بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

مسیریابی در شبکه‌های با میزان مشارکت محدود

پایان نامه کارشناسی ارشد معماری کامپیوتر

طاهره نودهی

استاد راهنما
دکتر پژمان خدیوی

۱۳۸۶

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته معماری کامپیوتر خانم طاهره نودهی

تحت عنوان

مسیریابی در شبکه‌های با میزان مشارکت محدود

در تاریخ ۱۳۸۶/۱/۲۹ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر پژمان خدیوی

۲- استاد مشاور پایان نامه — دکتر شادرخ سماوی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علی‌محمد دوست حسینی

تشکر و قدردانی

الهی با بهشت چه سازم و با حور چه بازم

مرا دیده‌ای ده که از هر نظر بهشتی سازم

اکنون که در سایه عنایت پروردگار این مقطع تحصیلی را به پایان رساندم، بر خود لازم می‌دانم از عزیزانی که در تدوین این پایان نامه یاری‌ام نمودند قدردانی نمایم. مهربانی‌ها و صبوری‌های بی‌همتای پدر و مادر عزیزم را ارج می‌نهم. از استاد بزرگوارم جناب آقای دکتر پژمان خدیوی به خاطر راهنمائی‌های بی‌شائبه‌شان سپاسگزارم. از استاد ارجمندم جناب آقای دکتر شادرخ سماوی و اساتید گرانقدرم جناب آقای دکتر حسین سعیدی و جناب آقای دکتر مسعودرضا هاشمی که افتخار شاگردی ایشان را نیز داشتم کمال تشکر را دارم و چون همیشه خداوند را بابت داده‌هایش و نداده‌هایش شاکرم و باور دارم داده‌هایش نعمت است و نداده‌هایش حکمت.

طاهره نودهی

بهار۸۶

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعـــات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پـایـــان نامه متعلق به دانشگـــــاه صنعتـــــی اصفهان است.

این پایان‌نامه با حمایت مرکز تحقیقـات مخـابرات ایران (قرارداد شماره ۵۰۰/۲۹۰۷/ت مورخ ۱۳۸۳/۳/۲۴) **به انجام رسیده است**

تقدیم به

پدر بزرگوارم

مادر عزیزم

برادرانم رضا و مرتضی

و همه آنهایی که

به زندگی و تلاش

عشق می‌ورزند.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه ۲

۱-۱- اهداف پایان نامه ٦

۱-۲- ساختار پایان نامه ٦

فصل دوم: معرفی و مطالعه مسائل مطرح در شبکه‌های بدون سیم ۸

۲-۱- شبکه‌های بدون‌سیم ۸

۲-۲- مسیریابی در شبکه‌های سیار اقتضائی ۱۰

۲-۳-پروتکل‌های مسیریابی ۱۰

۲-۳-۱- پروتکل مسیریابی DSR ۱۳

۲-۳-۲- پروتکل مسیریابی AODV ۱٤

۲-۳-۳- پروتکل مسیریابی CBRP ۱۵

۲-۴- مسائل پیش رو در مسیریابی ۱٦

۲-۴-۱- Scalability ۱٦

۲-۴-۲- تغییرات مکرر توپولوژی شبکه ۱٦

۲-۴-۳- ارتباط‌های یک طرفه ۱۷

۲-۴-۴- تأمین توان مصرفی ۱۷

۲-۴-۵- پشتیبانی از سرویس‌های QoS ۱۷

۲-۴-۶- استانداردهای MAC ۱۷

۲-۴-۷- Directional Antennas ۱۹

۲-۵- انتشار پیام و مشکل طغیان انتشار بر اثر flooding ۲۰

۲-۶- مدل‌های حرکتی در شبکه بدون‌سیم اقتضائی ۲۲

فصل سوم: مسأله QoS و راه‌حل‌های مطرح مربوط به آن ۲۶

۳-۱- مسأله QoS ۲۷

۳-۲- مسأله MCP ۲۹

۳-۲-۱- روش تقریبی Jaffe ۳۰

۳-۲-۱- الگوریتم اصلاح شده مبتنی بر روش Jaffe ۳۲

۳-۲-۳- الگوریتم TAMCRA و SAMCRA ۳۳

۳-۲-۴- الگوریتم تصادفی ۳٤

۳-۲-۵- الگوریتم Iwata ۳٤

۳-۲-۶- الگوریتم CP/RDS ۳٤

۳-۲-۷- الگوریتم CP-H/RDS ۳٤
۳-۳- مسأله RSP ۳۵
۳-۳-۱- الگوریتم CBF ۳٦
۳-۳-۲- الگوریتم BFH ۳٦
۳-۳-۳- حل مسأله RSP-CC ۳٦
۳-۳-۴- Optimum Pruning Based Routing ۳۷
۳-۳-۵- Modified Pruning Based Routing ۳۸
۳-۳-۶- روش LRH ۳۸
۳-۳-۷- الگوریتم Lagrangian-based Linear Composition ۳۹
۳-۳-۸- الگوریتم ε -Optimal Approximation ۳۹
۳-۳-۸- الگوریتم ODRP ٤۰
۳-۴- روش سلسله‌مراتبی در مسیریابی QoS ٤۱
۳-۴-۱- مسیریابی QoS مبتنی بر ILUP ٤۲
۳-۴-۲- الگوریتم TBP ٤٤
۳-۴-۳- الگوریتم CEDAR ٤٤
۳-۵- مسیریابی IQRouting ٤۵
۳-۶- معماری شبکه پشتیبان QoS ٤٦
۳-۶-۱- لایه Application ٤۸
۳-۶-۲- لایه Transport ٤۸
۳-۶-۳- لایه شبکه ٤۸
۳-۶-۴- لایه Link ٤۹
۳-۶-۵- مدیریت صف ۵۰
۳-۶-۶- مجزا ساز MAC ۵۰
۳-۶-۷- Priority Classifier and Packet Scheduler ۵۰
۳-۶-۸- تخمین پهنای‌باند ۵۱
۳-۶-۹- محاسبه پهنای‌باند مسیر ۵۱

