

ارزیابی و آنالیز ترافیک کنترلی پروتکل ZRP و ارائه متد مسیریابی بهینه جهت شبکه‌های Ad-Hoc

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۳/۲۲

کد مقاله: ۵۱۲۳۸

مهدی رضاتبار^{۱*}، یاسره یوسف تبار^۲

چکیده

شبکه‌های Ad-Hoc شبکه‌های بی‌سیم هستند که از گره‌های متحرک تشکیل می‌شوند و دارای زیربنای ثابتی نبوده و نیز دارای پهنای باند کم می‌باشند. بنابراین با توجه به پهنای باند کم و تغییر دائمی توپولوژی شبکه، مسیریابی در این نوع شبکه‌ها مشکل است. یک نوع پروتکل مسیریابی مهم در شبکه‌های Ad-Hoc پروتکل‌های هابیرید می‌باشند که ترکیب پروتکل‌های پرواکتیو و راکتیو می‌باشد. پروتکل ZRP یک نمونه پروتکل هابیرید می‌باشد که شبکه را به ناحیه‌های مختلف که به آن ناحیه مسیریابی گفته می‌شود تقسیم می‌کند و در آن شعاع ناحیه بر اساس تعداد پرش‌ها بیان می‌شود. در این پروتکل، مسیریابی درون ناحیه به صورت پرواکتیو می‌باشد که IARP نامیده می‌شود و مسیریابی بین ناحیه‌ها به صورت راکتیو می‌باشد که IERP نامیده می‌شود. برای یک شبکه خاص، ZRP با تنظیم شعاع ناحیه طراحی می‌شود. در این مقاله کارایی ZRP در شبکه Ad-Hoc بررسی می‌شود برای ارزیابی کارایی ZRP با تغییر شعاع ناحیه، ترافیک کنترلی تولید شده اندازه‌گیری می‌شود. ترافیک کنترلی کل از مجموع ترافیک ناشی از به روز شدن اطلاعات گره‌های درون ناحیه‌ای و ترافیک ناشی از انتقال بسته‌ها، بین ناحیه‌ها حاصل می‌شود. نتایج حاصله وابستگی بین شعاع بهینه را با سرعت ماکزیمم، تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات و اندازه شبکه مشخص می‌کند.

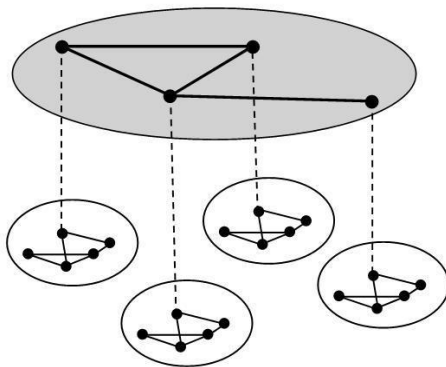
واژگان کلیدی: ZRP, Ad-Hoc, IARP, IERP, Routing

۱- کارشناس ارشد مهندسی IT، شبکه‌های کامپیوتری، دانشگاه مازندران (نویسنده مسئول)

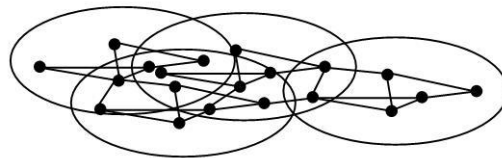
mrezatabar@gmail.com

۲- کارشناس ارشد مهندسی کامپیوتر، نرم افزار، دانشگاه مازندران

شبکه‌های Ad-Hoc یا MANET^۱ شبکه‌های بی‌سیم هستند که از گره‌های متحرک تشکیل می‌شوند و دارای زیربنای ثابتی نیستند این شبکه‌ها به صورت خود سامان دهنده^۲ عمل می‌کنند. هر گره متشکل از یک مسیریاب و یک میزبان است که معمولاً در یک کامپیوتر واحد قرار دارند (Andrew S. Tanenbaum, 2003). به همین دلیل هنگامی که برای ایجاد یک شبکه ارتباطی بی‌سیم زیرساخت مورد نیاز در دسترس نباشد و ایجاد آن غیرممکن و یا وقت‌گیر باشد، شبکه‌های Ad-Hoc خیلی سریع برای فراهم کردن یک ارتباط محکم به کار می‌روند. این خاصیت شبکه‌های Ad-Hoc را برای ارتباطات تاکتیکی نیروهای نظامی، انتظامی و امداد رسانی مناسب ساخته است. در مواقع اضطراری مثل زمان وقوع سیل و یا زلزله استفاده از این نوع شبکه (به علت محدودیت زمان) بسیار کارآمد خواهد بود. با توجه به کاربرد وسیع شبکه‌های Ad-Hoc می‌توان پیش بینی کرد در این شبکه‌ها چگالی و سرعت حرکت گره‌ها در گستره نسبتاً بزرگی تغییر می‌نماید. اساساً دو معماری برای فراهم آوردن اتصال در شبکه‌های Ad-Hoc وجود دارد: الف) معماری مسطح^۳، ب) معماری سلسله مراتبی^۴ (Z.J. Hass, 1997). در شکل ۱ یک شبکه با معماری مسطح و در شکل ۲ یک شبکه با معماری سلسله مراتبی نشان داده شده است.



شکل ۲ - نمونه ای از شبکه با معماری سلسله مراتبی

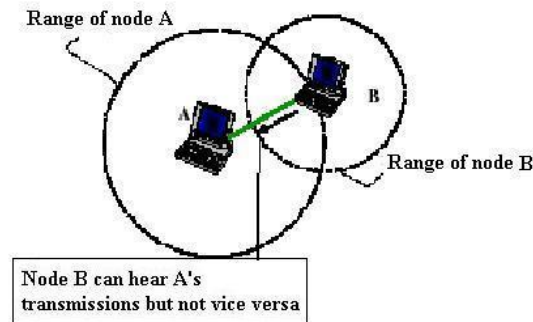


شکل ۱ - نمونه ای از شبکه با معماری مسطح

در شبکه‌های با معماری مسطح تمام گره‌ها برابرند و انتقال بسته، توسط اتصال هم‌تا به هم‌تا^۵ انجام می‌شود. در شبکه‌های سلسله مراتبی حداقل دو لایه وجود دارد که در لایه پایینی تر، گره‌هایی که از لحاظ جغرافیایی نزدیک هستند شبکه‌های هم‌تا به هم‌تا ایجاد می‌کنند. در هر لایه پایینی یک گره انتخاب می‌شود که به عنوان بزرگراه^۶ به لایه بالاتر وصل می‌شود که معمولاً دارای فرستنده-گیرنده قوی می‌باشد. در این شبکه‌ها مسیریابی بین گره‌های یک لایه به صورت هم‌تا به هم‌تا انجام می‌شود اما مسیریابی بین دو لایه مختلف توسط بزرگراه انجام می‌شود. باید متذکر شد که به دلیل موقتی بودن لینک‌ها در شبکه‌های سلسله مراتبی و نیاز به فرستنده-گیرنده قوی برای دروازه‌ها، دارای هزینه بسیار بالایی می‌باشد.

شبکه‌های Ad-Hoc شامل گره‌های ناهمگن با قدرت متفاوت می‌باشند (یعنی گره‌هایی که رنج انتقال آنها متفاوت است) که در نتیجه رنج انتقال یک گره ممکن است با گره دیگر متفاوت باشد. در شکل ۳، گره A که رنج انتقال آن از رنج گره B بیشتر است می‌تواند اطلاعات را به گره B انتقال دهد اما قادر به دریافت اطلاعات نخواهد بود. این امر باعث می‌شود که شبکه کاملاً شامل لینک‌های دو جهت نباشد (C. A. Pomalaza-Raez, 1995).

