دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن کامپیوتر ایران
دانشگاه شهید بهشتی، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر ،تهران، ایران، ۱ تا ۳ اسفند ۱۳۸۵

ارسال همه‌پخشی مطمئن داده در شبکه‌های بیسیم نامتعارف

محمد کجباف[×]، احمد کاردان[†]، کبری خان‌محمدی[‡]، علی نیک‌نشان[§]

چکیده

در این مقاله روشهایی برای کاهش توان مصرفی در ارسال مطمئن بسته‌های داده به صورت همه‌پخشی و چندپخشی در شبکه‌های نامتعارف بررسی شده است. بر خلاف روشهای معمول دیگر، روشهای ارائه شده صرفاً به فاصله فیزیکی بین گره‌ها برای محاسبه وزن درخت در تشکیل درخت‌های همه‌پخشی و چند پخشی توجه نمی‌کنند؛ بلکه هزینه درخت از جمع توان ارسالی گرههای میانی محاسبه می‌شود. ایده اصلی این است که محیط به صورت ایده‌ال و بدون خطا فرض نشود و لذا نرخ حذف بسته‌ها و تضعیف امواج الکترومغناطیسی به عنوان یک معیار مهم در نظر گرفته شده است.

بر اساس شبیه‌سازی انجام شده این روشها نسبت به روشهای متناظر که نرخ خطا را در نظر نمی‌گیرند، برای ارسال همه‌پخشی یا چندپخشی به صورت ارتباط مطمئن تا 45% مصرف توان را در شبکه‌هایی نامتعارف کاهش می‌دهد و در ضمن با کاهش تعداد دفعات ارسال مجدد، باعث بهبود مدت زمان تأخیر ارسال می‌شود.

واژه‌های کلیدی

ارسال مطمئن، چندپخشی، شبکه‌های نامتعارف بیسیم، کاهش توان، همه‌پخشی.

Reliable Data Broadcast in Wireless Ad-hoc Networks

Mohammad Kajbaf, Ahmad Kardan, Kobra Khanmohammadi, Ali Nikneshan

Abstract

In this paper, some methods are introduced for reliable packet broadcast and multicast in ad-hoc networks to reduce the power consumption. Despite other usual methods, proposed methods not only consider the physical distance between nodes in construction of broadcast and multicast communication trees, but also some other parameters like electro-magnetic attenuation, packet loss rate, and inherited broadcast property of wireless networks. Tree cost is calculated by adding up the transmission power of transmitting nodes. The main idea is to consider the media as not ideal and error-free.

Due to simulations, error-aware methods reduce power consumption up to 45% in reliable broadcast and multicast communications in wireless ad-hoc networks. They also reduce packet transmission delay by reducing the number of required retransmissions.

Keywords

reliable transmission, wireless ad-hoc networks, power reduction, broadcast.

[×] عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی- واحد مسجد سلیمان kajbaf@aut.ac.ir
[†] استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات- دانشگاه صنعتی امیرکبیر-alalim@ce.aut.ac.ir
[‡] دانشجوی کارشناسی ارشد فناوری اطلاعات- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- kmohammadi@ce.aut.ac.ir
[§] دانشجوی کارشناسی ارشد امنیت شبکه- دانشگاه صنعتی امیرکبیر- nikneshan@ce.aut.ac.ir

1- مقدمه

شبکه نامتعارف[1] بیسیم ابتدا برای استفاده در جنگ طراحی شد، ولی به زودی در کاربردهای صنعتی و تحقیقاتی نیز مورد توجه قرار گرفت. مزیت عمده این شبکه‌ها سادگی استفاده آنها می‌باشد. شبکه نامتعارف به علت عدم نیاز به شبکه زیرساخت[2] به سرعت راه‌اندازی می‌شود و مدیریت آن توزیع شده و بدون نیاز به ایستگاه مرکزی[3] است.

شبکه‌های نامتعارف با مشکلات متعددی در زمینه مصرف توان و ارتباط مطمئن مواجه هستند. به دلیل سیار بودن توان گره‌ها توسط باتری تأمین می‌شود، لذا در مصرف توان گره‌ها بایستی صرفه‌جویی انجام شود. همچنین به دلیل نبود ایستگاه مرکزی و زیرساخت مخابراتی، پوشش شبکه ناکامل است و در برخی نقاط ممکن است بخشی از شبکه به دلیل برد ناکافی جدا شود. همچنین عوامل محیطی مانند باران و گرد و غبار، جابجایی و از کارافتادگی گره‌ها، موانع طبیعی مانند کوه و پوشش گیاهی بر روی برد، خطای ارسال و مصرف توان گره‌ها تأثیر می‌گذارد. لذا شبکه‌های نامتعارف غیر مطمئن هستند.

