



بررسی روش های مسیریابی شبکه های فرصت طلبانه



کوثر نقره ای، کیارش میزانیان

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی فناوری اطلاعات

گرایش شبکه های کامپیوتری دانشگاه یزد

۲- استادیار عضو هیئت علمی گروه کامپیوتر دانشگاه یزد

kowsar.noghrei@stu.yazd.ac.ir

نام ارائه دهنده: کوثر نقره ای

کد مقاله: Com-0776

خلاصه

شبکه های فرصت طلبانه یکی از موضوعاتی است که در دهه های اخیر از سوی جامعه علمی بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این شبکه ها گره های متحرک قادر به برقراری ارتباط به صورت غیر هم زمان بوده و بیش تر مواقع یک مسیر انتها به انتها میان مبدأ و مقصد وجود ندارد. در این مقاله ابتدا براساس معیار میزان استفاده از محتوای گره ها در مسیریابی، روش های مسیریابی به سه دسته تقسیم شده است. سپس در هر دسته پروتکل های مسیریابی موجود مطرح و روش مورد استفاده در هر کدام بحث شده است.

کلمات کلیدی: شبکه های فرصت طلبانه، مسیریابی، بی توجه به محتوا، مبتنی بر جابجایی، مبتنی بر محتوا

۱. مقدمه

در سال های اخیر استفاده از تلفن های همراه، رایانه های جیبی^۱ و دیگر دستگاه های سیار با رشد فزاینده ای روبه رو بوده است. برای برقراری ارتباط میان این دستگاه ها از دو روش استفاده می شود. در یک روش فناوری های بی سیم و در روش دیگر جابجایی کاربران به عنوان رسانه ای انتقال داده به کار می رود. در روش اول به علت هزینه ی زیاد و سختی ایجاد زیرساخت های لازم، سرعت گسترش شبکه ها کاهش پیدا می کند. در حالی که در روش دوم، انتقال داده وابسته به فرصت های برخوردی^۲ است که به وسیله ی جابجایی گره ها به وجود می آید. استفاده از این روش برای برقراری ارتباط در شبکه های کامپیوتری نوع جدیدی از شبکه ها به نام شبکه های فرصت طلبانه^۳ را ایجاد می کند (۱).

می توان شبکه های فرصت طلبانه را یکی از تکامل های به وجود آمده در شبکه های سیار موردی^۴ و یک زیر کلاس از شبکه های متحمل تأخیر یا قطعی^۵ دانست. البته در شبکه های سیار موردی، میان دو یا چند گره ارتباط هم زمان بی سیم برقرار بوده و مسیریابی در آن ها به صورت بلادرنگ^۶ صورت می گیرد، در حالی که گره های شبکه های فرصت طلبانه، دستگاه های قابل حمل سیاری هستند که ارتباط میان آن ها از طریق فناوری بی سیم و معمولاً به صورت غیر هم زمان می باشد و حتی ممکن است هر گز یک مسیر ارتباطی پایدار بین فرستنده و گیرنده ی پیام به وجود نیاید. در نتیجه ارتباط میان گره ها از نظر زمانی بسیار متغیر بوده و ارسال پیام در آن ها با تأخیر زیادی مواجه است. در این شبکه ها برای تحویل پیام از الگوریتم ذخیره - حمل - ارسال^۷ استفاده می شود؛ یعنی داده ها در بافر گره های متحرک ذخیره شده و همراه با آن ها حمل می شوند و هنگامی که فرصتی برای ارتباط با گره دیگری به وجود بیاید که بتواند پیام را به مقصد نهایی نزدیک تر کند، به آن گره ارسال شده و آن گره به عنوان گام بعدی^۸ تعیین می گردد (۲).

¹ Personal Digital Assistant (PDA)

² Contact opportunity

³ Opportunistic Networks (OppNets)

⁴ Mobile Ad hoc Networks (MANET)

⁵ Delay/Disruption Tolerance Networks (DTN)

⁶ Real time

⁷ Store-carry-forward algorithm

⁸ Next hop

پروتکل‌های TCP/IP در این محیط‌ها به آسانی نقض می‌شوند، زیرا ممکن است یک مسیر انتها به انتها بین مبدأ و مقصد فقط برای یک بازه‌ی زمانی کوتاه و غیر قابل پیش‌بینی وجود داشته باشد و چون این پروتکل‌ها برای شرایط ارسال داده و بازگشت سریع تصدیق آن طراحی شده‌اند و باید ابتدا یک مسیر کامل میان مبدأ و مقصد پیام به وجود بیاید تا ارسال داده امکان پذیر شود، نمی‌توانند در شبکه‌های فرصت‌طلبانه استفاده شوند (۱). در بخش دوم این مقاله انواع روش‌های مسیریابی شبکه‌های فرصت‌طلبانه با توجه به معیار میزان استفاده از محتوای گره‌های شبکه طبقه‌بندی شده‌اند. در هر یک از سه بخش بعدی مهم‌ترین نمونه پروتکل‌های هر کدام از مجموعه روش‌های مسیریابی آورده شده و نحوه‌ی مسیریابی هر یک از این نمونه پروتکل‌ها شرح داده شده است.

