الگوریتم مسیریابی با افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های تحمل‌پذیر تاخیر

آزاده امیدوار[1]، کریم محمدی[2]

۱. دانشجوی دکترای برق، دانشگاه علم و صنعت ایران omidvar@elec.iust.ac.ir

۲. استاد دانشکده برق، دانشگاه علم و صنعت ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۹/۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۱۴

چکیده

شبکه‌های تحمل‌پذیر تاخیر، Delay tolerant networks (DTNs)، شبکه‌های بی‌سیم با ویژگی ارتباطات گذرا هستند. در این شبکه‌ها، تحرک و جابه‌جایی گره‌ها، ساختار پویا، انرژی محدود گره‌ها و ... موجب بروز قطعی در ارتباط بین آنها می‌گردد. DTN در محیط‌های چالش‌برانگیز گوناگونی مانند ماهواره‌ها، محیط‌های جنگی و ... به کار می‌رود. در این شبکه‌ها، مسیر دائمی بین گره مبدا و مقصد در بیشتر مواقع وجود ندارد. به همین دلیل، روش‌های مسیریابی مرسوم در شبکه‌های اقتضایی در DTN کارآیی ندارد. در این شبکه‌ها از ساز و کار ذخیره و ارسال برای تبادل پیغام‌ها استفاده می‌شود. این امر موجب اتلاف منابع شبکه خواهد شد. روش پیشنهادی که Crouting نام دارد، می‌کوشد با بررسی و کنترل تعداد بسته‌های توزیع شده در شبکه، قابلیت اطمینان شبکه را افزایش دهد. این روش، تعداد بسته‌های پراکنده در شبکه را کاهش داده و درصد تحویل پیغام‌ها به گره مقصد را افزایش می‌دهد. مقایسه روش پیشنهادی با روش‌هایی نظیر PRoPHET و ER موفقیت روش مذکور را نشان می‌دهد. در Crouting، درصد حذف بسته‌ها از بافر به طور میانگین ۸۰ درصد کمتر از PRoPHET و ER و درصد تحویل بسته‌ها به طور میانگین ۵ درصد بیشتر از PRoPHET و ER است.

کلیدواژه

شبکه‌های تحمل‌پذیر تاخیر، DTN، درصد تحویل بسته‌ها (پیغام‌ها)، تاخیر تحویل بسته‌ها (پیغام‌ها)، تعداد بسته‌های حذف شده از بافر

مقدمه

در سال ۲۰۰۲ میلادی، ایده شبکه‌های تحمل‌پذیر تاخیر ارائه شد. شبکه‌های تحمل‌پذیر تاخیر [۱]، شبکه‌های بی‌سیم تنک[1] با ارتباطات گذرا هستند. در اغلب موارد مسیر کاملی بین گره‌ها موجود نیست. پروتکل‌های مسیریابی شبکه‌های اقتضایی پویا[2] برای ارتباط‌های انتها به انتها طراحی شده‌اند و به همین دلیل در DTN کارآیی ندارند. ساز و کار تصدیق پروتکل TCP/IP نیز در اینجا کارآیی نخواهد داشت [۱]. تحرک گره‌ها بر گذرا بودن ارتباط بین گره‌ها می‌افزاید. ارتباطات ناپایدار بین گره‌ها علاوه بر تحرک، به دلایل مختلفی نظیر مدیریت انرژی، شعاع انتقال رادیویی[3]، تنکی، حمله‌ها و ... رخ می‌دهد. DTN، شبکه فرصت‌طلب[4] نیز نامیده می‌شود زیرا به دلیل ارتباطات ناپایدار بین گره‌ها، هر گره منتظر ایجاد ارتباط با گرهی است که در محدوده ارتباطی آن قرار می‌گیرند.

علاوه بر تحرک گره‌ها، انرژی محدود هر گره، خطای زیاد، تاخیر طولانی، اتصالات گذرا، نرخ انتقال متغیر داده و گم شدن بسته‌ها از ویژگی‌های شبکه‌های DTN هستند [۱]. در این شبکه‌ها از بسته‌های با طول متغیر برای ارسال اطلاعات استفاده می‌شود.

این شبکه‌ها کاربردهای گوناگونی در شبکه‌های حسگر بی‌سیم [۲]، شبکه‌های نقلیه عمومی [۳]، شبکه‌های بین سیاره‌ای [۴-۵] شبکه‌های سوئیچ بسته [۶] و شبکه‌های حسگر اقیانوس [۷-۸] و ... دارند.

هدف پروتکل‌های مسیریابی موجود برای DTN، یافتن مسیر بهینه با داشتن حداقل اطلاعات است. برای یافتن این‌گونه مسیرها از ساز و کارهای مختلفی نظیر احتمال ملاقات گره‌ها، کپی بسته‌ها، رمزنگاری شبکه، یافتن الگوی حرکت گره و ... استفاده می‌شود. در طراحی پروتکل‌های مسیریابی بسته به کاربرد، مولفه‌های مختلفی

1. Sparse
2. Mobile Ad Hoc Network (MANET)
3. Transmission Range
4. Opportunistic

مانند درصد تحویل بسته‌ها، تاخیر تحویل بسته‌ها، تعداد بسته‌های حذف شده از بافر و ... باید مد نظر قرار گیرد.

به منظور مقابله با خاصیت ناپایداری لینک‌ها در DTN از ساز و کار ذخیره-حمل-ارسال[5] استفاده می‌شود [۹-۱۱]. این ساز و کار، یک بسته را تا یافتن گره مناسب برای ارسال بسته، در بافر خود ذخیره می‌کند. گره، بسته را در حین حرکت در شبکه حمل کرده تا گره مناسبی برای ارسال پیدا کند. به دلیل تصادفی بودن ارتباط ناپایدار بین گره‌ها، الگوریتم‌های مسیریابی DTN، تعدادی کپی از بسته اصلی تولید می‌کند و در تعدادی گره ذخیره می‌کنند تا درصد تحویل بسته را افزایش دهد. الگوریتم‌های سیل‌آسا بر همین مبنا ارائه شدند. این امر موجب اتلاف منابع محدود شبکه نظیر پهنای باند، بافر، انرژی و ... می‌گردد. به همین جهت الگوریتم‌های دیگر به منظور کاهش سربار و اتلاف منابع ارائه گردیدند.

الگوریتم پیشنهادی که Crouting نام دارد می‌کوشد تا با افزایش بهینه تعداد کپی بسته‌های پراکنده در شبکه، درصد تحویل بسته‌ها را افزایش داده و موجب کاهش تعداد بسته‌های افتاده از بافر شود. به دلیل محدودیت انرژی گره‌ها، تمام اعمال از قبیل تولید بسته‌ها، ارسال رو به جلو و ... موجب اتلاف پهنای باند و انرژی بسته می‌شود. افزایش بهینه تعداد کپی بسته‌ها موجب صرفه‌جویی در مصرف انرژی و مصرف منابع شبکه خواهد شد. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، شبیه‌سازی روی چند پایگاه داده مختلف انجام شد. نتایج حاکی از موفقیت روش پیشنهادی است.

در ادامه، پس از مرور کارهای گذشته، الگوریتم پیشنهادی مورد بررسی قرار می‌گیرد و پس از آن شبیه‌سازی‌های انجام شده بیان می‌شود. در قسمت نتیجه‌گیری، نتایج به دست آمده بیان شده است.

