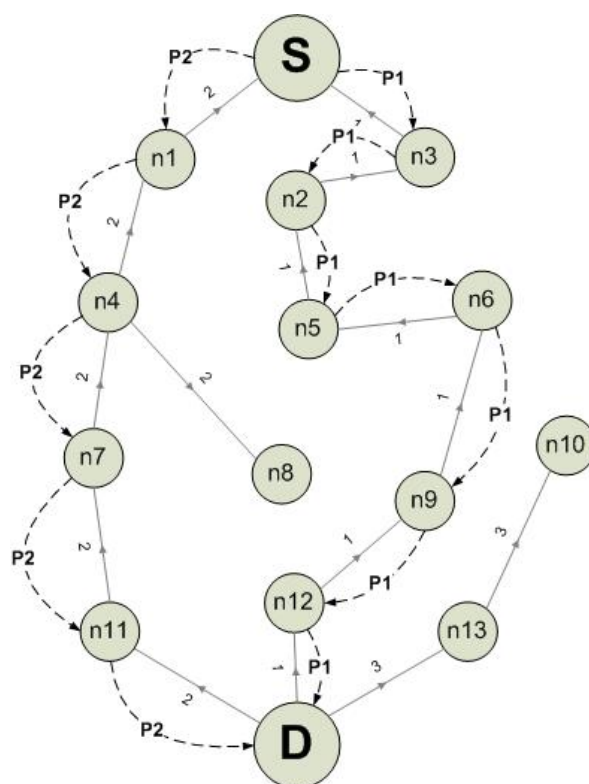
برای انتخاب مسیر بعدی، چند ملاک وجود دارد. اولین معیار انتخاب مسیری است که قبلاً انتخاب نشده باشد. برای این منظور، هنگام ارسال یک پیغام تقویت مسیر، مسیر در نظر گرفته شده را در لیستی داخل گره ذخیره می‌کنیم که در صورت تداخل مسیر انتخاب شده با مسیر دیگر، این مسیر مجدداً انتخاب نشود. همچنین این مسیر نباید با مسیر قبلی پیغام یکسان باشد. سایر گره‌ها به عنوان مسیر بعدی پیغام، قابل انتخاب هستند ولی این انتخاب نقش تعیین کننده‌ای در تعداد و طول مسیرهای تشکیل شده ایفا خواهد کرد. یک روش هوشمندانه برای انتخاب گره بعدی، انتخاب گره‌ای است که به گره منبع نزدیک‌تر باشد یا به عبارت دیگر، دیرتر از سایر گره‌های همسایه، داده اکتشافی را به سمت مقصد ارسال کرده باشد. برای داشتن این اطلاعات، هنگام ارسال داده‌های اکتشافی به سمت گره مقصد، زمان ارسال پیغام را در گرادیان انتخاب شده ذخیره می‌کنیم تا در صورت نیاز بتوانیم از این اطلاعات استفاده کنیم. نهایتاً در هنگام ارسال کردن یک پیغام تقویت کننده مسیر، در صورتی که نتوانیم راهی به سمت گره منبع پیدا کنیم، یک پیغام تقویت منفی به سمت گره مقصد ارسال می‌کنیم تا مسیر ناموفق تشکیل شده، مانع مسیرهای بعدی نگردد. در شکل ۵-۵ نمونه مسیریابی GMR نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود در این روش بسته‌های ED مشابه روش SMR منتشر می‌شوند ولی در هنگام مسیریابی بسته‌های PR به صورت حریصانه به سمت مقصد ارسال می‌شوند.

۵.۳ راهکارهای بهبود مسیریابی پیشدستانه

۵.۳.۱.۱ راهکار ارسال تصادفی^۱ RFI

برای بهبود عملکرد روش‌های پیشدستانه می‌توان از ایده مطرح شده در الگوریتم مسیریابی شایعه‌پراکنی [19] استفاده کرد یعنی هر گره بجای ارسال بسته به تمامی همسایه‌ها این کار را با احتمال P انجام می‌دهد یعنی بعضی از گره‌ها ممکن است بسته ED را به همسایه‌ها ارسال نکنند.

^۱ Random Forward Improvement



شکل ۵-۶: نمونه یک مسیر یابی DPMR همراه با بهبود RFI

در شکل ۵-۶ نمونه یک مسیریابی DPMR همراه با بهبود RFI نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در این روش تعداد مسیرهای تشکیل شده نسبت به روش DPMR در حالت پایه افزایش پیدا کرده است.

۵.۳.۱.۲ راهکار ارسال با تاخیر تصادفی ^۱RDI

در این راهکار هر گره قبل از ارسال بسته ED، به اندازه یک عدد تصادفی که مقدار آن حداکثر برابر با D می‌باشد صبر می‌کند. البته مقدار این عدد تصادفی باید در حدی باشد تا تاخیر ناشی از این عمل قابل صرف نظر کردن باشد.

^۱ Random Delay Improvement

۵.۳.۱.۳ راهکار ارسال محدود^۱ LFI

در این روش هر گره بسته ED دریافتی را بجای ارسال به تمامی همسایه‌ها به صورت سیل آسا تنها به تعداد محدودی (برابر با پارامتر F) از همسایه‌ها ارسال می‌کند. این عمل به میزان بسیاری سربار ناشی از انتشار بسته‌های ED را کاهش می‌دهد. علاوه بر این با استفاده از این روش تعداد مسیرهای تشکیل شده در الگوریتم‌های مسیریابی نیز بهبود قابل توجهی خواهد یافت. برای بدست آمدن بهترین نتایج در این روش می‌توان بسته‌های ED به همسایه‌هایی ارسال کرد که به سینک نزدیک‌ترند. برای پیدا کردن این همسایه‌ها می‌توان از برچسب زمانی ثبت شده بر روی گرادیان‌ها که هنگام انتشار بسته‌های علاقه‌مندی بر روی آنها زده می‌شود استفاده کرد.

۵.۳.۱.۴ راهکار ارسال محدود به صورت سیل آسا^۲ $BLFI$

در روش LFI به منظور ارسال بسته‌های ED به جای ارسال سیل آسا به تمامی همسایه‌ها، بسته‌ها را به همسایه‌های منتخب به صورت جداگانه ارسال می‌کنیم. برای کاهش سربار ناشی از ارسال بسته‌های ED تکراری از روش $BLFI$ استفاده می‌شود که در آن بسته ED به صورت سیل آسا ارسال می‌شود ولی شناسه همسایه‌های منتخب در داخل محتویات بسته^۳ ذخیره می‌گردد. بنابراین در این حالت تمامی همسایه‌ها، بسته ED را دریافت می‌کنند ولی همسایه‌های انتخاب نشده از بسته صرف‌نظر می‌کنند. با این روش طول بسته اندکی افزایش می‌یابد ولی تعداد بسته‌های ED ارسال شده کاهش قابل توجهی پیدا خواهد کرد.

۵.۳.۱.۵ راهکار ترکیبی^۴ HI

در این روش می‌توان از ترکیب راهکارهای ارائه شده در بالا استفاده کرد مانند استفاده همزمان از احتمال F و تاخیر D برای انتشار بسته‌های ED. همچنین برای ارسال محدود شده بسته‌های ED می‌توان روش‌های مختلفی به کار برد. یک روش ساده برای این منظور ارسال بسته‌های ED به صورت متوالی به F همسایه نزدیک‌تر به مقصد است که در بالا مطرح شد. در روش دیگر می‌توان از احتمال P_s برای ارسال به نزدیکترین همسایه استفاده کرد و برای ارسال‌های بعدی P_s را به صورت نمایی کاهش داد. البته این کاهش

^۱ Limited Forward Improvement^۲ Broadcast Limited Forward Improvement^۳ Payload^۴ Hybrid Improvement

بهتر است در صورتی انجام پذیرد که بسته در مرحله قبلی ارسال شده باشد. استفاده از احتمال P_s باعث می شود تا انتخاب مسیرهای تا حدی جنبه تصادفی داشته باشد و در هر مرحله بعد از انتشار مجدد بسته های علاقه مندی و تشکیل مجدد مسیر، احتمال تشکیل مسیرهای تکراری کاهش پیدا کند و توازن بار در گره های میانی بهبود یابد. روش دیگر ارسال بسته ها با تاخیر متغیر است یعنی می توان در ابتدا بسته ED را به اولین همسایه ارسال کرد و بعد این عمل را برای همسایه بعدی بعد از یک تاخیر تصادفی با حداکثر مقدار D_s انجام داد. سپس برای ارسال بسته های بعدی می توان D_s را به صورت خطی افزایش داد. این کار نیز مانند در نظر گرفتن احتمال P_s باعث بهبود توازن بار در گره های شبکه می گردد.

۵.۳.۱.۶ راهکار مسیریابی آگاه از انرژی EAF^۱

مسیرهای چندگانه تشکیل شده در زمان مسیریابی تا حد زیادی به انرژی تک تک گره های طول مسیر وابسته هستند و تنها با از کار افتادن یک گره در طول مسیر، کل مسیر بلا استفاده خواهد ماند. البته با استفاده از مسیرهای مشترک یا مسیرهای تابیده، سعی شده تا حدی از گره های باقیمانده مسیر استفاده شود بنابراین بهتر است به منظور افزایش طول عمر مسیر، در هنگام تشکیل مسیر اقداماتی صورت پذیرد تا احتمال حضور گره های کم انرژی در آن کاهش یابد.

یک راهکار مناسب برای کاهش احتمال انتخاب گره های کم انرژی، تغییر دادن مقدار D در روش RDI یا مقدار P در روش RFI است. با توجه به میزان انرژی باقیمانده گره می توان مقدار D را افزایش داد یا مقدار P را کاهش داد. برای انتخاب دقیق تر مقادیر D و P ، می توان در داخل بسته های ED میانگین انرژی مسیر طی شده تا گره جاری را معیاری برای انرژی مناسب گره در نظر گرفت و ضریب نسبت انرژی گره به انرژی میانگین مسیر C_e را در احتمال P ضرب کرد یا تاخیر D را بر آن تقسیم کرد. در رابطه (۲)، e_i مقدار انرژی باقیمانده گره i و e_{mean} مقدار انرژی میانگین مسیر تا گره i است.

$$C_e = e_i / e_{mean} \quad (2)$$

در مسیریابی LFI نیز می توان مقدار F را با توجه به میزان C_e کاهش یا افزایش داد. مثلاً اگر میزان C_e از مقدار آستانه E_{th} کمتر باشد می توان F را برابر صفر در نظر گرفت تا گره جاری از مسیر حذف شود.