۲. انواع روش‌های مسیریابی در شبکه‌های فرصت‌طلبانه

روش‌های مسیریابی در شبکه‌های فرصت‌طلبانه در سه گروه زیر طبقه‌بندی می‌شوند:

۱- روش‌های بی‌خبر از محتوا^۱: پروتکل‌های مسیریابی موجود در مجموعه روش‌های بی‌خبر از محتوا از شیوه‌ی مبتنی بر سیل آسا^۲ برای مسیریابی پیام‌ها استفاده می‌کنند. در این شیوه، مبدأ پیام را به همه‌ی لینک‌های خروجی خود می‌فرستد و هر گره‌ی که آن را دریافت می‌کند، دوباره آن را به همه‌ی لینک‌های خروجی خود، به جز لینکی که پیام را از آن دریافت کرده است، می‌فرستد. به این ترتیب، هر پیام ممکن است از مسیرهای متفاوت و در زمان‌های مختلف به مقصد می‌رسد. مزیت شیوه‌ی مبتنی بر سیل آسا این است که پیدا کردن مسیر در آن به سهولت انجام می‌شود و به همین دلیل بهترین کارایی را در انتقال انتها به انتها دارند. با این وجود انتشار سیل آسا باعث ایجاد تعداد بسیار زیادی بسته‌ی درخواست در کانال‌های ارتباطی می‌شود که خود دلیلی برای ایجاد ازدحام در شبکه است.

۲- روش‌های مبتنی بر جابجایی^۳: پروتکل‌های مسیریابی موجود در مجموعه روش‌های مبتنی بر جابجایی از برخی اطلاعات محتوای گره‌ها شامل الگوی حرکتی^۴ گره‌ها و پیشینه‌ی اتصال^۵ آن‌ها و ... برای تصمیم‌گیری در مورد ارسال داده استفاده می‌کنند. جابجایی گره‌ها روی کارایی مسیریابی پیام‌ها در شبکه‌های فرصت‌طلبانه تأثیر به‌سزایی دارد.

۳- روش‌های مبتنی بر محتوا^۶: تفاوت اصلی میان روش‌های مبتنی بر جابجایی و روش‌های مبتنی بر محتوا این است که در روش‌های مبتنی بر جابجایی، اطلاعات محتوا درباره‌ی الگوی جابجایی گره‌ها در شبکه، اطلاعاتی درباره‌ی خود گره‌ها یا پیشینه‌ی برخوردهای میان گره‌ها از ابتدای شروع به کار شبکه است. در حالی که در روش‌های مبتنی بر محتوا فقط از این گونه اطلاعات استفاده نمی‌نمایند، بلکه جنبه‌ی اجتماعی^۷ گره‌ها را نیز در به عنوان عامل مهمی در مسیریابی پیام‌ها مورد توجه قرار می‌دهد. توجه به جنبه‌ی اجتماعی گره‌ها به این علت است که در بسیاری از موارد جابجایی گره‌ها به علت تصمیم‌گیری حامل آن (مانند انسان‌ها، حیوانات، وسایل نقلیه و غیره) است. بنابراین روابط اجتماعی حامل‌ها نقش مهمی در چگونگی برخورد آن‌ها با هم بازی می‌کند. مزیت این مجموعه روش‌ها در این است که از مجموعه روش‌های مبتنی بر جابجایی کلی‌تر هستند و در نتیجه با هر مجموعه از اطلاعات محتوا می‌توان از آن‌ها بهره برد و به آسانی می‌توان بهترین اطلاعات محتوا برای مسیریابی در هر محیط و شرایط خاص انتخاب نمود (۳).

۳. روش‌های مسیریابی بی‌خبر از محتوا

پروتکل‌های مسیریابی موجود در مجموعه روش‌های بی‌خبر از محتوا شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- در سال ۲۰۰۳ برای کاهش تأخیر تحویل، Vahdat و همکارانش مسیریابی همگانی^۸ را پیشنهاد کردند که از الگوریتم همگانی استفاده می‌کند. این الگوریتم که برای هماهنگ کردن پایگاه داده‌های تکراری پیشنهاد شده است، در این جا تضمین می‌کند که تعداد کافی تبادل داده‌ی تصادفی در شبکه وجود داشته باشد تا همه‌ی گره‌ها در نهایت بتوانند همه‌ی پیام‌ها را دریافت کنند. در نتیجه میزان تحویل پیام‌ها به مقصد ۱۰۰ درصد

¹ Context-oblivious routing techniques

² Flooding-based

³ Mobility-based routing techniques

⁴ Mobility patterns

⁵ Encounter history

⁶ Context-based routing techniques

⁷ Social aspect

⁸ Epidemic routing

است. مسیریابی همگانی مشابه ارسال سیل آسا در شبکه است، زیرا تلاش می کند که هر پیام را به همه ی گره های شبکه بفرستد. البته در هر مرحله مانند ارسال سیل آسا پیام به همه ی گره های همسایه ارسال نمی شود، بلکه به کمک یک سری شیوه های خاص (مانند استفاده از GPS) سعی در تشخیص محدوده ی مکان گیرنده دارد تا به این طریق مصرف منابع شبکه (مانند حافظه) کاهش یابد. ولی با این وجود نیز این روش نیاز شدیدی به پهنای باند و بافر دارد (۴).

