دهمین
کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران
۲۷ تا ۲۹ بهمن ۱۳۸۳

مقایسه پروتکلهای مسیریابی شبکه ویژه بر حسب کارایی

زینب خاتون شریعت ناصری shariatnaseri@ce.sharif.edu
دکتر علی موقر movaghar@sharif.edu
دکتر محمد قدسی ghodsi@sharif.edu
اسد محمدی novin_adm_co@yahoo.com

چکیده

شبکه بی‌سیم شبکه‌ایی است که در آن کاربران صرفنظر از موقعیتهای جغرافیایی می‌توانند به اطلاعات و سرویسها دسترسی داشته باشند. این شبکه‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند: شبکه‌های با ساختار و شبکه‌های بدون ساختار یا ویژه[۱] [۲و۳]. شبکه‌های با ساختار از دروازه‌های ثابت و باسیم تشکیل شده‌اند، یک میزبان متحرک به وسیله یک پل که در داخل ناحیه خودش قرار گرفته است می‌تواند با بقیه ارتباط برقرار کند که این پل ارتباطی ایستگاه پایه نامیده می‌شود. یک واحد متحرک می‌تواند درحین برقراری ارتباط حرکت جغرافیایی نیز داشته باشد. زمانیکه این واحد از بازه ایستگاه پایه خارج می‌شود به یک ایستگاه پایه دیگر وصل شده و ارتباطات خودش را ادامه می‌دهد، در این روش ایستگاه‌های پایه ثابت هستند. در مقابل یک شبکه با ساختار، در یک شبکه ویژه تمامی نودها متحرک می‌باشند و به صورت پویا و با یک روش دلخواه ارتباطات را برقرار می‌کنند. در این نوع شبکه تمامی نودها به عنوان مسیریاب عمل کرده و در کشف و نگهداری مسیر به سایر نودها دخیل می‌باشند. در این مقاله تعدادی از پروتکلهای مسیریابی مهم در این دسته از شبکه‌ها از لحاظ کارایی مقایسه و ارزیابی می‌شوند [۱و۱۰] این مقایسه‌ها بر عکس مقایسه‌های قبلی که تا به حال انجام شده است دسته وسیعی از پروتکلها را پوشش داده و همچنین توسعه‌ایی بر نرم افزار NS2 می‌باشد..

کلمات کلیدی: پخش چندگانه، پروتکل مسیریابی، شبکه‌های بی‌سیم، شبکه‌های ویژه.

۱ مقدمه

شبکه‌های ویژه سیار(MANET ها) گروهی از کامپیوترهای بی‌سیم به شکل یک شبکه ارتباطی می‌باشند که ساختار از پیش تعیین شده‌ایی ندارند. اداره و پیکربندی این نوع شبکه‌ها به هیچ کاربر خاصی وابسته نیست، به عبارت دیگر شبکه‌بندی ویژه اجازه می‌دهد یک مجموعه خودمختار تشکیل شود. سناریوهای بی‌شماری وجود دارند که یک شبکه با ساختار و پیکربندی ثابت نمی‌تواند جوابگوی آنها باشد و به شبکه‌ایی مانند شبکه ویژه نیاز دارند مانند مأموریتهای نظامی، عملیاتهای اورژانس ، پروژه‌های تجاری و بازرگانی، کلاسهای آموزشی و غیره. به همین دلیل در سالهای اخیر توجه زیادی به شبکه‌های ویژه شده است. مشکلات زیادی در ایجاد یک شبکه ویژه وجود دارد از قبیل مسیریابی، رسانه‌های بی‌سیم ، قابلیت حمل و نقل. اگر چه این شبکه‌ها در ابتدا برای گروه کوچکی از نودهای همکار تشکیل شده بودند ولی هم اکنون گروههای بزرگی بر روی نواحی جغرافیایی وسیع از این شبکه‌ها به خوبی استفاده می‌کنند. بنابراین مقیاس‌پذیری یکی دیگر از مشکلاتی است که در ایجاد این نوع شبکه وجود دارد. از اینرو دستگاههای محاسبات متحرک از لحاظ قابلیت حمل و نقل و شکل شبکه در رشد شبکه‌های ویژه بسیار مناسب هستند. این مورد به وسیله ظهور بی‌شمار پروتکلهای مسیریابی در شبکه ویژه و تشکیل گروههای کاری در IETF قابل مشاهده است. اطلاعات محلی اخیراً در پروتکلهای مسیریابی در شبکه ویژه متحرک به کار برده شده است که هدف از این کار بهبود بخشیدن کارایی پروتکلها، فراهم آوردن مقیاس‌پذیری یا هر دو مورد می‌باشد[۲۱و۲۳و۴و۵]. از مشکلات اساسی این شبکه‌ها مسیریابی در آنها می‌باشد، به علت متحرک بودن نودها نمی‌توان از پروتکلهای شبکه‌های با ساختار استفاده نمود. پروتکلهای مسیریابی در این شبکه‌ها به دو دسته کلی بر حسب نیاز [۲] و جدول رانده[۳] تقسیم می‌شوند که اختلاف اساسی آنها در اطلاعات نگهداری شده و همچنین نحوه ارسال این اطلاعات می‌باشد

---

[۱] AdHoc
[۲] On-Demand
[۳] Table-Driven

برای انجام مقایسه بین پروتکلها نیاز به شبیه‌سازی یک شبکه ویژه می‌باشد که این شبیه‌سازی در محیط NS2 صورت گرفته است [۱و۶و۱۳و۱۷]. شبیه‌سازی شامل مدلهای تحرک، لایه فیزیکی با انتشار رادیویی، رابطهای شبکه رادیویی و پروتکل IEEE 802.11 (MAC) بهمراه تابع هماهنگی توزیع شده یا DCE می‌باشد. مدل کارت واسط شبکه رادیویی (NIC) بر اساس واسط Wavelan از Lucent می‌باشد. این مدل شامل برخوردها (تصادم)، تأخیر انتشار و میرایی سیگنال با نرخ داده‌ایی ۲Mbps و بازه رادیویی ۲۵۰ متر است. پروتکلهایی انتخاب شده برای مقایسه پروتکلهای DSR [۲و۹و۱۰]، AODV[۱۷]، DSDV[۱۸]، TORA[۱۴و۱۵]، FSR، CBRP[۳] و CGSR[۲و۳] می‌باشند که NS2 چهار پروتکل اول را بصورت کامل شبیه‌سازی کرده است و کد مابقی پروتکلها نیز به NS2 اضافه شده است [۱۶و۱۸].