- 1 Mobile Ad-hoc NETwrok
- 2 Self-organization
- 3 Flat Routed Network Architecture
- 4 Hierarchical Network Architecture
- 5 Peer to Peer
- 6 Gateway



شکل ۳ - دو گره با رنج های انتقال متفاوت و عدم ایجاد شبکه با لینک کاملاً دو جهته

۲- انواع پروتکل های مسیریابی در شبکه های Ad-Hoc

در شبکه های Ad-Hoc سه دسته پروتکل مسیریابی مهم وجود دارد که در ادامه هر پروتکل را به طور جداگانه توضیح و آنها را با هم مقایسه می نماییم (Elizabeth, Royer, Chai-Keong Toh, 1999):

۲-۱- پروتکل های پرواکتیو^۱

پروتکل های پرواکتیو همواره در حال محاسبه مسیرهای داخل شبکه می باشند. بنابراین وقتی بسته ای^۲ قرار است توسط یک گره مشخص فرستاده شود مسیر بسته از قبل مشخص است و می تواند بدون تاخیر از مسیر استفاده کند. ولی مشکل این روش این است که باعث بالا رفتن ترافیک کنترلی در شبکه خواهد شد. چون همیشه در حال پیدا کردن مسیرهای جدید داخل شبکه می باشد (Daniel Lang, 2003)

۲-۲- پروتکل های راکتیو^۳

بر خلاف پروتکل های پرواکتیو، پروتکل های راکتیو تنها موقعی به محاسبه مسیر می پردازند که قرار باشد بسته ای فرستاده شود و به پیدا کردن مسیر احتیاج پیدا کنند. در پروتکل راکتیو مسیریابی معمولاً به صورت «پرسش و پاسخ»^۴ و از طریق روش سیل آسا^۵ انجام می گیرد. به این ترتیب که بسته درخواست مسیر در سطح شبکه به صورت سیل آسا پخش شده و گسترش می یابد. می یابد. این پروسه وقتی متوقف می شود که بسته مذکور به مقصد مورد نظر برسد. در اینصورت اطلاعات مربوط به مسیری که این بسته پیموده است به مبدأ برمی گردد تا مبدأ جهت فرستادن اطلاعات اقدام کند. مزیت روش راکتیو این است که در حالت عادی ترافیک چندانی به شبکه اعمال نمی کند ولی مشکل این روش این است که جهت پیدا کردن مسیر مناسب تاخیر قابل ملاحظه ای قبل از ارسال ایجاد می کند.

۲-۳- پروتکل های ترکیبی / سلسله مراتبی^۶

با توجه به موارد مطرح شده، می توان نتیجه گیری کرد که پروتکل های خالص پرواکتیو^۷ برای استفاده در شبکه های Ad-Hoc چندان مناسب نیستند. زیرا این پروتکل ها ظرفیت زیادی از شبکه را برای نگهداری و به روز کردن اطلاعات مسیریابی مصرف می کنند. این در حالی است که ممکن است آگاهی از اطلاعات یک پیوند^۸ در یک سوی شبکه، در سوی دیگر شبکه مورد نیاز نباشد. همچنین گاهی ممکن است سرعت حرکت و تغییر گره های شبکه بیشتر از سرعت درخواست مسیر توسط گره ها باشد در اینصورت بیشتر اطلاعاتی که پروتکل های پرواکتیو نگهداری می کنند به کار نمی آیند که این امر باعث اتلاف ظرفیت زیادی از شبکه می شود. پروتکل های راکتیو ترافیک زیادی هنگام فرستادن درخواست مسیریابی به صورت سیل آسا در شبکه ایجاد می کنند که باعث می شود برای کاربردهای بلادرنگ نتوان از این مسیریابی استفاده کرد. بهترین راه برای بازده بالاتر استفاده از

1 Proactive Protocol
2 Packet
3 Reactive Protocol
4 Query-reply
5 Flooding
6 Hybrid/Hierarchical Protocol
7 Pure Proactive Protocol
8 Link

پروتکل‌های ترکیبی می‌باشد. پروتکل‌های ترکیبی گره‌ها را دسته بندی^۱ کرده و با هدف تلفیق مزایای پروتکل‌های پرواکتیو و راکتیو طراحی می‌شوند. از آنجایی که گره‌ها در ناحیه محدودی کار می‌کنند اغلب داخل دسته خودشان حرکت می‌کنند و کمتر پیش می‌آید که وارد دسته دیگری شوند. لذا از پروتکل پرواکتیو برای مسیریابی بین گره‌های داخل یک دسته و از پروتکل راکتیو برای مسیریابی بین دسته‌های مختلف استفاده می‌شود. در اینصورت چون گره‌های داخل یک دسته تغییر زیادی نمی‌کنند، کمتر لازم است که اطلاعات مسیریابی بین آنها که توسط پروتکل پرواکتیو نگهداری می‌شود، به روز شود. از طرفی چون گره‌های با فاصله بیشتر، کمتر با یکدیگر در ارتباط هستند، ارتباط بین دسته‌های مختلف توسط پروتکل راکتیو انجام می‌شود و مسیریابی بین آنها فقط در موقع لزوم انجام می‌پذیرد. همچنین می‌توان هر چند دسته را در یک ابر دسته^۲ جای داد، که در این صورت مدل سلسله مراتبی بوجود می‌آید. پروتکل ZRP^۳ نمونه‌ای از پروتکل‌های ترکیبی می‌باشد.

۳- پروتکل ZRP

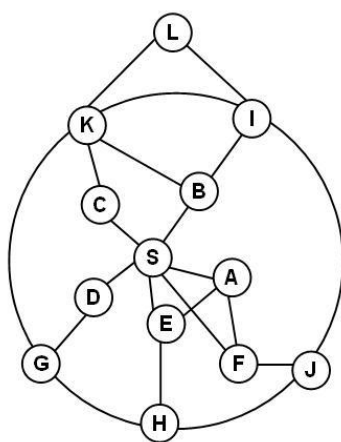
با توجه به توضیحات مباحث قبل دیدیم که پروتکل‌های پرواکتیو برای نگهداری اطلاعات مسیریابی ظرفیت زیادی از شبکه را اشغال می‌کنند و این در حالی است که پروتکل‌های راکتیو دارای تاخیر زیادی در پاسخگویی به تقاضای مسیر هستند (Elizabeth, Royer, Chai-Keong Toh, 1999). پروتکل‌های راکتیو همچنین در روش سیل آسا برای پیدا کردن مسیر به علت ترافیک اعمالی زیاد دارای بازدهی بسیار پایین هستند. پروتکل ZRP با هدف اصلاح این مشکلات از ترکیب این دو پروتکل شکل گرفته است.

می‌توان فرض کرد که در شبکه‌های Ad-Hoc بخش عمده ترافیک به گره‌هایی منتهی می‌شود که نزدیک به یکدیگر قرار دارند. پس فعالیت پرواکتیو برای ناحیه محدود مناسب است به این ترتیب که برای هر گره ناحیه‌ای به مرکز همان گره به عنوان حیطه فعالیت پرواکتیو در نظر گرفته می‌شود. در یک ناحیه محدود نگهداری اطلاعات مسیریابی آسانتر است. لذا حجم اطلاعات مسیریابی که از آنها گاهاً استفاده می‌شود، به حداقل می‌رسد. در این نظریه گره‌هایی که فاصله زیادی از هم دارند، می‌توانند از طریق مسیریابی راکتیو به همدیگر دسترسی داشته باشند. از آنجایی که همه گره‌ها اطلاعات مسیریابی محلی را به صورت پرواکتیو نگهداری می‌کنند، تقاضاها برای مسیر می‌توانند بسیار کارآمدتر و بدون بررسی کل شبکه پاسخ داده شوند. باید توجه داشت که با وجود مرزبندی و استفاده از ناحیه‌ها، ZRP کل شبکه را به صورت هموار نگاه می‌کند یعنی پروتکل ZRP همه گره‌ها را به صورت یکسان در نظر می‌گیرد (به صورت سلسله مراتبی تقسیم بندی نمی‌کند). در شبکه سلسله مراتبی ارتباط زیرشبکه‌ها توسط گره‌های مخصوص انجام می‌شود. ولی ZRP را بدلیل روی هم افتادن لبه ناحیه‌ها، می‌توان به عنوان یک پروتکل هموار دسته‌بندی کرد. از این رو مسیرهای بهینه می‌توانند کشف شوند و تراکم در شبکه کاهش یابد (Z.J. Haas, M.R. Pearlman, 2001). به علاوه، رفتار ZRP با توجه به پیکر بندی شبکه و رفتار کاربران قابل تطبیق است (M.R. Pearlman, Z.J. Haas, 1999).