۲- Spyropoulos و همکارانش در سال ۲۰۰۴ یک روش مسیریابی ساده به نام انتقال مستقیم^۱ پیشنهاد کرد. در این روش بعد از آن که گره مبدأ یک پیام را تولید کرد، آن را در بافر خود ذخیره کرده و به همراه خود حمل می کند تا هنگامی که یک برخورد با گره مقصد داشته باشد و بتواند پیام را به آن تحویل دهد. در این روش تنها یک نسخه از پیام تولید می شود و در نتیجه برای تحویل پیام کم ترین انتقال داده صورت می گیرد و سربار روی شبکه به کم ترین مقدار ممکن می رسد. ولی ممکن است تحویل پیام در آن با تأخیر بسیار زیادی مواجه شود. زیرا هیچ گونه محدودیتی در مورد تأخیر تحویل وجود ندارد (۵).

۳- در سال ۲۰۰۵ برای مشخص نمودن سربار ترافیکی اضافی از داده های بسته های تکرار سیل آسا، Harras و همکارانش یک طرح سیل آسای کنترل شده^۲ را پیشنهاد کردند. آن ها فرض کردند که هر گره فقط اطلاعاتی درباره ی خود و پیامی که حمل می کند، می داند و به صورت مستقل تصمیم گیری می نماید. در این طرح، ارسال سیل آسای پیام توسط سه عامل با نام های احتمال آمادگی^۳، زمان حیات^۴ و زمان مرگ^۵ تعیین می شود. در ابتدا همه ی گره های ارسال کننده با عنوان غیر آلوده^۶ شروع به کار می کنند. سپس مقدار آمادگی هر ارسال کننده، با توجه به یک تابع احتمال مشخص می گردد. حال مبدأ راهنماهایی^۷ می فرستد تا پیام را به مقصد ارسال کند. اگر آمادگی این ارسال کننده غیر صفر باشد، تصدیق راهنما را فرستاده و پیام را دریافت می کند. اگر مقدار زمان حیات در پیام دریافتی به صفر برسد، پیام دور انداخته شده و ارسال کننده، بدون آلودگی حرکت خود را ادامه می دهد. اگر زمان حیات غیر صفر باشد، ارسال کننده، آلوده به پیام می شود و تعداد دفعاتی که باید پیام را ارسال کند، یعنی مقدار زمان ارسال^۸ را با توجه به سطح آمادگی خود تنظیم نموده و زمان مرگ پیام را به روزرسانی می کند. ارسال کننده ی آلوده تلاش می کند تا پیام را به دست ارسال کننده های غیر آلوده یا مقصد برساند و تا وقتی که مقادیر زمان مرگ یا زمان ارسال صفر نشده باشند به تلاش خود ادامه می دهد. وقتی ارسال کننده ی آلوده یک تصدیق راهنما از یک ارسال کننده ی غیر آلوده دریافت می نماید، پیام را فرستاده و مقدار زمان ارسال آن را به روزرسانی می کند. اگر گره غیر آلوده مقصد پیام باشد، آن گاه گره آلوده یک تصدیق درمان^۹ دریافت کرده و حالت خود را به درمان شده تغییر می دهد. وقتی ارسال کننده ی درمان شده یک راهنما از یک ارسال کننده ی آلوده یا مبدأ دریافت می کند، تصدیق درمان خود را می فرستد تا گره آلوده را بهبود بخشیده و زمان درمان آن را به روزرسانی نماید. اگر زمان درمان منقضی شود، ارسال کننده به حالت اولیه ی غیر آلوده برمی گردد. بنابراین با ایجاد امکان تصمیم گیری برای مقدار زیادی از سربار ترافیکی شبکه، طرح سیل آسای کنترل شده هزینه ی ارسال سیل آسا را کاهش می دهد و تحویل را نیز به صورت قابل اطمینان انجام می دهد (۶).

۴- در سال ۲۰۰۵، Wang و همکارانش روش کد گذاری محو شده^{۱۱} را با استفاده از یک طرح مبتنی بر کد گذاری ارائه نمودند. در این طرح یک پیام قبل از انتقال به یک قالب دیگر تبدیل می شود. ایده ی اصلی این شیوه آن است که اطلاعات اضافی در بلوک های کد شده جاسازی شود تا پیام اصلی را بتوان با تعداد خاصی از بلوک های کد شده بازسازی نمود. در روش کد گذاری محو شده یک پیام به یک مجموعه ی بزرگ تر از بلوک های کد شده تبدیل می شود که زیرمجموعه های خاصی از این بلوک های تولید شده می توانند پیام اصلی را دوباره بازسازی نمایند. این الگوریتم یک پیام با اندازه ی M و ضریب تکرار^{۱۱} r را می گیرد و تعداد $M \times r / b$ بلوک کد شده با اندازه ی یکسان b تولید می کند. در این جا ابتدا پیام در مبدأ رمز گذاری^{۱۲} می شود و تعداد زیادی از بلوک های کد شده تولید می شود. سپس بلوک های کد شده به طور مساوی میان اولین kr گره بازپخش^{۱۳} تقسیم می شوند که در آن k یک عدد ثابت است. اگر $1/r$ بلوک های کد شده به مقصد برسند، امکان رمز گشایی^{۱۴} پیام به وجود می آید. چون بلوک های کد شده به طور مساوی میان kr گره بازپخش تقسیم شده اند، هنگامی که k تا از گره های بازپخش، داده های خود را تحویل دهند، می توان پیام را رمز گشایی نمود. البته