ساختار این مقاله به این صورت است که در بخش ۲ متدلوژی انجام کار و مدلهای حرکت و ارتباطی توضیح داده شده و در بخش ۳ نیز معیارهای انتخاب شده برای مقایسه پروتکلها معرفی می‌شوند. در بخش ۴ به بررسی نتایج حاصل از شبیه‌سازی پرداخته و مقایسه بین پروتکلها انجام می‌شود.

۲ متدلوژی انجام کار

هدف نهایی از این شبیه‌سازی اندازه‌گیری کارایی پروتکلهای مسیریابی تحت تأثیر تغییرات توپولوژی شبکه مادامیکه ارسال بسته‌ها به مقاصد با موفقیت انجام می‌شوند، است. برای اندازه گیری این توانایی یک شبیه‌سازی پایه در نظر گرفته شده است که نتایج حاصله از شبیه‌سازیهای دیگر با آن مقایسه می‌شوند [۴و۱۱]. در شبیه‌سازی پایه ۵۰ نود متحرک در یک محیط شبیه‌سازی ۳۰۰×۱۵۰۰ مترمربع و زمان اجرای ۹۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده است. هر اجرای شبیه‌ساز یک فایل سناریو را می‌پذیرد که در آن حرکت هر نود و ترتیب تولید بسته‌ها به وسیله هر نود آمده است که تفاوت آنها هم در تغییراتی است که در این پارامترها ایجاد می‌شود. برای انجام این کار ابتدا ۲۱۰ فایل سناریوی مختلف با تغییر در الگوی حرکت و بار ترافیکی ایجاد شده و سپس همه آنها برای هر هفت پروتکل اجرا می‌شوند[۷و۸و۹].

۲-۱ مدل حرکت

برای انجام شبیه‌سازی از شبیه‌ساز NS2 استفاده شده است. در این شبیه‌سازی نودها بر اساس مدل Random Waypoint حرکت می‌کنند به این صورت که سناریوهای حرکت شامل خصوصیت زمان توقف هستند [۱۲و۲۲]. حرکت یک نود به این صورت است که یک مقصد به صورت تصادفی در مساحت ۳۰۰×۱۵۰۰ مترمربع انتخاب می‌شود و با سرعت غیر یکنواخت بین صفر و ماکزیمم سرعت به سمت آن مقصد حرکت می‌کند، به محض رسیدن به مقصد نود مذکور به اندازه زمان توقفش (بر حسب ثانیه) توقف کرده، سپس یک مقصد دیگر انتخاب می‌کند و این رفتار را در کل زمان شبیه‌سازی حفظ می‌کند. هر شبیه‌سازی در ۹۰۰ ثانیه اجرا می‌شود و زمانهای توقف در نظر گرفته شده در این شبیه‌سازی ۰، ۳۰، ۶۰، ۱۲۰، ۱۳۰، ۶۰۰ و ۹۰۰ ثانیه می‌باشند که زمان توقف صفر ثانیه در اصل یک حرکت پیوسته و زمان توقف ۹۰۰ ثانیه یک شبکه ایستا را نشان می‌دهد. از آنجائیکه کارایی پروتکلها به مدل حرکت نودها خیلی وابسته است، در اینجا ۷۰ مدل حرکت متفاوت برای نودها در نظر گرفته شده است به این صورت که برای هر زمان توقف ۱۰ اجرای متفاوت انجام شده و دو مقدار متفاوت برای ماکزیمم سرعت حرکت نودها در نظر گرفته شده است. در بخشهای زیر ابتدا نتایج شبیه‌سازی با ماکزیمم سرعت ۲۰m/s و میانگین سرعت ۱۰m/s و بعد از آن نتایج حاصل از شبیه‌سازی با ماکزیمم سرعت ۱m/s نشان داده شده‌اند.

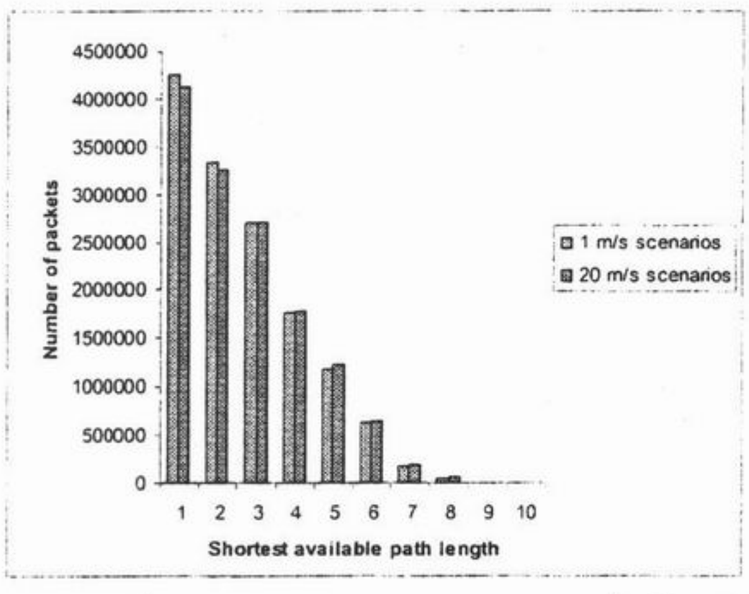
۲-۲ مدل ارتباطی

برای اجرای شبیه‌سازیهای مذکور مبدأهای ترافیکی با نرخ بیت ثابت (CBR)، نرخ ارسال ۱، ۴ و ۸ بسته در ثانیه، تعداد مبدأها ۱۰، ۲۰ و ۳۰ و همچنین سایز بسته‌ها ۶۴ و ۱۰۲۴ بایت در نظر گرفته شده است[۱۹و۲۰]. تغییر در تعداد مبدأهای CBR خیلی شبیه تغییر نرخ ارسال می‌باشد بنابراین در این شبیه‌سازیها نرخ ارسال ثابت ۴ بسته در ثانیه در نظر گرفته شده است و سه الگوی