فصل چهارم: بررسی الگوریتم‌ها و معیارهای مسیریابی QoS ۵۶
۴-۱- مدل شبکه و تعاریف اولیه ۵۷
۴-۲- مسیریابی مجدد ٦۰
۴-۳- مسیریابی چندگانه ٦۱
۴-۴- چندپخشی ٦۲
۴-۵- تعداد مسیر ٦۲
۴-۶- معیارهای مسیریابی و حافظه مسیریابی ٦٤
۴-۶-۱- مسیریابی مبتنی بر تعداد گام‌های مسیر ٦٦

۴-۶-۲- مسیریابی مبتنی بر تأخیر مسیر ٦٦
۴-۶-۳- مسیریابی مبتنی بر هزینه مسیر ٦٧
۴-۶-۴- مسیریابی مبتنی بر طول مسیر ٦٧
۴-۶-۴- مسیریابی مبتنی بر پهنای باند مسیر ٦٨
۴-۶-۵- مسیریابی مبتنی بر درجه گره‌ها ٦٨
۴-۶-۶- استفاده از معیارهای ترکیبی ٦٩
۴-۷- دلیل انسداد مسیر و ارائه راهکاری برای جلوگیری از آن ٧٢
۴-۸- مسیریابی برون‌خطی (OLR) ٧٦
۴-۹- طول عمر مسیر ٧٨
۴-۱۰- نتایج شبیه‌سازی ٧٩
۴-۱۰-۱- استفاده از یک معیار و توزیع یکنواخت مبدأ و مقصد ٨١
۴-۱۰-۲- استفاده از یک معیار و توزیع غیر یکنواخت مبدأ و مقصد ٨٤
۴-۱۰-۳- استفاده از معیار ترکیبی ٨٥
۴-۱۰-۴- مسیریابی بین چند مبدأ و مقصد ٨٥
۴-۱۰-۵- استفاده از مدل حرکتی در شبیه‌سازی ٨٨
۴-۱۰-۶- استفاده از یک معیار همراه با مدل حرکتی ٨٨
۴-۱۰-۷- استفاده از معیار ترکیبی همراه با مدل حرکتی ٩٠
۴-۱۰-۸- مسیریابی مجدد ٩٢

فصل پنجم: مسیریابی QoS، مبتنی بر منطق فازی ٩٥
۵-۱- آشنایی با نظریه مجموعه‌های فازی ٩٥
۵-۱-۱- حل یک مثال با استفاده از منطق فازی ٩٩
۵-۲- مسیریابی با استفاده از منطق فازی ١٠٣
۵-۳- الگوریتم مسیریابی QoS پیشنهادی با استفاده از کنترل کننده فازی ١٠٥
۵-۳-۱- تعریف متغیرهای زبانی, مقادیر آنها و نتایج شبیه‌سازی ١٠٦

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات ١١٠
۶-۱- نتیجه گیری ١١٠
۶-۲- پیشنهادات ١١٢

منابع ١١٤

چکیده انگلیسی ١١٩

چکیده

شبکه‌های بدون‌سیم اقتضائی, یکی از انواع سیستم‌های ارتباطی بدون‌سیم و سیار است. حمایت از سرویس‌های چندرسانه‌ای در شبکه‌های بدون‌سیم، در آینده بسیار متداول خواهد بود. برای ارائه چنین سرویس‌هایی در شبکه‌های MANET، نیاز است الگوریتم‌های مسیریابی QoS بهبود یابند. در گروهی از شبکه‌های اقتضائی, میزان مشارکت ترمینال‌های سیار در مسیریابی و توانائی هر ترمینال در انتقال بسته‌های پیام دیگران محدود است. به عبارت دیگر, هر گره شبکه قادر است تا در تعداد محدودی از ارتباط‌ها شرکت نماید. وقتی ایستگاه متحرک دارای میزان مشارکت محدود است، ممکن است برخی از مسیرها مسدود شوند. مسدود شدن مسیرها موجب کاهش نرخ موفقیت الگوریتم‌های مسیریابی می‌گردد. هدف از این پایان‌نامه، مطالعه رفتار الگوریتم‌های مسیریابی QoS در شبکه‌های با میزان مشارکت محدود و ارائه روش‌ها و معیارهای مسیریابی مناسب برای کاهش احتمال انسداد مسیر است. در این راستا، مروری بر ویژگی‌های شبکه‌های MANET، الگوریتم‌های مسیریابی, معیارهای مسیریابی و مسائل مسیریابی QoS موجود در این نوع شبکه‌ها انجام پذیرفت. در این پایان‌نامه, پس از معرفی راه‌حل‌های پیشنهادی، با استفاده از شبیه‌سازی به مطالعه بازدهی آنها پرداخته می‌شود.