¹ Direct transmission
² Controlled flooding scheme
³ Willingness probability
⁴ Time to live
⁵ Kill time
⁶ Uninfected
⁷ Beacon
⁸ Time to send
⁹ Cure
¹⁰ Erasure coding
¹¹ Replication factor
¹² Encode
¹³ Relay node
¹⁴ Decode

در صورتی که هیچ یک از بلوک‌های کد شده در طول انتقال میان گره‌های بازپخش گم نشوند. نکته‌ی اصلی این است که اگر ثابت k بزرگ باشد، توزیع تأخیر^۱ به یک عدد ثابت همگرا می‌شود. در نتیجه با استفاده از روش کدگذاری محو شده می‌توان اطمینان حاصل نمود که میزان تأخیر همیشه یک مقدار ثابت باقی می‌ماند. در این روش تعداد بلوک‌های انتقالی در هر اتصال، بدون توجه به طول زمان اتصال، یک عدد ثابت است. پس این الگوریتم در صورتی که طول زمان اتصال خیلی طولانی‌تر از زمان مورد نیاز برای ارسال داده‌های گره‌های بازپخش نباشد، می‌تواند به طور مؤثری از هر اتصال در شبکه بهره‌بردار. اگر اتصالات شبکه طولانی‌تر از زمان مورد نیاز باشند، روش کدگذاری محو شده مدت زمان باقی مانده از اتصال را هدر می‌دهد و در نتیجه باعث ناکارآمدی شبکه می‌شود (۷).

۵- در سال ۲۰۰۵ توسط Spyropoulos و همکارانش برای کنترل میزان پخش سیل آسا روشی به نام پخش و انتظار^۲ پیشنهاد شد. در فاز پخش تعداد L نسخه از پیام وجود دارد که توسط مبدأ یا گره‌های بازپخش به L گره دیگر ارسال می‌شوند. اگر در فاز پخش مقصد پیدا نشود، فاز انتظار آغاز می‌شود که در آن هر گره که یک نسخه از پیام را داشته باشد روش انتقال مستقیم که در بالا به آن اشاره شد، را روی آن نسخه انجام می‌دهد. روش پخش و انتظار دودویی^۳ کارایی بهتری دارد. در این روش مبدأ یا گره بازپخش، نصف نسخه‌های پیام خود را به گره‌های بازپخش دیگر فرستاده و بقیه را نزد خود نگه می‌دارد. گره مبدأ و گره‌های بازپخش این روند را تا زمانی ادامه می‌دهند که تنها یک نسخه از پیام باقی بماند و سپس آن نسخه را با روش انتقال مستقیم مسیریابی می‌کنند (۸).

۶- در سال ۲۰۰۷، Spyropoulos و همکارانش برای محدود نمودن سربار تحویل یک پیام، روش پخش و تمرکز^۴ را ارائه کردند. در این روش ابتدا فاز پخش می‌شویم که در آن مبدأ با تولید هر پیام جدید، تعداد L تا نشانه‌ی ارسال^۵ نیز با آن ایجاد می‌کند. هر نشانه‌ی ارسال به این معنا است که گره دارنده‌ی آن می‌تواند یک نسخه‌ی دیگر از یک پیام خاص را تولید و ارسال کند. وقتی یک گره بازپخش^۶ فقط یک نشانه‌ی ارسال داشته باشد، وارد فاز تمرکز می‌شویم و در آن پیام می‌تواند با توجه به معیارهای خاصی به یک گره بازپخش دیگر فرستاده شود. این معیارهای ارسال براساس یک مجموعه از زمان‌سنج‌ها است که زمان سپری شده از ملاقات دو گره با یک‌دیگر را ثبت می‌کنند (۹).

۴. روش‌های مسیریابی مبتنی بر جابجایی

پروتکل‌های مسیریابی موجود در مجموعه روش‌های مبتنی بر جابجایی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- Lindgren و همکارانش در سال ۲۰۰۳ روشی به نام پروتکل مسیریابی احتمالی با استفاده از برخوردها و انتقال‌ها^۷ پیشنهاد کردند. به طور کلی روش‌های مسیریابی احتمالی^۸ سهم بزرگی از روش‌های مسیریابی ارائه شده برای شبکه‌های فرصت‌طلبانه را در اختیار دارند. در این روش‌ها وقتی گره حامل پیام به با گره دیگری را برخورد می‌کند، به محاسبه‌ی احتمال آن که این گره بتواند گره مقصد را ملاقات کند، پرداخته و از این احتمال برای تصمیم‌گیری در مورد این که آیا باید پیام را به آن گره تحویل دهد یا آن را پیش خود نگه دارد، استفاده می‌نماید. در این روش از یک معیار احتمال به نام قابلیت پیش‌بینی تحویل^۹ استفاده می‌شود. این معیار، احتمال تحویل موفق یک پیام به مقصد از یک گره محلی را مشخص می‌سازد. وقتی دو گره با یک‌دیگر برخورد می‌کنند، اطلاعات خلاصه‌ای شامل مقدار قابلیت پیش‌بینی تحویل را با هم رد و بدل می‌کنند. به طور کلی اگر دو گره اغلب با هم برخورد می‌کنند، قابلیت پیش‌بینی تحویل بالایی نسبت به هم دارند و اگر برای مدت زمان خاصی یک‌دیگر را ملاقات نکنند، ارسال‌کننده‌ی خوبی برای هم نخواهند بود. بنابراین مقدار قابلیت پیش‌بینی تحویل آن‌ها نسبت به یک‌دیگر با گذشت زمان کاهش می‌یابد. با استفاده از نتایج شبیه‌سازی می‌توان نتیجه گرفت که این روش نسبت به مسیریابی همگانی سربار کم‌تری روی شبکه دارد (۱۰).