از سوی دیگر، به علت خصوصیت همه‌پخشی ذاتی شبکه‌های بیسیم، یک بسته ارسالی توسط یک گره، توسط همه گرههای دیگر قابل دریافت خواهد بود. در نتیجه با یکبار ارسال، گیرنده‌های مختلفی که در محدوده توان رادیویی قرار دارند می‌توانند بسته را دریافت کنند. به دلیل ماهیت توزیع شده این شبکه‌ها، اگر بخشی از شبکه در برد گیرنده نباشد، بسته‌های چندپخشی توسط گره‌های واسطه به سایر نقاط شبکه می‌رسد.

2- پیشینه

ثابت شده است که مسأله محاسبه درخت کمینه انرژی پوشا برای همه‌پخشی پیچیدگی غیر چندجمله‌ای[4] دارد[5]. تشکیل درخت کمینه انرژی در شبکه‌های ثابت نیز معادل مسأله درخت استینر[5] است و پیچیدگی آن نمایی است. لذا برای محاسبه درخت کمینه انرژی در ارتباط چندپخشی و همه‌پخشی از روشهای کشفی[6] استفاده می‌شود[5]،[10]. بیشتر روش‌های حاضر تلاش می‌کنند هزینه توان ارسالی برای انتقال یک بسته داده را در گره فرستنده و گره‌های میانی کمینه کنند و اثر خطای ارسال مطمئن داده برای چند گیرنده در محاسبه هزینه انرژی مصرفی شبکه‌های نامتعارف بررسی نشده است.

مسأله موجود بررسی درخت‌های بهینه چندپخشی و همه پخشی از لحاظ انرژی برای مبادله مطمئن بسته در شبکه‌های نامتعارف است. در محیط‌های بیسیم خطوط ارتباطی اکثراً داری نرخ خطای بالایی هستند و اغلب برای مبادله مطمئن داده چندین بار ارسال مجدد لازم است. همچنین امواج ارسالی در طول مسیر با نسبتی متفاوت با فاصله طی شده تضعیف می‌شوند. ساختار ارتباطی برای مبادله چند پخشی در بیشتر روش‌های موجود، تشکیل یک درخت از سمت ریشه بر اساس الگوریتم کوتاه‌ترین مسیر می‌باشد.[1] این روش‌ها هزینه درخت همه‌پخشی را بر اساس تخمین توان مصرفی یکبار ارسال بسته به گره‌های مقصد محاسبه می‌کنند. به همین خاطر این روش‌ها بهترین بهره‌وری برای ارسال مطمئن یک بسته به همه گیرنده‌ها را ارائه نمی‌کنند.

چون تعداد دفعات ارسال مجدد برای انتقال مطمئن یک بسته به گره‌های فرزند به نرخ خطای خط بستگی دارد، برای محاسبه درخت کمینه انرژی باید دو نکته را در نظر گرفت: توان ارسالی لازم برای دریافت بسته توسط همه گرههای فرزند و احتمال بروز خطا در خطوط ارتباطی. از دیگر مؤلفه‌های مطلوب در تشکیل ساختار ارتباطی می‌توان از مقیاس‌پذیری، دوام، استقلال الگوریتم مسیریابی از سایر لایه‌های شبکه، انعطاف‌پذیری درخت همه‌پخشی، احتمال بالای رسیدن بسته‌ها و زمان تأخیر پایین نام برد.[1]

در [2] پیشنهاد شده که به جای انتخاب حداقل توان لازم برای ارسال بین دو گره به عنوان هزینه یال در گراف متناظر برای تشکیل کوتاهترین مسیر، از رابطه (1) به عنوان هزینه استفاده شود. این رابطه هزینه ارسال از رابطه (1) به عنوان هزینه یالها به جای توان روشی که برای محاسبه مسیر با توان بهینه برای ارسال مطمئن تک‌پخشی در [2] ارائه شده نشان می‌دهد که انتخاب مسیر با توجه به تعداد دفعات ارسال مجدد بسته نسبت به روشهای دیگر مانند PAMAS[7] [8]، که توجهی به دفعات ارسال مجدد ندارند، باعث کاهش مصرف توان تا میزان 70% می‌شود. روش‌هایی در [7] و [8] برای کمینه کردن مسیر در کاربرد تک پخشی ارائه شده‌اند.