فصل اول
مقدمه

شبکه‌های بدون‌سیم به دو نوع سلولی[1] و اقتضائی[2] تقسیم می‌شوند که به ترتیب دارای زیرساختار و بدون زیرساختار هستند. پیکربندی عمومی شبکه‌های سلولی، شامل مجموعه ای از ترمینال‌های پایه[3] (BS) است که عموماً با استفاده از یک شبکه سیمی به هم متصل شده‌اند. شبکه‌های اقتضائی، متشکل از ترمینال‌های بدون‌سیم سیار[4] (MS) هستند. این نوع شبکه‌ها برای ارتباط‌هائی مفید هستند که در آنها زیرساختار ثابتی وجود ندارد و ممکن است اجزای ارتباطی شبکه حرکت کنند. در شبکه‌های اقتضائی، تمام ارتباط‌ها در محیط بدون‌سیم است که توسط امواج رادیویی در هوا و بدون کمک BS ها صورت می‌پذیرد. هر فرستنده, دارای دامنه ارسال[5] محدودی است. بنابراین، ترمینال‌ها توسط مسیرهای چندگامی[6] با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند.

در شبکه‌های اقتضائی، که اصطلاحاً MANET[7] نیز نامیده می‌شوند، توپولوژی شبکه به مکان نسبی و ارتباط MSها در شبکه وابسته است. توپولوژی پویای شبکه MANET، از جنبه‌های مختلف, روی رفتار شبکه تأثیر می‌گذارد. از این میان می‌توان به عملکرد شبکه در زیر لایه MAC و نیز برخورد شبکه با مسأله مسیریابی اشاره نمود. پروتکل‌های تولید مسیر زیادی در شبکه‌های اقتضائی وجود دارد, به عنوان مثال،

---

[1] Cellular [2] Ad-Hoc [3] Base Station [4] Mobile Station
[5] Transmission Range [6] Multihop [7] Mobile Ad-Hoc Network

می‌توان به DSR و AODV اشاره نمود. تمام این پروتکل‌ها از ترافیک داده best-effort پشتیبانی می‌کنند، ولی از سرویس‌های QoS همچون تأخیر[۱]، تضمین تحویل داده[۲] و پهنای‌باند[۳] پشتیبانی نمی‌نمایند[۲۶].

ارائه سرویس‌های چندرسانه‌ای[۴] از جمله سرویس‌های انتقال صدا و تصویر در محیط‌های تجاری و نظامی عمومی شده است. بنابراین, برای رسیدن به کارایی قابل قبول در شبکه، پشتیبانی از سرویس‌های گارانتی شده QoS در شبکه‌های MANET یکی از زمینه‌های تحقیقاتی مهم محسوب می‌شود[۲۱]. همچنین، اغلب شبکه‌های بی‌سیم به یک شبکه سیمی متصل هستند. درنتیجه, باید ارتباطات چند رسانه‌ای چنین شبکه‌هایی، برای کاربران موبایل نیز لحاظ گردند[۲۲-۲۴]. پشتیبانی از سرویس‌های QoS در شبکه‌های مرسوم سیمی و بی‌سیم با بهره‌گیری از زیرساختار انجام می‌پذیرد. در این شبکه‌ها، لینک‌ها ثابت هستند و شانس خرابی لینک‌ها پایین است. مسیریاب‌ها، حجم حافظه و توان پردازشی کافی برای نگهداری و پردازش اطلاعات QoS در اختیار دارند. پشتیبانی از سرویس‌های QoS در شبکه‌های مرسوم، مبتنی بر سه اصل است:

(۱)پایش ترافیک ورودی[۵] که میزان انباشتگی ترافیک را در شبکه اندازه‌گیری می‌کند.

(۲)استفاده از مسیریابی مبتنی بر QoS که مسیری بین مبدأ و مقصد می‌یابد، به‌گونه‌ای که این مسیر قابلیت تضمین درخواست‌ها را داشته باشد.

(۳)زمان‌بندی ترافیک و تخمین و تضمین پهنای باند[۶]، با این هدف که پهنای باند مشترک بین چند جریان مختلف ترافیکی, مانع تضمین QoS در مدت زمان کوتاه نگردد[۹].

در شبکه‌های MANET، به دلایلی که در ادامه ذکر می‌شود پشتیبانی از سرویس QoS مشکل است: شبکه‌های اقتضائی زیرساختار ثابتی ندارند، بدون ایستگاه پایه عمل می‌کنند و در هرجا و در هر زمانی می‌توانند ساخته و استفاده شوند و تحت محدودیت‌های یک توپولوژی ثابت عمل نمی‌کنند. حرکت MSها در شبکه موجب محدود شدن وزن MSها می‌گردد. بنابراین، اندازه باتری موجود در ترمینال‌های سیار و توان عملیاتی آن محدود می‌شود، در نتیجه, دامنه ارسال نیز محدود می‌گردد[۸]. از طرفی، حرکت گره‌ها باعث می‌شود لینک‌ها به صورت دینامیک ایجاد و شکسته شوند و نیز ممکن است تعداد MSهای موجود در شبکه کم و زیاد گردد. با توجه به ماهیت بی‌سیم شبکه‌های اقتضائی, خطاهای کانال بی‌سیم, طبیعت پویای شبکه‌های اقتضائی و رقابت بین MSها در دست‌یابی به پهنای باند محدود، پهنای باند بین دو گره از شبکه در زمان‌های مختلف، متغیر است.