کارهای گذشته

یافتن مسیر بهینه در DTN همواره به عنوان یک مساله چالش‌برانگیز مطرح بوده است. به دلیل کاربردهای گسترده DTN، تلاش‌های زیادی برای یافتن مسیر بهینه بین گره‌ها انجام شده است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

تاکنون، دسته‌بندی‌های مختلفی برای پروتکل‌های DTN موجود بیان شده است. در یک دسته‌بندی کلی می‌توان آنها را به ۳ گروه عمده [۱۲] ۱) سیل‌آسا [۱۳-۱۵] ۲) مبتنی بر سابقه [۱۶-۲۸] ۳) پروتکل ارتباط مستقیم [۹و۲۹-۳۰] تقسیم کرد. مسیریابی سیل‌آسا نظیر تصادفی و گسترده[6] هنگامی اعمال می‌شود که از ساختار شبکه اطلاعی در دسترس نیست[۱۳]. اگر گره حامل داده، اطلاعی از الگوی حرکت همسایگان نداشته باشد، بسته یا یک کپی از آن را به هر گرهی که در محدوده ارتباطی آنها قرار می‌گیرد، ارسال می‌کند. این امر موجب افزایش افزونگی[7] در شبکه خواهد شد. علاوه بر این، فضای بافر موجود در شبکه به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد. پهنای باند شبکه نیز توسط انتقال‌های مجدد تلف می‌شود. به منظور بهبود کارآیی روش‌های سیل‌آسا، روش‌های دیگری به نام سیل‌آسای کنترل شده ارائه شده است. افشاندن و انتظار[8] [۱۴] نمونه‌ای از این روش‌هاست. در این شیوه، یک گره ابتدا L کپی را در شبکه ارسال می‌کند (افشاندن). اگر مقصد در این مرحله یافت نشود، هر گره که یک کپی از بسته را دارد، داده را بافر کرده و منتظر یافتن مقصد می‌شود. سیل‌آسای کنترل شده[9] [۱۵] و سیل‌آسای دوپرشی[10] [۱۶] نیز در این دسته جای می‌گیرند.

مسیریابی احتمالی دسته دیگری از الگوریتم‌های مسیریابی هستند که بر مبنای احتمال برخورد گره‌ها با یکدیگر عمل می‌کند. اگر یک گره قبلا از یک مکان به دفعات عبور نماید، احتمال زیادی وجود دارد که مجددا نیز از آن مکان عبور نماید. این روش در مقایسه با مسیریابی تصادفی به فضای بافر و پهنای باند کمتری نیاز دارد. این شیوه به احتمال تحویل در هر نقطه وابسته است. الگوریتم‌های مسیریابی مبتنی بر گذشته، بر مبنای اطلاعاتی که برای انتخاب گره بعدی برای انتقال بسته استفاده می‌کند، به دسته‌های مختلفی تقسیم می‌شوند[۱۷]. در DTN زمانی دو گره با یکدیگر برخورد می‌کنند که در محدوده انتقال[11] یکدیگر قرار گیرند. برخی از الگوریتم‌های مبتنی بر سابقه از فرکانس برخورد گره‌ها برای مسیریابی استفاده می‌کنند.

یکی از معروف‌ترین الگوریتم‌های مسیریابی در این دسته، مسیریابی با استفاده از سابقه برخورد و انتقال[12] (PROPHET) است[۱۸]. این روش‌ها از یک معیار به نام احتمال تحویل استفاده می‌کنند. $P(a,b):[0,1]$ در هر گره a برای هر گره مقصد b محاسبه می‌شود. هنگامی که گره‌ها به یکدیگر برخورد می‌کنند، بردارهای احتمال تحویل برای مقاصد شناخته شده را با یکدیگر مبادله می‌کنند. محاسبه احتمال، دارای ۳ مرحله است. در گام نخست (۱)، میزان احتمال با ملاقات هر گره به‌روزرسانی می‌شود که موجب افزایش احتمال تحویل بسته با گره‌هایی که بیشتر ملاقات می‌شوند، می‌گردد[۱۸].

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} + \left(1 - P_{(a,b)old}\right) \times P_{int} \qquad (۱)$$

5. Store-Carry-Forward (SCF)
6. Epidemic Routing (ER)

7. Redundancy
8. Spray And Wait (SAW)
9.Constrained Flooding
10.Two-Hop Flooding
11.Transmission Range
12.(PROPHET) Probabilistic Routing Protocol Using History Of Encounters And Transitivity

سیاست‌های مدیریت بافر نیز می‌توانند این احتمال را تحت تاثیر قرار دهند. اگر گره‌ها برای مدت زمان مشخص با یکدیگر برخورد نداشته باشند (در محدوده ارتباط یکدیگر قرار نگیرند)، باید احتمال ملاقات آنها را کاهش داد. معادله با تاثیر عامل مدت زمان در فرمول(۲) ارائه شده‌است.

$$P_{(a,b)} = P_{(a,b)old} \times \gamma^{K} \qquad (۲)$$

$\gamma(0,1)$ بیانگر گذر زمان و K تعداد واحدهای زمانی بر حسب ثانیه است که از آخرین ملاقات گره گذشته است.

اگر گره A به طور متداول با گره B برخورد کند و گره B با گره C برخورد نماید، آنگاه گره C یک گره مناسب برای ارسال بسته‌ها به گره A است. معادله (۳) نشاندهنده تاثیر انتقال بر احتمال تحویل است. β: [0,1] یک ثابت مقیاس است و بیانگر تاثیر انتقال بر احتمال است.

$$P_{(a,c)} = P_{(a,b)old} + \left(1 - P_{(a,c)old}\right) \times P_{(a,b)} \times P_{(a,c)} \times \beta \qquad (۳)$$

PRoPHET یک مسیریابی مبتنی بر احتمال است که در آن منابع شبکه به ویژه فضای بافر به صورت بهینه استفاده می‌شوند[۱۸]. مکس‌پراپ[۱۳] نیز یک شیوه مسیریابی مبتنی بر سابقه است[۱۹]. تفاوت این روش با PRoPHET در آن است که PRoPHET احتمال ملاقات با مقصد را در نظر می‌گیرد، در مقابل، MaxProp تنها احتمال ملاقات با گره بعدی را ارزیابی می‌کند.

یکی دیگر از اطلاعات مورد استفاده در شیوه مبتنی بر گذشته، زمان سپری شده از آخرین برخورد گره‌ها با مقصد است. الگوریتم افشاندن و تمرکز[۱۴] [۲۰] و مسیریابی فرش[۱۵] [۲۱] در این دسته قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های مبتنی بر تخصیص منابع مانند راپید[۱۶] [۲۲] نیز از مسیریابی مبتنی بر احتمال استفاده می‌کنند. الگوهای روابط اجتماعی نیز از الگوریتم‌های مبتنی بر سابقه استفاده می‌کند. سیم‌بت[۱۷] [۲۳] و بابل‌رپ[۱۸] [۲۴] از نمونه‌های این الگوریتم‌ها هستند. علاوه بر این، مسیریابی می‌تواند با پیش‌بینی احتمال ارتباط بین گره‌ها انجام شود[۲۵]. این کار با کمک فیلترینگ کالمن[۱۹] [۲۶] و زنجیره‌های شبه مارکف[۲۷] می‌تواند انجام شود.