^۱ Energy Aware Forwarding

۵.۴ بهبود مسیریابی حریصانه بوسیله مسیریابی آگاه از انرژی

برای بهبود مسیریابی چندگانه از لحاظ انرژی، می‌توان در بسته‌های تقویت کننده مثبت PR از برچسب انرژی استفاده کرد. در این حالت گره‌های دارای ثابت C_e کمتر از مقدار آستانه E_{th} می‌توانند به گرهی فرستنده PR، یک پیغام PS ارسال کنند تا این گره‌ها از مسیر حذف شوند.

۵.۵ بررسی و مقایسه روش‌های مطرح شده

در این قسمت مروری خواهیم داشت بر نحوه عملکرد هر یک از روش‌های مطرح شده در قسمت قبل و آنها را با یکدیگر مقایسه خواهیم کرد.

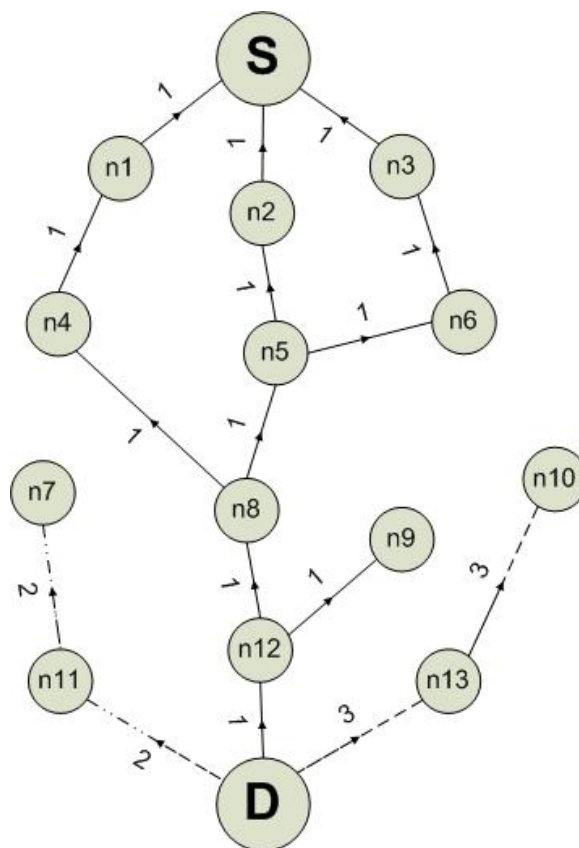
کارایی روش مسیریابی چندگانه ساده تا حد زیادی به توپولوژی شبکه و موقعیت گره‌های منبع و مقصد نسبت به هم بستگی دارد. مشکل اصلی این روش اینست که احتمال بوجود آمدن مسیرهای متمایز از هم، بسیار پایین است و در اغلب حالات، مسیرهای متفاوت پس از گذشتن از چند گام به یک مسیر واحد همگرا می‌شوند. علت اصلی این مشکل به ماهیت ارسال بسته‌های ارسال شده به روش سیل‌آسا بازمی‌گردد. از آنجایی که در شبکه‌های بیسیم از رسانه^۱ مشترکی برای ارسال بسته‌ها استفاده می‌شود، معمولاً در منبع که در ابتدا بسته داده اکتشافی را به صورت سیل‌آسا به تمام گره‌های همسایه ارسال می‌کند، احتمال تصادم بین بسته‌ها در رسانه مشترک بالاتر است ولی اولین بسته‌ای که بتواند از فضای پر از تصادم اطراف گره منبع، خودش را به سمت گره مقصد برساند، در فضای آزاد به سرعت منتشر می‌شود و همه فضای اطراف گره مقصد و مسیرهای منتهی به آنجا را قبل از رسیدن سایر بسته‌ها، پیمایش می‌کند که این فرایند را "مشکل بسته پیش‌تاز" می‌نامیم. به همین دلیل هم احتمال رسیدن سایر بسته‌ها به گره مقصد از سایر مسیرهای ممکن، نسبتاً پایین است.

همچنین قابلیت کنترل پذیری این روش مسیریابی نسبتاً پایین است و به جز تعداد مسیرهای اولیه تقویت شده، هیچ پارامتر دیگری برای کنترل مسیرهای چندگانه، در دسترس نداریم و همچنین در این روش تشخیص کیفیت مسیرهای متمایز تشکیل شده برای گره منبع امکان پذیر نمی‌باشد. از آنجایی که هدف اصلی ما در این رساله، توازن بار بین گره‌های مبدا و مقصد می‌باشد، متمایز بودن مسیرهای تشکیل شده برای ما اهمیت بسیاری خواهد داشت.

مسیریابی چندگانه پیش‌دستانه برای تشکیل مسیرهای متمایز نیز در حالت پایه تا حد زیادی شبیه روش اول است با این تفاوت که در این روش از آنجایی که بسته‌های داده اکتشافی با شناسه مسیر برچسب زده

^۱ Medium

می‌شوند، گره مقصد می‌تواند تنها مسیرها دارای برچسب‌های متفاوت را تقویت کند یعنی در این حالت می‌توانیم در گره مقصد، از تمایز مسیرهای چندگانه و تعداد آنها، اطمینان حاصل کنیم.



شکل ۵-۷: مشکل بسته پیش‌تاز در یک توپولوژی نمونه

همانطور که واضح است، مشکل بسته پیش‌تاز در این روش همچنان مانع از تشکیل مسیرهای متمایز گردد. همچنین مشکل دیگر این روش اینست که به دلیل مشکل بسته پیش‌تاز، حتی در صورت تشکیل مسیرهای متمایز، این مسیرها نسبت به مسیر اولیه انحراف زیادی خواهند داشت که باعث افزایش تعداد گام‌های مسیر و به تبع آن، افزایش تاخیر و انرژی مصرف شده جهت انتقال داده‌ها در طول مسیر خواهد شد. برای حل این مشکل می‌توانیم از بهبودهای مطرح شده در قسمت‌های قبل استفاده کنیم. در شکل ۵-۷ بسته با MP_ID برابر یک، بسته پیش‌تاز است و همانطور که در شکل مشاهده می‌شود این بسته بیشتر فضای بین گره منبع و مقصد را قبل از بسته‌های دیگر پیمایش می‌کند.

تاخیر D در روش RDI در بسیاری حالات باعث می شود تا بسته پیشنهادی بتواند تمامی گره های مسیر را قبل از سایر بسته ها پیمایش کند و تا حد زیادی احتمال تشکیل مسیرهای متمایز را افزایش می دهد. روش RFI نیز تا حد زیادی احتمال تشکیل مسیرهای متمایز را بهبود می بخشد (بیشتر از روش RDI) ولی در عوض، در این روش احتمال پیدا شدن مسیرهای بهینه به سمت مقصد کاهش پیدا می کند و مسیرهای طولانی تر و ناهموارتری نسبت به حالت قبلی تشکیل خواهند شد. ایراد دیگر این روش اینست که بر خلاف روش های قبلی، این روش پیدا شدن حداقل یک مسیر را در صورت وجود داشتن تضمین نمی کند. با کم کردن مقدار P اغتشاش در مسیرهای تشکیل شده افزایش می یابد و با انتخاب مقادیر کوچک برای P احتمال پیدا شدن مسیری بین مبدا و مقصد به شدت کاهش می یابد مگر اینکه از روش مسیریابی مشترک با مقدار T بیشتر از ۲ استفاده شود که این عمل نیز به دلیل افزایش قابل توجه سربار و اغتشاش بیش از حد مسیرهای تشکیل شده در این حالت، عملاً مقرون به صرفه نیست.

در مسیریابی چندگانه پیشدستانه برای تشکیل مسیرهای شبه متمایز، با اجازه دادن به گره ها جهت انتقال حداکثر T پیغام تکراری بسته های داده اکتشافی، با شناسه های مسیر متفاوت، شانس تشکیل مسیرهای بیشتر در مسیریابی چندگانه را تا حد زیادی افزایش خواهد داد و طول مسیرهای تشکیل شده در این روش نیز نسبت به راهبرد اول، کوتاه تر خواهد بود. ایراد اساسی در این روش، عدم تمایز بین مسیرهای متفاوت است که در برخی موارد ممکن است اثر توازن بار را در بین مسیرهای مختلف را بی اثر کند. همچنین ایراد اساسی دیگر در این روش سربار زیادی است که به علت پراکندن بسته های تکراری، بوجود خواهد آمد و تعداد بسته های داده های اکتشافی با ضریب T ، افزایش خواهند یافت که این امر سربار بسیاری، برای این الگوریتم ایجاد خواهد کرد و عملاً انتخاب T را به مقادیر کمتر از ۲، محدود خواهد کرد.

با استفاده از روش RFI می توان الگوریتم SPMR را به میزان قابل توجهی بهبود داد. مثلاً با انتخاب T برابر ۲ و P برابر ۰.۳، می توان تعداد مسیرهای تشکیل شده را به میزان زیادی افزایش داد و همچنین سربار ناشی از افزایش تعداد داده های اکتشافی منتقل شده را به میزان زیادی کاهش داد ولی در عوض با کاهش میزان P ، همانطور که در بالا مطرح شد، کیفیت مسیرهای تشکیل شده کاهش خواهد یافت.

همانطور که قبلاً مطرح شد، الگوریتم BPMR تنها هنگام استفاده از روش LFI می تواند مسیرهای تاییده تشکیل دهد و در غیر اینصورت مشابه روش DPMR عمل خواهد کرد. با استفاده از این روش تعداد

مسیرهای تشکیل شده نسبت به روش‌های قبلی افزایش می‌یابد و توزیع بار نیز به صورت بهتری نسبت به روش DPMR (همراه بهبود LFI) صورت می‌گیرد. این روش را می‌توان به عنوان کارآمدترین روش مسیریابی چند مسیر پیشنهادی لقب داد.