به دلیل طبیعت پویای پهنای‌باند کانال و وضعیت متغیر لینک‌های رادیویی، روش‌های کنترل ترافیک ورودی که در شبکه‌های کلاسیک متداول هستند, در شبکه‌های MANET تقریباً غیرقابل استفاده می‌شوند.

---

[1] Delay
[2] Packet Loss
[3] Bandwidth
[4] Multimedia
[5] Traffic Admission Control
[6] Bandwidth Provisioning and Traffic scheduling

به علاوه, به دلیل مدیریت توزیع شده شبکه‌های MANET و حرکت MSها در این شبکه‌ها، زمان‌بندی ترافیک[1] در شبکه‌های اقتضائی بسیار مشکل است[۹و۲۶]. ممکن است با گذشت زمان لینک‌های ارتباطی تغییر کنند، درنتیجه، باید مسیرها به صورت متناوب، اصلاح شوند. از طرفی ممکن است گره‌ای وارد شبکه شود و یا شبکه را ترک کند. بنابراین, به‌روزرسانی توپولوژی شبکه پیچیده می‌شود. این امر، موجب کاهش قابلیت‌های منابع در شبکه‌های اقتضائی می‌شود[۸].

مرجع [۸] تعریف دقیقی از QoS ارائه کرده است: "QoS توافق یا تضمینی است که شبکه به کاربر می‌دهد تا مجموعه‌ای از سرویس‌های معین با پارامترهای مورد نیاز کاربر, از جمله تأخیر ارسال در شبکه، واریانس تأخیر[2]، پهنای باند موجود، احتمال خراب شدن بسته و غیره را ارائه دهد." برای ارائه سرویس QoS، لازم است مسیر دارای شرایط QoS مطلوب، بین مبدأ و مقصد، مسیریابی شود. بنابراین، کلید ارائه سرویس‌های QoS، استفاده از پروتکل‌های مسیریابی QoS است. هدف مسیریابی QoS را می‌توان در دو مورد خلاصه کرد: انتخاب مسیری که سرویس QoS موردنیاز را تأمین کند و افزایش کارایی در مصرف منابع[۲۱].

محدودیت‌های QoS را می‌توان به دو دسته محدودیت لینکی[3] و محدودیت مسیری[4] تقسیم کرد. محدودیت‌های لینکی، مثل پهنای‌باند، را می‌توان به‌صورت محدودیت گلوگاه در نظر گرفت و در یک گام قبل از شروع مسیریابی، تمام لینک‌های بدون شرایط مطلوب را حذف کرد. اما محدودیت‌های مسیری، مثل تأخیر، شرایط مربوط به تمام لینک‌های مسیر است[۲۹]. دو مسأله MCP [5] و RSP [6] از مسائل معروف در مبحث مسیریابی QoS می‌باشند. MCP مسأله‌ای است که سعی می‌کند مسیری بین مبدأ و مقصد بیابد که دارای شرایط QoS درخواستی باشد, به چنین مسیری, مسیر مناسب[7] می‌گویند. RSP سعی می‌کند مسیر دارای کمترین هزینه بین تمام مسیرهای ممکن را بیابد[۲۸].

عموماً, مسائل MCP و RSP دارای پیچیدگی NP-Complete هستند. پیچیدگی زمانی زیاد روش‌های دقیق حل مسائل MCP و RSP موجب غیرکاربردی بودن چنین روش‌هایی در محیط واقعی می‌شود. روش‌های ابتکاری[8] زیادی برای حل مسائل MCP و RSP ارائه شده است[۲۹]. روش‌های ابتکاری ارائه شده، عموماً از یک معیار ترکیبی[9] استفاده می‌کنند. استفاده از معیار ترکیبی برای ساده کردن مسأله، باعث می‌شود تا بخشی از اطلاعات مفید از دست برود[۲۲].

از آنجا که در شبکه‌های اقتضائی، ترمینال پایه‌ای برای مدیریت دقیق شبکه وجود ندارد، باید برای استفاده از منابع کانال، تکنیک‌های توزیع‌شده دقیق دسترسی به رسانه وجود داشته باشد. با توجه به

---

[1] Traffic Scheduling
[2] Jiter
[3] Link Constraint
[4] Path Constraint
[5] Multi Constraint Path
[6] Restricted Shortest Path
[7] Feasible Route
[8] Heuristic
[9] Mixed Metric

خصوصیات شبکه MANET نمی‌توان از تکنیک‌های شبکه‌های مرسوم استفاده کرد[۲۱]. پشتیبانی از سرویس‌های QoS در شبکه‌های اقتضائی به همکاری نزدیک تمام لایه‌های شبکه نیازمند است[۹]. به همین دلیل، برای مدیریت و تخصیص کارای منابع شبکه‌های اقتضائی، تلاش زیادی در طراحی پروتکل‌های دسترسی به رسانه[۱] شده است. چگونگی مدیریت منابع در زیرلایه MAC, تأثیر شایانی روی قابلیت ارائه سرویس‌های QoS در شبکه می‌گذارد[۱۰و۱۱].