الگوهای حرکت گره‌ها نیز می‌توانند با در نظر گرفتن ارتباط بین گره‌ها تعیین شوند. هیباپ[۲۰] [۲۸] نمونه‌ای از این مسیریابی است. پروتکل‌های مبتنی بر ارتباط مستقیم می‌کوشد تا هر گره بسته‌ها را تا حد امکان مستقیما به مقصد تحویل دهد. در مسیریابی تحویل مستقیم، گره بسته را تنها به مقصد تحویل می‌دهد[۲۹]. مسیریابی ام.وی[۲۱] [۳۰] نیز در این گروه قرار می‌گیرند.

در مسیریابی اولین برخورد، گره بسته را به اولین گرهی که در محدوده ارتباط آن قرار می‌گیرد، تحویل می‌دهد[۹].

مسیریابی مبتنی بر کد از دیگر الگوریتم‌های پیشنهادی است که موجب انتقال امن اطلاعات می‌شود[۳۱-۳۲]. کدگذاری حک نیاز به پردازش بیشتر و در نتیجه توان بیشتری دارد. این شیوه، تاخیر بدترین حالت را کاهش می‌دهد. علاوه بر این، برای انتقال بسته در یک بازه زمانی مشخص مناسب هستند.

مسیریابی مبتنی بر مدل، از مدل‌های شناخته شده در شبکه‌های بی‌سیم برای پیش‌بینی حرکت گره‌ها استفاده می‌کند. واضح است که این مسیریابی دقت لازم را نخواهد داشت[۳۳-۳۵].

علاوه بر دسته‌بندی‌های گذشته، استفاده از هوش مصنوعی در یافتن مسیر بهینه، نظیر بهینه‌سازی مورچگان[۳۶]، از جمله راهکارهایی است که اخیرا به آن پرداخته می‌شود.

الگوریتم‌های مطرح شده بر مبنای متغیرهایی نظیر درصد تحویل، تاخیر تحویل، بافر و ... طراحی شده‌اند.

درصد تحویل به صورت نسبت تعداد بسته‌های تحویل شده به مقصد به کل بسته‌های تولیدی بیان می‌شود.

تاخیر تحویل، فاصله زمانی بین تولید یک بسته تا دریافت آن در مقصد است.

در برخی موارد، در طراحی پروتکل‌ها باید مصالحه بین چند متغیر را در نظر گرفت. درصد تحویل بسته و تاخیر متغیرهایی هستند که در نظر گرفتن آنها مستلزم در نظر گرفتن مصالحه بین آنها است. با افزایش تعداد کپی‌های یک بسته، احتمال تحویل آن در مقصد افزایش می‌یابد. به همین دلیل پروتکل‌های مسیریابی تصادفی و گسترده، دارای احتمال تحویل بیشتری نسبت به مسیریابی‌های دیگر است. تولید کپی‌های بیشتر منجر به اتلاف انرژی، فضای بافر و پهنای باند می‌شود. در صورت کاهش تعداد بسته‌های کپی، درصد تحویل کاهش یافته و تاخیر نیز بیشتر خواهد شد. محدودیت انرژی گره‌ها از دیگر موانع موجود در طراحی الگوریتم‌ها است. با توجه به محدودیت انرژی گره‌ها، انجام هر عملیاتی نظیر جابه‌جایی، تولید پیغام، کپی پیغام، مسیریابی و ... موجب کاهش سطح انرژی گره‌ها خواهد شد[۳۷-۳۹].

در الگوریتم پیشنهادی، هدف، افزایش قابلیت اطمینان شبکه، با افزایش درصد تحویل و کاهش تعداد بسته‌های افتاده از بافر است. این امر می‌تواند با کنترل تعداد کپی‌های پراکنده در شبکه حاصل شود. این عمل منجر به کاهش مصرف انرژی و افزایش درصد تحویل می‌شود. در بین روش‌های گذشته، ER به دلیل داشتن

13. MaxProp
14 .Spray And Focus
15 .FRESH
16 .RAPID
17 .SimBet
18 .BubbleRap
19 .Kalman Filtering
20. HiBop
21 .MV

قابلیت اطمینان بیشتر در تحویل بسته‌ها و PRoPHET با افزایش بهینه درصد تحویل به عنوان مبنای مقایسه الگوریتم‌های مسیریابی مطرح هستند. علاوه بر ER و PRoPHET، روش پیشنهادی با روش اولین برخورد[22] و تحویل مستقیم[23] نیز مقایسه می‌شود که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

الگوریتم پیشنهادی

در DTN از ساز و کار ذخیره و ارسال برای تحویل بسته‌ها به مقصد استفاده می‌شود. نبود مسیر پایدار بین مبدا و مقصد موجب شده تا گره‌ها از بسته دریافتی کپی تهیه کرده و به سایر گره‌هایی که در محدوده ارتباط آن قرار می‌گیرند، ارسال کنند. این امر سبب اتلاف انرژی، پهنای باند، بافر و ... می‌شود. اگر تعداد کپی‌ها اندک باشد، این احتمال وجود دارد که با اتمام مدت زمان طول عمر بسته[24] بسته از بافر گره‌ها حذف شده و هیچ‌گاه به مقصد نرسد. از سوی دیگر، تعدد کپی‌ها موجب افزایش سربار و اتلاف منابع شبکه می‌گردد. به همین جهت، انتخاب تعداد مناسب کپی از اهمیت بسزایی برخوردار است.

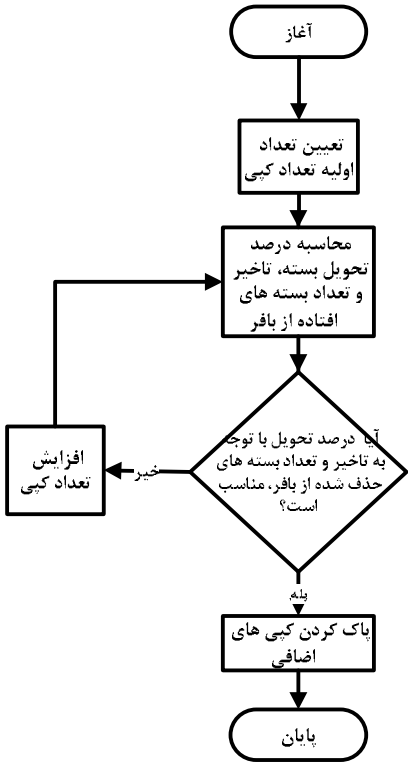
الگوریتم پیشنهادی که Crouting نام دارد، سعی در کنترل تعداد کپی‌های بسته‌ها دارد به گونه‌ای که درصد تحویل بسته‌ها حفظ شده ولی تعداد بسته‌های افتاده از بافر کاهش یابد. این امر به حفظ منابع و انرژی گره‌ها کمک شایانی می‌کند.