در روش مسیریابی حریصانه بر خلاف روش پیشنهادی نیازی به زدن برچسب شناسه مسیر بر بسته‌های داده‌های اکتشافی که به صورت سیل‌آسا در کل شبکه پخش می‌شوند نمی‌باشد، که همین امر در شبکه‌های بزرگ می‌تواند سربار الگوریتم را تا حدی کاهش دهد. در عوض در این الگوریتم، پیغام‌های تقویت کننده مسیر، با شناسه مسیر برچسب زده می‌شوند. از آنجایی که این پیغام‌ها تنها در مسیر برگشت به سمت منبع منتشر می‌شوند سربار زیادی ایجاد نخواهند کرد. تنها سربار ایجاد شده در این روش، پیغام‌های تبادلی بین گره‌ها در صورت تکراری بودن مسیر است. هر چقدر بخواهیم مسیرهای بیشتری ایجاد کنیم این سربار افزایش پیدا خواهد کرد.

در این روش تعداد مسیرهای متمایز ایجاد شده نسبت به روش‌های قبلی بیشتر است و تقریباً به تعداد همسایه‌های گره مبدا و مقصد می‌توان مسیر متمایز ایجاد کرد بنابراین با افزایش تراکم گره‌ها در شبکه، تعداد مسیرهای متمایز قابل تشکیل در این روش، افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین مسیرهای تشکیل شده از لحاظ تعداد گام ایجاد شده به مسیر بهینه بسیار نزدیکند که دلیل این امر، انتخاب مناسب گام بعدی مسیر، در هنگام برخورد دو مسیر است. برای کاهش این سربار می‌توان از روش LFI هنگام انتشار بسته‌های ED استفاده کرد. این کار علاوه بر کاهش سربار ناشی از انتشار مجدد بسته‌های PR هنگام تکراری بودن مسیر، سربار انتشار بسته‌های ED را هم به میزان قابل توجهی کاهش خواهد داد.

شاید بهترین مزیت روش GMR در مقایسه با روش‌های پیشنهادی، قابلیت انطباق آن با الگوریتم کشش یک مرحله‌ای (OPP) می‌باشد. از آنجایی که روش‌های پیشنهادی بدون استفاده از بهبود LFI، کارایی چندانی ندارند و این بهبود نیز در هنگام استفاده از مسیریابی OPP قابل استفاده نیست، استفاده این روش‌ها تنها در مسیریابی کشش دو مرحله‌ای (TPP) مقرون به صرفه است.

در بخش شبیه‌سازی، تمامی روش‌های بالا در چند سناریوی نمونه، از لحاظ تعداد و کیفیت مسیرهای چندگانه تشکیل شده، با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

۵.۶ نحوه پیاده سازی

در این قسمت نحوه پیاده سازی، شرایط شبیه سازی، سناریوهای مورد استفاده و مقدار پارامترهای در نظر گرفته شده در آنها شرح داده خواهد شد.

۵.۶.۱ بستر پیاده سازی

برای پیاده سازی الگوریتم MDD مانند الگوریتم ODCP از کد diffusion 3.20 که همراه بسته نرم افزاری ns 2.30 [22] عرضه شده، استفاده شده است. همچنین در این الگوریتم از کد فیلتر Two-Phase-Pull به عنوان کد پایه MDD استفاده شده است.

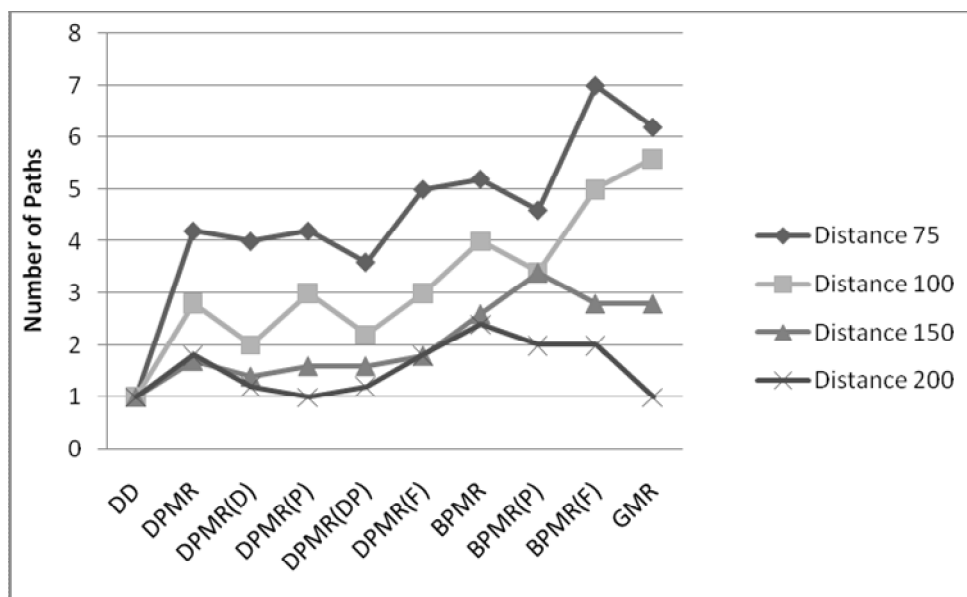
۵.۶.۲ سناریوهای شبیه سازی

برای ارزیابی تعداد و کیفیت مسیرهای تشکیل شده در الگوریتم MDD، یک شبکه گرید 10×10 با تعداد ۱۰۰ گره مورد استفاده قرار گرفته است. برای بررسی تاثیر تراکم شبکه در تعداد مسیرهای تشکیل شده، فاصله بین گره های مجاور در شبکه به ترتیب ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتر در نظر گرفته شده و روش های مطرح شده بر روی این شبکه ها مورد بررسی قرار گرفته است. از آنجایی که بیشتر روش های مطرح شده جنبه تصادفی دارند، هر یک از روش های مطرح شده پنج بار شبیه سازی شده و میانگین مقادیر بدست آمده در شبیه سازی ها برای بررسی عملکرد هر روش مورد استفاده قرار گرفته است. به منظور کاهش پیچیدگی و مقایسه ساده تر بین روش های مطرح شده، تنها از یک منبع و یک سینک در سناریوهای مطرح شده استفاده شده است.

برای بررسی کارایی هر روش پارامترهایی مانند تعداد مسیرهای تشکیل شده، میانگین طول تمام مسیرها، طول کوتاه ترین و طولانی ترین مسیر ثبت شده است و همچنین برای بررسی میزان سربار هر روش، تعداد بسته های ارسالی غیر از بسته های داده جهت انتقال ۱۰۰ بسته داده از منبع به مقصد مورد شمارش قرار گرفته اند.

۵.۷ ارزیابی و بررسی نتایج شبیه‌سازی

در این بخش عملکرد روش‌های مطرح شده در بخش ۵.۲ به همراه بهبودهای ارائه شده در بخش ۵.۳ در چهار سناریو با تراکم گره‌های مختلف در شبکه با یکدیگر مقایسه می‌شوند.



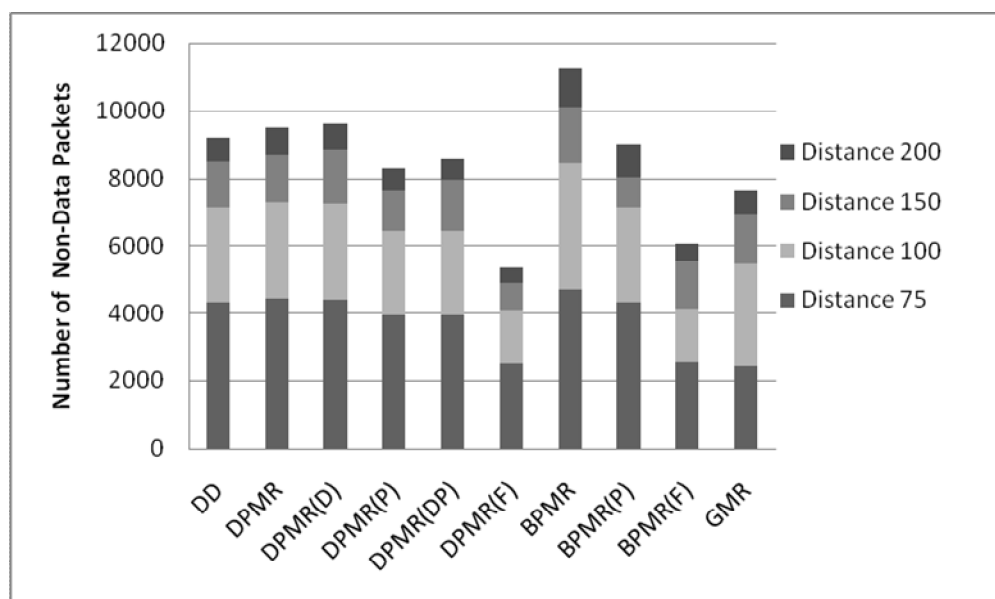
شکل ۵-۸: تعداد مسیرهای تشکیل شده با استفاده از الگوریتم‌های مطرح شده

در شکل ۵-۸ میانگین تعداد مسیرهای تشکیل شده در الگوریتم‌های DD، DPMR، DPMR با انواع روش‌های بهبود، روش BPMR و انواع بهبود یافته آن، روش SPMR و انواع بهبود یافته آن و نهایتاً روش GMR در چهار سناریوی مختلف در گرید 10×10 با فواصل ۷۵، ۱۰۰، ۱۵۰ و ۲۰۰ سانتیمتر آورده شده است. همانطور که در شکل مشخص است، در بین روش‌های مطرح شده، روش DPMR و BPMR همراه بهبود LFI نسبت به سایر روش‌ها عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهند.

همچنین همانطور که واضح است از شکل ۵-۸ در می‌یابیم که تعداد مسیرهای تشکیل شده با افزایش تراکم گره‌ها در شبکه بهبود قابل ملاحظه پیدا خواهند کرد.

در شکل ۵-۹ سربار هر کدام از الگوریتم‌های فوق بوسیله شمارش بسته‌های غیر داده به کار رفته در ارسال ۱۰۰ بسته داده، محاسبه شده است. همانطور که از شکل می‌توان دریافت، سربار روش‌های مبتنی بر

بهبود LFI نسبت به سایر روش‌ها کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. البته این کاهش با افزایش تعداد گره‌های شبکه و فاصله بین گره‌های منبع و سینک بیشتر خود را نشان خواهد داد.