در گروهی از شبکه‌های اقتضائی, میزان مشارکت ترمینال‌های سیار در مسیریابی و توانائی هر ترمینال در انتقال بسته‌های پیام به دیگران محدود است. به عبارت دیگر, هر گره شبکه قادر است تا در تعداد محدودی از ارتباط‌ها شرکت نماید. هنگامی که میزان مشارکت ترمینال‌ها در انتقال بسته‌ها محدود است, با مسأله انسداد مسیر[۲] مواجه می‌شویم. در انسداد مسیر, گروهی از ترمینال‌های میانی در مسیرهای موجود بین یک زوج مبدأ و مقصد, توسط مسیرهای فعال‌شده قبلی اشغال شده‌اند. در این حالت, اگرچه مسیری مناسب بین مبدأ و مقصد وجود دارد و الگوریتم مسیریابی نیز می‌تواند این مسیر مناسب را پیدا کند. اما به دلیل ذکر شده, این مسیر قابل استفاده نیست. وقتی ایستگاه متحرک دارای میزان مشارکت محدود است، ممکن است برخی از مسیرها مسدود شوند. در بررسی‌های انجام شده در این پایان‌نامه، فرض بر این است که هر گره, تنها می‌تواند در یک مسیر حضور داشته باشد. واضح است که این بررسی به شرایطی که یک گره امکان حضور در چند مسیر را دارد نیز قابل تغییر است.

به این ترتیب، برای افزایش کارایی در شبکه‌های اقتضائی، به الگوریتم‌های مسیریابی که موجب کاهش انسداد مسیر شوند نیاز است. الگوریتم‌های مسیریابی QoS متعددی در شبکه‌های اقتضائی ارائه شده است. این الگوریتم‌ها مبتنی بر معیارهای مختلفی در مسیریابی هستند. از جمله معیارهایی که در الگوریتم‌های مسیریابی استفاده شده است، می‌توان از معیارهای تک پارامتری[۳]، مانند تعداد گام‌های مسیر[۴]، هزینه[۵] مسیر، پهنای‌باند[۶] مسیر و درجه گره‌های[۷] مسیر نام برد. همچنین، برای حل مسأله مسیریابی QoS، از الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی معیارهای ترکیبی مختلفی استفاده شده است. الگوریتم مسیریابی مبتنی بر هریک از معیارهای مسیریابی تکی و ترکیبی، دارای مقادیر SR[۸] و PBR[۹] مختلفی هستند.

به دلیل پیچیدگی زیاد شبکه‌های ارتباطی سیار و وجود پارامترهای متعدد تأثیرگذار بر عملکرد سیستم‌ها، استفاده از شبیه‌سازی در بررسی رفتار سیستم‌ها بسیار متداول است. با توجه به این که، سیار بودن ترمینال‌ها در شبکه بدون‌سیم اقتضائی از ویژگی‌های مهم محسوب می‌شود، به منظور نزدیک شدن به شرایط واقعی، در شبیه‌سازی شبکه‌های ارتباطی سیار، از مدل‌های حرکتی استفاده می‌شود. مدل حرکتی، الگوی

---

[1] Medium Access
[2] Path Blocking
[3] Single Metric
[4] Hop Count
[5] Cost
[6] Bandwidth
[7] Degree
[8] Success Ratio
[9] Path Blocking Ratio

جابجایی MSها در ناحیه شبیه‌سازی مورد نظر را تعریف می‌کند. اکثر شبیه‌سازی‌ها برای مدل کردن رفتار MSها در شبکه‌های اقتضائی، بر اساس ایده شبیه‌سازی مبتنی بر وقایع[1] طراحی شده‌اند.

استفاده از منطق فازی در سیستم‌های کنترلی به منظور افزایش بازدهی ویا اجتناب از مسائل پیچیده ریاضی است[۴۲]. منطق فازی عملاً ابزار مفیدی برای حل مسائل بهینه‌سازی محسوب می‌شود. این منطق می‌تواند مقادیر معیارهای مختلف مسیریابی را به عنوان متغیرهای فازی درنظر بگیرد[۴۳]. گفته می‌شود منطق فازی یکی از بهترین تکنیک‌ها، برای مدل کردن موارد غیر دقیق است[۲۶]. اطلاعات حالت در شبکه‌های اقتضائی دقیق نیستند. بنابراین, می‌توان با استفاده از مسیریابی فازی[2] کارایی شبکه‌های اقتضائی را افزود.