شکل ۱ روندنمای الگوریتم Crouting را نشان می‌دهد. در این روش، ابتدا تعداد کپی‌ها به یک مقدار اولیه مقداردهی می‌شود. سپس با توجه به میزان درصد تحویل بسته‌ها، تعداد بسته‌های افتاده از بافر و تاخیر، تعداد کپی‌ها افزایش داده می‌شود تا درصد تحویل مورد نظر حاصل شود. پس از رسیدن به بازده مورد نظر، بسته‌های اضافی حذف می‌شوند. با کمک این روش، تعداد کپی‌ها با توجه به وضعیت شبکه تعیین می‌شود که به کارآیی شبکه می‌افزاید.

قابلیت اطمینان در اینجا به صورت افزایش درصد تحویل با کاهش تعداد بسته‌های افتاده از بافر در نظر گرفته می‌شود. در این روش تاخیر نیز به عنوان یکی از عوامل تعیین تعداد کپی‌های پراکنده در شبکه در نظر گرفته می‌شود. گرچه، DTN با توجه به کاربرد می‌تواند تاخیر را تحمل کند، افزایش درصد تحویل بدون تخریب قابل توجه زمان تحویل بسته، یک مزیت مهم تلقی می‌شود.

مسیریابی سیل‌آسا به دلیل افزایش درصد تحویل بسته‌ها و کاهش تاخیر به عنوان معیار مقایسه سایر روش‌ها استفاده می‌شود. هدر رفتن فضای بافر و پهنای باند از معایب این گونه الگوریتم‌هاست.

در مقابل، مسیریابی‌های مبتنی بر سیل‌آسای کنترل شده می‌کوشد تا با حفظ مزایای الگوریتم‌های سیل‌آسا، اتلاف منابع شبکه را کاهش دهد. به عنوان مثال، شیوه افشاندن و انتظار از تعداد مشخصی کپی که از ابتدا تعیین شده است برای انتقال پیغام در شبکه استفاده می‌شود. این الگوریتم گرچه می‌کوشد تا نسبت به الگوریتم‌های سیل‌آسا در مصرف منابع شبکه صرفه‌جویی نماید، تعیین تعداد ثابت کپی در آن موجب اتلاف پهنای باند و بافر می‌گردد. موقعیت‌های مختلف گره‌ها در شبکه موجب می‌گردد تا تعداد مورد نیاز کپی پراکنده در شبکه متفاوت باشد. از این‌رو تعیین یک تعداد اولیه برای کپی‌های پراکنده در شبکه مناسب نیست. تعداد زیاد کپی‌ها منجر به اتلاف منابع می‌شود. از سوی دیگر، تعداد اندک کپی‌های موجود در شبکه می‌تواند مانع رسیدن بسته به مقصد شود. به همین دلیل، Crouting، تعداد کپی‌های پراکنده در شبکه را با در نظر گرفتن شرایط موجود در شبکه تعیین می‌کند. این امر می‌تواند با بررسی تعداد بسته‌های تحویل داده شده به مقصد و تعداد بسته‌های تولید شده انجام شود و نیز می‌تواند به کنترل تعداد بسته‌های پراکنده در شبکه کمک شایانی کند.



شکل ۱. روندنمای Crouting

نتایج شبیه‌سازی حاکی از آن است که روش پیشنهادی موجب افزایش درصد تحویل بسته‌ها می‌گردد. تعداد بسته‌های افتاده از

22. First Contact Routing
23. Direct Delivery Routing
24. Time To Live (TTL)

بافرها نیز کاهش می‌یابد که نشاندهنده افزایش قابلیت اطمینان در شبکه‌های DTN است. هزینه این روش، افزایش تاخیر تحویل بسته‌ها به مقصد است. Crouting، تاخیر زیادی به سیستم تحمیل نمی‌کند و در مقایسه با برخی روش‌ها نظیر ER و PRoPHET تاخیر به طور متوسط به میزان ۱۰ درصد افزایش می‌یابد.

شبیه‌سازی

شبیه‌سازی‌ها در محیط نرم‌افزار شبیه‌ساز محیط‌های فرصت‌طلب[۲۵] انجام شده‌است. این نرم‌افزار، یک نرم‌افزار مبتنی بر جاواست که در دانشگاه هلسینکی فنلاند طراحی و پیاده‌سازی شده است[۴۰-۴۳]. ONE به طور ویژه برای ارزیابی پروتکل‌ها در DTN طراحی شده است.

به منظور بررسی روش پیشنهادی، شبیه‌سازی‌ها روی پایگاه داده‌های هاگل[۲۶] [۴۴] و یو.سی.ال[۲۷] [۴۴] انجام شده است.

در این شبیه‌سازی تعداد ۳۶ گره با بافر ۵ مگابایت در محیط توزیع شده‌اند. سرعت جابه‌جایی گره‌ها ۲ مگابیت در ثانیه و محدوده انتقال ۱۰ متر است. مدت زمان زندگی هر بسته ۳۰۰ ثانیه است.

شکل۲ درصد تحویل بین روش‌های مختلف را با یکدیگر مقایسه می‌کند. برای ارزیابی Crouting، درصد تحویل، تاخیر و تعداد بسته‌های افتاده از بافر گره‌ها در قیاس با روش‌هایی نظیر ER، اولین برخورد، تحویل مستقیم و PRoPHET مورد بررسی قرار می‌دهد.

مقایسه درصد تحویل Crouting با سایر روش‌های بیان شده، نشاندهنده موفقیت روش بیان شده در افزایش درصد تحویل است. با اعمال Crouting، درصد تحویل به طور میانگین۵درصد نسبت به PRoPHET و ER افزایش می‌یابد. درصد تحویل Crouting به طور میانگین ۱۱درصد بیشتر از اولین برخورد و تحویل مستقیم است.

شکل۳ و شکل۴ درصد انداختن بسته‌ها از بافر را بین روش‌های بیان شده مقایسه می‌کنند. با توجه به محدودیت اندازه بافر، بررسی این عامل از اهمیت فراوانی برخوردار است. در بین ۵ روش ذکر شده، Crouting کمترین میزان حذف بسته از بافر را دارد. تعداد بسته‌های افتاده از بافر نسبت به اولین برخورد و تحویل مستقیم به طور میانگین۳۰درصد کاهش یافته‌است. میزان حذف بسته‌ها در Crouting نسبت به ER و PRoPHET، به طور میانگین ۸۰درصد کاهش یافته است.

شکل ۵ میزان تاخیر را مد نظر قرار می‌دهد. روش Crouting برای حفظ درصد تحویل بسته‌ها در محدوده مناسب به زمان بیشتری نسبت به ER نیاز دارد. این امر موجب افزایش ۱۰درصد تاخیر نسبت به ER، PRoPHET و اولین برخورد می‌گردد. تاخیر تحویل Crouting اختلافی کمتر از ۱درصد با تحویل مستقیم دارد. به منظور بیان بهتر کارایی Crouting، در شکل ۶ درصد تحویل بسته علاوه بر ER، PRoPHET، اولین برخورد و تحویل مستقیم، با روش افشاندن و انتظار نیز مقایسه شده است.

شکل۶ بیان ساده‌تری از شکل۲ ارائه می‌دهد. در روش افشاندن و انتظار، همان‌گونه که قبلا نیز به آن اشاره شد، تعداد کپی‌ها با یک مقدار ثابت مقداردهی می‌شوند.