شکل ۵-۹: سربار بسته‌های مسیریابی برای دریافت ۱۰۰ بسته داده در سینک

همچنین با بررسی شکل ۵-۹ در می‌یابیم که روش BPMR به ازای افزایش تعداد مسیرها، سربار مسیریابی را تا حدی افزایش می‌دهد که امری قابل پیش‌بینی بود.

در جدول ۵-۱ میانگین تعداد و کیفیت مسیرهای تشکیل شده در روش‌های مختلف مسیریابی به ازای پنج بار شبیه‌سازی آورده شده است.

جدول ۵-۱: مقایسه تعداد و کیفیت مسیرهای تشکیل شده در روش‌های مسیریابی مختلف

Distance	Multi-Path-Protocol	Improvements				Shared	Path Length (hops)			Hops
		D	P	F	T		Min.	Max.	Ave.	
75	Directed Diffusion	n/a	n/a	n/a	n/a	0	3	3	3	1
75	Proactive (Base)	n/a	n/a	n/a	n/a	0	3	4	3.3	4.2
75	Disjoint Proactive (Improved)	50	1	n/a	n/a	0	3	4.8	3.5	4
75	Disjoint Proactive (Improved)	0	0.7	n/a	n/a	0	3	4.6	3.5	4.2
75	Disjoint Proactive (Improved)	50	0.7	n/a	n/a	0	3	5.2	3.9	3.6
75	Disjoint Proactive (Improved)	0	1	2	n/a	0	3	3.4	3.1	5
75	Braided Proactive	0	1	n/a	2	1	3	3.6	3.7	5.2
75	Braided Proactive	0	0.5	n/a	2	1.6	3.6	6	4.4	4.6
75	Braided Proactive	0	1	2	2	1.2	3	3.4	3.1	7
75	Greedy	0	1	n/a	n/a	0	3.6	7.6	5.1	6.2
100	Directed Diffusion	n/a	n/a	n/a	n/a	0	5	5	5	1
100	Proactive (Base)	n/a	n/a	n/a	n/a	0	3.8	7.8	5.5	2.8
100	Disjoint Proactive (Improved)	50	1	n/a	n/a	0	4.6	6.6	5.6	2
100	Disjoint Proactive (Improved)	0	0.7	n/a	n/a	0	4.4	8.6	6.5	3
100	Disjoint Proactive (Improved)	50	0.7	n/a	n/a	0	5.2	7.4	6.4	2.2
100	Disjoint Proactive (Improved)	0	1	2	n/a	0	4	4.4	4.1	3
100	Braided Proactive	0	1	n/a	2	2.6	4.6	8.4	6.5	4
100	Braided Proactive	0	0.5	n/a	2	2.6	5.4	10	7.4	3.4
100	Braided Proactive	0	1	2	2	2.4	4	4.2	4.1	5
100	Shared Proactive	0	1	n/a	2	2	4	6.4	3.4	3.4
100	Shared Proactive (Improved)	0	0.5	n/a	2		5.8	14	9.7	5.8
100	Shared Proactive (Improved)	50	0.3	n/a	2	5.8	5.8	14.8	9.4	7.6
100	Greedy	0	1	n/a	n/a	0	4.8	17.2	9.1	5.6
150	Directed Diffusion	n/a	n/a	n/a	n/a	0	13	13	13	1
150	Proactive (Base)	n/a	n/a	n/a	n/a	0	6.6	11.2	8.9	1.7
150	Disjoint Proactive (Improved)	50	1	n/a	n/a	0	9.2	10	9.6	1.4
150	Disjoint Proactive (Improved)	0	0.7	n/a	n/a	0	9.2	10	9.6	1.6
150	Disjoint Proactive (Improved)	50	0.7	n/a	n/a	0	9	10.8	9.9	1.6
150	Disjoint Proactive (Improved)	0	1	2	n/a	0	7.2	7.6	7.4	1.8
150	Braided Proactive	0	1	n/a	2	2.8	9	14.2	11.7	2.6
150	Braided Proactive	0	0.5	n/a	2	2.8	7	8.2	7.6	3.4
150	Braided Proactive	0	1	2	2	2.2	9.2	14	11.5	2.8
150	Greedy	0	1	n/a	n/a	0	9.2	14.8	11.6	2.8
200	Directed Diffusion	n/a	n/a	n/a	n/a	0	7	7	7	1
200	Proactive (Base)	n/a	n/a	n/a	n/a	0	9	12.6	10.9	1.8
200	Disjoint Proactive (Improved)	50	1	n/a	n/a	0	9.4	9.8	9.6	1.2
200	Disjoint Proactive (Improved)	0	0.7	n/a	n/a	0	13	13	13	1
200	Disjoint Proactive (Improved)	50	0.7	n/a	n/a	0	9.8	10.2	10	1.2
200	Disjoint Proactive (Improved)	0	1	2	n/a	0	7.4	9	8.2	1.8
200	Braided Proactive	0	1	n/a	2	4.2	9.4	15.8	12.3	2.4
200	Braided Proactive	0	0.5	n/a	2	5	12.2	17	14.6	2
200	Braided Proactive	0	1	2	2	4.4	8.6	11	9.9	2
200	Shared Proactive	0	1	n/a	2		11.8	15.8	14.1	2.2
200	Shared Proactive (Improved)	5-	1	n/a	2		10.6	14.6	12.5	2.2
200	Greedy	0	1	n/a	n/a	0	15.4	15.4	15.4	1

۶ روش‌های پیشنهادی توازن بار در مسیریابی چند مسیره

همانطور که در مقدمه مطرح شد، یکی از مسایل بسیار با اهمیت در شبکه‌های حسگر، مساله انرژی است و یکی از روش‌هایی که می‌توان جهت ایجاد توازن انرژی در سطح شبکه مطرح کرد، ایجاد مسیرهای چندگانه و پخش داده‌های انتقالی بین گره‌های مبدا و مقصد، میان این مسیرهای متمایز یا شبه متمایز است. در الگوریتم انتشار هدایت شده، همیشه کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدا و مقصد، جهت انتقال ترافیک بین این دو گره انتخاب می‌شود. این امر باعث می‌شود که انرژی گره‌های مسیر انتخاب شده به سرعت تخلیه شوند. نکته منفی دیگر که این مشکل را تشدید می‌کند، اینست که در صورت تخلیه شدن یک مسیر، کوتاه‌ترین مسیر بعدی که معمولاً مسیر مجاور این مسیر است، انتخاب خواهد شد. این امر به مرور زمان خصوصاً در هنگامی که فاصله بین گره مبدا و مقصد زیاد باشد، می‌تواند باعث جدا شدن قسمت‌های مختلف شبکه گردد.

در الگوریتم MDD، ابتدا با استفاده از روش‌های مطرح شده در بخش قبلی، چند مسیر متمایز یا شبه متمایز، بین گره‌های مبدا و مقصد تشکیل می‌دهیم. سپس بسته‌های ارسالی را میان این چند مسیر تقسیم می‌کنیم. برای تقسیم بسته‌ها در بین مسیرها می‌توان از معیارهای مختلفی استفاده کرد. در این بخش چند روش ممکن برای تقسیم بسته‌های ارسالی بین مسیرهای چندگانه تشکیل شده پیشنهاد شده است.

۶.۱ روش یکنواخت ^۱ULB

توازن بار یکنواخت ساده‌ترین روش توازن بار می‌باشد و در این روش داده‌ها به صورت تصادفی و با احتمال یکسان، توسط گره منبع بین مسیرهای تشکیل شده پخش می‌شوند.

۶.۲ روش وقفی ^۲ALB

یکی از معیارهای مهم برای این امر، انرژی حداقل هر مسیر می‌باشد. انرژی حداقل یک مسیر عبارتست از میزان انرژی گره با حداقل انرژی در آن مسیر. برای توازن مناسب بار در بین گره‌های می‌توانیم احتمال انتخاب یک مسیر برای یک بسته را متناسب با حداقل انرژی آن مسیر، در نظر بگیریم. در این حالت مسیرهای با حداقل انرژی بیشتر، بسته‌های بیشتری را نسبت به مسیرهای با حداقل انرژی کمتر، منتقل خواهند کرد.

$$P_{sel}(i) \propto e_p(i) \quad (۳)$$

معیار دیگر می‌تواند طول مسیر باشد، یعنی مسیرهای با طول کمتر، شانس بیشتری برای انتخاب شدن داشته باشند زیرا طول یک مسیر، رابطه مستقیمی با میزان انرژی مصرف شده جهت انتقال بسته در طول مسیر خواهد داشت پس بنابراین برای کاهش سربار انرژی مصرفی جهت انتقال بسته‌های داده، بهتر است از مسیرهای با تعداد گام کمتر، بیشتر استفاده کنیم.

$$P_{sel}(i) \propto \frac{1}{l_p(i)} \quad (۴)$$

اگر $l(i)$ طول و $e(i)$ انرژی حداقل مسیر i ام باشد، احتمال انتخاب یک مسیر از مسیرهای موجود، به عنوان مسیر انتقال یک بسته داده، از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$P_{sel}(i) = c \frac{e_p(i)}{l_p(i)} \quad (۵)$$

^۱ Uniform Load-Balancing

^۲ Adaptive Load-Balancing

که مقدار c از رابطه زیر بدست خواهد آمد:

$$c = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{e_p(i)}{l_p(i)}} \quad (۶)$$

در روابط بالا P_{sel} احتمال انتخاب هر مسیر به عنوان مسیر بعدی در فرآیند مسیریابی و n تعداد مسیرهای تشکیل شده به سمت گره مقصد است. در این روش، اطلاعات مربوط به طول مسیر و حداقل میزان انرژی گره‌ها، در مرحله ابتدایی در داخل پیغام‌های تقویت کننده مسیر، ذخیره می‌شوند. برای بروز کردن اطلاعات مربوط به انرژی مسیرها، از پیغام‌هایی با نرخ پایین استفاده می‌کنیم تا سربار الگوریتم را به حداقل برسانیم.