۳-۱- معماری پروتکل ZRP

ZRP بر اساس ناحیه‌ها پایه ریزی شده است. به این ترتیب، برای هر گره یک ناحیه مسیریابی تعریف می‌شود و در لبه ناحیه گره‌های همسایه روی هم می‌افتند. شعاع ناحیه مسیریابی (R) بر اساس تعداد پرشها بیان می‌شود. لذا یک ناحیه شامل گره‌هایی می‌شود که فاصله آنها از گره مورد نظر (مرکز ناحیه) حداکثر R پرش^۴ باشد. شکل ۴ نمونه‌ای از یک ناحیه مسیریابی است که ناحیه آن به صورت یک دایره متعلق به گره S بوده و شعاع آن R=2 می‌باشد. گره‌های A تا K متعلق به این ناحیه می‌باشند، در صورتی که گره L متعلق به این ناحیه نیست.

همانطور که می‌بینیم برای رفتن از S به J یک مسیر از F وجود دارد که شامل دو گام است و یک مسیر از E و A و F وجود دارد که شامل چهار گام است اما جزء ناحیه محسوب می‌شود زیرا حداقل فاصله مهم است که دو گام می‌باشد (M.R. Pearlman, Z.J. Haas, 1999).



شکل ۴ - ناحیه مسیریابی گره S به شعاع R=2

1 Cluster
2 Super Cluster
3 Zone Routing Protocol
4 Hop

گره‌های یک ناحیه، به دو دسته محیطی^۱ و داخلی^۲ تقسیم می‌شوند. گره‌های محیطی آنهایی هستند که حداقل فاصله آنها تا گره مرکزی دقیقاً برابر شعاع ناحیه (R) می‌باشد. گره‌هایی که این فاصله برای آنها کمتر از R باشد، گره داخلی نامیده می‌شوند. در شکل ۴ گره‌های A تا F گره‌های داخلی، گره‌های G تا K گره‌های محیطی و گره L خارج از ناحیه مسیریابی می‌باشد (Z. J. Haas et al., 2001). تعداد گره‌های داخل ناحیه مسیریابی به قدرت ارسال گره‌ها بستگی دارد. این رابطه مستقیم است به این ترتیب که پایین بودن قدرت، کاهش تعداد گره‌هایی که به صورت مستقیم به هم دسترسی دارند را موجب می‌شود و بالعکس. برای اینکه دسترسی به مقدار کافی بین ناحیه‌ها وجود داشته باشد باید گره‌های همسایه زیاد باشد. ولی مشکل اینجاست که پوشاندگی خیلی زیاد نیز باعث می‌شود که تعداد اعضای ناحیه و در نتیجه ترافیک بیش از اندازه بالا رود (M.R. Pearlman, Z.J. Haas, 1999).

۳-۲- پروتکل‌های درون ناحیه‌ای و بین ناحیه‌ای

در ZRP به پروتکل پرواکتیو محلی اصطلاح IARP^۳ اطلاق می‌شود و پروتکل راکتیو سراسری نیز IERP^۴ خوانده می‌شود. IERP و IARP پروتکل‌های مسیریابی معینی نیستند. IARP یک خانواده از پروتکل‌های پرواکتیو با عمق محدود^۵ می‌باشد. IARP اطلاعات مسیریابی مربوط به گره‌هایی که در ناحیه مسیریابی هستند را نگهداری می‌کند بنابراین با بزرگ شدن ناحیه ترافیک IARP افزایش می‌یابد (K. Shea et al., 2000). متناظراً IERP یک خانواده از پروتکل‌های مسیریابی راکتیو است که با استفاده از ارتباط با IARP و توسط روش‌های پیچیده‌تر به کشف و نگهداری مسیر می‌پردازد. در حقیقت ترافیک IERP مربوط به بین ناحیه‌ها می‌باشد بنابراین با افزایش شعاع ترافیک IERP کاهش می‌یابد. همانطور که گفته شد توپولوژی ناحیه محلی هر گره مشخص است و این امر به کاهش ترافیک در مواقعی که به مسیریابی سراسری (IERP) احتیاج است کمک می‌کند (Z.J. Haas, M.R. Pearlman, 2001).

۳-۳- مسیریابی

وقتی یک گره بسته‌ای برای فرستادن دارد، ابتدا بوسیله اطلاعات تهیه شده توسط IARP چک می‌کند که آیا مقصد در ناحیه محلی^۶ وی قرار دارد یا خیر. اگر قرار داشت، مسیر بسته به صورت پرواکتیو تعیین می‌شود و چنانچه مقصد خارج از ناحیه قرار داشت، از مسیریابی راکتیو استفاده می‌شود (Haas J. Zygmunt, Marc Pearlman, 2000). شعاع ناحیه پارامتر مهمی در کارایی ZRP می‌باشد. اگر این شعاع به اندازه ۱ پرش انتخاب شود، مسیریابی به صورت راکتیو خالص و به روش سیل آسا می‌شود و اگر شعاع ناحیه به سمت بی‌نهایت میل کند، مسیریابی پرواکتیو خواهد بود. انتخاب شعاع، مصالحه‌ای بین کارایی مسیریابی پرواکتیو و راکتیو می‌باشد (Z.J. Haas, M.R. Pearlman, 2001).

۳-۴- نگهداری مسیر

نگهداری از مسیرها در شبکه‌های Ad-Hoc دارای اهمیت زیادی می‌باشد. زیرا گره‌ها دائماً نسبت به هم در حرکتند و به دلیل توان رادیویی محدود آنها برای ارسال اطلاعات، پیوندها به طور مداوم ساخته و یا شکسته می‌شوند. در پروتکل‌های راکتیو خالص، مسیرهایی که شامل پیوندهای شکسته هستند از بین می‌روند و یک مسیریابی و یا اصلاح مسیر جدید باید اجرا شود. تا زمانی که مسیر جدید آماده شود، بسته‌ها یا حذف می‌شوند و یا به تاخیر می‌افتند (Z.J. Haas, M.R. Pearlman, 2001). در ZRP اطلاعات توپولوژی محلی می‌تواند برای نگهداری مسیر استفاده شود. از بین رفتن پیوندها در یک ناحیه می‌تواند دور زده شود. به این ترتیب که بسته‌های ورودی می‌توانند از اطراف یک لینک شکسته توسط یک مسیر اکتیو چند پرشی هدایت شوند. به طریق مشابه، این توپولوژی می‌تواند جهت کوتاه کردن مسیرها مورد استفاده بگیرد، مثلاً وقتی که دو گره در محدوده پوشش رادیویی همدیگر قرار بگیرند. برای بسته‌های «از مبدأ مسیریابی شده»، یک گره هدایت کننده می‌تواند بهترین مسیر برای مقصد را تشخیص دهد. گاهی اوقات یک قسمت چند پرشی از مسیر می‌تواند با یک پرش جایگزین شود. اگر روش هدایت «پرش بعدی» استفاده شود، گره‌ها می‌توانند با انتخاب یک مسیر کوتاه‌تر، به صورت محلی تصمیم بهینه‌ای بگیرند (Z.J. Haas, M.R. Pearlman, 2001).