حالت همه‌پخشی کاملاً با تک‌پخشی متفاوت است، زیرا احتمال نسبت ارسال مجدد به احتمال خطا در فقط یک خط بستگی ندارد؛ بلکه به ترکیب تأثیر خطا در خطوط ارتباطی مجزا تا گره‌های همسایه (فرزند) بستگی دارد. از سوی دیگر در گره‌های ارسال کننده ممکن مشکل ازدحام در اثر پیغام‌های Ack ایجاد شود. در برخی کارها [4] استفاده از پاسخ نفی دریافت (Nack) برای پیشگیری از ازدحام پیشنهاد شده است. در [10] یک روش مبتنی بر ویژگی همه پخشی ذاتی شبکه‌های بیسیم پیشنهاد شده و با دو روش دیگر که مبتنی بر الگوریتم‌های همه‌پخشی مورد استفاده در شبکه‌های ثابت می‌باشند مقایسه گردیده است. نتیجه این روش بر اساس [9] دارای خطای تقریبی اندکی نسبت به پاسخ بهینه در شرایط بدون خطا است.

1. روش BIP[8]: روش پیشنهادی که درخت همه‌پخشی را بر اساس نسخه تغییر یافته‌ای از الگوریتم پریم با در نظر گرفتن امکان دریافت همزمان بسته توسط گره‌های همسایه در شبکه‌های بیسیم تشکیل می‌دهد.
2. روش BLU[9]: در این روش درخت همه‌پخشی از طریق برهمنهی کم هزینه‌ترین مسیر از ریشه تا همه گره‌ها به دست می‌آید.
3. روش BLiMST[10]: از الگوریتم معمولی درخت پوشا استفاده می‌کند و توان مصرفی بین دو گره را به عنوان هزینه یالهای گراف در نظر می‌گیرد.

در [10] روشهای مختلف تعیین مسیر تک‌پخشی و همه‌پخشی بررسی شده‌است و روابط ریاضیاتی مسیر را برای دو دسته کلی آنها مورد مقایسه قرار گرفته‌است. این روش‌ها در [6] با اعمال محدودیت‌های بیشتری مانند پهنای باند محدود و انرژی محدود گره توسعه داده شده است.

ما در اینجا روش‌های پیشنهادی [9] و [10] و روشهای بالا را با استفاده از رابطه معرفی شده در [2] برای ارسال مطمئن داده اصلاح کرده و مقایسه کرده‌ایم.

3- روابط محاسباتی

3-1- محاسبه توان ارسالی

در شبکه‌های نامتعارف به هم پیوستگی شبکه بستگی به توان ارسالی دارد. به منظور صرفه‌جویی در توان، هر گره می‌تواند توان ارسالی خود را به دلخواه تغییر دهد[3]. توان لازم برای ارسال یک بسته از گره i به گره j با فاصله $r_{i,j}$ را $E_{i,j}$ می‌نامیم:

$$E_{i,j} \propto r_{i,j}^{a} \qquad 2 \le a \le 4 \qquad (۱)$$

a ضریبی است متناسب با مشخصات فضای انتقال و خصوصیات آنتن. این ضریب برای آنتن‌های همه سویه و در فاصله نزدیک برابر 2 و برای آنتن‌های نامتقارن و در شرایط وجود مانع و فاصله‌های دور حدود 4 است.

در ارسال مجدد گره می‌تواند توان ارسالی خود را به گونه‌ای تنظیم کند که فقط گرههایی که بسته را دریافت نکرده‌اند آن را دریافت کنند. همچنین گرهها می‌توانند بسته‌های Ack برای گره پدر ارسال نمایند. در کاربردهای همه‌پخشی معمولاً امکان ارسال Ack را به دلیل بار تحمیلی آن غیرفعال می‌کنند. در برخی کاربردها نیز از Nack برای اطمینان از دریافت بسته توسط مقصد استفاده می‌شود. ولی در این روش از Ack برای ارسال مطمئن داده فرستاده شده است.