مختلف با تغییر در مبدأهای CBR بین ۱۰، ۲۰ و ۳۰ مبدأ ایجاد شده است. هنگام استفاده از بسته‌های با سایز ۱۰۲۴ بایت؛ تراکم شدیدی ناشی از فقدان تنوع فاصله‌ایی به وجود می‌آید که این مشکل برای تمام پروتکلها وجود دارد و برای رفع این مشکل یک یا دو نود باید بسته‌هایی را که برای ارسال دریافت کرده بودند از بین ببرند. اگر هیچکدام از نودها در تعادل بار شرکت نکنند، در این حالت توپولوژی باید تغییر کرده و سایز بسته‌های ارسالی به حداقل مقدار آن یعنی ۶۴ بایت خواهد رسید. تمام الگوهای ارتباطی نظیر به نظیر هستند و اتصالات اولیه به صورت یکنواخت بین ۰ و ۱۸۰ ثانیه توزیع شده است [۶و۷]. سه مدل ارتباطی (۱۰، ۲۰ و ۳۰ مبدأ) با ۷۰ الگوی حرکتی ترکیب می‌شوند و ۲۱۰ سناریوی مختلف را برای هر ماکزیمم سرعت نود (۱m/s و ۲۰m/s) ایجاد می‌کنند[۱۳].

۳-۲ مشخصات الگوهای حرکتی

جهت نشان دادن تفاوت بین الگوهای انجام شده روی پروتکلهای مسیریابی، طول مسیر هر پروتکل برای تحویل دادن بسته‌ها و تعداد کلی تغییرات توپولوژی در هر سناریو اندازه گیری شده است[۱۹]. زمانیکه هر بسته تولید می‌شود، یک مکانیزم میانی (جدای از پروتکلها) کوتاهترین مسیر بین فرستنده بسته و گیرنده را محاسبه می‌کند و در داخل بسته قرار می‌دهد که این مقدار با تعداد hopهای واقعی که بسته برای رسیدن به مقصد پیموده است مقایسه می‌شود. شکل (۲-۱) توزیع کوتاهترین مسیر برای تمام بسته‌های ۲۱۰ سناریو را برای سرعتهای ۱m/s و ۲۰m/s نشان می‌دهد. ارتفاع هر میله تعداد بسته برای هر مقصدی که فاصله مشخص در زمان تولید بسته دارد را نشان می‌دهد. به طور متوسط بسته‌های داده‌ایی در شبیه‌سازی ۲/۶hop برای رسیدن به مقصد را باید طی کنند و دورترین نود قابل حصول در پروتکلهای مسیریابی یک مسیر با ۸hop را می‌پیماید.



شکل (۲-۱) توزیع کوتاهترین مسیر موجود برای هر بسته تولید شده در تمام سناریوها

تعداد تغییرات اتصال یک پیوند زمانیکه یک نود داخل یا خارج از بازه ارتباطی مستقیم به سمت دیگر نودها می‌رود، اندازه گرفته شده است. یک سناریوی خاص در حالت زمان توقف ۳۰ ثانیه و سرعت ۱m/s تغییرات اتصال کمتری نسبت به زمان توقف صفر ثانیه داشته است.

۳ معیارهای اندازه‌گیری

در مقایسه پروتکلهای مسیریابی ۳ پارامتر و معیار زیر ارزیابی می‌شوند[۱۹]:

- نرخ تحویل بسته: نسبت بین بسته‌های تولید شده به وسیله لایه کاربرد نودهای مبدأ و تعداد بسته‌های دریافت شده توسط مقصد نهایی.
- سربار مسیریابی: تعداد کل بسته‌های مسیریابی ارسال شده در کل زمان شبیه‌سازی.
- بهینگی مسیر: تفاوت بین تعداد hop سپری شده برای رسیدن یک بسته به مقصد و طول کوتاهترین مسیر حدس زده شده در زمان تولید بسته.

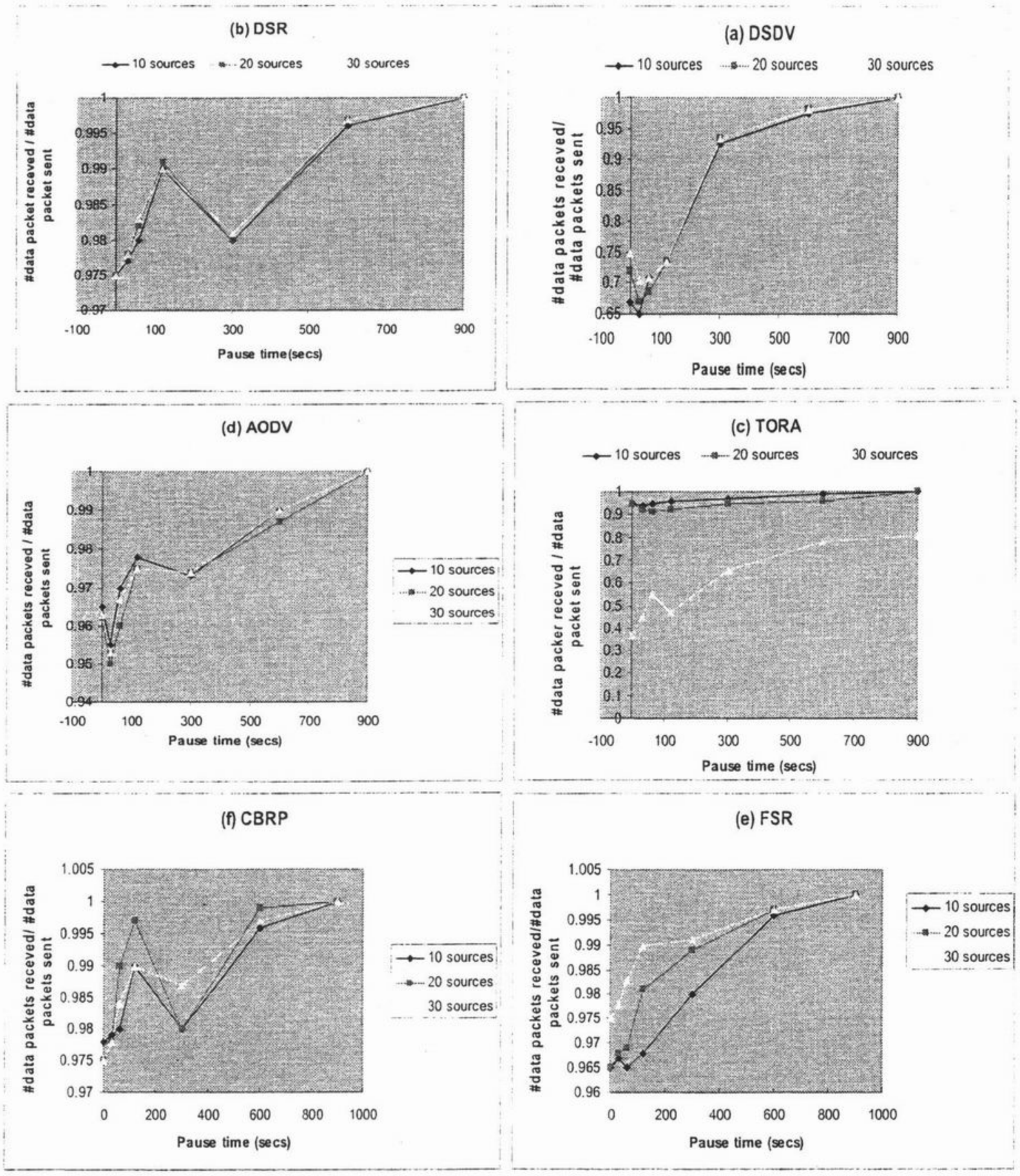
لازم به ذکر است که تعداد ۴۰ تا ۱۲۰ بسته در هر ثانیه شبیه‌سازی تولید می‌شود و زمان کل شبیه‌سازی ۹۰۰ ثانیه است.