- 1 Peripheral
- 2 Interior
- 3 Intra-zone Routing Protocol
- 4 Inter-zone Routing Protocol
- 5 Limited Depth
- 6 Local Zone
- 7 Source-routed Packet

۴- شبیه سازی های انجام شده

۴-۱- کلیات شبیه سازی

در انجام شبیه سازی، شبکه مورد نظر شامل ۱۰۰ گره می باشد و ابعاد آن ۲/۵ کیلومتر در ۳/۵ کیلومتر می باشد. گره ها همگی دارای حرکت تصادفی با توزیع نرمال می باشند. پارامترهای شبیه سازی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱ - پارامترهای شبیه سازی

زمان شبیه سازی	۱۰۰ ثانیه
ابعاد ناحیه شبیه سازی	۲/۵ کیلومتر در ۳/۵ کیلومتر
تعداد گره های متحرک	۱۰۰
رنج انتقال برای هر گره	۲۵۰ متر
مدل حرکت گره ها	تصادفی با توزیع نرمال
ماکزیمم سرعت های تصادفی	۵ متر بر ثانیه تا ۲۰ متر بر ثانیه

برای بدست آوردن نتایج (محاسبه IARP و IERP) داده های فایل های ایجاد شده در هر شبیه سازی پردازش و نهایتاً با استفاده از جداول بدست آمده و نرم افزار Excel نمودارها رسم شده است.

۴-۲- چگونگی ارزیابی ZRP

در این پروژه جهت بررسی کارایی ZRP در یک شبکه Ad-Hoc تعداد گره ها (اندازه شبکه) (N)، تعداد گره هایی که آماده ارسال اطلاعات می باشند (K) و سرعت نسبی گره (V) توصیف می شود.

برای ارزیابی کارایی ZRP شعاع مسیریابی را از مسیریابی راکتیو (R=1) تا مسیریابی پرواکتیو ($R \rightarrow \infty$) تغییر می دهیم. کارایی ZRP با اندازه گیری ترافیک کنترلی تولید شده توسط ZRP ارزیابی می شود.

نتایج ما وابستگی بین شعاع مسیریابی بهینه و رفتار گره را مشخص می کند. در اینجا ما K را به عنوان تعداد گره های آماده ارسال اطلاعات و V را به عنوان سرعت حرکت گره (اضافه شدن همسایه های جدید) و N را به عنوان تعداد کل گره در نظر می گیریم. این سه پارامتر، اطلاعات مورد نیاز را برای شبیه سازی فراهم می کنند.

ترافیک کنترلی در حقیقت مجموع ترافیک IARP و IERP در نظر گرفته می شود. این در حالی است که راهنمای کشف همسایه می تواند به عنوان فرآیند کنترل در نظر گرفته شود که این ترافیک اضافی مستقل از سرعت انتقال و شعاع منطقه مسیریابی می باشد. به علاوه فرآیند کشف همسایه یک مولفه اختصاصی ZRP نمی باشد.

مسیرهای IARP موقعی به روز می شود که تغییری در پیوند با یک همسایه رخ داده باشد. وقتی یک همسایه جدید کشف می گردد، همسایه جدید به جدول مسیریابی IARP فرستاده می شود و منطقه مسیریابی بر اساس ارتباط جدید، به روز می شود. وقتی که همسایه ای گم می شود، منطقه مسیریابی با توجه به ارتباط گمشده، به روز می شود.

ترافیک IERP به عنوان مقدار ترافیک تولید شده در هر پرسش تلقی می شود و با سرعتی که پرسش در آن اجرا می شود، تکثیر می شود. سرعتی که پرسش در آن اجرا می شود به تقاضای کاربر برای مسیریابی و به پایداری مسیر کشف شده بستگی دارد. از آنجایی که ترافیک کنترلی IARP مربوط به داخل ناحیه مسیریابی می باشد انتظار می رود با افزایش شعاع ترافیک کنترلی IARP افزایش یابد. از طرفی دیگر ترافیک کنترلی IERP مربوط به ترافیک بین ناحیه ها می باشد بنابراین با افزایش شعاع ترافیک IERP کاهش می یابد.

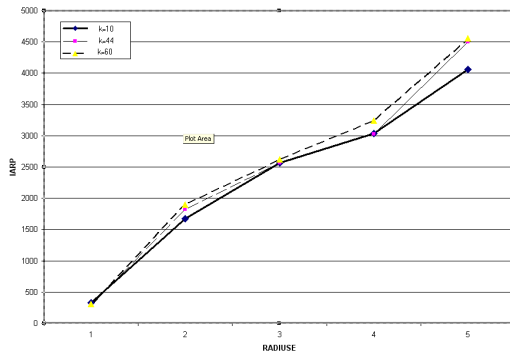
در نهایت چون ترافیک کل مجموع دو ترافیک فوق می باشد در یک شعاع خاص حداقل می شود که ما آن را شعاع بهینه می نامیم. ترافیک های IARP و IERP و در نتیجه ترافیک کل به پارامترهای زیر بستگی دارند:

- سرعت گره ها (در شبیه سازی سرعتها، تصادفی با توزیع نرمال در نظر گرفته شده ولی سرعت ماکزیمم تغییر داده شد).
- ابعاد منطقه (در شبیه سازی کل گره های متحرک شبکه تغییر داده شد).
- میزان ترافیک هر گره (در شبیه سازی تعداد گره هایی که آماده ارسال اطلاعات می باشند تغییر داده و به این ترتیب ترافیک ناشی از گره ها تغییر داده شد).
- قدرت ارسال گره ها (در شبیه سازی قدرت ارسال گره ها ثابت و برابر ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است).

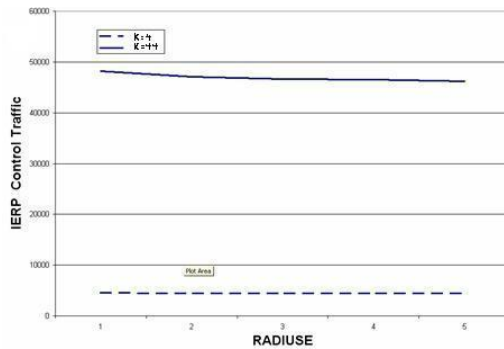
از آنجا که ترافیک‌های IARP و IERP عوامل اصلی محاسبه شعاع بهینه می‌باشند، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که چهار پارامتر گفته شده پارامترهای تاثیرگذار روی شعاع بهینه می‌باشند.

۳-۴- نتایج ارزیابی

۳-۴-۱- ترافیک کنترل IARP



شکل ۱۰ - نمودار ترافیک IARP که با شعاع متناسب است ($V_{max}=15, N=100$)



شکل ۱۱ - نمودار ترافیک IERP که با افزایش شعاع کاهش می‌یابد ($V_{max}=15, N=100$)

کار را با بررسی IARP شروع می‌کنیم. فرآیند به روز کردن مسیر (IARP) یعنی اینکه تغییر در توپولوژی منطقه و تغییر در جدول مسیریابی (در اثر همسایه‌های کشف شده جدید) به اطلاع تجمع منطقه مسیریابی رسانده شود. هر دو عملیات تابعی از تعداد گره‌های درون منطقه مسیریابی می‌باشند. بنابراین انتظار داریم مقدار ترافیک IARP منطقه مسیریابی با شعاع نسبت مستقیم داشته باشد. این رابطه در شکل ۱۰ نمایش داده شده است.

۳-۴-۲- ترافیک کنترل IERP

اکنون روی IERP تمرکز می‌کنیم. شکل ۱۱ نشان می‌دهد که چگونه ترافیک مربوط به پرسش (IERP) به شعاع منطقه مسیریابی و تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات بستگی دارد. همانطور که مشاهده می‌شود، ترافیک در اثر پرسش در IERP با شعاع منطقه کاهش می‌یابد که این امر در نتیجه ترکیب Border-casting و کنترل پرسش می‌باشد. Border-casting اجازه می‌دهد که پرسش‌ها به حاشیه یک منطقه مسیریابی هدایت شوند. برای یک شعاع منطقه داده شده نتیجه دیگری که از شکل ۱۱ گرفته می‌شود این است که مقدار ترافیک در اثر پرسش با ازدیاد تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات افزایش می‌یابد چون با ازدیاد این گره‌ها تقاضای مسیر برای ارسال بسته‌ها بصورت بلادرنگ افزایش یافته که نتیجه آن افزایش ترافیک IERP می‌باشد.