۲- طرح PROPHET به وسیله‌ی Leguay و همکارانش در سال ۲۰۰۵ با در نظر گرفتن الگوی جابجایی مورد تجدید نظر قرار گرفت و پروتکل MobySpace نام گرفت. در طرح جدید یک پیام به یک گره همسایه فرستاده می‌شود، اگر و تنها اگر الگوی جابجایی گره همسایه به مقصد بیش‌تر از گره حاضر شبیه باشد. در این الگوریتم گره حامل پیام به گره‌هایی که الگوی جابجایی آن‌ها به الگوی جابجایی مقصد بیش‌تر شبیه باشد،

¹ Delay distribution

² Spray and wait

³ Binary spray and wait

⁴ Spray and focus

⁵ Forwarding token

⁶ Relay node

⁷ Probabilistic Routing Protocol using History of Encounters and Transitivity (PROPHET)

⁸ Probabilistic routing

⁹ Delivery predictability

بسته‌هایی^۱ را می‌فرستد و برای اندازه‌گیری میزان شباهت الگوهای جابجایی از فاصله‌ی اقلیدسی^۲ استفاده می‌شود. تنها داده‌هایی که بایستی به وسیله‌ی گره‌ها به صورت سیل آسا انتشار یابد، الگوهای جابجایی آن‌ها است که برای این کار نیز می‌توان از یک روش همگانی^۳ استفاده نمود. بنابراین با استفاده از این روش می‌توان هزینه‌ی ارتباط و تأخیر تحویل را کاهش داد (۱۱).

۳- در سال ۲۰۰۵، Musolesi و همکارانش الگوریتم مسیریابی آگاه از محتوا^۴ را ارائه دادند که در آن یک ارتباط غیر هم‌زمان برای تحویل پیام تعریف شد. در این روش اگر پیام را به صورت هم‌زمان نتوان تحویل داد، پیام به میزبانی فرستاده می‌شود که بالاترین احتمال تحویل را داشته باشد و بتواند حامل پیام باشد. فرایند احتمال تحویل بر اساس تخمین و پیش‌بینی اطلاعات محتوا با استفاده از فیلترهای Kalman انجام می‌شود. فرایند پیش‌بینی در طول بازه‌ی قطع موقت اتصال استفاده می‌شود و تا وقتی ادامه می‌یابد که بتوان یک دقت خاص تضمین نمود. در این روش اگر اندازه‌ی بافر کوچک باشد، نرخ تحویل بسته‌ها از مسیریابی همگانی بهتر می‌شود، زیرا در این جا فقط یک نسخه از هر پیام تولید می‌شود (۱۲).

۴- در سال ۲۰۰۶، Burgess و همکارانش پروتکلی به نام MaxProp برای مسیریابی کارآمد پیام‌ها تعریف کردند که با استفاده از آن یک گره می‌تواند انتقال بسته‌ها به مقصد را زمان بندی کند و مشخص نماید که در صورت پر شدن بافرش، اولویت برای حذف با کدام بسته است. زمان بندی بسته‌ها بر اساس احتمال وجود مسیر از آن‌ها به مقصد با توجه به اطلاعات پیشینه^۵ انجام می‌شود. هم‌چنین از چند مکانیزم مکمل مانند تصدیق ارسال یا لیست گره‌های میانی استفاده شده نیز در این روش استفاده می‌گردد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی، این روش از مسیریابی آگاه از محتوا بهتر عمل می‌کند (۱۳).

۵- Burns در سال ۲۰۰۸ روشی پیشنهاد داد که در آن از بردار حرکت^۶ گره‌های متحرک برای پیش‌بینی مکان آینده‌ی آن‌ها استفاده می‌شود. در این روش از مقدار سرعت نسبی یک گره و گره‌های همسایه‌ی آن برای پیش‌بینی کم‌ترین فاصله‌ی میان دو گره استفاده می‌شود. بعد از محاسبه‌ی مکان آینده‌ی گره‌ها، پیام‌ها از طریق گره‌هایی که از نزدیکی مقصد عبور می‌کنند، انتقال می‌یابند. در مقایسه با مسیریابی همگانی، این روش سریار کنترلی و مصرف بافر کم‌تری دارد (۱۴).