۶.۳ روش سازگار با حد آستانه^۱ ALBT

این روش مشابه روش ALBT است با این تفاوت که دو مقدار حداقل انرژی آستانه e_{th} و حداکثر طول مسیر آستانه l_{th} در این روش در نظر گرفته شده‌اند تا نرخ استفاده از مسیرهای با طول بزرگتر از l_{th} و انرژی کمتر از e_{th} را کاهش دهند. در این روش احتمال انتخاب شدن هر مسیر (P_{sel}) از روابط زیر بدست می‌آید:

$$P_{sel}(i) = c \frac{e(i)}{l(i)} \quad (۷)$$

$$e(i) = \begin{cases} e_p(i) & e_p(i) > e_{th} \text{ and } n > 0 \\ 0.1 * e_p(i) & e_p(i) < e_{th} \end{cases}, e_{th} = \max[e_p(i)] / \alpha \quad (۸)$$

^۱ Adaptive Load-Balancing with Threshold

$$l(i) = \begin{cases} l_p(i) & l_p(i) < l_{th} \text{ and } n > 0 \\ 10 * l_p(i) & l_p(i) > l_{th} \end{cases}, l_{th} = \min[l_p(i)] \times \beta \quad (9)$$

$$c = \frac{1}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{e(i)}{l(i)}} \quad (10)$$

در شبیه‌سازی، مقدار α را برابر ۲ و مقدار β برابر ۴ در نظر گرفته شده است. بنابراین هنگامی که طول مسیری بیش از β برابر طول کوتاه‌ترین مسیر باشد یا انرژی آن کمتر از α برابر مسیر با بیشترین انرژی حداقل باشد احتمال انتخاب آن مسیر در هر یک از این حالات ۱۰ برابر کاهش پیدا خواهد کرد. با استفاده از روش ALBT، توازن بار به صورت عادلانه‌تری انجام می‌پذیرد و در عین حال از انتخاب شدن مسیرهای بسیار طولانی تا وقتی که انرژی آنها کمتر از ۱۰ برابر انرژی مسیرهای کوتاه‌تر گردد، جلوگیری به عمل می‌آید. پارامتر β را می‌توان با توجه به فاصله بین مبدا و مقصد تعیین کرد یعنی به هر میزان که این فاصله بیشتر باشد، این پارامتر را می‌توان به عدد ۱ نزدیک‌تر انتخاب کرد. پارامتر α ، حداکثر اختلاف بین حداقل انرژی مسیرها را تعیین می‌کند و هرچه این پارامتر به عدد یک نزدیک‌تر انتخاب شود، تاکید به توازن بار نسبت به استفاده از مسیرهای کوتاه‌تر بیشتر خواهد گشت.

۶.۴ ارزیابی و بررسی نتایج شبیه‌سازی

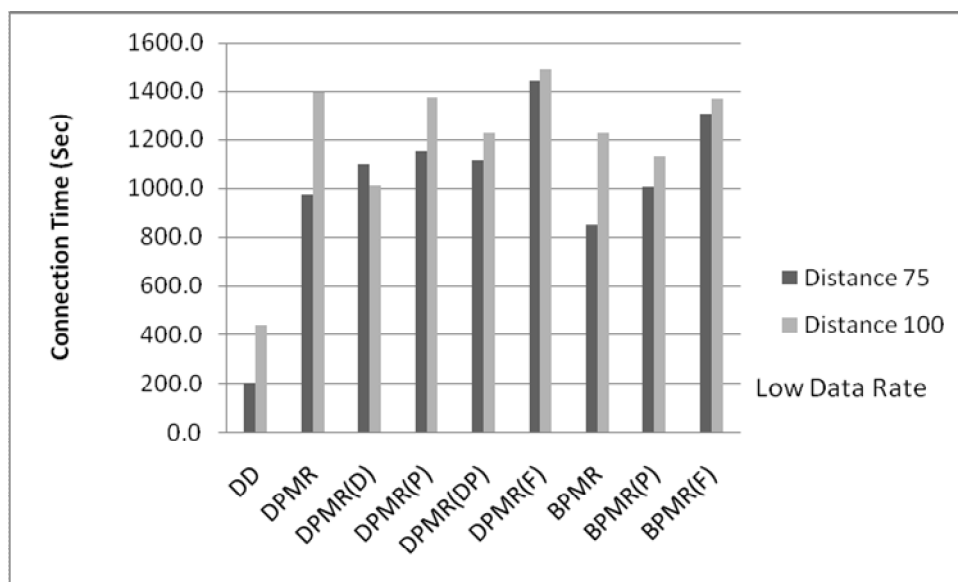
برای بررسی اثر توازن بار در الگوریتم MDD، از سناریوهای معرفی شده در قسمت قبل استفاده شده است با این تفاوت که در این سناریوها ارسال بسته‌های ping را در دو حالت با نرخ‌های ۱۰ بسته و ۱ بسته در ثانیه به صورت متناوب آنقدر تکرار می‌کنیم تا انرژی گره‌های میانی مسیر تخلیه شود و زمان رسیدن آخرین بسته ping را به عنوان طول عمر ارتباط ثبت می‌کنیم. همچنین برای هر سناریو میزان بسته‌های رسیده، بسته‌های از دست رفته و تاخیر متوسط رسیدن بسته‌ها ثبت می‌کنیم.

۶.۴.۱ نتایج شبیه سازی

در این بخش سه پارامتر زمان اتصال، تاخیر رسیدن بسته‌ها و درصد بسته‌های از دست رفته برای الگوریتم‌های مختلف محاسبه شده است. برای شبیه‌سازی از دو سناریو با دو نرخ ۱ بسته در ثانیه و ۱۰ بسته در ثانیه استفاده شده است. انرژی اولیه گره‌ها در این شبیه‌سازی ۵ وات در نظر گرفته شده است و در تمامی آنها از روش توازن بار ALBT استفاده شده است.

۶.۴.۱.۱ زمان اتصال

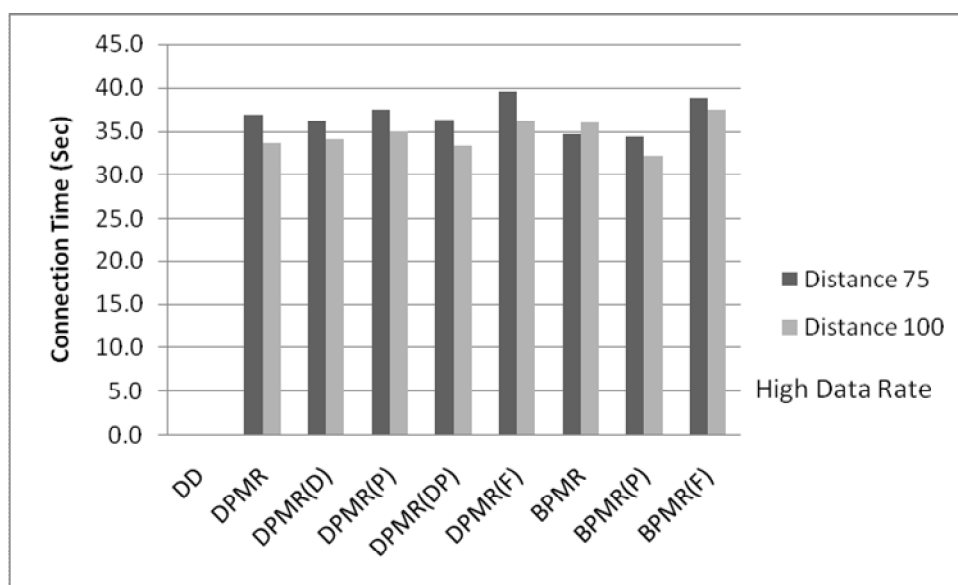
همانطور که در مقدمه ذکر شده است، عمده‌ترین هدف استفاده از مسیریابی چندگانه ایجاد توازن بار در بین گره‌های شبکه است. توازن بار در بین گره‌های شبکه موجب افزایش طول عمر گره‌های شبکه خواهد شد و طول عمر زمان اتصال را افزایش خواهد یافت.



شکل ۶-۱: زمان برقراری اتصال برای داده‌های با نرخ پایین

همانطور که در شکل ۶-۱ و شکل ۶-۲ مشاهده می‌شود، زمان اتصال با استفاده از الگوریتم‌های مسیریابی چند مسیره نسبت به الگوریتم DD بهبود قابل توجهی پیدا می‌کند. همانطور که در این شکل‌ها مشخص است عملکرد روش‌های DPMR و BPMR با بهبود LFI نسبت به سایر روش‌های مطرح شده بهتر است. همچنین با افزایش چگالی شبکه طول عمر اتصال کاهش می‌یابد ولی با استفاده از مسیریابی چند مسیره،

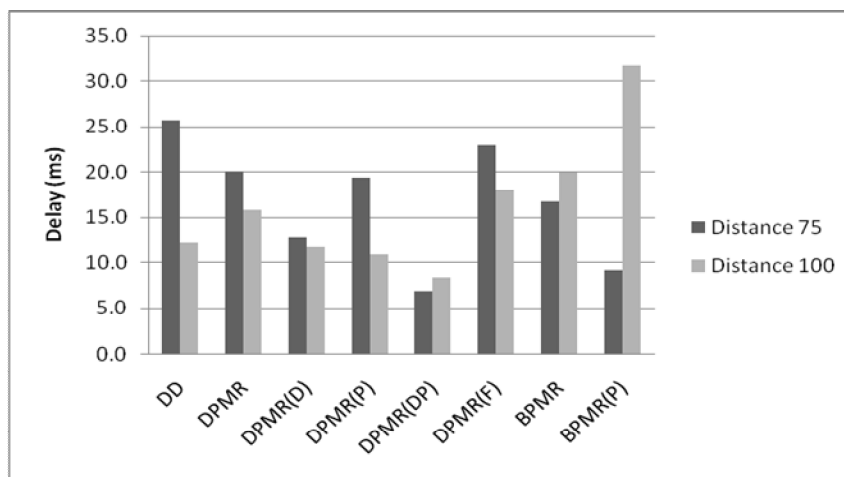
مقدار طول عمر شبکه وابستگی کمتری به چگالی شبکه پیدا می‌کند. مطابق شکل ۶-۲ الگوریتم DD نمی‌تواند در نرخ‌های بالا بسته‌ای به گره سینک ارسال کند.