۳-۳-۴- مقایسه ترافیک‌های IARP و IERP

همانطور که در بخش‌های قبلی اشاره شد، با افزایش شعاع منطقه، ترافیک IARP افزایش و ترافیک IERP کاهش می‌یابد. در این قسمت می‌خواهیم افزایش و یا کاهش این دو ترافیک را با هم مقایسه کنیم و ترافیک مجموع را محاسبه کنیم (که بتوانیم شعاع بهینه برای ترافیک کل را محاسبه کنیم). با توجه به جداول ۲، ۳ و ۴ می‌بینیم که اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات کم باشد کاهش ترافیک IERP قابل مقایسه با افزایش ترافیک IARP نمی‌باشد. از طرفی با افزایش شعاع، IARP افزایش و IERP کاهش می‌یابد و چون در اینجا افزایش غالب است پس ترافیک کلی با افزایش شعاع افزایش می‌یابد. بنابراین شعاع بهینه همان شعاع یک می‌باشد یعنی در شعاع یک ترافیک کنترلی حداقل است.

جدول ۲ - مقایسه IERP و IARP به ازای تعداد کم گره‌های آماده ارسال اطلاعات ($V_{max}=20, K=4$)

شعاع	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5
ترافیک IERP	۴۵۸۰	۴۵۰۷	۴۴۹۵	۴۴۷۶	۴۴۷۴
ترافیک IARP	۳۳۶	۱۹۴۷	۲۹۱۲	۴۱۹۶	۱۸۶۳۱
ترافیک کل	۴۹۱۶	۶۴۵۴	۷۴۰۷	۸۶۷۲	۲۳۱۰۵

جدول ۳ - مقایسه IERP و IARP به ازای تعداد متوسط گره‌های آماده ارسال اطلاعات ($V_{max}=20, K=10$)

شعاع	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5
ترافیک IERP	۱۱۴۰۲	۱۱۲۳۰	۱۱۱۸۴	۱۱۱۷۱	۱۱۱۷۰
ترافیک IARP	۳۷۵	۱۹۵۴	۲۶۲۵	۳۰۶۷	۳۶۳۲
ترافیک کل	۱۱۷۷۷	۱۳۱۸۴	۱۳۸۰۹	۱۴۲۳۸	۱۴۸۰۲

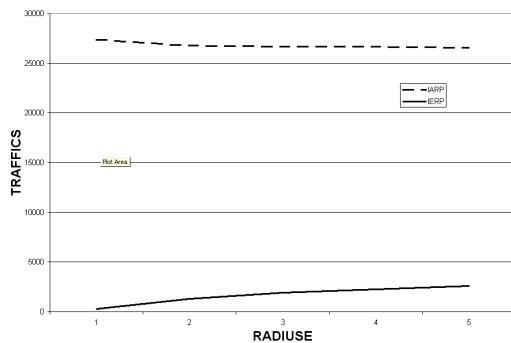
جدول ۴ - مقایسه IERP و IARP به ازای تعداد زیاد گره‌های آماده ارسال اطلاعات ($V_{max}=5, K=44$)

شعاع	R=1	R=2	R=3	R=4	R=5
ترافیک IERP	۴۸۱۵۹	۴۷۲۵۷	۴۶۵۲۰	۴۶۴۵۷	۴۵۹۹۷
ترافیک IARP	۱۱۷	۸۱۳	۱۳۶۱	۱۶۱۲	۱۹۷۶
ترافیک کل	۴۸۲۷۶	۴۸۰۷۰	۴۷۸۸۱	۴۸۰۶۹	۴۷۹۷۳

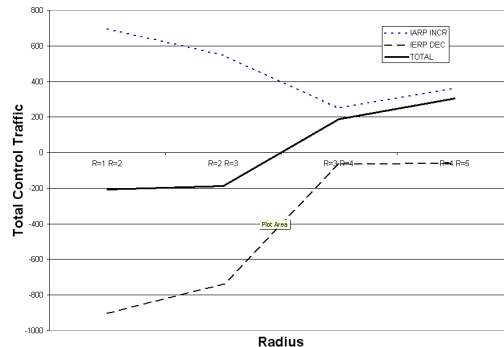
اما وقتی تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات زیاد باشد کاهش IERP قابل ملاحظه می‌شود و ممکن است در اثر افزایش شعاع ترافیک کل کاهش یابد (چون در اینصورت کاهش ترافیک IERP بر افزایش ترافیک IARP غالب است پس ممکن است ترافیک کل کاهش یابد).

در شکل ۱۲ نمودار افزایش IARP و کاهش IERP در اثر تغییر شعاع ترسیم شده است و با جمع آنها افزایش یا کاهش ترافیک کل نمایش داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با تغییر شعاع از $R=1$ به $R=2$ کاهش IERP بیشتر از افزایش IARP می‌باشد و بنابراین ترافیک کلی کاهش می‌یابد. با تغییر شعاع از $R=2$ به $R=3$ نیز همین‌طور می‌باشد یعنی ترافیک کلی کاهش می‌یابد. با تغییر شعاع از $R=3$ به $R=4$ افزایش IARP بیشتر از کاهش IERP است یعنی ترافیک کلی افزایش می‌یابد پس ($R_{op} = 3$) می‌باشد.

در شکل ۱۳ نمودار هر دو ترافیک IARP و IERP بر حسب شعاع آورده شده است که با افزایش شعاع IARP بیشتر شده ولی IERP کاهش می‌یابد.



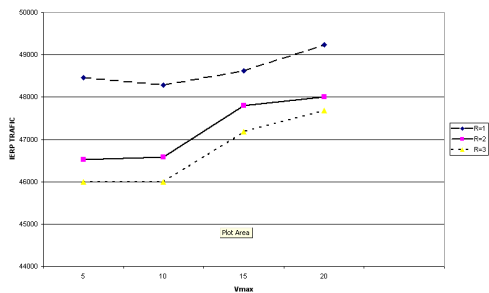
شکل ۱۳ - نمودار دو ترافیک IARP و IERP بر حسب شعاع ($K=25, V_{max}=15$)



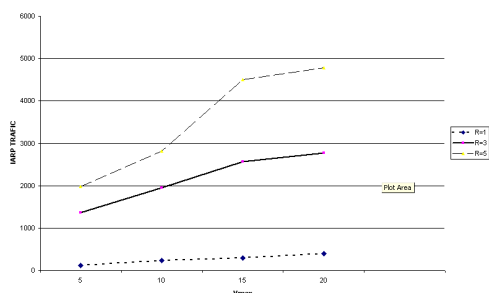
شکل ۱۲ - نمودار افزایش IARP و کاهش IERP در اثر تغییر شعاع ($V_{max}=5, N=100, K=44$)

۴-۳-۴- نمودار ترافیک‌های مختلف بر حسب سرعت

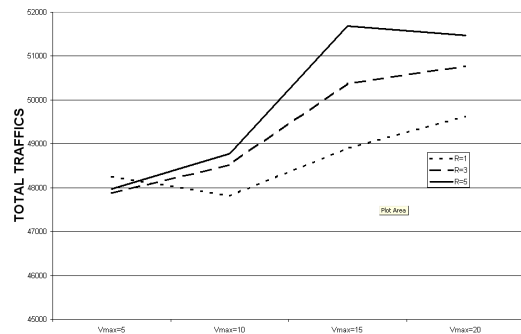
همانطور که در شکل ۱۴ دیده می‌شود برای ترافیک IARP چون با افزایش سرعت، اضافه شدن همسایه‌های جدید و همچنین گم شدن همسایه‌های قبلی افزایش می‌یابد بنابراین با افزایش سرعت باید ترافیک IARP نیز افزایش یابد. با توجه به شکل ۱۵ برای ترافیک IERP چون با افزایش سرعت، گره‌های محیطی و همچنین ارتباط گره‌های محیطی با یکدیگر نیز به سرعت تغییر می‌کند پس ترافیک IERP افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵ - نمودار ترافیک IERP بر حسب سرعت ماکزیمم (K=44 , N=100)