3-2- ارسال مطمئن داده

مسلم است که تصمیم‌گیری بر اساس معیار توان ارسالی گره‌ها به تنهایی نادرست بوده و باید احتمال حذف بسته در شرایطی محیطی نامناسب بین دو گره مجاور را در محاسبه هزینه‌ها نیز در نظر گرفت. در این مقاله از رابطه‌ای که برای محاسبه ارسال مطمئن داده به صورت تک‌پخشی بین دو گره در [2] پیشنهاد شده استفاده می‌شود. این رابطه عنوان می‌دارد که کم هزینه‌ترین مسیر، لزوماً نزدیکترین نیست، بلکه مسیری است که بتوان با حداقل انرژی ممکن بتوان از دریافت بسته توسط گره مقصد مطمئن شد. با بیان اینکه در محیطی با احتمال حذف بسته p، توان میانگین مورد نیاز بنا بر روابط احتمال برابر است با $\frac{E}{1-p}$ که بیشتر از توان ارسال مستقیم در یک مرتبه (E) می‌باشد. رابطه زیر به عنوان هزینه ارسال بین گره‌های i و j پیشنهاد شده است که به جای $E_{i,j}$ برای محاسبه توان مصرفی درخت همه پخشی مورد استفاده قرار گیرد. روش‌های معرفی شده در [5] با استفاده از فرمول پیشنهادی تغییر کرده و در واقع رابطه (2) در محاسبه هزینه درخت استفاده شده است. $p_{i,j}$ احتمال حذف بسته هنگام مبادله بین گرههای i و j می‌باشد.

$$E_{i,j}(reliable) = \frac{E_{i,j}}{1-p_{i,j}} \qquad (۲)$$

روش RBLU، مبتنی بر روش BLU می‌باشد با این تفاوت که به جای هزینه توان ارسالی بین دو گره مجاور، هزینه ارسال مطمئن بین آنها را در نظر می‌گیرد و تلاش می‌کند تا از انتخاب مسیر با نرخ خطای بالا صرفنظر کند. در روش RBLiMST نیز فرمول معرفی شده برای محاسبه هزینه بین خطوط در روش BLiMST استفاده گردیده‌است.

روش RBIP تغییرات اساسی‌تری نسبت به روش BIP داشته است. با توجه به اینکه قرار است در روش BIP تغییر توان ارسالی به عنوان هزینه در نظر گرفته شود، در RBIP تفاضل توان و نیز تفاوت تکرار مجزا از هم در نظر گرفته می‌شود. در این روش برای محاسبه توان ارسالی یک گره به این صورت عمل می‌شود که به ازای فرزند آخر گره (بر اساس فاصله)، تعداد دفعات ارسال مورد نیاز را برابر $\frac{1}{1-p_{i,j}}$ و توان ارسالی را نیز برابر توان لازم برای ارسال مستقیم تا دورترین گره فرزند در نظر گرفته شده است. لذا هزینه هر خط ارتباطی برابر ضرب این دو عدد می‌باشد. سپس به ازای فرزندهای دیگر (که قاعدتاً به توان ارسالی کمتری نیاز دارند) بررسی می‌کند تا در صورتیکه تعداد دفعات لازمه بیشتر از محاسبه قبلی باشد، توان ارسالی مورد نیاز گره را در تفاضل تعداد دفعات بیشتر ارسال ضرب کرده و به هزینه گره اضافه کند. برای محاسبه هزینه یک گره (i) در هنگام تصمیم گیری برای افزودن به درخت، هزینه گره پدر (j) مورد نظر با گره مورد بررسی و بدون آن محاسبه شده و تفاضل آن به عنوان هزینه i محسوب می‌شود. اگر i تنها گره فرزند j باشد، کلیه توان ارسالی کنونی j به عنوان هزینه i محسوب می‌شود.

3-3- الگوریتم هرس

روش‌های ذکر شده به صورت یکسانی برای ارتباطهای همه پخشی و چند پخشی مورد استفاده قرار گرفته است. تنها تفاوتی که بین ارتباط چند پخشی با همه پخشی وجود دارد این است که در ارتباط همه پخشی همه گرههای موجود در ساختار شبکه جزو مجموعه مقصد هستند؛ در صورتی که در ارتباط چند پخشی مجموعه مشخصی از گرهها عضو مجموعه مقصد هستند و سایر گره‌ها فقط در صورتی که برای انتقال به مجموعه مقصد مورد نیاز باشند در درخت قرار می‌گیرند.

اما در عمل هیچ تفاوتی هنگام اجرای الگوریتم‌های تشکیل درخت اعمال نمی‌شود. بلکه پس از اجرای الگوریتم تشکیل درخت، یک

الگوریتم هرس بر روی درخت حاصل اجرا می‌شود و گره‌های خارج از مجموعه چند پخشی و یالهای مربوط به آنها را حذف می‌کند.