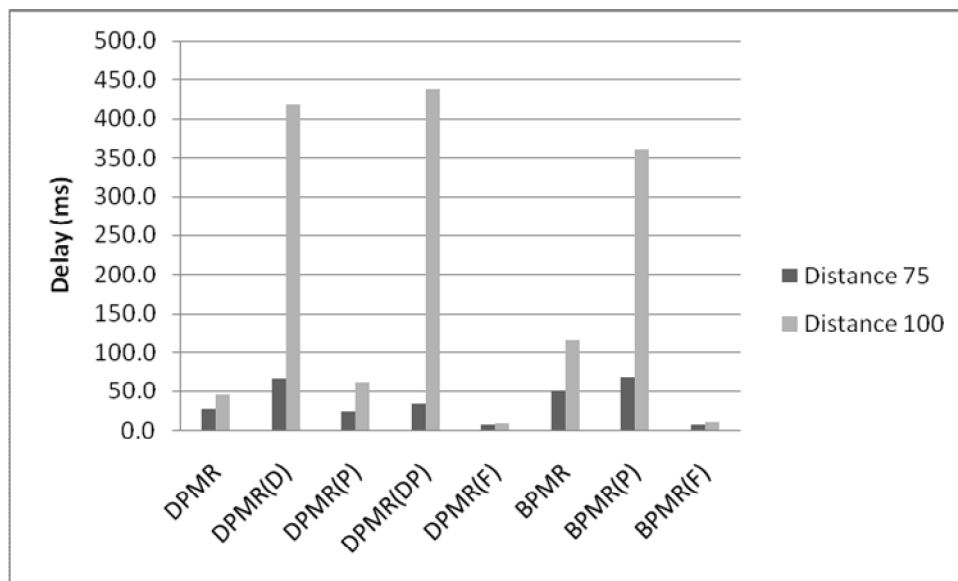
شکل ۶-۲: زمان برقراری اتصال برای داده‌های با نرخ بالا

۶.۴.۱.۲ تاخیر رسیدن بسته‌ها

تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش‌های چند مسیره که از بهبود RDI استفاده می‌کنند به طرز قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌یابد. همچنین در روش‌های مبتنی بر LFI میزان این تاخیر کاهش زیادی نسبت به روش‌های دیگر نشان می‌دهد.



شکل ۳-۶: میزان تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش‌های مختلف با نرخ ارسال داده پایین

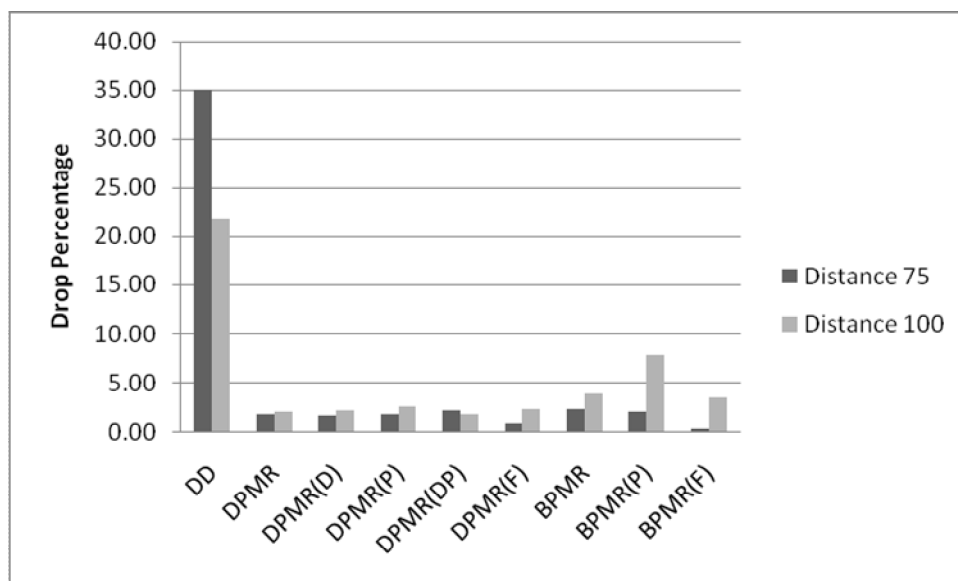


شکل ۴-۶: میزان تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش‌های مختلف با نرخ ارسال داده بالا

در شکل ۳-۶ و شکل ۴-۶ میزان تاخیر رسیدن بسته‌ها در روش‌های مختلف مسیریابی ارائه شده با روش DD مقایسه شده‌اند. البته زمان رسیدن بسته‌های داده اکتشافی نیز در این تاخیرها در نظر گرفته شده است که علت کاهش تاخیر زیاد روش‌هایی که از LFI استفاده می‌کنند نیز شاید همین امر باشد.

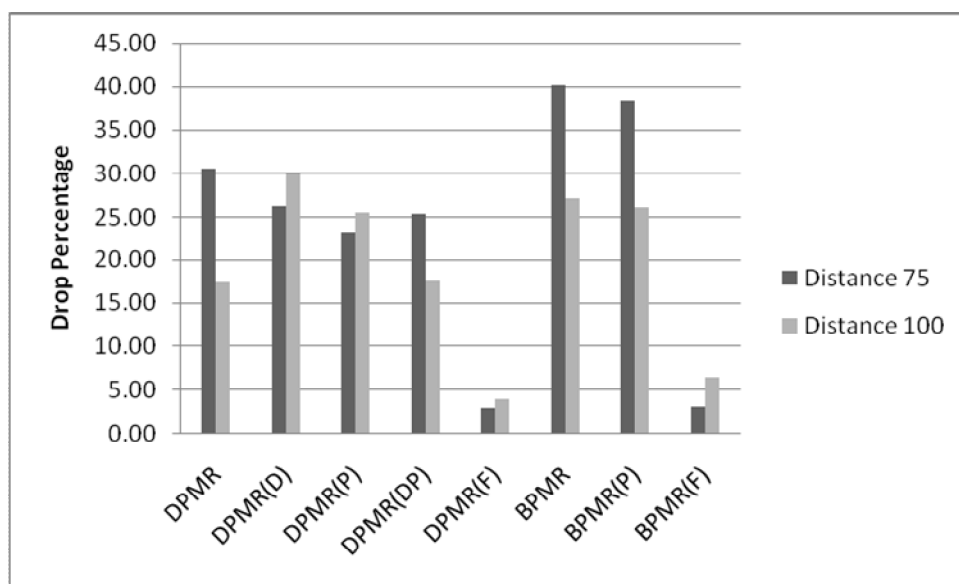
۶.۴.۱.۳ درصد بسته‌های از دست رفته

درصد بسته‌های از دست رفته با استفاده از روش‌های مسیریابی چند مسیره کاهش می‌یابد و این کاهش در روش‌هایی که از بهبود LFI استفاده می‌کنند بیشتر و در روش‌های BPMR نسبت به روش‌های دیگر کمتر است. ولی همه روش‌های چند مسیره درصد بسته‌های از دست رفته بسیار کمتری نسبت به روش DD دارند.



شکل ۶-۵: درصد بسته‌های از دست رفته در روش‌های مختلف مسیریابی با نرخ ارسال داده‌های پایین

در شکل ۶-۵ و شکل ۶-۶ درصد بسته‌های از دست رفته در زمان اتصال بین گره‌ها در دو حالت ارسال بسته‌ها با دو نرخ یک بسته و ۱۰ بسته در ثانیه نشان داده شده است.



شکل ۶-۶: درصد بسته‌های از دست رفته در روش‌های مختلف مسیریابی با نرخ ارسال داده‌های بالا

۷ نتیجه‌گیری و کارهای آتی

۷.۱ نتیجه‌گیری

در این پایان‌نامه دو الگوریتم ODCP و MDD جهت بهبود مسیریابی در شبکه‌های حسگر ارائه شده‌اند. روش‌های ارائه شده که بر اساس الگوریتم انتشار هدایت شده عمل می‌کنند هر یک به نحوی عملکرد این الگوریتم را بهبود می‌بخشند. روش‌های پیشنهاد شده غالباً به منظور افزایش کارایی الگوریتم DD از لحاظ کاهش میزان انرژی مصرفی از طریق کاهش سربار مسیریابی و یا توازن بار در بین گره‌های طراحی شده‌اند ولی در بسیاری از موارد مانند تاخیر رسیدن بسته‌ها یا میزان بسته‌های از دست رفته، عملکرد الگوریتم DD را بهبود می‌بخشند. در زیر نحوه عملکرد و نتایج حاصل از هر یک از این روش‌ها به صورت خلاصه آورده شده است.

۷.۱.۱ الگوریتم ODCP

در شبکه‌های حسگر، معمولاً یک رویداد محیطی بیش از یک گره حسگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد زیر برای افزایش قابلیت اطمینان شبکه و کاهش خطای تشخیص، معمولاً تراکم شبکه را در حدی در نظر می‌گیرند که اطلاعات رویداد مورد نظر توسط چندین گره جمع‌آوری شود و نهایتاً اطلاعات بدست آمده را با هم ادغام می‌کنیم. در الگوریتم انتشار هدایت شده مسیریابی در گره‌های منبع به صورت جداگانه صورت می‌گیرد و هر منبع مقدار زیادی از منابع شبکه را برای ارسال بسته‌های داده اکتشافی که در تشکیل مسیر دو طرفه بین منبع و سینک استفاده می‌شوند، به هدر می‌دهد در صورتی که این امر خصوصاً در شرایطی که منابع

از لحاظ جغرافیایی در کنار هم باشند ضرورتی ندارد. روش خوشه‌بندی بر اساس نیاز (ODCP) به منظور برطرف کردن این مشکل طراحی شده است. در این روش عمل مسیریابی برای گره‌های منبع نزدیک به یکدیگر تنها یک بار انجام می‌پذیرد. برای دست یافتن به این هدف یک سینک مجازی در نزدیکی منابع انتخاب شده است که در فاز اول ODCP، این گره انتخاب می‌شود و مسیری از گره‌های منابع داخل خوشه به سمت آن شکل می‌گیرد. در فاز بعدی این گره با انتشار داده‌های اکتشافی، یک مسیر به سمت سینک تشکیل می‌دهد. با این کار، سربار ناشی از انتشار داده‌های اکتشافی کاهش قابل توجهی پیدا می‌کند و زمان اتصال با وجود در نظر گرفتن اثر تجمیع زود هنگام، در این روش نسبت به روش DD تا دو برابر افزایش می‌یابد. البته تاخیر بین ارسال بسته‌های علاقه‌مندی و دریافت بسته‌های اطلاعات در این روش به دلیل زمان صرف شده برای انتخاب سینک مجازی و مسیریابی محلی در داخل خوشه، نسبت به روش DD افزایش می‌یابد.