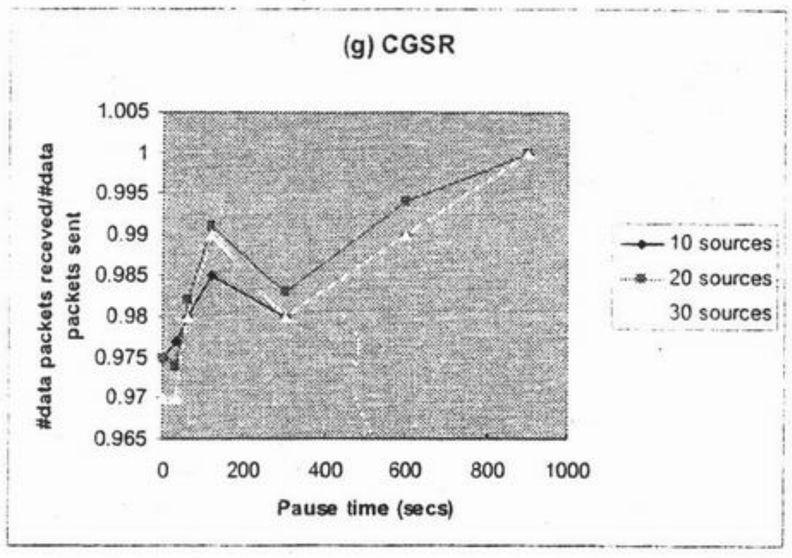
٤ نتایج شبیه‌سازی

همانطور که قبلاً نیز گفته شد شبیه‌سازی با دو مقدار ماکزیمم سرعت ۲۰m/s (متوسط سرعت ۱۰m/s) و ۱m/s انجام شده است. ابتدا هفت پروتکل DSR، AODV، DSDV، TORA، FSR، CBRP و CGSR بر اساس سرعت ۲۰m/s شبیه‌سازی شده‌اند و سپس داده‌های شبیه‌سازی با سرعت ۱m/s آورده شده و مقایسه انجام می‌شود. برای تمام شبیه‌سازیها الگوی ارتباطی نظیر به نظیر است و هر اجرا ۱۰، ۲۰ یا ۳۰ مبدأ دارد که هر کدام ۴ بسته در ثانیه تولید می‌کنند [۱۵].

٤-۱ مقایسه پروتکلها بر اساس نرخ تحویل بسته‌ها

شکل (۴-۱) تعداد بسته‌های قابل تحویل هر پروتکل بر اساس نرخ حرکت (زمان توقف) و بار شبکه (تعداد نودهای مبدأ) را نشان می‌دهد. برای DSR، AODV، CBRP،FSR و CGSR نرخ تحویل بسته مستقل از بار ترافیکی بوده و بین ٪۹۵ تا ٪۱۰۰ برای تمام حالتها می‌باشد. DSDV برای زمان توقفهای زیر ۳۰۰ ثانیه حدوداً با شکست مواجه شده و مقدار خیلی کمی‌از بسته‌ها را می‌تواند تحویل دهد. در نرخ حرکتهای بالاتر (زمان توقف پائین‌تر) DSDV خیلی بد عمل می‌کند و ٪۷۰ بسته‌ها را از بین می‌برد و می‌توان گفت تقریباً تمام بسته‌های از بین رفته گم شده‌اند چونکه در جدول مسیریابی داده‌های قدیمی راجع به پیوندهای از بین رفته وجود دارد و با ارسال اشتباه، بسته‌ها گم می‌شوند. از آنجائیکه DSDV تنها یک مسیر برای هر مقصد نگهداری می‌کند و بالطبع بسته‌ها وقتیکه این مسیر از بین می‌رود دیگر قابل تحویل نیستند و از بین می‌روند.