شکل ۱۴ - نمودار ترافیک IARP بر حسب سرعت ماکزیمم (K=44 , N=100)



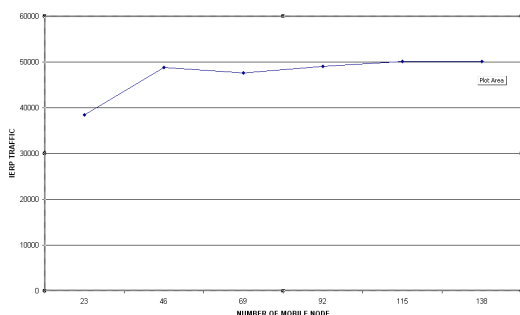
شکل ۱۶ - نمودار ترافیک کل بر حسب سرعت ماکزیمم (K=44 , N=100)

* نتیجه: با مقایسه دو نمودار نتیجه می‌شود که نسبت افزایش IARP در اثر سرعت خیلی بیشتر از نسبت افزایش IERP در اثر سرعت است. نهایتاً برای ترافیک کل با توجه به شکل ۱۶ چون هر دو ترافیک IARP و IERP با افزایش سرعت افزایش می‌یابند پس ترافیک کل نیز با افزایش سرعت افزایش می‌یابد.

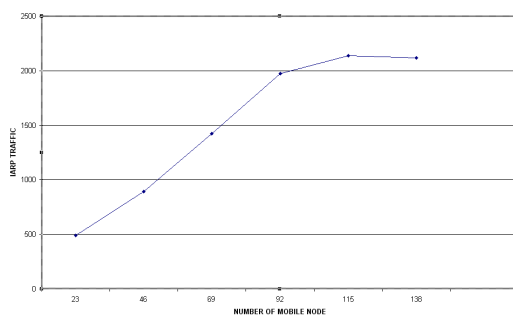
۴-۳-۵- نمودار ترافیک‌های مختلف بر حسب اندازه شبکه

ابتدا به بررسی ترافیک IARP می‌پردازیم. با توجه به شکل ۱۷ با بزرگ شدن شبکه ترافیک IARP نیز افزایش می‌یابد. زیرا با بزرگ شدن ابعاد شبکه به ازای یک شعاع معین تعداد ناحیه‌ها و در نتیجه تعداد گره‌های درون ناحیه افزایش می‌یابد (علت اینکه شعاع ۵ برای IARP در نظر گرفته شده است این است که ترافیک IARP با توجه به شبیه‌سازی، که با شعاع‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ انجام شده است در شعاع ۵ بیشترین است).

در مورد ترافیک IERP نیز همان‌طور که از شکل ۱۸ مشخص است. با افزایش ابعاد شبکه ترافیک IERP افزایش می‌یابد. به این دلیل که برای مسیریابی بلادرنگ در یک شبکه بزرگ نسبت به یک شبکه با ابعاد کوچکتر تعداد گره‌های محیطی که مورد پرسش قرار می‌گیرند بیشتر است (علت اینکه شعاع ۱ برای IERP در نظر گرفته شده است این است که ترافیک IERP در شعاع ۱ بیشترین است).

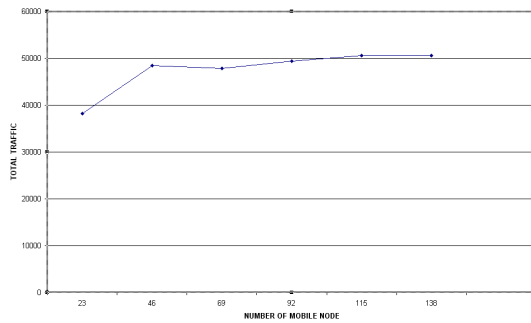


شکل ۱۸ - نمودار ترافیک IERP بر حسب اندازه شبکه (R=1 , Vmax=5 , K=44)



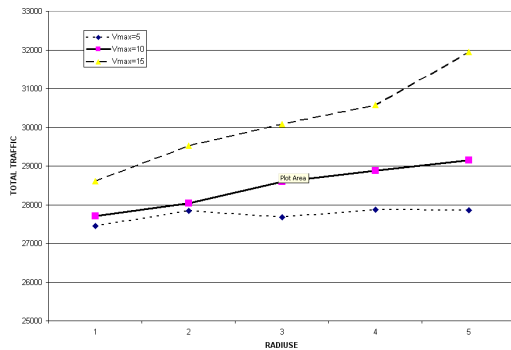
شکل ۱۷ - نمودار ترافیک IARP بر حسب اندازه شبکه (R=5 , Vmax=5 , K=44)

در نهایت با توجه به شکل ۱۹ چون هر دو ترافیک IARP و IERP با بزرگ شدن ابعاد شبکه افزایش می‌یابند ترافیک کل نیز با بزرگ شدن ابعاد شبکه افزایش می‌یابد (علت اینکه شعاع ۳ برای ترافیک کل در نظر گرفته شده است این است که ترافیک کل در شعاع ۱ بیشتر متمایل به IERP و در شعاع ۵ بیشتر متمایل به IARP می‌باشد به همین دلیل برای ترافیک کل، شعاع ۳ در نظر گرفته شده است).

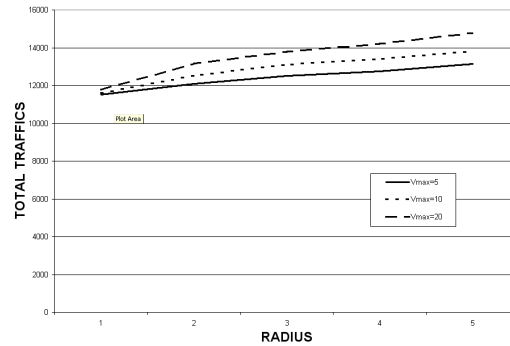


شکل ۱۹ - نمودار ترافیک کل بر حسب ابعاد شبکه ($R=3, V_{max}=5, K=44$)

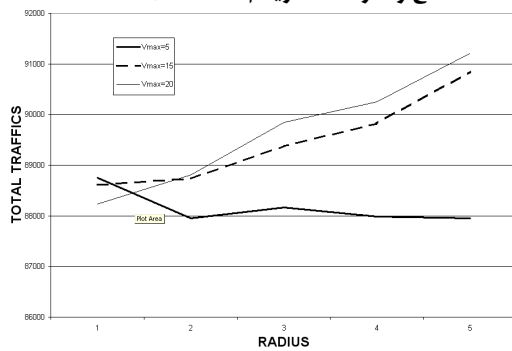
۴-۳-۶- نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع، سرعت ماکزیمم و تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات مختلف در شکل‌های ۲۰ الی ۲۳ نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع‌های مختلف به ازای سرعت‌های ماکزیمم مختلف (V_{max}) و تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات مختلف (K) رسم شده است.



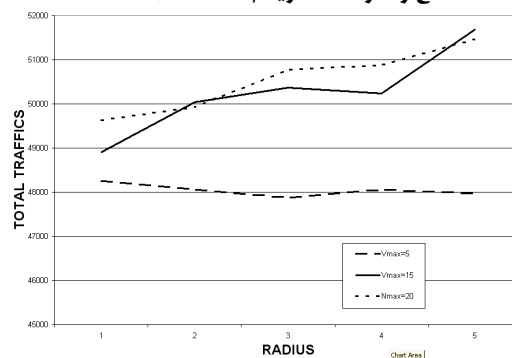
شکل ۲۱ - نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع و سرعت ماکزیمم ($K=25, N=100$)



شکل ۲۰ - نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع و سرعت ماکزیمم ($K=10, N=100$)



شکل ۲۳ - نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع و سرعت ماکزیمم ($K=80, N=100$)



شکل ۲۲ - نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع و سرعت ماکزیمم ($K=44, N=100$)

با بررسی نمودارها نتیجه گرفته می‌شود:

الف) هر چه تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات بیشتر باشد شعاع بهینه بیشتر است.
 < علت: با زیاد شدن تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات، ترافیک IERP افزایش می‌یابد اما ترافیک IARP خیلی افزایش نمی‌یابد. با افزایش شعاع، IARP افزایش و IERP کاهش می‌یابد و چون در اینجا IERP غالب است بنابراین ممکن است با افزایش شعاع، ترافیک کلی کمتری داشته باشیم.