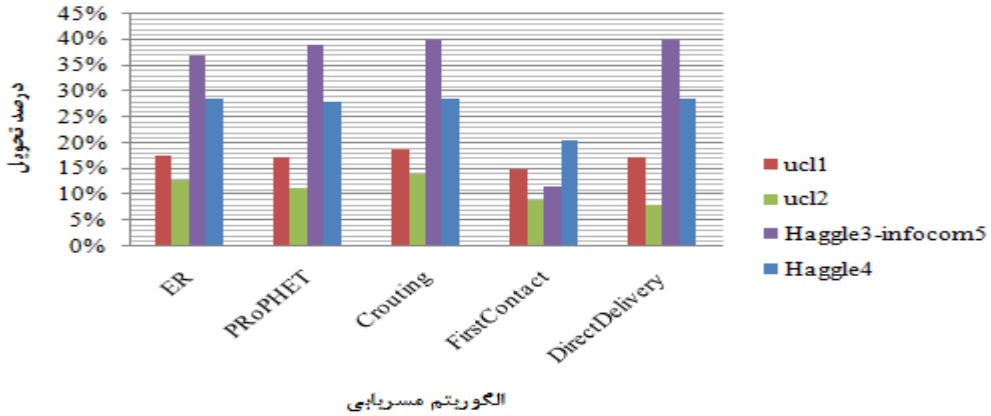
همان‌گونه که مشاهده می‌شود، Crouting، در پایگاه داده UCL1، ۱/۷درصد تحویل بسته بیشتری نسبت به افشاندن و انتظار دارد. این امر نشان‌دهنده آن است که با تغییر پویای تعداد کپی‌های پراکنده در شبکه، درصد تحویل بسته افزایش یافته است. در UCL1، روش Crouting، ۰/۷۱ درصد بیشتر از ER، ۱درصد بیشتر از PRoPHET، ۳/۸۵ درصد بیشتر از شیوه اولین برخورد و ۱/۳۲درصد بیشتر از روش تحویل مستقیم، بسته‌ها را تحویل داده است. در پایگاه داده UCL2، Crouting، ۱/۵۲درصد تحویل بیشتری نسبت به افشاندن و انتظار دارد. در UCL2، Crouting ۱درصد بیشتر از ER، ۳درصد بیشتر از PRoPHET، ۵/۰۲درصد بیشتر از روش اولین برخورد و ۵/۸۴درصد بیشتر از شیوه تحویل مستقیم بسته‌ها را تحویل داده است. در Haggle4 و Haggle3-Infocom5 میزان درصد تحویل بسته در هر دو روش Crouting و افشاندن و انتظار یکسان است. در Haggle3-Infocom5، روش Crouting، ۳درصد بیشتر از ER، ۱درصد بیشتر از PRoPHET و ۲۸/۴۹درصد بیشتر از روش اولین برخورد تحویل بسته‌ها را افزایش می‌دهد. در این پایگاه داده میزان درصد تحویل روش تحویل مستقیم با Crouting برابر است. در Haggle4 میزان درصد تحویل بسته‌ها در روش ER با روش‌های Crouting و تحویل مستقیم برابر است و ۰/۵۷درصد بیشتر از PRoPHET و ۸/۰۸ بیشتر از روش اولین برخورد است. این موضوع بیانگر این مطلب است که تغییر پویای تعداد کپی بسته‌ها در شبکه موجب افزایش درصد تحویل بسته‌ها می‌شود.

علاوه بر این، در شکل ۷ تعداد بسته‌های افتاده از بافر در روش‌های مختلف روی پایگاه داده‌های مختلف نشان داده است. این شکل بیان بهتری از شکل ۳ و شکل ۴ ارائه می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، تعداد بسته‌های افتاده از بافر در UCL1، برای Crouting ۴۰درصد کمتر از ER، ۳۳درصد کمتر از PRoPHET، ۳درصد کمتر از اولین برخورد، ۲درصد کمتر از تحویل مستقیم و ۳۶درصد کمتر از روش افشاندن و انتظار است. در UCL2، تعداد بسته‌های افتاده از بافر برای Crouting، ۶۴درصد کمتر از ER،

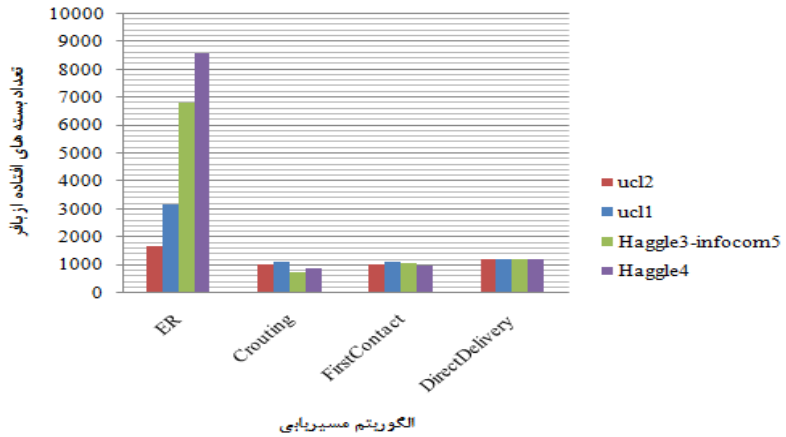
25. Opportunistic Network Simulator (ONE)
26. Haggle
27. UCL

۳۶درصد کمتر از PRoPHET، ۱۰درصد کمتر از اولین برخورد و ۵۴درصد کمتر از افشاندن و انتظار است. در Haggle3-Infocom5، تعداد بسته‌های افتاده از بافر در Crouting، ۹۰درصد کمتر از ER، ۹۸درصد کمتر از PRoPHET، ۳۲درصد کمتر از اولین برخورد ۴۰درصد کمتر از تحویل مستقیم و ۷۳درصد کمتر از افشاندن و انتظار است. در Haggle4، تعداد بسته‌های افتاده از بافر ۹۰درصد کمتر از ER، ۹۹درصد کمتر از ProPHET، ۱۰درصد کمتر از اولین برخورد، ۲۹درصد کمتر از تحویل مستقیم و ۵۰درصد کمتر از افشاندن و انتظار است. این امر موفقیت Crouting در کاهش تعداد بسته‌های افتاده از بافر به کمک تعداد متغیر کپی بسته پراکنده در شبکه نشان می‌دهد.