۱-۱- اهداف پایان‌نامه

در این پایان‌نامه، با استفاده از شبیه‌سازی، کارایی الگوریتم مسیریابی مبتنی بر معیارهای مختلف بررسی می‌شود. از جمله معیارهای مسیریابی مورد مطالعه، می‌توان از معیارهای تک پارامتری همچون تعداد گام‌های مسیر، طول مسیر و معیار جدیدی با نام درجه گره‌های مسیر نام برد. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی، اثر این معیارها به روی مقادیر SR و PBR مربوط به الگوریتم مسیریابی بررسی می‌گردد. به علاوه، اثر استفاده از معیارهای ترکیبی در مقدار کارایی الگوریتم مسیریابی مورد مطالعه قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی‌ها به ازای معیارهای متفاوت، مختلف هستند. در ادامه این پایان‌نامه، دو راهکار برای مسیریابی به صورت Offline پیشنهاد می‌شود. همچنین، یک روش مسیریابی مبتنی بر منطق فازی ارائه می‌گردد. هدف از پیشنهاد الگوریتم مسیریابی فازی، بهبود نرخ موفقیت SR و نیز کاهش مقدار PBR است.

۱-۲-ساختار پایان‌نامه

فصل۲ از پایان‌نامه حاضر, به معرفی و مطالعه مسائل مطرح در شبکه‌های بدون سیم می‌پردازد. در این فصل درباره مسائل مسیریابی و پروتکل‌های مسیریابی ارائه شده برای شبکه‌های اقتضائی صحبت می‌شود. همچنین، برخی مدل‌های حرکتی موجود، معرفی می‌گردند.

در فصل۳, در مورد مسأله QoS و راه‌حل‌های مطرح مربوط به آن توضیحاتی آمده است. این فصل به معرفی دو مسأله MCP و RSP و راه‌حل‌های مربوط به آنها می‌پردازد. به علاوه، یک معماری برای شبکه‌های اقتضائی معرفی می‌شود.

در فصل۴, تعاریف مربوط به شبکه‌های اقتضائی و معیارهای مختلف استفاده شده در مسیریابی QoS آمده است. همچنین, برخی نتایج شبیه سازی روی معیارهای مختلف مسیریابی و تأثیر هر یک از آنها روی

---

[1] event based
[2] Fuzzy Routing

مقدار انسداد مسیر ذکر شده است. هدف این فصل، مطالعه رفتار الگوریتم‌های مسیریابی در شبکه‌های با میزان مشارکت محدود و ارائه روش‌ها و معیارهای مسیریابی مناسب برای کاهش احتمال انسداد مسیر است.

در فصل۵, شرح مختصری از منطق فازی و برخی مسیریابی‌های مبتنی بر این منطق ذکر می‌گردد. در ادامه این فصل, یک الگوریتم مسیریابی فازی پیشنهاد می‌شود. در انتهای این پایان نامه نتایج و پیشنهادات بیان می‌گردند.

فصل دوم
معرفی و مطالعه مسائل مطرح در شبکه‌های بدون سیم

شبکه‌های بدون‌سیم با شبکه LAN معمولی متفاوت هستند و به پروتکل‌های زیرلایه MAC و پروتکل‌های مسیریابی متفاوتی نیاز دارند به همین دلیل پروتکل‌ها و استانداردهای متعددی برای مسیریابی و سایر مسائل برای این شبکه‌ها ارائه شده است. نمونه‌ای شاخص از این استانداردها، IEEE 802.11 [۴و۱۲] است. این فصل، به معرفی و مطالعه مسائل مطرح در شبکه‌های بدون‌سیم خواهد پرداخت.

۲-۱- شبکه‌های بدون‌سیم

شبکه‌های بدون‌سیم به دو نوع سلولی[1] و اقتضائی[2] تقسیم می‌شوند که به ترتیب دارای زیرساختار و بدون زیرساختار هستند. پیکربندی عمومی شبکه‌های سلولی، شامل مجموعه ای از ترمینال‌های پایه (BS)[3] است که عموماً با استفاده از یک شبکه سیمی به هم متصل شده‌اند. برای سادگی معمولاً فرض می‌شود که تمام فرستنده‌های رادیویی دارای محدوده ارسال ثابتی هستند. شبکه‌های اقتضائی[4]، متشکل از ترمینال‌های بدون‌سیم سیار[5] (MS) هستند. هر فرستنده دارای دامنه ارسال محدودی است. بنابراین، ترمینال‌ها توسط مسیرهای چندگامی[6] با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. در واقع ترمینال‌های میانی، به عنوان مسیریاب عمل می‌کنند.

---

[1] Cellular
[2] Ad-Hoc
[3] Base Station
[4] Mobile Ad-Hoc Network
[5] Mobile Station
[6] Multihop

شبکه‌های MANET، نسبت به شبکه‌های محلی بدون‌سیم[1] (WLAN)، از ساختاری متفاوت استفاده می‌کنند. در شبکه‌های WLAN, توپولوژی شبکه, به دلیل وجود ترمینال‌های پایه، ثابت است. اما در شبکه‌های MANET، ترمینال‌های سیار در شبکه، فقط به عنوان سیستم‌های انتهایی عمل نمی‌کنند, بلکه, نقش مسیریابی نیز بر عهده آنها است. در این شبکه‌ها، توپولوژی شبکه به مکان نسبی و ارتباط MSها در شبکه وابسته است. توپولوژی پویای MANET, از جنبه‌های مختلف, روی رفتار شبکه تأثیر می‌گذارد. از این میان می‌توان به عملکرد شبکه در زیر لایه MAC و نیز برخورد شبکه با مسأله مسیریابی اشاره نمود. به عنوان مثال، رفتار حرکتی[2] ترمینال‌های سیار، موجب تغییرات توپولوژی می‌شود و درنتیجه, ممکن است مسیرها تغییر پیدا کنند.