۵. روش‌های مسیریابی مبتنی بر محتوا

پروتکل‌های مسیریابی موجود در مجموعه روش‌های مبتنی بر محتوا شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- در سال ۲۰۰۳، Tan و همکارانش الگوریتم مسیریابی کوتاه‌ترین مسیر مورد انتظار^۷ را ارائه دادند که از نظر نگه‌داری نقشه‌ی توپولوژی، مشابه مسیریابی وضعیت لینک^۸ است. در این روش ابتدا احتمال ارسال هر لینک با توجه اطلاعات پیشینه محاسبه می‌شود و در طول زمان ملاقات دو گره، پیام‌های به روز رسانی احتمال ارسال لینک، که طول مسیر مؤثر^۹ نامیده می‌شوند، رد و بدل می‌شود. وقتی یک گره مقدار طول مسیر مؤثر کم‌تری دریافت می‌کند، مقدار طول مسیر مؤثر محلی خود را به روز رسانی می‌کند. هر چه مقدار طول مسیر مؤثر کم‌تر باشد، احتمال تحویل افزایش می‌یابد. هم‌چنین برای انتخاب گره ارسال‌کننده نیز می‌توان طول مسیر مؤثر را به کار برد. با استفاده از این روش برای افزایش قابلیت اطمینان و کاهش تأخیر یک پیام یکسان به چندین گره فرستاده می‌شود (۱۵).

۲- در سال ۲۰۰۴، Jain و همکارانش یک طرح مبتنی بر دانش مطرح کردند که در آن با توجه به میزان آگاهی از خصوصیات توپولوژی شبکه و نیازهای ترافیکی چهار پیش‌گویی آگاهی^{۱۰} تعریف می‌شود که هر پیش‌گویی نماینده‌ی آگاهی‌های خاصی از شبکه است. یک الگوریتم مسیریابی نیز در این روش تعریف می‌شود که ایده‌ی اصلی آن به کار بردن روش سنتی پیدا کردن کوتاه‌ترین مسیر با استفاده از این پیش‌گویی‌ها برای شبکه‌های فرصت‌طلبانه است. این روش برای ارسال پیام از مبدأ به مقصد روی کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌شود تا تأخیر انتها به انتها را کاهش دهد (۱۶).

¹ Bundle

² Euclidean distance

³ Epidemic fashion

⁴ Context-Aware Routing (CAR)

⁵ Historical data

⁶ Move Vector (MV)

⁷ Shortest Expected Path Routing (SEPR)

⁸ Link-state

⁹ Effective Path Length (EPL)

¹⁰ Knowledge oracle

۳- در سال ۲۰۰۷، Boldrini و همکارانش یک روش مسیریابی مبتنی بر پیشینه^۱ ارائه دادند که در آن برای تصمیم‌گیری در مورد ارسال داده، از اطلاعات محتوای موجود استفاده می‌شود. در طول ایجاد محتوا، برای هر گره، یک جدول شناسه^۲ ایجاد می‌شود تا اطلاعات محتوای آن را نگه‌داری کند. این جدول برای شناسایی هر گره در شبکه به صورت منحصر بفرد به کار می‌رود. هم‌چنین یک جدول پیشینه^۳، اطلاعات رفتار گره‌ها را ثبت می‌کند تا تشابه میان گره‌های ملاقات شده و مقصد استخراج شود. این الگوریتم سه فاز انتشار، ارسال و تحویل دارد. ابتدا در فاز انتشار، فرستنده نسخه‌هایی از پیام را برای همسایگان خود می‌فرستد. سپس در فاز ارسال، جابجایی گره‌ها و اطلاعات محتوا برای انتخاب بهترین گام بعدی با استفاده از جدول پیشینه و شناسه استخراج می‌گردد و گره‌های بازپخش می‌توانند پیام‌ها را بدون ایجاد هیچ گونه نسخه‌ای از آن‌ها دوباره ارسال نمایند. فاز تحویل وقتی شروع می‌شود که یک گره بازپخش مقصد را ببیند. این الگوریتم ترافیک شبکه و مصرف بافر را کاهش می‌دهد (۱۷).

۴- در سال ۲۰۰۷، Nguyen و همکارانش روشی به نام پروتکل مسیریابی احتمالی برای شبکه‌های سیار موردی نیمه متصل^۴ تعریف نمودند. در این روش از اطلاعات محتوای گره‌ها برای انتخاب بهترین گام بعدی استفاده می‌شود. برای هر گره این اطلاعات محتوا به وسیله‌ی یک نمایه‌ی گره^۵ با زوج گواه/ مقدار^۶ مشخص می‌شود. برای هر گواه، یک وزن در نظر گرفته می‌شود که اهمیت آن گواه در شبکه را نشان می‌دهد. هر نمایه‌ی گره، یک مقدار درهم شده^۷ نیز برای هر گواه و اندازه‌ی آن ذخیره می‌کند. در این روش، ابتدا گره مبدأ یک سراینده پیام می‌سازد که الحاقی از همه‌ی مقادیر درهم شده‌ی زوج گواه/ مقدار گره مقصد است. سپس این سراینده را بدون پیام اصلی به همه‌ی گره‌های همسایه‌ی خود می‌فرستد. هر گره همسایه، نمایه‌ی گره خود را با اطلاعات درهم شده‌ی مقصد، موجود در سراینده پیام دریافتی، مقایسه کرده و با توجه به مقادیر یکسان، مقدار احتمال تحویل^۸ خود به مقصد را محاسبه می‌کند. این سراینده دوباره به همه‌ی همسایه‌های گره‌های همسایه‌ی مبدأ نیز فرستاده می‌شود. این همسایه‌ها نیز مقدار احتمال تحویل خود را محاسبه کرده و نتایج را به گره‌های همسایه‌ی مبدأ ارسال می‌کنند. در این جا گره‌های همسایه‌ی مبدأ بالاترین مقدار احتمال را انتخاب کرده و با عنوان بالاترین احتمال تحویل گره در گام دوم به همراه مقدار احتمال تحویل خود به مبدأ تحویل می‌دهند. مبدأ مسیر دو گامی که بالاترین احتمال تحویل را داشته باشد را برای ارسال اصل پیام انتخاب می‌کند (۱۸).