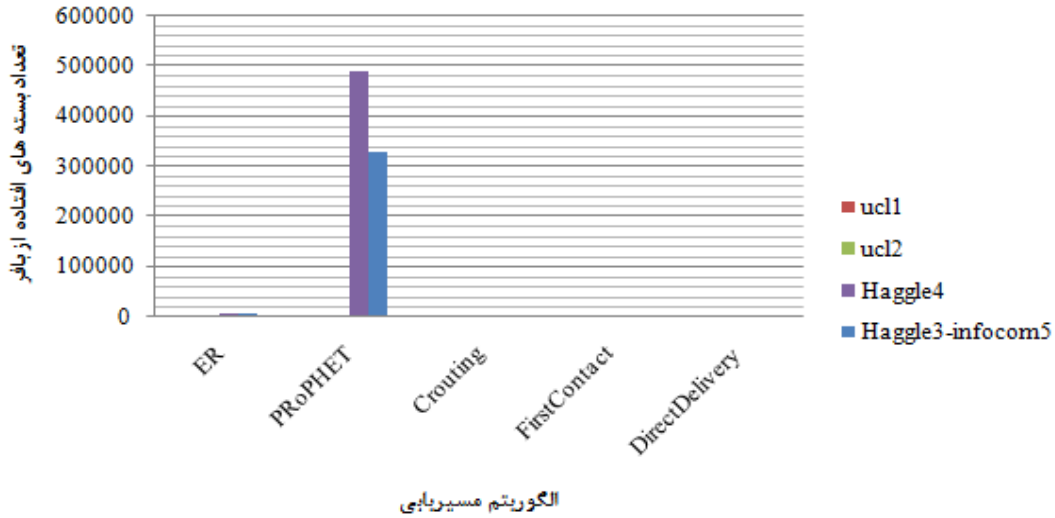
شکل ۸ تاخیر تحویل بسته برای روش‌های مختلف در پایگاه‌های داده مختلف مقایسه می‌کند. این شکل بیان بهتری از شکل ۵ ارائه می‌کند. تاخیر روش Crouting در UCL1، ۰/۶درصد کمتر از ER، ۰/۴ درصد ثانیه بیشتر از PRoPHET، ۱/۶ درصد بیشتر از اولین برخورد، ۰/۸ درصد بیشتر از تحویل مستقیم و ۲/۵ درصد کمتر از افشاندن و انتظار است. در UCL2، تاخیر Crouting، ۱۹ درصد بیشتر از ER، ۲۵ درصد بیشتر از PRoPHET، ۴۱ درصد بیشتر از اولین برخورد، ۷ درصد کمتر از افشاندن و انتظار است. تاخیر Crouting با تاخیر تحویل مستقیم در UCL2 برابر است. در Haggle3-Infocom5، تاخیر Crouting، ۰/۳۴ درصد بیشتر از ER، ۳۳ درصد بیشتر از PRoPHET، ۶۴ درصد بیشتر از اولین برخورد و ۱۶ درصد بیشتر از افشاندن و انتظار است. میزان تاخیر در تحویل مستقیم با Crouting برابر است. در Haggle4، تاخیر Crouting، ۱۴ درصد بیشتر از ER، ۱۱ درصد بیشتر از PRoPHET، ۵۳ درصد بیشتر از اولین برخورد، ۰/۱ درصد بیشتر از تحویل مستقیم و ۹۸ درصد بیشتر از افشاندن و انتظار است. این موضوع بیانگر این مطلب است که تخصیص پویای تعداد کپی پراکنده در شبکه موجب بهبود درصد تحویل بسته‌ها می‌شود. علاوه بر این، تعداد بسته‌های افتاده از بافر کاهش می‌یابد. با کاهش تعداد کپی، منابع شبکه به طور بهینه استفاده می‌شوند. در مقابل، تاخیر در مقایسه با روش‌های مختلف افزایش ناچیزی می‌یابد.



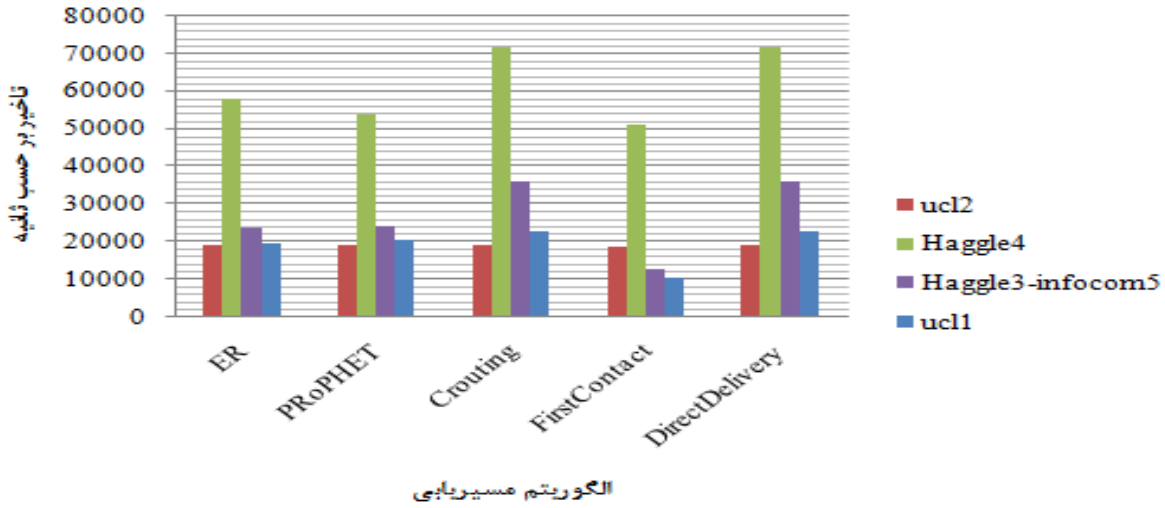
شکل۲. بررسی درصد تحویل (PRoPHET، اولین برخورد، تحویل مستقیم و ER)



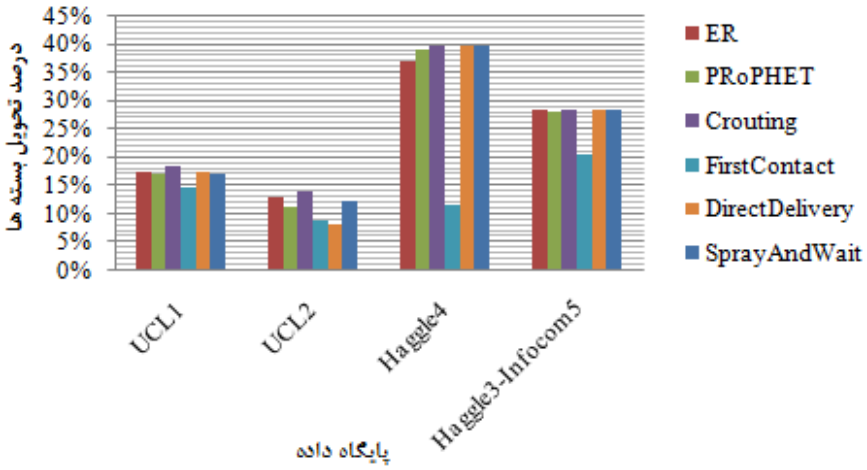
شکل۳. ارزیابی تعداد بسته‌های حذف شده از بافر (اولین برخورد، تحویل مستقیم و ER)



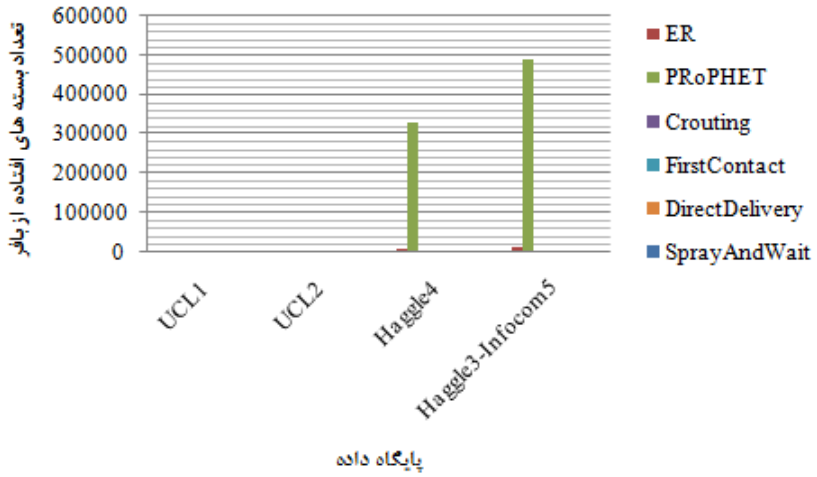
شکل۴. ارزیابی تعداد بسته‌های حذف شده از بافر (PRoPHET، اولین برخورد، تحویل مستقیم و ER)