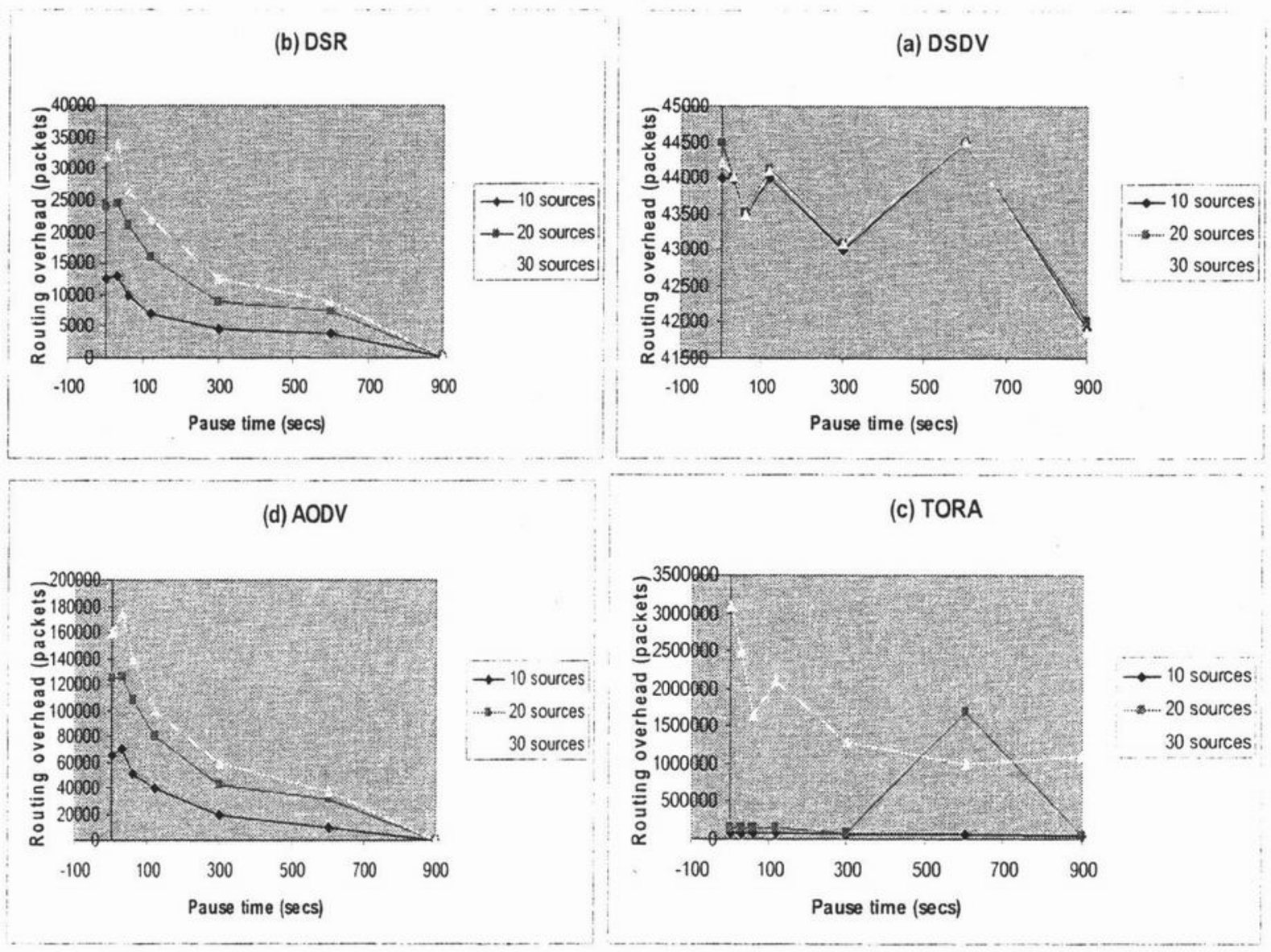


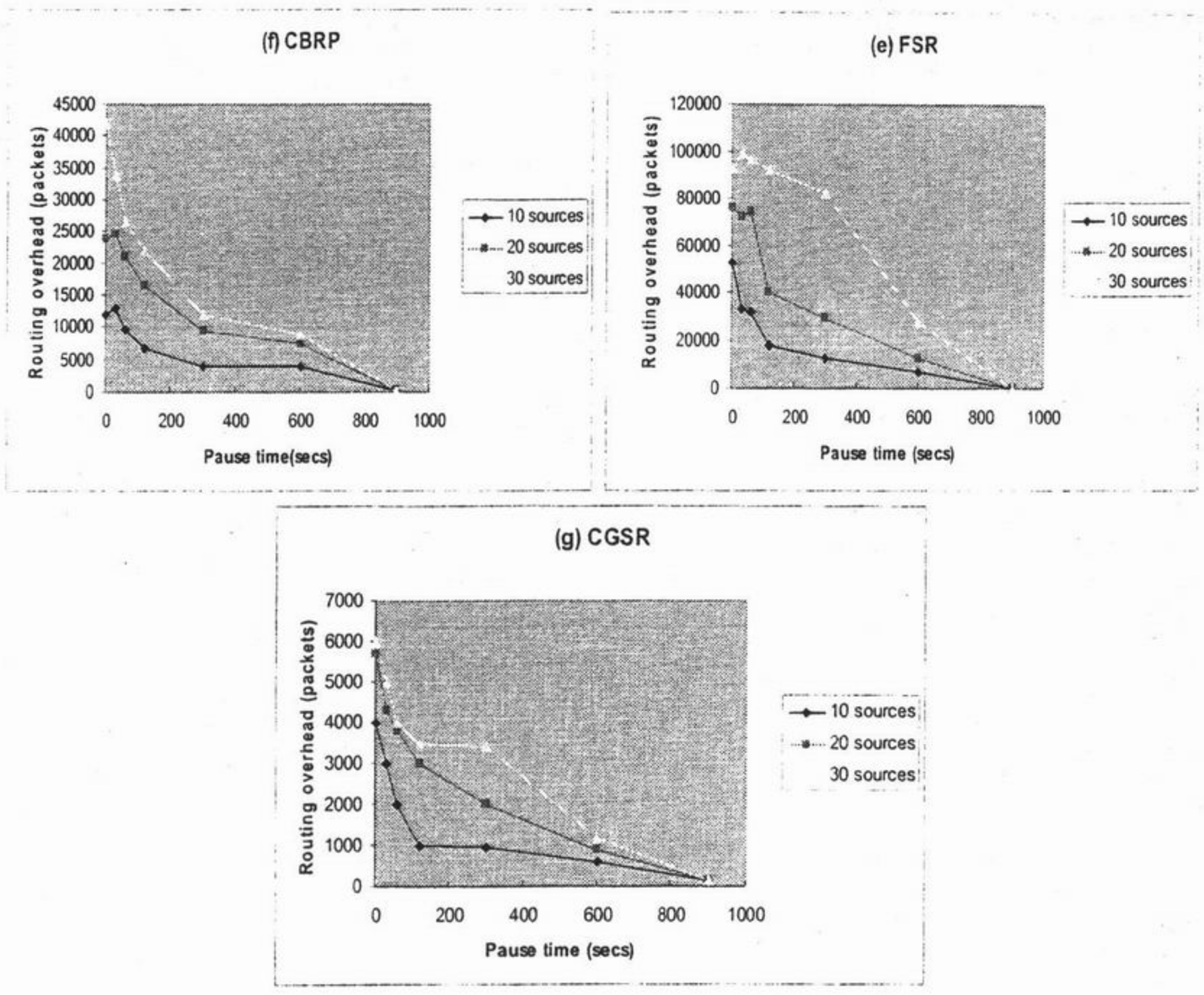


شکل (۴-۱) نرخ تحویل بسته بر اساس تابع زمان توقف

۴-۲ مقایسه پروتکلها بر اساس سربار مسیریابی

شکل (۴-۲) تعداد بسته‌های مسیریابی فرستاده شده توسط هر پروتکل در به دست آوردن نرخ تحویل نشان داده شده در شکل (۴-۱) را نشان می‌دهد. انتظار می‌رود که با افزایش تعداد مبدأها، تعداد بسته‌های مسیریابی در پروتکلهای بر حسب نیاز افزایش پیدا کند چونکه مسیرهای زیادی باید نگهداری شوند. DSR و AODV و CBRP فقط از بسته‌های بر حسب نیاز استفاده می‌کنند و خیلی شبیه به مکانیزم پایه می‌باشند، بنابراین شکل منحنی‌های آنها تقریباً مانند هم است ولی سربار AODV حدوداً ۵ برابر DSR است. این افزایش سربار در AODV به این دلیل است که هر کشف مسیر در AODV بسته‌ها را برای تمام نودهای شبکه ویژه منتشر می‌کند.





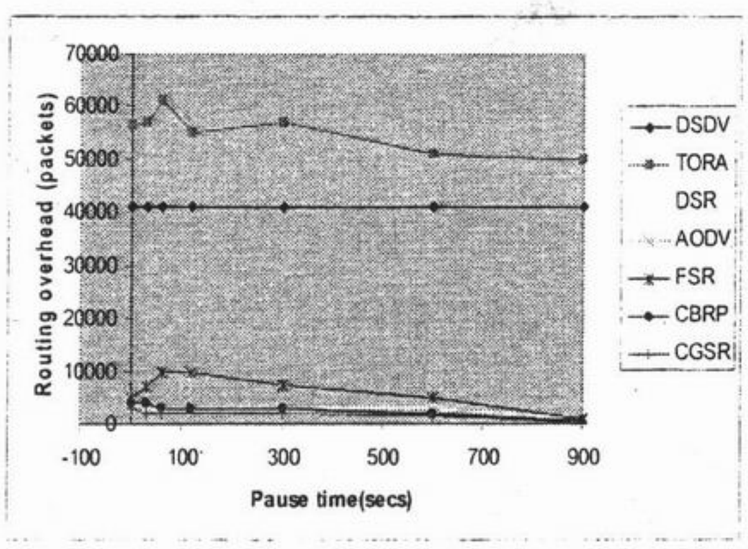
شکل (۴-۲) سربار مسیریابی بر اساس تابع زمان توقف

بعنوان مثال در زمان توقف صفر و تعداد مبدأ ۳۰، AODV حدود ۲۲۰۰ کشف مسیر در ۹۰۰ ثانیه اجرای شبیه‌سازی انجام داده است و حدود ۱۱۰۰۰۰ بسته درخواست مسیر را فرستاده است و در همین شرایط، DSR بسته‌های درخواست مسیر خودش را با استفاده از مکانیزم caching، روش سربار بی‌قاعده بسته‌ها و همچنین بسته‌های درخواست مسیر غیر انتشاری