۵- در سال ۲۰۰۸، Nguyen و همکارانش روش مشابهی به نام الگوریتم مسیریابی زمانی و مکانی پیشنهاد کردند که در آن ارسال پیام با استفاده از بالاترین احتمال تحویل دو گامی قبل است. در این روش برای اولین بار اطلاعات محتوای موقت مورد توجه قرار گرفته است و رفتارهای انسانی به دو گروه اصلی تقسیم شده‌اند. یکی رفتارهای دوره‌ای که شامل فعالیت‌های روزانه و تکراری افراد است و دیگری رفتارهای غیر دوره‌ای که شامل بقیه‌ی فعالیت‌های افراد است. مانند سفر رفتن که یک فعالیت غیر تکراری است که کم‌تر اتفاق می‌افتد. به همین ترتیب دو نوع مقصد نیز تعریف می‌شود. یکی مقاصد تکراری که افراد رفتارهای دوره‌ای خود را در آن‌ها نشان می‌دهند و دیگری مقاصد اتفاقی هستند که تنها در بعضی اوقات برای رفتارهای غیر دوره‌ای به آن‌ها مراجعه می‌کنیم. برای مقاصد اتفاقی که هیچ اطلاعی از زمان و مکان درست ارسال پیام وجود ندارد، بهتر است از روش مسیریابی احتمالی برای شبکه‌های سیار موردی نیمه متصل استفاده شود. ولی برای مقاصد تکراری، این روش دو مفهوم چرخه و دوره‌ی فعالیت‌های حامل را مطرح کرده است. یعنی مبدأ می‌داند که در چه دوره‌هایی از یک چرخه، بایستی میزان ارسال نسخه‌های سراینده پیام را افزایش دهد تا احتمال تحویل به مقصد را بالا ببرد و در چه دوره‌هایی ترافیک زیادی شبکه را بدون تغییر محسوس در متوسط تأخیر پیام‌ها، کاهش دهد (۱۹).

۶- در سال ۲۰۱۲، Fan و همکارانش یک الگوریتم جدید به نام مسیریابی مبتنی بر محتوای قابل تطبیق^۹ پیشنهاد کردند که در آن از اطلاعات محتوای شبکه و تئوری Dempster-Shafer برای محاسبه‌ی تابع تخصیص قابلیت اطمینان اولیه‌ی گره^{۱۰} استفاده می‌شود. پس از انتشار پیام، این تابع وضعیت گره‌ها را از لحاظ اعتبار، عدم اعتبار و اعتبار ناشناخته تعیین می‌کند. سپس گره با بالاترین مقدار قابلیت اطمینان با توجه به میزان اعتبار آن، برای ارسال پیام انتخاب می‌شود. ولی اگر به هر دلیلی انتخاب گره انجام نشود، پیام به صورت سیل آسا منتشر می‌گردد تا احتمال تحویل آن افزایش یابد (۲۰).

¹ History Based routing protocol for Opportunistic networks (HiBOP)

² Identity table

³ History table

⁴ Probabilistic Routing Protocol for Intermittently Connected Mobile Ad hoc Networks (PRoPICMAN)

⁵ Node profile

⁶ Evidence/value

⁷ Hashed value

⁸ Delivery probability

⁹ Context-Based Adaptive Routing (CBAR)

¹⁰ Node's basic reliability assignment function

۷- در سال ۲۰۱۲، Verma و همکارانش یک روش یک پارچه مسیریابی^۱ پیشنهاد کردند. این روش در صورتی که اطلاعات محتوا در شبکه وجود نداشته باشد و کاربران در حالت منزوی^۲ به سر ببرند، تنها راه مسیریابی را استفاده از طرح‌های بی توجه به محتوا می‌داند و هنگامی که کاربران اجتماعی تر^۳ شده و اطلاعات محتوا در شبکه انتشار یابد، از روش‌های مبتنی بر محتوا استفاده می‌کند (۲۱).

۸- در سال ۲۰۱۲، Nguyen و همکارانش یک طرح مسیریابی اجتماعی مبتنی بر محتوا با نام مسیریابی با استفاده از پیش‌بینی اطلاعات محتوا^۴ مطرح کردند. در این روش از یک مدل شبکه‌ی عصبی متکی بر انتشار^۵ برای پیش‌بینی محتوای گره‌ها استفاده می‌شود. با استفاده از این شبکه‌ی عصبی مبدأ می‌تواند زمان و مکان شروع فرایند مسیریابی برای حداقل نمودن تأخیر انتقال و سربار شبکه را تشخیص دهد (۳).