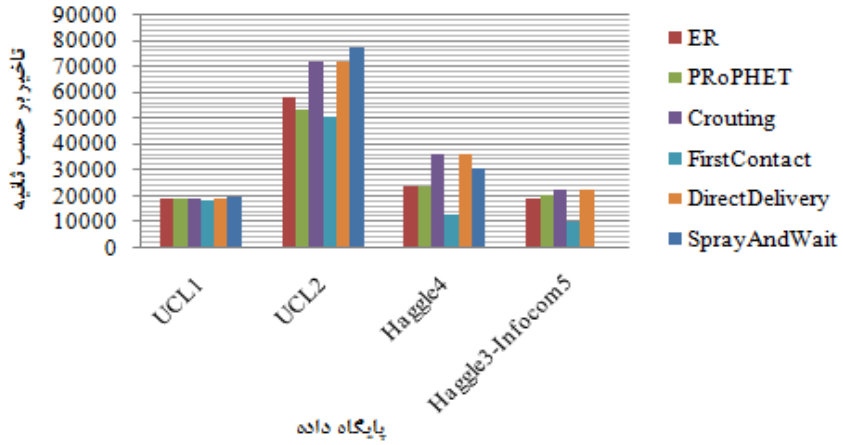
شکل۵. بررسی میزان تاخیر (PRoPHET، اولین برخورد، تحویل مستقیم و ER)



شکل۶. بررسی درصد تحویل بسته (PRoPHET، اولین برخورد، تحویل مستقیم، افشاندن، انتظار و ER)



شکل۷. بررسی تعداد بسته‌های حذف شده از بافر (PRoPHET، اولین برخورد، تحویل مستقیم، افشاندن، انتظار و ER)



شکل۸. بررسی میزان تاخیر (PRoPHET، اولین برخورد، تحویل مستقیم، افشاندن، انتظار و ER)

نتیجه‌گیری

شبکه DTN با دارا بودن ویژگی‌هایی نظیر ارتباطات گذرا، نرخ داده نامتقارن، منابع محدود و ... در محیط‌های متنوعی نظیر ماهواره‌ها، تحقیقات فضایی، محیط‌های جنگی و ... به کار می‌رود. نبود یک مسیر پایدار بین گره مبدا و مقصد، موجب ناکارامدی شیوه‌های مسیریابی مرسوم می‌گردند. درصد تحویل بسته، تاخیر، بافر و ... متغیرهای مهم در طراحی الگوریتم‌های مسیریابی هستند. ارتباط ناپایدار در DTN موجب شده است از ساز و کار ذخیره و ارسال برای انتقال بسته‌ها استفاده شود. این امر، مستلزم تولید کپی از بسته دریافتی و ارسال آن به سایر گره‌هاست. این امر موجب اتلاف منابع مانند انرژی، پهنای باند، توان مصرفی و فضای بافر خواهد شد. به همین جهت، یک ایده مناسب به منظور افزایش قابلیت اطمینان، کنترل تعداد بسته‌های پراکنده در شبکه است.

با ارزیابی درصد تحویل، تاخیر تحویل و تعداد بسته‌های حذف شده از بافر می‌توان تعداد کپی بسته‌ها را تغییر داد. به این ترتیب می‌توان درصد تحویل بسته‌ها را افزایش داده و تعداد بسته‌های حذف شده از بافر را کاهش داد.

Crouting سعی در کنترل تعداد بسته‌های پراکنده در شبکه دارد. این امر موجب بهبود درصد تحویل و کاهش تعداد بسته‌های افتاده از بافر می‌شود.

درصد تحویل Crouting، به طور میانگین ۵ درصد بیشتر از PRoPHET و ER و ۱۱ درصد بیشتر از شیوه اولین برخورد و تحویل مستقیم است. درصد حذف بسته‌ها در Crouting به طور میانگین ۳۰ درصد کمتر از اولین برخورد و تحویل مستقیم است. درصد حذف بسته‌ها در Crouting به طور میانگین در مقایسه با ER و PRoPHET، به طور متوسط ۸۰ درصد کاهش یافته است. این امر موجب افزایش قابلیت اطمینان در شبکه می‌شود. تاخیر Crouting در مقایسه با ER، PRoPHET و اولین برخورد به طور متوسط ۱۰ درصد افزایش یافته است. به این ترتیب با در نظر گرفتن مزایا و معایب Crouting این روش نقش موثری در مسیریابی بهینه خواهد داشت.

مطالعات آینده می‌تواند کاربرد الگوریتم‌های تکاملی در مسیریابی DTN را مورد بررسی قرار دهد.

مرجع‌ها

[1] K. Fall, "A delay-tolerant network architecture for challenged internets", in Proceedings of 2003 Conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications, ser. SIGCOMM'03. New York, USA, ACM, pp. 27-34, 2003.

[2] M. Ho, and K. Fall, "Poster: Delay tolerant networking for sensor networks," in Proceedings of IEEE Conference on Sensor and Ad Hoc Communications and Networks, 2004.

[3] S. Burleigh, A. Hooke, L. Torgerson, K. Fall, V. Cerf, B. Durst, and K. Scott, "Delay-tolerant networking: an approach to interplanetary internet," IEEE Commun. Mag. vol. 41, pp. 128-136, 2003.

[4] F. De Rango, M. Tropea, G. B. Laratta, and S. Marano, "Hop-by-hop local flow control over interplanetary networks based on DTN architecture," in Proceedings of IEEE IC 2008, Bejing, China, pp. 1920-1924, 2008.

[5] J. Lebrun, C.-N. Chuah, D. Ghosal, and M. Zhang, "Knowledge-based opportunistic forwarding in vehicular wireless ad hoc networks," in Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference, vol. 4, pp. 2289-2293, 2005.

[6] P. Hui, A. Chaintreau, J. Scott, R. Gass, J. Crowcroft, and C. Diot, "Pocket switched networks and human mobility in conference environments," in Proceedings of ACM SIGCOMM Workshop on Delay Tolerant Networking (WDTN), pp. 244-251, 2005.

[7] A. Maffei, K. Fall, and D. Chayes, "Ocean instrument internet," in Proceedings of AGU Ocean Sciences Conference, February 2006.

[8] J. Partan, J. Kurose, and B. N. Levine, "A survey of practical issues in underwater networks," in Proceedings of ACM WDTN, pp. 17-24, September 2006.

[9] S. Jain, K. Fall and R. Patra, "Routing in a delay tolerant network," in Proceedings of Conference on Applications, technologies, architectures and protocols for computer communications, pp. 145-158, 2004.