کاهش داده و فقط ۹۵۰ درخواست غیر انتشاری و ۳۰۰ بسته انتشاری در کل اجرای شبیه‌سازی فرستاده است. سربارFSR از DSR کمتر ولی از AODV بیشتر می‌باشد که این شباهت بیشتر این دو پروتکل که از دو دسته مختلف می‌باشند را نشان می‌دهد.

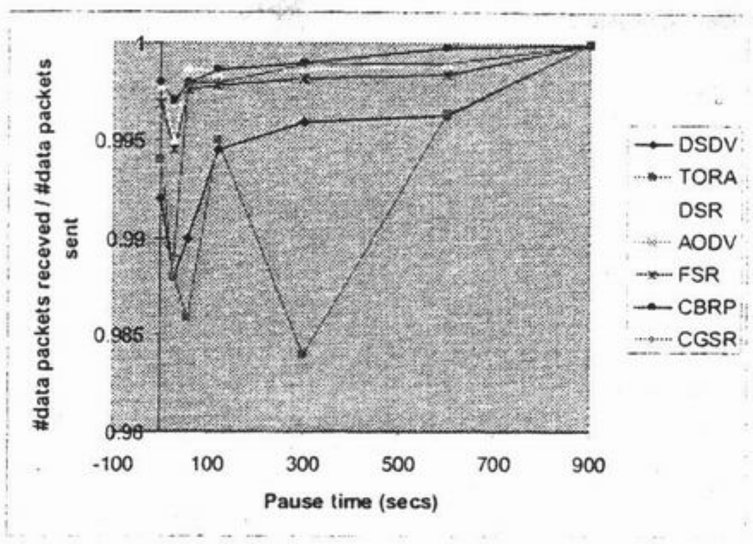
سربار TORA مجموع دو سربار مستقل از حرکت (ثابت) و سربار وابسته به حرکت (متغیر) می‌باشد. سربار ثابت ناشی از مکانیزم کشف همسایه‌های IMEP است که نیازمند این است که هر نود حداقل یک بسته HELLO در بازه امواج هدایتی (۱ ثانیه) ارسال کند. برای شبیه‌سازی ۹۰۰ ثانیه با ۵۰ نود، این مطلب حداقل ۴۵۰۰۰ بسته به سربار اضافه می‌کند. بخش متغیر سربار شامل بسته‌های مسیریابی TORA که برای کشف و نگهداری مسیر استفاده می‌شوند، است که با ضرب تعداد ارسال‌های مجدد و بسته‌های تصدیق در یکدیگر به دست می‌آید. DSDV در این شبیه‌سازی صرفنظر از نرخ حرکت یا بار ترافیکی تقریباً سربار ثابتی دارد. این رفتار ثابت به این دلیل است که هر نود مقصد مانند D، هر ۱۵ ثانیه یکبار بسته‌های به روزآوری را همراه با شماره ترتیب جدید پخش می‌کند بنابراین از بین این ۵۰ نود غیر هماهنگ در این شبیه‌سازی حداقل یک نود این کار را انجام می‌دهد. بنابراین بر اساس نحوه انجام این کار، سربار این پروتکل برای شبیه‌سازی ۹۰۰ ثانیه و ۵۰ نود برابر ۴۵۰۰۰ بسته است.