هر چه میزان حجم خوشه نسبت به کل شبکه کوچکتر و تعداد منابع نزدیک به هم بیشتر باشد، برتری روش ODCP نسبت به DD بیشتر خود را نشان می‌دهد.

۷.۱.۲ الگوریتم MDD

یکی دیگر از مشکلات موجود در الگوریتم انتشار هدایت شده، اینست که در این الگوریتم همیشه کوتاه‌ترین مسیر بین گره مبدا و مقصد، جهت انتقال ترافیک بین این دو گره انتخاب می‌شود که این امر باعث می‌شود انرژی گره‌های مسیر انتخاب شده به سرعت تخلیه شوند. خصوصاً در شرایطی که شبکه ما دارای مقیاس بزرگی باشد و نرخ داده‌های ارسالی از یک ناحیه مشخص نسبتاً بالا باشد که در شبکه‌های حسگر، این شرایط بسیار محتمل است، این مشکل بیشتر خود را نشان می‌دهد. نکته منفی دیگر که این مشکل را تشدید می‌کند، اینست که در صورت تخلیه شدن یک مسیر، غالباً کوتاه‌ترین مسیر بعدی که معمولاً مسیر مجاور این مسیر است، انتخاب خواهد شد که این امر به مرور زمان، خصوصاً در هنگامی که فاصله بین گره مبدا و مقصد زیاد باشد، می‌تواند باعث جدا شدن قسمت‌های مختلف شبکه گردد. پس ما نیاز به روشی داریم که بتواند ترافیک داده‌های منتقل شده بین گره‌های مبدا و مقصد را میان گره‌های مسیر، به صورت عادلانه‌تری توزیع کند.

در الگوریتم MDD روش‌هایی جهت تشکیل مسیریابی پیشنهاد شده است تا از این طریق بتوانیم ترافیک داده‌های انتقالی از گره منبع به سینک را بین گره‌های بین این دو گره در مسیرهای متفاوت توزیع کنیم و با روش‌های توزیع بار مطرح شده، طول عمر زمان اتصال را افزایش دهیم. در الگوریتم MDD سه روش

ساده، پیشدستانه و حریصانه برای تشکیل مسیر پیشنهاد شده و عملکرد هر یک مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته است. در روش پیشدستانه سه روش DPMR برای تشکیل مسیرهای مجزا، روش BPMR برای تشکیل مسیرهای تابیده و روش SPMR برای تشکیل مسیرهای مشترک معرفی شده و علاوه بر این، چندین راهکار جهت بهبود عملکرد هر یک از این روش‌ها پیشنهاد شده مانند بهبودهای RFI، RDI و LFI. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که از بین روش‌های مطرح شده، روش‌های DPMR و BPMR با اعمال بهبود LFI و روش GMR نسبت به سایر روش‌های مطرح شده عملکرد بهتری دارند. مزیت روش GMR نسبت به روش‌های پیشدستانه در این است که این روش به راحتی برای الگوریتم کشش یک مرحله‌ای (OPP) قابل تعمیم است در صورتی که روش‌هایی که از بهبود LFI استفاده می‌کنند این خاصیت را ندارند.

بر اساس نتایج شبیه‌سازی با استفاده از مسیریابی چند مسیره بین گره منبع و مقصد و اعمال روش‌های توازن بار در شبکه، مدت زمان ارتباط بین گره‌های منبع و سینک تا هفت برابر افزایش می‌یابد و علاوه بر این داده‌ها با نرخ بالاتری نسبت به روش DD قابل ارسال هستند و میزان تاخیر نیز کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند. همچنین با استفاده از روش بهبود در روش‌های پیشدستانه میزان سربار مسیریابی نیز کاهش محسوسی را نسبت به الگوریتم DD نشان می‌دهد.

۷.۲ کارهای آتی

تعدادی از کارهایی که در ادامه این تحقیق می‌توان انجام داد در ذیل ارائه شده است:

۷.۲.۱ مسیریابی چند مسیره موثر

می‌توانیم از ترکیب روش‌های خوشه بندی، مسیریابی چند مسیره و توازن بار به منظور ایجاد یک روش موثر مسیریابی بهره ببریم. با این کار می‌توانیم از مزایای هر دو روش بهره ببریم یعنی علاوه بر کاهش سربار مسیریابی، توازن بار را نیز در بین گره‌های شبکه اعمال کنیم. همچنین

برای ترکیب این دو روش می‌توانیم از گره VS به عنوان مبدا تشکیل مسیرهای چندگانه بین منابع و گره مقصد بهره ببریم. با استفاده از این روش مشکل روش ODCP که تخلیه سریعتر مسیر اصلی بین VS و سینک است و مشکل اصلی روش MDD که مانع از تجمع و پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای است، برطرف می‌شود.

۷.۲.۲ مسیریابی *PUSH-PULL*

با استفاده از ترکیب روش‌های *OPP* و *PUSH*، با استفاده از ایده مطرح شده در روش *ODCP*، روش *PUSH-PULL Diffusion* یا *PPD* پیشنهاد می‌شود که در این روش گره‌های داخل خوشه به محض دریافت اطلاعات، آن را به گره سینک مجازی ارسال می‌کنند و گره سینک مجازی داده‌ها را در طول زمان ذخیره و خلاصه‌سازی می‌کند و با دریافت یک بسته علاقه‌مندی، داده‌های جمع‌آوری شده را به صورت تجمیع شده به سمت گره سینک ارسال می‌کند.

۷.۲.۳ تعمیم روش‌های مسیریابی چند مسیره و *ODCP* در *OPP*

روش‌های مطرح شده در الگوریتم *MDD* همگی بر پایه روش *TPP* طراحی شده‌اند. می‌توان روش‌های مسیریابی ارائه شده را به الگوریتم *OPP* تعمیم داد. برای این منظور در روش‌های پیشنهادی به جای بسته‌های داده‌های اکتشافی، بسته‌های علاقه‌مندی را با شناسه مسیر برچسب گذاری کرد. همچنین در روش مسیریابی حریصانه می‌توان بسته‌های تقویت کننده را به جای ارسال در مسیر داده‌های اکتشافی در مسیر بسته‌های داده ارسال کرد و به این وسیله مسیرهای چندگانه تشکیل داد.

در روش *ODCP* هم می‌توان به جای استفاده از بسته‌های داده‌های اکتشافی برای انتخاب گره *VS*، از بسته‌های داده استفاده کرد. البته مزیت اصلی روش *ODCP* کاهش بسته‌های *ED* اضافی در روش *TPP* است. با این وجود در الگوریتم *OPP* نیز استفاده از این روش موجب تجمیع زود هنگام داده و کاهش ترافیک شبکه می‌شود.

۷.۲.۴ بررسی ادغام الگوریتم *GEAR* و *PCDD* با روش‌های مطرح شده

در نهایت می‌توان راهکارهایی برای ترکیب روش‌های *MDD* و *ODCP* با سایر روش‌های مطرح شده جهت بهبود عملکرد الگوریتم *DD* مانند روش *PCDD* و *GEAR* در نظر گرفت. مثلاً در الگوریتم *GEAR* می‌توان در ناحیه انتشار اطلاعات از مسیریابی چند مسیره یا *ODCP* استفاده کرد و عملکرد آن را بهبود داد. ترکیب روش‌های ارائه شده با روش *PCDD* نیاز به بررسی بیشتری دارد.

- [1] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, F. Silva, "**Directed diffusion for wireless sensor networking**," *Journal of ACM/IEEE Transactions on Networking*, vol. 11, no. 1, pp. 2-16, 2002.
- [2] J. Heidemann, F. Silva, C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, and D. Ganesan, "**Building Efficient Wireless Sensor Networks with Low-Level Naming**," *Proceedings of the Symposium on Operating Systems Principles*, pp 146-159, October 2001.
- [3] J. Heidemann, F. Silva, and D. Estrin, "**Matching Data Dissemination Algorithms to Application Requirements**," *Proceedings of The First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (Sensys'03)*, pp 218-229, November 2003.
- [4] B. Krishnamachari, D. Estrin, and S. Wicker, "**The Impact of Data Aggregation in Wireless Sensor Networks**," *Proceedings of International Workshop on Distributed Event-Based Systems, (DEBS '02)*, pp 457-458, July 2002.
- [5] J. Heidemann, F. Silva, Y. Yu, D. Estrin, P. Haldar. "**Diffusion Filters as a Flexible Architecture for Event Notification in Wireless Sensor Networks**," *Technical Report ISI-TR-556, USC/Information Sciences Institute*, April 2002.
- [6] Y. Yu, R. Govindan, D. Estrin, "**Geographical and energy aware routing: A recursive data dissemination rotocol for wireless sensor networks**," *Technical Report TR-01-0023, University of California, Los Angeles, Computer Science Department*, May 2001.
- [7] W. R. Heinzelman, J. Kulik, H. Balakrishnan "**Adaptive protocols for information dissemination in wireless sensor networks**," *Proceeding of the ACM MobiCom99*, pp 174-185, Seattle ACM Press, 1999.
- [8] H. Qi, P. T. Kuruganti , Y. Xu, "**The Development of Localized Algorithms in Wireless Sensor Networks**," *Journal of Sensors 2002*, vol 2, pp 286-293, 2002.
- [9] V. Handziski, A. K"opke, H. Karl, C. Frank, W. Drytkiewicz, "**Improving the Energy Efficiency of Directed Diffusion Using Passive Clustering**," *European Workshop on Wireless Sensor Networks 2004 (EWSN 2004)*, pp. 172-187, 2004.
- [10] M. Chen, T. Kwon, Y. Choi, "**Energy-efficient differentiated directed diffusion (EDDD) for real-time traffic in wireless sensor networks**," *Journal of Elesevier Computer Communications*, May 2005.
- [11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "**Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks**," *Proceedings of the Hawaii International Conference on Systems Sciences*, Jan. 2000.