دلایل استفاده روزافزون از ارتباطات بدون‌سیم، به ویژه شبکه‌های MANET را می‌توان در سه چیز خلاصه کرد: سادگی آرایش شبکه، سرعت آرایش شبکه و نیز کاهش وابستگی به زیرساختارها.

معمولاً در تئوری، محیط شبکه‌های MANET متقارن در نظر گرفته می‌شود. یعنی تمام MS ها دارای قابلیت‌های مشابهی هستند. اما در عمل اینگونه نیست و چنین تقارنی, وجود ندارد. به عبارت دیگر، محدوده ارسال، شعاع پاسخگویی MSها در شبکه، طول عمر باتری، قابلیت پردازش و سرعت حرکت MSها ممکن است با یکدیگر متفاوت باشد. همچنین, ممکن است ترمینال‌های مختلف، قادر به پاسخگویی یکسانی نباشند. به این معنا که فقط بعضی از ترمینال‌های سیار می‌توانند بسته‌ها را مسیردهی کنند. همچنین، رفتار و عملکرد بعضی از MSهای موجود در شبکه، ممکن است با بقیه متفاوت باشد.

به دلیل پیچیدگی زیاد شبکه‌های MANET، پروتکل‌ها و الگوریتم‌های موجود، معمولاً با شبیه‌سازی ارزیابی می‌شوند. مدل‌های حرکتی[3] مختلفی برای شبکه‌های اقتضائی ارائه شده است. شبیه‌سازی هر شبکه اقتضائی به مدل‌های حرکتی خاص نیاز دارد. مشخصه‌های گره‌ها را می‌توان در سرعت، قابلیت پیش‌بینی جهت حرکت، الگوی حرکت MS ها و مشخصه‌های حرکتی در میان گره‌های مختلف در نظر گرفت. چالش‌هایی که در شبکه‌های اقتضائی وجود دارد, عبارتند از: محدودیت دامنه ارسال[4] دستگاه بدون‌سیم، طبیعت انتشار[5] در کانال بدون‌سیم، مسأله مخفی بودن ترمینال‌ها از هم، تغییرات مسیر به دلیل حرکت ترمینال‌ها، ازدست‌رفتن بسته‌ها به دلیل حرکت ترمینال‌ها، محدودیت مصرف باتری، سادگی شنود در ارسال بدون‌سیم و مشکلات امنیتی.

مسیریابی در شبکه‌های MANET متفاوت از مسیریابی در شبکه‌های سیمی و بدون‌سیم دیگر است. پروتکل‌های مسیریابی‌های متفاوتی برای شبکه‌های MANET ارائه شده است. دلیل این تفاوت را می‌توان در حرکت ترمینال‌های سیار جستجو کرد. حرکت MSها, در شبکه‌های اقتضائی موجب می‌شود کانال‌های

---

[1] Wireless Local Area Network
[2] Mobility
[3] Mobility Model
[4] Transmission Ranges
[5] Broadcast

ارتباطی بین MSهای موجود در شبکه تغییر کند. در بیشتر مقالات پروتکل‌های مسیریابی به سه دسته: proactive، reactive یا on-demand و پیوندی تقسیم شده‌اند [۱-۳]. در مطالب بعدی این فصل در مورد برخی از مسائل مرتبط با شبکه‌های اقتضائی صحبت می‌شود.

۲-۲- مسیریابی در شبکه‌های سیار اقتضائی

در شبکه‌های بدون‌سیم اقتضائی, ارتباط ترمینال‌های سیار از طریق کانال بدون‌سیم است. به علاوه, تغییرات زیاد توپولوژی شبکه به دلیل حرکت گره‌های شبکه، موجب می‌شود مسیریابی در شبکه‌های بدون‌سیم اقتضائی، مسأله قابل تأملی باشد. در این شبکه‌ها، پیامی که با یک دستگاه سیار ارسال می‌شود، همزمان توسط تمام گره‌های همسایه آن دستگاه دریافت می‌شود. اگر مقصد پیامی در محدوده ارسال فرستنده نباشد، باید همسایه‌ها پیام را به جلو هدایت کنند تا به مقصد برسد. به این ترتیب, گره‌های میانی به صورت مسیریاب عمل می‌کنند. رفتار حرکتی شبکه باعث می‌شود ایجاد مسیرهای ثابت برای تحویل پیام در شبکه میسر نباشد.

چندین پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های بدون‌سیم اقتضائی پیشنهاد شده است. دو روش پایه‌ای که الگوریتم‌های مسیریابی براساس آن هستند، الگوریتم distance-vector و الگوریتم link-state هستند[٤].با توجه به این که مسیرها به طور پیوسته به روز شوند و یا مطابق با تقاضا واکنش نشان بدهند، پروتکل‌های مسیریابی به دو دسته proactive و reactive دسته‌بندی می‌شوند[۱]. در پروتکل proactive، تأخیر اکتشاف مسیر کم و سربار نگهداری مسیر زیاد است. زیرا مسیرها همیشه به‌طور کامل نگهداری می‌شوند. در حالی که در پروتکل‌های مسیریابی reactive ، تأخیر اکتشاف مسیر، زیاد و سربار نگهداری مسیر، کم است. در واقع، هدف مسیریابی، راهکاری با مصالحه بهتر بین ترافیک و الگوهای حرکتی است. مسأله مسیریابی و الگوریتم‌های مسیریابی ارائه شده در شبکه‌های اقتضائی از مباحث مورد توجه تحقیقاتی است. در ادامه, پروتکل‌های مسیریابی در شبکه‌های اقتضائی مختصراً تشریح شده‌اند.