٤-۳ مقایسه پروتکلها بر اساس سرعت حرکت نودها

برای اینکه مشخص شود نرخ تغییرات توپولوژی چقدر در کارایی پروتکلها تأثیر دارد، سرعت نودها از ۲۰m/s به ۱m/s کاهش یافته و سناریوهای مذکور برای هفت پروتکل دوباره ارزیابی می‌شوند. شکلهای (۴-۳) و (۴-۴) نتایج این شبیه‌سازی را با استفاده از ۲۰ نود مبدأ نشان می‌دهند.



شکل (۴-۳) مقایسه بین نرخ تحویل بسته هفت پروتکل بر اساس تابع زمان توقف و سرعت ۱m/s

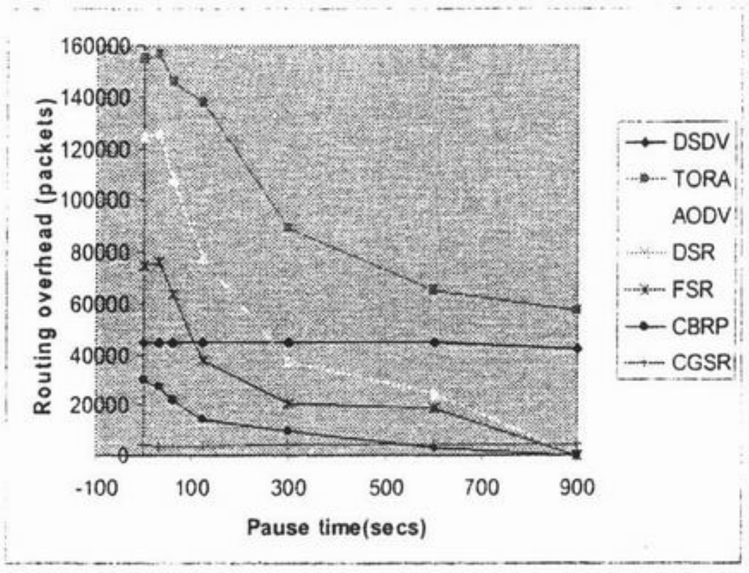


شکل (۴-۴) مقایسه بین تعداد بسته‌های مسیریابی ارسال شده هفت پروتکل بر اساس تابع زمان توقف و سرعت ۱m/s

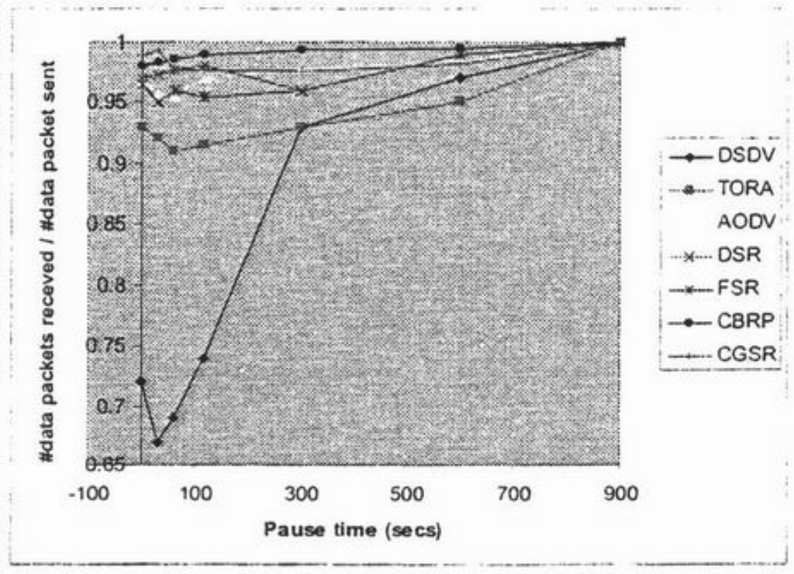
تمام پروتکلها بیش از ٪۹۵/۵ از بسته‌ها را در این حالت تحویل می‌دهند. بر خلاف سناریوی با سرعت۲۰m/s که DSDV قادر به همگرا کردن مقادیر نبود، در این حالت کارایی این پروتکل در زمینه تحویل بسته‌ها بسیار عالی نشان داده شده است؛ حتی مشاهده می‌شود که در نرخ پائین حرکت نیز هر کدام از پروتکلهای مسیریابی مقدار اختلاف زیادی برای سربار مسیریابی نشان می‌دهند. نه DSR و نه AODV تفاوت جدی در این سناریوها به دست نیاورده‌اند و افزایش سربار مسیریابی فقط به کاهش زمان توقف وابسته است.