۶. نتیجه گیری

در این مقاله، ابتدا مفهوم شبکه‌های فرصت طلبانه به طور مفصل مورد بحث قرار گرفته است. در بخش بعد به طبقه بندی روش‌های مسیریابی در این شبکه‌ها با توجه به معیار میزان استفاده از محتوای گره‌های شبکه پرداخته شده است. در بخش سوم نمونه پروتکل‌های مجموعه روش‌های بی‌خبر از محتوا آورده شده است که از شیوه‌ی مبتنی بر سیل آسا استفاده می‌کنند. مثال‌هایی از پروتکل‌های مجموعه روش‌های مبتنی بر محتوا در بخش چهارم بحث شده‌اند که این پروتکل‌ها بیش تر از اطلاعاتی مانند الگوی حرکتی گره‌ها و پیشینه‌ی اتصال آن‌ها بهره می‌برند. در بخش آخر نیز به مهم‌ترین پروتکل‌های مجموعه روش‌های مبتنی بر محتوا اشاره شده است که در این روش‌ها جنبه‌ی اجتماعی گره‌ها نیز مورد توجه قرار می‌گیرند.

۷. مراجع

1. Huang. C.M, Lan. K.C and Tsai. C.Z, A survey of opportunistic networks, 22nd International Conference on Advanced Information Networking and Applications, IEEE, 2008.
2. Poonguzharselvi. B and Vetrivel. V, Survey on routing algorithms in opportunistic networks, International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI), IEEE, 2013.
3. Nguyen. H.A and Giordano. S, Context information prediction for social-based routing in opportunistic networks, Ad Hoc Networks, Vol. 10, No. 8, 1557-1569, Elsevier, 2012.
4. Vahdat. A and Becker. D, Epidemic routing for partially connected ad hoc networks, IEEE Journal on Selected Areas in Communications, IEEE, 2003.
5. Spyropoulos. T, Psounis. K and Raghavendra. C.S, Single-copy routing in intermittently connected mobile networks. First Annual IEEE Communications Society Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, IEEE, 2004.
6. Harras. K.A, Almeroth. K.C and Belding-Royer. E.M, Delay tolerant mobile networks (DTMN): controlled flooding in sparse mobile networks, Networking Technologies, Services, and Protocols; Performance of Computer and Communication Networks; Mobile and Wireless Communications Systems, 1180-1192, Springer, 2005.
7. Wang. Y, Jain. S, Martonosi. M and Fall. K, Erasure-coding based routing for opportunistic networks, Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking, ACM, 2005.
8. Spyropoulos. T, Psounis. K and Raghavendra. C.S, Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks, Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking, ACM, 2005.
9. Spyropoulos. T, Psounis. K and Raghavendra. C.S, Spray and focus: efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility, Fifth Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops, IEEE, 2007.
10. Lindgren. A, Doria. A and Schelén. O, Probabilistic routing in intermittently connected networks, ACM SIGMOBILE Mobile Computing and Communications Review. Vol. 3, 19-20, ACM, 2003.

¹ Integrated routing

² Isolated

³ Socialized

⁴ Context Information Prediction for Routing in Oppnets (CIPRO)

⁵ Back propagation Neural Network (BNN)

11. Leguay, J, Friedman, T and Conan, V, MobySpace: mobility pattern space routing for DTNs, Proceedings of the ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking, ACM, 2005.
12. Musolesi, M, Hailes, S and Mascolo, C, Adaptive routing for intermittently connected mobile ad hoc networks, Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), IEEE, 2005.
13. Burgess, J, Gallagher, B, Jensen, D and Levine, B.N, MaxProp: routing for vehicle-based disruption tolerant networks, Proceedings of IEEE INFOCOM, 1-11, IEEE, 2006.
14. Burns, B, Brock, O and Levine, B.N, MORA: routing and capacity building in disruption tolerant networks, Ad Hoc Networks, Vol. 6, No. 4, 600-620, Elsevier, 2008.
15. Tan, K, Zhang, Q and Zhu, W, Shortest path routing in partially connected ad hoc networks, Proceedings of IEEE GLOBECOM, Vol. 2, 1038-1042, IEEE, 2003.
16. Jain, S, Fall, K and Patra, R, Routing in a delay tolerant network, Proceedings of ACM SIGCOMM, Vol. 34, 145-158, ACM, 2004.
17. Boldrini, C, Conti, M, Jacopini, J and Passarella, A, Hibop: a history based routing protocol for opportunistic networks, IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), IEEE, 2007.
18. Nguyen, H.A, Giordano, S and Puiatti, A, Probabilistic routing protocol for intermittently connected mobile ad hoc network (PRoPICMAN), IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), IEEE, 2007.
19. Nguyen, H.A and Giordano, S, Spatiotemporal routing algorithm in opportunistic networks, IEEE International Symposium on a World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks (WoWMoM), IEEE, 2008.
20. Fan, X, Wang, C and Zhang, J, Context-based adaptive routing in opportunistic network, Chinese Journal of Electronics, Vol. 22, No. 4, 2012.
21. Verma, A and Srivastava, A, Integrated routing protocol for opportunistic networks, International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA), Vol. 2, No. 3, 2012.