۲-۳- پروتکل‌های مسیریابی

در بیشتر مقالات, پروتکل‌های مسیریابی به سه نوع Proactive، reactive یا on-demand و پیوندی[1] تقسیم شده‌اند [۱-۳].

در پروتکل‌های مسیریابی proactive، هر گره باید اطلاعات مسیر تا تمام گره‌های دیگر را در جدولی نگهداری کند و مدخل‌های جدول مسیریابی را به طور دوره‌ای به‌روزرسانی کند. مزیت این پروتکل در این است که وقتی مسیری لازم می‌شود، معمولاً در دسترس است. از آنجا که در هر لحظه, مسیرها در جدول مسیریابی موجود هستند، به این نوع پروتکل‌ها table driven هم می‌گویند. این گونه پروتکل‌ها, در زمان

[1] Hybrid

به‌روزرسانی مدخل‌های مسیر کهنه, دارای سربار زیادی هستند. پروتکل‌های مسیریابی proactive زیادی وجود دارد. از جمله پروتکل‌های مسیریابی proactive می‌توان از DSDV[۱] ، WRP[۲]، CGSR[۳]، OLSR[۴] و LARRLM[۵] نام برد.

در پروتکل‌های مسیریابی reactive، ترمینال‌های سیار، فقط در صورتی که به ارتباط و ارسال بسته به مقصدی نیاز داشته باشند، اطلاعات مسیر به آن مقصدی را نگهداری می‌کنند. MS مبدأ، بسته جستجویی را با تکنیک flooding, برای یافتن MS مقصد ارسال می‌کند. تکنیک flooding, زمان زیادی مصرف می‌کند و موجب ارسال افزونه پیام می‌شود. در نتیجه, پروتکل مسیریابی reactive، زمان بیشتری برای برقراری یک مسیر, نسبت به پروتکل مسیریابی proactive نیاز دارد. به علاوه, در پروتکل مسیریابی reactive، مقدار زیادی بسته جستجو برای یافتن مسیر، در شبکه وجود خواهد داشت. پروتکل‌های مسیریابی reactive زیادی ارائه شده است. از جمله پروتکل‌های reactive که تا کنون ارائه شده, می‌توان از AODV ، FORP[۶] ، DSR، ABR[۷]، TORA[۸]، SSA[۹]، RDMAR[۱۰] نام برد.

پروتکل‌های پیوندی، برای کاهش زمان اکتشاف مسیر و نیز کاهش سربار نگهداری اطلاعات مسیر در هر گره از شبکه از مصالحه بین دو پروتکل قبلی استفاده می‌کند. در برخی پروتکل‌های پیوندی، الگوریتم‌هایی ارائه شده است که از GPS استفاده می‌کنند. بنابراین, فرض می‌شود هر MS، مکان فعلی خود را می‌داند. پروتکل‌های پیوندی دیگری نیز ارائه شده‌اند که ترکیبی از مسیریابی reactive و proactive هستند. در این پروتکل‌ها، شبکه به چندین ناحیه تقسیم می‌شود. MSهای موجود در هر ناحیه, اطلاعات مسیریابی به یکدیگر را نگهداری می‌کنند. در هنگام ارتباط بین MSهای دو ناحیه مجزا، اکتشاف مسیر به صورت reactive انجام می‌پذیرد. الگوریتم‌های FSR[۱۱], GZRP[۱۲]، LAR[۱۳]، ZRP[۱۴] و ZHLS[۱۵] مثال‌هایی پروتکل پیوندی هستند.

در مقاله [۵], یک پروتکل مسیریابی proactive، به نام FSR ارائه شده است. FSR، یک پروتکل مسیریابی سلسله مراتبی است که از تکنیک "Fisheye" استفاده می‌کند. از این تکنیک برای کاهش مقدار اطلاعات موردنیاز در جداول استفاده شده است. چشم ماهی، پیکسل‌های نزدیک نقطه مرکزی (کانون) را با جزئیات زیادی می‌بینند. جزئیات، با افزایش فاصله از نقطه مرکزی کاسته می‌شوند. در مسیریابی با دیدگاه

---

[1] Destination Sequenced Distance Vector
[2] Wireless Routing Protocol
[3] Clusterhead Gateway Switch Routing
[4] Optimized Link State Routing
[5] Location Aware Routing with Reduced Location Maintenance
[6] Flow Oriented Routing Protocol
[7] Associativity Based Routing
[8] Temporally Order Routing Algorithm
[9] Signal stability-based Adaptive
[10] Relative Distance Microdiscovery Ad-Hoc Routing
[11] Fisheye State Routing
[12] GPS Zone Routing Protocol
[13] Location-Aided Routing
[14] Zone Routing Protocol
[15] Zone – based Hierarchical Link state Routing