۵ نتیجه گیری

شکلهای (۴-۶) و (۴-۷) کارایی هفت پروتکل مسیریابی را در حالت بار ترافیکی ۲۰ مبدأ و ماکزیمم سرعت ۲۰m/s نشان می‌دهند. تمام پروتکلها درصد زیادی از بسته‌های تولید شده را زمانیکه حرکت نودها کم باشد، تحویل می‌دهند (مثلاً حالت زمان توقف بالا) و این مقدار وقتی که حرکت نودها به صفر برسد به ٪۱۰۰ می‌رسد. به خصوص DSR و AODV و FSR و CBRP و CGSR که بیشتر از ٪۹۵ بسته‌ها را در هر نرخ حرکتی تحویل می‌دهند. در این سناریوها، DSDV در زمان توقفهای زیر ۳۰۰ ثانیه حدوداً با شکست مواجه شده است. شکل (۴-۷) نشان می‌دهد که هفت پروتکل مسیریابی مقدارهای متفاوتی برای سربار مسیریابی دارند. بطور کلی می‌توان گفت که DSR کمترین سربار و TORA بیشترین سربار را دارد. خصوصیت اصلی هر کدام از پروتکلها در سربار خودشان در شکل (۴-۷) نشان داده شده است. TORA، DSR، CBRP و AODV پروتکلهای بر حسب نیاز هستند و سربارشان با تغییرات نرخ حرکت تغییر می‌کند و به آن وابسته است ولی DSDV، FSR و CGSR که پروتکلهای جدول رانده می‌باشند خیلی به نرخ حرکت وابسته نبوده و تقریباً رفتار ثابتی از خود نشان می‌دهد. نتایج نشان داده شده در این شکلها برای پروتکل TORA در زمان توقف ۶۰۰ میانگین مقادیر ۹ سناریو می‌باشد و سربار در دهمین سناریو چون خیلی بیشتر از بقیه سناریوها می‌باشد در نظر گرفته نشده است.



شکل (۴-۶) مقایسه نرخ تحویل بسته‌های هفت پروتکل بر اساس تابع زمان توقف



شکل (۴-۷) مقایسه سربار مسیریابی هفت پروتکل بر اساس تابع زمان توقف

۶ مراجع

[1] Vaduvur Bharghavan, Alan Demers, Scott Shenker, and Lixia Zhang. MACAW: A media access protocol for wireless LAN's. In Proceedingsof the SIGCOMM '94 Conference on Communications Architectures,Protocols and Applications, pages 212–225, August 1994.

[2] Josh Broch, David B. Johnson, and David A. Maltz. The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks. Internet-Draft,draft-ietf-manet-dsr-00.txt, March 1998. Work in progress.

[3] M. Scott Corson and Anthony Ephremides. A distributed routing algorithm for mobile wireless networks. Wireless Networks, 1(1):61–81,February 1995.

[4] M. Scott Corson, S. Papademetriou, Philip Papadopoulos, Vincent D.Park, and Amir Qayyum. An Internet MANET Encapsulation Protocol(IMEP) Specification. Internet-Draft, draft-ietf-manet-imep-spec-01.txt, August 1998. Work in progress.

[5] M. Scott Corson and Vincent D. Park. An Internet MANET Encapsulation Protocol (IMEP) Specification. Internet-Draft, draft-ietf-manetimep-spec-00.txt, November 1997. Work in progress.

[6] Kevin Fall and Kannan Varadhan, editors. ns notes and documentation.The VINT Project, UC Berkeley, LBL, USC/ISI, and Xerox PARC,November 1997. Available from http://www-mash.cs.berkeley.edu/ns/.

[7] Bernd Freisleben and Ralph Jansen. Analysis of routing protocols for ad hoc networks of mobile comuters. In Proceedings of the 15th IASTED International Conference on Applied Informatics, pages 133–136, Innsbruck, Austria, February 1997. IASTED-Acta Press.

[8] IEEE Computer Society LAN MAN Standards Committee. Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Speci-fications, IEEE Std 802.11-1997. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, New York, New York, 1997.

[9] David B. Johnson. Routing in ad hoc networks of mobile hosts. In Proceedings of the IEEE Workshop on Mobile Computing Systems and Applications, pages 158–163, December 1994.

[10] David B. Johnson and David A. Maltz. Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. In Mobile Computing, edited by Tomasz Imielinski and Hank Korth, chapter 5, pages 153–181. Kluwer Academic Publishers, 1996.

[11] Phil Karn. MACA—A new channel access method for packet radio.In Proceedings of the 9th Computer Networking Conference, pages 134–140, September 1990.

[12] Barry M. Leiner, Robert J. Ruth, and Ambatipudi R. Sastry. Goals and challenges of the DARPA GloMo program. IEEE Personal Communications, 3(6):34–43, December 1996.

[13] National Science Foundation. Research priorities in wireless and mobile communications and networking: Report of a workshop held March 24–26, 2004, Airlie House, Virginia. Available at http://www.cise.nsf.gov/anir/ww.html.

[14] Vincent D. Park and M. Scott Corson. A highly adaptive distributed routing algorithm for mobile wireless networks. In Proceedings of INFOCOM'97, pages 1405–1413, April 1997.

[15] Vincent D. Park and M. Scott Corson. Temporally-Ordered Routing Algorithm (TORA) version 1: Functional specification. Internet-Draft, draft-ietf-manet-tora-spec-00.txt, November 1997. Work in progress.

[16] Vincent D. Park and M. Scott Corson. A performance comparision of TORAand Ideal Link State routing. In Proceedings of IEEE Symposium on Computers and Communication '98, June 1998.

[17] Charles Perkins. Ad Hoc On Demand Distance Vector (AODV) routing. Internet-Draft, draft-ietf-manet-aodv-00.txt, November 2004. Work in progress.

[18] Charles E. Perkins and Pravin Bhagwat. Highly dynamic Destination- Sequenced Distance-Vector routing (DSDV) for mobile computers. In Proceedings of the SIGCOMM '94 Conference on Communications Architectures, Protocols and Applications, pages 234–244, August 1994. A revised version of the paper is available from http://www.cs.umd.edu/projects/mcml/papers/Sigcomm94.ps.

[19] David C. Plummer. An Ethernet address resolution protocol: Or converting network protocol addresses to 48.bit Ethernet addresses for transmission on Ethernet hardware. RFC 046, November 2004.

[20] Theodore S. Rappaport. Wireless Communications: Principles and Practice. Prentice Hall, New Jersey, 1996.

[21] Neil Siegel, Dave Hall, Clint Walker, and Rene Rubio. The Tactical Internet Graybeard Panel briefings. U.S. Army Digitization Office. Available at http://www.ado.army.mil/Briefings/Tact%20Internet/index.htm, October 2003.

[22] Bruce Tuch. Development of WaveLAN, an ISM band wireless LAN. AT&T Technical Journal, 72(4):27–33, July/August 1993.

[23] Gary R. Wright and W. Richard Stevens. TCP/IP Illustrated, Volume 2:The Implementation. Addison-Wesley, Reading, Massachusetts, 2002.