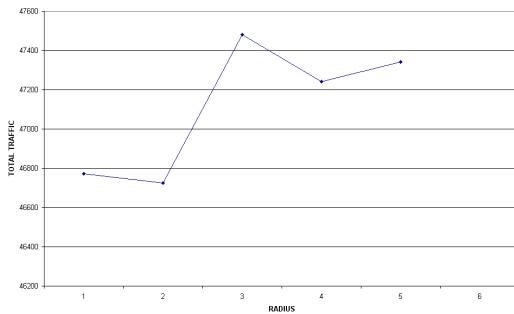
ب) هر چه سرعت گره‌ها بیشتر باشد شعاع بهینه کمتر است.
 < علت: با افزایش سرعت ترافیک IARP بسیار سریعتر از IERP افزایش می‌یابد. با کاهش شعاع، IARP کاهش و IERP افزایش می‌یابد و چون در اینجا IARP غالب است پس با کاهش شعاع ممکن است ترافیک کلی کاهش یابد.

نهایتاً:

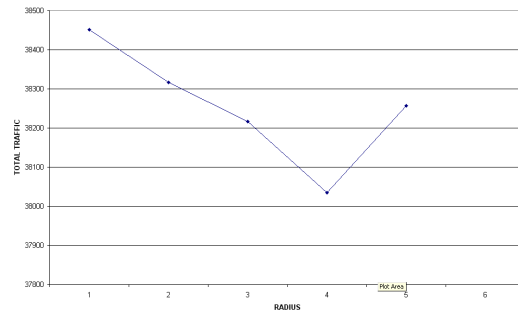
با افزایش تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات شعاع بهینه افزایش می‌یابد.
با افزایش سرعت ماکزیم شعاع بهینه کاهش می‌یابد.

۴-۳-۷- نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع، سرعت ماکزیم و اندازه‌های مختلف شبکه

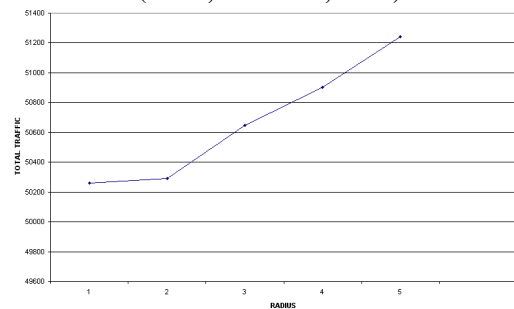
در شکل‌های ۲۴ الی ۲۹ نمودار ترافیک کل بر حسب شعاع‌های مختلف به ازای سرعت‌های ماکزیم مختلف (V_{max}) و اندازه‌های مختلف شبکه (N) رسم شده است.



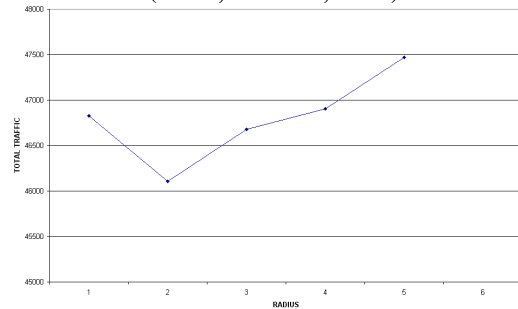
شکل ۲۵ - نمودار ترافیک کل بر حسب
($N=46$, $V_{max}=10$, $K=44$)



شکل ۲۴ - نمودار ترافیک کل بر حسب
($N=23$, $V_{max}=5$, $K=44$)



شکل ۲۷ - نمودار ترافیک کل بر حسب
($N=115$, $V_{max}=5$, $K=44$)



شکل ۲۶ - نمودار ترافیک کل بر حسب
($N=69$, $V_{max}=15$, $K=44$)

با بررسی نمودارها نتیجه گرفته می‌شود:

الف) هرچه تعداد گره‌های متحرک (اندازه شبکه) بیشتر باشد شعاع بهینه کمتر است.

علت: با زیاد شدن گره‌های متحرک، ترافیک $IERP$ و $IARP$ هر دو افزایش می‌یابند. اما این افزایش در ترافیک $IARP$ بیشتر است. با کاهش شعاع، $IARP$ کاهش و $IERP$ افزایش می‌یابد و چون در اینجا کاهش $IARP$ غالب است بنابراین ممکن است با کاهش شعاع، ترافیک کلی کمتری داشته باشیم. پس ممکن است افزایش تعداد گره‌های متحرک موجب کاهش شعاع بهینه شود.

ب) هر چه سرعت گره‌ها بیشتر باشد شعاع بهینه کمتر است.

علت: با افزایش سرعت، ترافیک $IARP$ بسیار سریعتر از $IERP$ افزایش می‌یابد. با کاهش شعاع، $IARP$ کاهش و $IERP$ افزایش می‌یابد و چون در اینجا $IARP$ غالب است پس با کاهش شعاع ممکن است ترافیک کلی کاهش یابد.

نهایتاً:

با افزایش تعداد گره‌های متحرک (اندازه شبکه) شعاع بهینه کاهش می‌یابد.
با افزایش سرعت ماکزیم شعاع بهینه کاهش می‌یابد.

پس با توجه به نتایج این قسمت و بخش ۳-۴-۶ می‌توان شعاع بهینه را به صورت تابعی از سه متغیر سرعت ماکزیم (V_{max})، تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات (K) و اندازه شبکه (N) در نظر گرفت که با سرعت ماکزیم و اندازه شبکه نسبت عکس ولی با تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات نسبت مستقیم دارد.

$$R_{op} = f(V_{max}, N, K) \quad (1)$$

۵- نتیجه گیری

پروتکل ZRP شبکه را به ناحیه‌های مختلف تقسیم می‌کند. مسیریابی در داخل ناحیه‌ها به صورت پرواکتیو و بین ناحیه‌ها به صورت راکتیو انجام می‌شود. بنابراین بزرگ یا کوچک بودن ابعاد شبکه مصالحه‌ای بین این دو پروتکل می‌باشد به این ترتیب که هر چه ناحیه‌ها بزرگتر باشند، پروتکل ZRP به پروتکل پرواکتیو نزدیکتر و به ازای ناحیه‌های کوچکتر، به پروتکل راکتیو نزدیکتر می‌شود. می‌توان نتیجه گیری کرد که محاسبه ابعاد ناحیه (شعاع ناحیه) مهمترین پارامتر در طراحی پروتکل ZRP برای یک شبکه خاص می‌باشد. در این مقاله سعی شده است شعاع بهینه بر اساس ترافیک کنترلی محاسبه شود یعنی شعاعی را بدست آوریم که ترافیک کنترلی در آن حداقل باشد. برای محاسبه شعاع بهینه ترافیک کنترلی ناشی از مسیریابی درون منطقه ای (که اصطلاحاً IARP نامیده می‌شود) و ترافیک کنترلی ناشی از مسیریابی بین منطقه ای (که اصطلاحاً IERP نامیده می‌شود) را محاسبه کرده و از جمع این دو ترافیک، ترافیک کنترلی کل را محاسبه کردیم. این دو ترافیک و در نتیجه شعاع بهینه به پارامترهای زیر بستگی دارد:

- سرعت گره‌ها (در شبیه سازی، سرعت‌ها تصادفی با توزیع نرمال در نظر گرفته شده ولی سرعت ماکزیمم از ۵ متر بر ثانیه تا ۲۰ متر بر ثانیه تغییر داده شد).
 - ابعاد منطقه (در شبیه سازی، کل گره‌های متحرک شبکه تغییر داده شد).
 - میزان ترافیک هر گره (در شبیه سازی تعداد گره‌هایی که آماده ارسال اطلاعات می‌باشند و در نتیجه ترافیک ناشی از گره‌ها تغییر داده شد).
 - قدرت ارسال گره‌ها (در شبیه سازی قدرت ارسال گره‌ها ثابت و برابر ۲۵۰ متر در نظر گرفته شده است).
- از پارامترهای گفته شده، در شبیه سازی فقط قدرت ارسال گره‌ها را ثابت فرض کردیم اما سه پارامتر دیگر را متغیر در نظر گرفتیم که در ادامه روی نتایج بدست آمده برای هر سه متغیر سرعت گره‌ها، ابعاد منطقه و میزان ترافیک هر گره بحث شده است:

۵-۱- تاثیر سرعت گره‌ها

با افزایش سرعت، اضافه شدن همسایه‌های جدید و همچنین گم شدن همسایه‌های قبلی افزایش می‌یابد بنابراین با افزایش سرعت باید ترافیک IARP نیز افزایش یابد. برای ترافیک IERP چون با افزایش سرعت، گره‌های محیطی و همچنین ارتباط گره‌های محیطی با یکدیگر نیز به سرعت تغییر می‌کند، بنابراین ترافیک IERP نیز افزایش می‌یابد. اما نسبت افزایش IARP در اثر سرعت بیشتر از افزایش IERP می‌باشد. با کاهش شعاع، IARP کاهش و IERP افزایش می‌یابد ولی در سرعت زیاد تاثیر IARP بیشتر است. بنابراین در سرعت زیاد به ازای شعاع کمتر ترافیک کمتر می‌شود. *** نتیجه اینکه سرعت با شعاع بهینه نسبت عکس دارد.**

۵-۲- تاثیر اندازه شبکه

با بزرگ شدن ابعاد شبکه ترافیک IARP افزایش می‌یابد. زیرا به ازای یک شعاع معین تعداد ناحیه‌ها و در نتیجه تعداد گره‌های درون ناحیه افزایش می‌یابد (در این قسمت شعاع ۵ برای IARP در نظر گرفته شده است چون ترافیک IARP با توجه به شبیه سازی که با شعاع‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵ انجام شده است، در شعاع ۵ بیشترین است و بهتر می‌توان تاثیر اندازه شبکه بر روی آن را ملاحظه کرد). همچنین با افزایش ابعاد شبکه ترافیک IERP نیز افزایش می‌یابد. به این دلیل که برای مسیریابی بلادرنگ در یک شبکه بزرگ نسبت به یک شبکه با ابعاد کوچکتر تعداد گره‌های محیطی که مورد پرسش قرار می‌گیرند بیشتر است (در این قسمت شعاع ۱ برای IERP در نظر گرفته شده است چون ترافیک IERP در شعاع ۱ بیشترین است و بهتر می‌توان تاثیر اندازه شبکه بر روی آن را ملاحظه کرد). پس با زیاد شدن گره‌های متحرک ترافیک‌های IERP و IARP هر دو افزایش می‌یابند. اما این افزایش در ترافیک IARP بیشتر است. با کاهش شعاع، IARP کاهش و IERP افزایش می‌یابد و چون در اینجا کاهش IARP غالب است، بنابراین با کاهش شعاع، ترافیک کلی کمتری داریم. پس با افزایش تعداد گره‌های متحرک شعاع بهینه کمتر می‌شود. *** نتیجه اینکه شعاع بهینه با اندازه شبکه نسبت عکس دارد.**

۵-۳- تاثیر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات

برای یک شعاع منطقه مفروض، با ازدیاد تعداد گره‌های آماده ارسال تقاضای مسیر برای ارسال بسته‌ها و در نتیجه ترافیک کنترلی IERP بصورت بلادرنگ افزایش می‌یابد، اما برای ترافیک IARP تاثیر چندانی ندارد.

اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات کم باشد، ترافیک کل بیشتر متمایل به IARP می‌باشد. ولی اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات زیاد باشد، ترافیک کل به IERP متمایل است. با افزایش شعاع منطقه، ترافیک کنترلی IARP افزایش و ترافیک کنترلی IERP کاهش می‌یابد که با مقایسه این دو ترافیک تغییر ترافیک کلی (افزایش یا کاهش آن) محاسبه شد. این تغییر در دو حالت زیر بررسی گردید:

- اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات کم باشد، ترافیک IERP قابل مقایسه با ترافیک IARP نمی‌باشد. از طرفی با افزایش شعاع، IARP افزایش و IERP کاهش می‌یابد و چون در اینجا IARP غالب است، پس ترافیک کلی با افزایش شعاع افزایش می‌یابد؛ یعنی اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات کم باشد شعاع بهینه همان شعاع یک می‌باشد و در شعاع یک ترافیک کنترلی حداقل است.
 - اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات زیاد باشد ترافیک IERP قابل ملاحظه می‌شود. با کاهش شعاع، ترافیک IERP کاهش و IARP افزایش می‌یابد و چون در اینجا کاهش ترافیک IERP بر افزایش ترافیک IARP غالب است پس با افزایش شعاع، ترافیک کل کاهش می‌یابد؛ یعنی اگر تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات زیاد باشد شعاع بهینه افزایش می‌یابد، به طور مثال در شعاع ۳ ترافیک کنترلی حداقل است.
- ★ نتیجه اینکه با افزایش تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات، شعاع بهینه افزایش می‌یابد.
- ✱ نتیجه کلی اینکه می‌توان شعاع بهینه را به صورت تابعی از سه متغیر سرعت ماکزیمم (V_{max})، تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات (K) و اندازه شبکه (N) در نظر گرفت که با سرعت ماکزیمم و اندازه شبکه نسبت عکس ولی با تعداد گره‌های آماده ارسال اطلاعات نسبت مستقیم دارد (طبق فرمول ۱).

منابع

1. Andrew S. Tanenbaum, (2003). "Computer Networks", Fourth Edition.
2. C. A. Pomalaza-Raez, (1995). "A Distributed Routing Algorithm for Multihop Packet Radio Networks with Uni- and Bi-Directional Links", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 44, No. 3, pp. 579-585, doi: 10.1109/25.406625.
3. Daniel Lang, (2003). "A comprehensive overview about selected Ad Hoc Networking Routing Protocols", Department of Computer Science, Technische Universität München, Germany.
4. Elizabeth, Royer, Chai-Keong Toh, (1999). "A Preview of Current Routing Protocols for Ad Hoc Mobile Wireless Networks", IEEE Personal Communications, Vol. 6, No. 2, pp. 46-55, doi: 10.1109/98.760423.
5. Haas J. Zygmunt, Marc Pearlman, (2000). "Providing Ad-hoc Connectivity With Reconfigurable Wireless Networks", Cornell University, Ithaca, New Yourk.
6. K. Shea, R.W. Ives, M. Tummala Murali, (2000). "Mobile Ad-Hoc Network Routing Protocol Analysis and Its Application to a Programmable Modular Communication System", Thirty-Fourth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Pacific Grove, CA, USA, doi: 10.1109/ACSSC.2000.910765.
7. M.R. Pearlman, Z.J. Haas, (1999). "Determining the Optimal Configuration for the Zone Routing Protocol", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 17, No. 8, pp. 1395-1414, doi: 10.1109/49.779922.
8. Z.J. Haas, M.R. Pearlman, (2001). "The Performance of Query Control Schemes for the Zone Routing Protocol", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 9, No. 4, pp. 427-438, doi: 10.1109/90.944341.
9. Z.J. Haas, M.R. Pearlman, Prince Samar, (2001). "Intrazone Routing Protocol (IARP)", IETF Internet Draft, draft-ietf-manet-ierp-01.txt.
10. Z.J. Hass, (1997). "A New Routing Protocol For The Reconfigurable Wireless Networks", 6th International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC 97), San Diego, CA, USA, doi: 10.1109/ICUPC.1997.627227.