[10] Z. Zhang, "Routing in intermittently connected mobile ad hoc networks: overviews and challenges," Commun. Surveys Tuts. vol. 8, no. 1, pp. 24-37, March 2006.

[11] K. Fall and S. Farrell, "DTN: An Architectural retrospective," IEEE J. sel. Areas Commun. vol. 26, no. 5, pp. 828-836, June 2008.

[12] D. Hua, X. Du., and Y. Yan, "A DTN routing protocol based on hierarchy forwarding and cluster control," in Proceedings of International Conference on Computational Intelligence and Security, pp. 397-401, 2009.

[13] A.Vahdat, and D. Becker, "Epidemic routing for partially connected ad hoc networks," Tech. Rep. CS-200006, Department of Computer Science, Duke University, Durham, NC, 2000.

[14] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, “Spray and wait: an efficient routing scheme for intermittently connected mobile networks,” in Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking, pp. 252-259, 2005.
[15] M. Grossglauser, and D. N. C. Tse, “Mobility increases the capacity of ad hoc wireless networks,” IEEE Trans. Mobile Comput. vol. 10, pp. 477-486, 2002.
[16] J. Leguay, T. Friedman, and V. Conan, “Evaluating mobility pattern space routing for DTNs,” in Proceedings of 25th IEEE International Conference on Computer Communications Anonymous, pp. 1-10, 2006.
[17] W. Moreira, and Paulo Mendes, “Survey on opportunistic routing for delay/disruption tolerant networks,” SITI Tech. Rep. SITI-TR-11-02, 2010.
[18] A. Lindgern, A. Doria, and O. Schel, “Probabilistic routing in intermittently connected networks,” in Proceedings of Sigmobile Mobile Computer Communication, Rev. 7, pp. 19-20, 2003.
[19] J. Burgess, B. Gallaghar, D. Jensen and B. N. Levine, "MaxProp: routing for vehicle-based disruption-tolerant networks," in Proceedings of Infocom, 2006.
[20] T. Spyropoulos, K. Psounis, and C. S. Raghavendra, “Spray and focus: efficient mobility-assisted routing for heterogeneous and correlated mobility,” in Proceedings of the 5th Annual IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications Workshops (PerComW’07), pp. 79-85, 2007.
[21] H. Dubois-Ferriere, M. Grossglauser, and M. Vetterli, “Age matters: efficient route discovery in mobile ad hoc networks using encounter ages,” in Proceedings of ACM 2003 MobiHoc, Annapolis, USA, June 2003.
[22] A. Balasubramanian, B. Levine, and A. Venkataramani, “DTN routing as a resource allocation problem,” in Proceedings of ACM SIGCOMM, Kyoto, Japan, August 2007.
[23] E. M. Daly, and M. Haahr, “Social network analysis for routing in disconnected delay-tolerant MANETs,” in Proceedings of 8th ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing, pp. 32-40, 2007.
[24] P. Hui, J. Crowcroft, and E. Yoneki, “Bubble Rap: social-based forwarding in delay tolerant networking,” in Proceedings of 9th ACM International symposium on Mobile ad hoc networking and computing, 2008.
[25] W. Gao, and T.L. Porta, “On exploiting transient social contact patterns for data forwarding in delay-tolerant networks,” IEEE Trans. Mobile Comput. vol. 12, no. 1, pp. 151-165, 2013.
[26] P. Costa, C. Mascolo, M. Musolesi, and G.P. Picco, “Socially aware routing for publish-subscribe in delay-tolerant mobile ad hoc networks,” IEEE J. Select. Areas Commun. vol. 26, no. 5, pp. 748-760, 2008
[27] Q. Yuan, I. Cardei, and J. Wu, “Predict and relay: an efficient routing in disruption-tolerant networks,” in Proceedings of ACM MobiHoc, pp. 95-104, 2009
[28] C. Boldrini, M. Conti, J. Jacopini, and A. Passarella, “HiBOp: a history based routing protocol for opportunistic networks,” in Proceedings of International Symposium on Anonymous, pp. 1-12, 2007.
[29] T. Spyropoulos, K. Psounis and C.S. Raghavendra, “Single-copy routing in intermittently connected mobile networks,” in Proceedings of Sensor and Ad Hoc Communications and Networks SECON, pp. 235-244, 2004.
[30] B. Burns, O. Brock and B. N. Levine, “MV routing and capacity building in disruption tolerant networks,” in Proceedings of IEEE INFOCOM 2005, vol. 1, pp. 398-408, 2005.
[31] J. Widmer and J. –Y. LeBoudec, "Network coding for efficient communication in extreme networks," in Proceedings of the 2005 ACM SIGCOMM workshop on Delay-tolerant networking, pp. 284-291, 2005.
[32] Y. Wang, S. Jain, M. Martonosi and K. Fall, "Erasure-coding based routing for opportunistic networks," in Proceedings of ACM SIGCOMM Workshop on DTN, 2005.
[33] C. Becker, and G. Schiele, "New mechanisms for routing in Ad Hoc Networks," in Proceedings of 4th Plenary Cabernet Workshop, Pisa, Italy, pp. 1-4, October 2001.
[34] M. Abdulla, and R. Simon, "The impact of the mobility model on delay tolerant networking performance analysis," in Proceedings of 40th Annual Symposium in Simulation (ANSS’07), pp. 177-184, 2007.
[35] H. A. Nguyen, S. Giordona, and A. Puiatti, “Probabilistic routing protocol for intermittently connected mobile ad hoc network,” in Proceedings of World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks, pp. 1-6, 2007.
[36] A. C. K. Vendramin, A. Munaretto, M. R. Delgado, and A. C. Viana, “GrAnt: inferring best forwarders from complex networks’ dynamics through a greedy Ant Colony Optimization,” Comput. Netw. vol. 56, pp. 997-1015, 2012.
[37] A. Socievole, and S. Marano, “Evaluating the impact of energy consumption on routing performance in delay tolerant networks,” in Proceedings of Wireless Communication and Mobile Computing Conference, pp. 481-486, 2012.

[38] Y. Li, Y. Jiang, D. Jin, L. Su, L. Zeng and D. Wu, "Energy-efficient optimal opportunistic forwarding for delay-tolerant networks," IEEE Trans. Veh. Technol. vol. 59, no. 9, 2010.
[39] D. Rodrigues, A. Costa and J. Macedo, "Energy impact analysis on DTN Routing Protocols," in Proceedings of ExtremeCom, 2012.
[40] The Opportunistic Network Environment (ONE) Simulator. Available at: http://www.netlab.tkk.fi/tutkimus/dtn/theone/ [Accessed January 2012].
[41] A. Keränen, T. Kärkkäinen, J. Ott, "Simulating mobility and DTNs with the ONE," J Communication, vol. 5, no. 2, pp. 92-105, 2010.
[42] A. Keränen, J. ott, and T. Kärkkäinen, "The ONE simulator for DTN protocol evaluation," in Proceedings of SIMUTools'09: 2nd International Conference on Simulation Tools and Techniques, Rome, March 2009.
[43] F. Ekman, A. Keränen, J. Karvo, and J. Ott, "Working movement model," in Proceedings of 1th ACM/SIGMOBILE Workshop on Mobility Models for Networking Research, May 2008.
[44] http://www.crawdad.org/ [Accessed January 2013].