- [12] P. Levis, S. Madden, D. Gay, J. Polastre, R. Szewczyk, A. Woo, E. Brewer, D. Culler, "**The Emergence of Networking Abstractions and Techniques in TinyOS,**" *Proceedings of the First USENIX/ACM Symposium on Networked Systems Design and Implementation*, NSDI 2004, 2004.
- [13] J. Hill, R. Szewczyk, A. Woo, S. Hollar, D. Culler, K. Pister. "**System architecture directions for network sensors.**" *ACM Proceedings of the 9th International Conference on Architectural Support for Programming Languages and Operating Systems*, pp 93–104, Cambridge, MA, USA, Nov. 2000.
- [14] T. Liu, C. M. Sadler, P. Zhang, M. Martonosi. "**Implementing software on resource constrained mobile sensors: experiences with impala and zebranet.**" In *MobiSYS '04: Proceedings of the 2nd international conference on Mobile systems, applications, and services*, pp 256–269. ACM Press, 2004.
- [15] C.-Y. Chong S. Pumar, "**Sensor networks: Evolution, opportunities, and challenges,**" *Proceedings of the IEEE*, vol - 91, pp. 1247–1256, Aug. 2003.
- [16] I. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, E. Cayirci, "**A Survey on Sensor Networks,**" *IEEE Communications Magazine*, Vol. 40, No. 8, pp. 102-116, August 2002.
- [17] D. Culler, D. Estrin, M. Srivastava, "**Overview of Sensor Networks,**" *Journal of IEEE Computer Society*, vol. 37, Issue. 8, pp 41-49, August 2004.
- [18] F. Stann, J. Heidemann. "**RMST: Reliable Data Transport in Sensor Networks,**" *Proceedings of the First International Workshop on Sensor Net Protocols and Applications*, Anchorage, Alaska, USA, April 2003. USC/Information Sciences Institute, IEEE.
- [19] D. Braginsky, D. Estrin, "**Rumor Routing Algorithm for Sensor Networks,**" *Proceedings of the First Workshop on Sensor Networks and Applications (WSNA)*, Atlanta, GA, October 2002.
- [20] Luo, H., Ye, F., Cheng, J., Lu, S., Zhang, L. "**TTDD: Two-tier Data Dissemination in Large-scale Wireless Sensor Networks,**" *Journal of ACM/Kluwer Mobile Networks and Applications (MONET)*, Special Issue on ACM MOBICOM (2003)
- [21] D. Ganesan, R. Govindan, S. Shenker, D. Estrin. "**Highly Resilient Energy-efficient Multipath Routing in Wireless Sensor Networks,**" *Proceedings of ACM MOBIHOC*, pp 251--253, 2001.
- [22] Ns – network simulator version 2, <http://www.isi.edu/nsnam>
- [23] W. Heinzelman, A. Chandrakasan, H. Balakrishnan, "**Energy Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks (LEACH),**" *Proceedings of 33rd hawaii international conference systems science - vol.8*, pp 3005-3014, January 2004.
- [24] R.S. Chang, C. J. Kuo, "**An Energy Efficient Routing Mechanism for Wireless Sensor Networks,**" *Proceedings of the 20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications (AINA'06)* - Vol 2 pp. 308-312, 2006.

- [25] S. Lindesy, C. Raghavendra, “**PEGASIS: Power Efficient Gathering in Sensor Information System,**” *Proceedings of 2002 IEEE Aerospace Conference*, pp 1-6, march 2002.
- [26] A. Manjeshwar, D. Agrawal, “**TEEN: a Routing Protocol for Enhanced Efficient in wireless sensor networks,**” *Proceedings of the 15th International Parallel and Distributed Processing Symposium*, pp 2009-2015, 2001.
- [27] D. Ganesan, A. Cerpa, W. Ye, Y. Yu, J. Zhao, and D. Estrin, “**Networking Issues in Wireless Sensor Networks,**” *Journal of Parallel and Distributed Computing (JPDC), Special issue on Frontiers in Distributed Sens.*, pp 799-814, July 2004.
- [28] A. Nasipuri, S.R. Dos, “**On-Demand Multipath Routing for Mobile Wireless Networks,**” *Journal of ACM/Communications* vol. 43(5), pp 51-58, May 2000.
- [29] V.D. Park, M.S. Corson, “**A Highly Adaptive Distributed Routing Algorithm for Mobile Wireless Networks,**” *Proceedings of INFOCOM 97*, pp 1405-1413, April 1997.

واژه‌نامه فارسی به انگلیسی

از دست رفتن بسته‌ها	Packet Loss
اشتراکی	Collaborative
اکتشافی	Exploratory
انتشار بیرون دهنده	Push Diffusion
انتشار هدایت شده	Directed Diffusion
انتها به انتها	End to end
انرژی آگاه	Energy Aware
انقضاء	Expiration
انقضای خوشه	Cluster Expiration Period
ایستگاه پایه	Base Station
ایستگاه پایه محلی	local base station
پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای	in-network processing
پرسش‌های تو در تو	Nested Query
پیشدستانه	Proactive
تاخیر	Delay
تقویت	Reinforcement
تقویت کننده مثبت	Positive Reinforcement
تقویت منفی	Negative Reinforcement
توزیع بار	Load-Balancing
توزیع بار	Load-Balancing
جذب دو مرحله‌ای	Two-Phase Pull (TPP)
جذب یک مرحله‌ای	One-Phase Pull (OPP)
چند مسیر	Multi-Path
حالت ارتجاعی	Resiliency

حریصانه

خوشه‌بندی

داده اکتشافی

داده محور

داده‌های اکتشافی

دست تکانی

خوشه

دسته‌های خصوصیت-مقدار-عملگر

ذخیره کردن موقت اطلاعات

ردگیری

سربار

سیل آسا

سینک

سینک مجازی

ابر داده

علاقه‌مندی

فرستنده محور

فیلتر گرادیان

گام

گام به گام

گرید

گیرنده محور

تجميع

مدیر منابع

هزینه افرايشی روی درخت

ادغام داده‌ها

Greedy

Clustering

Exploratory Data

Data-Centric

Exploratory Data

handshake

Cluster

Attribute tuples

Caching

Logging

Overhead

Flooding

Sink

Virtual Sink

Meta-data

Interest

Sender initiated

Gradient filter

Hop

Hop by hop

Grid

Receiver initiated

Aggregation

resource manager

On-tree incremental cost
message

Data Fusion

واژه‌نامه انگلیسی به فارسی

Aggregation	تجمع
Attribute tuples	دسته‌های خصوصیت-مقدار-عملگر
Base Station	ایستگاه پایه
Caching	ذخیره کردن موقت اطلاعات
Cluster Expiration Period	انقضای خوشه
Clustering	خوشه‌بندی
Cluster	خوشه
Collaborative	اشتراکی
Data Fusion	همجوشی داده‌ها
Data-Centric	داده محور
Delay	تاخیر
Directed Diffusion	انتشار هدایت شده
End to end	انتها به انتها
Energy Aware	انرژی آگاه
Expiration	انقضاء
Exploratory	اکتشافی
Exploratory Data	داده اکتشافی
Exploratory Data	داده‌های اکتشافی
Flooding	سیل آسا
Gradient filter	فیلتر گرادیان
Greedy	حریصانه
Grid	گرید
handshake	دست تکانی
Hop	گام
Hop by hop	گام به گام
In-network processing	پردازش اطلاعات درون شبکه‌ای

Interest	علاقه‌مندی
Load-Balancing	توزیع بار
local base station	ایستگاه پایه محلی
Logging	ردگیری
Meta-data	شبه داده
Multi-Path	چند مسیر
Negative Reinforcement	تقویت منفی
Nested Query	پرسش‌های تو در تو
One-Phase Pull (OPP)	جذب یک مرحله‌ای
On-tree incremental cost message	هزینه افزایشی روی درخت
Overhead	سربار
Packet Loss	از دست رفتن بسته‌ها
Positive Reinforcement	تقویت کننده مثبت
Proactive	پیشدستانه
Push Diffusion	انتشار بیرون دهنده
Receiver initiated	گیرنده محور
Reinforcement	تقویت
Resiliency	حالت ارتجاعی
resource manager	مدیر منابع
Sender initiated	فرستنده محور
Sink	سینک
Two-Phase Pull (TPP)	جذب دو مرحله‌ای
Virtual Sink	سینک مجازی

Abstract

Directed diffusion (DD) is a data-centric routing protocol, based on purely local interactions between individual network nodes. This protocol uses application-specific context for aggregation and data dissemination. Therefore it can be completely matched to our application requirements in a large distributed sensor network. So, many works have been recently done to improve the energy efficiency of this protocol.

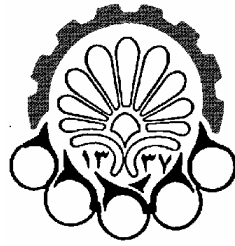
In this paper, an extension to DD is presented in order to construct multiple paths between sinks and sources. Using this method, load-balancing is implemented to increase the life-time of the sensor nodes, collaborating in the routing process. Our routing protocol, MDD (Multi-path directed diffusion) can produce more than one disjoint or braided paths and spread the data collected in the sources, properly between them according to their length and remaining energy. In this way, efficient load balancing has been implemented. Our protocol simulation results show that through using MDD, the lifetime of network connections between sources and sinks will be increased and interest flooding rate can be reduced which is proved to be an expensive operation.

DD, uses mechanisms such as data aggregation and in-network processing to suppress the additional data overhead however there is no guarantee that paths from nearby sources join after a few hops. In cases where sensed event is spread geographically, the probability of such combination is reduced. Another problem arises in presence of many sources nodes near a single event. In DD for path construction, each source floods a distinct exploratory data (ED) through the network, thus a significant amount of network energy is consumed for flooding ED packets although it is not necessary for each source to repeat this procedure separately.

The ODCP protocol is proposed to address these two problems: late-aggregation and distinct ED-flooding. In our local clustering protocol, early aggregation and limited ED-flooding can be achieved by using a virtual sink (VS) near the sources which plays the role of sink node and broadcasts local interest messages. Therefore the data packets are sent initially to the VS node and then routed toward destination. Although in simulations we did not consider the improvements gained by early-aggregation, the results show that using this method, connection life-time between source and sink will be increased significantly (up to three times better than directed diffusion).

Keywords

wireless Sensor networks, multipath routing, on-demand clustering, energy efficiency



Amirkabir University of Technology

**Computer Engineering and
Information Technology Department**

**IN PARTIAL FULFILMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE
DEGREE OF MASTER OF SCIENCE**

**Performance Improvement of Information
Dissemination Protocols in Sensor Networks Through
Data Aggregation**

By:

Arash Nasiri Eghbali

Under the supervision of:

Dr. Mehdi Dehghan

March 2007