الگوریتم هرس از گرههای انتهایی (برگهای درخت) شروع می‌شود. روش به این صورت است که اگر گرهی که در حال بررسی است جزو مجموعه همه پخشی نباشد از ساختار درخت کنار گذاشته شده و یال مربوط با آن حذف می‌شود. سپس به ترتیب گره‌های داخلی مورد بررسی قرار می‌گیرند. گرههای داخلی که عضو گروه چند پخشی نیستند در صورتی عضو درخت می‌مانند که در ساختار زیر درخت مربوطه آنها هیچ گره عضو گروه باقی نمانده باشد.

در واقع این روش بیشتر گرههای انتهایی که عضو گروه نیستند و یا گرههای نزدیک به گرههای انتهایی که همه فرزندان آن عضو نیستند را حذف می‌کند. چنانچه بهینه سازی بیشتری ممکن باشد در مرحله بعد و در زمان اجرای الگوریتم جاروب صورت می‌گیرد. پس از اجرای الگوریتم هرس، ساختار باقی مانده شامل درخت چند پخشی است که از درخت همه پخشی تشکیل شده در ابتدا باقی مانده است.

3-4- الگوریتم جاروب

الگوریتم جاروب برای هرس و بهینه‌سازی درخت نتیجه روشهای فوق پیشنهاد شده است. در حالتی که یالهای نامناسبی در درخت باقی‌مانده باشد، با پیمایش درخت، آنها را حذف کرده و یالهای کم‌هزینه‌تری را به جای آنها انتخاب می‌کند. مثلاً هنگامی که گرهی در محدوده توان ارسالی دو گره قرار می‌گیرد. الگوریتم جاروب مورد استفاده در [5] نیز به گونه‌ای تغییر یافته که بر اساس هزینه ارسال مطمئن داده وزن درخت را محاسبه می‌کند. در پیاده‌سازی حاضر، از روش محاسبه RBIP برای محاسبه هزینه گره‌ها در اجرای الگوریتم جاروب بر روی روش‌های Reliable استفاده شده است.

روش کار به این شرح است که عملیات از گره‌های انتهایی شروع شده و آنهایی که در محدوده ارسالی بیش از یک گره ارسال کننده قرار دارند مشخص می‌شوند. سپس بررسی می‌شود که آیا با تغییر جایگاه این گره‌ها در ساختار درخت ارتباطی، می‌توان توان ارسالی یک گره را صفر کرد و یا کاهش داد؟ در این صورت گره در ساختار می‌تواند جابجا شود و هزینه را کاهش دهد. با انتقال گره از زیر مجموعه فعلی که در آن قرار دارد به مجموعه فرزندان گره ارسال کننده دیگر، گره ارسال کننده قبلی می‌تواند ارسال خود را متوقف کرده و یا توان ارسالی خود را کاهش دهد. وضعیت فرزندان گره جابجا شده هیچ تغییر نمی‌کند. سپس الگوریتم مرحله به مرحله به گره‌های میانی‌تر می‌پردازد.

نکته خاص دیگری را الگوریتم جاروب برای درخت‌های چند پخشی در نظر می‌گیرد. به این صورت که در هنگام مقایسه دو گرهی پدر که می‌توان فرزندان را بین آنها جابجا کرد، اولویت را به گرهی می‌دهد که عضو گروه چند پخشی باشد. بدین صورت چنانچه گرهی خارج از گروه چند پخشی را که به دلیل دارا بودن فرزندی عضو گروه در ساختار باقی مانده باشد، ممکن است بتوان حذف کرد؛ در صورتی که امکان انتقال فرزندان آن به گرهی دیگر در گروه چند پخشی ممکن باشد. به این صورت بیشترین بهینه سازی ممکن برای درختهای چند پخشی اعمال می‌شود.

این الگوریتم را می‌توان چند بار بر روی یک درخت اجرا کرد که در برخی موارد باعث بهبود بیشتر درخت می‌شود. ولی در اغلب حالات بررسی شده اجرای چند باره تأثیر چندانی ندارد. با این‌حال در بسیاری از درخت‌های حاصل از اجرای الگوریتم‌های ذکر شده، یک بار هرس درخت با الگوریتم جاروب باعث کاهش زیاد هزینه درخت گردیده است.

4- بررسی نتایج

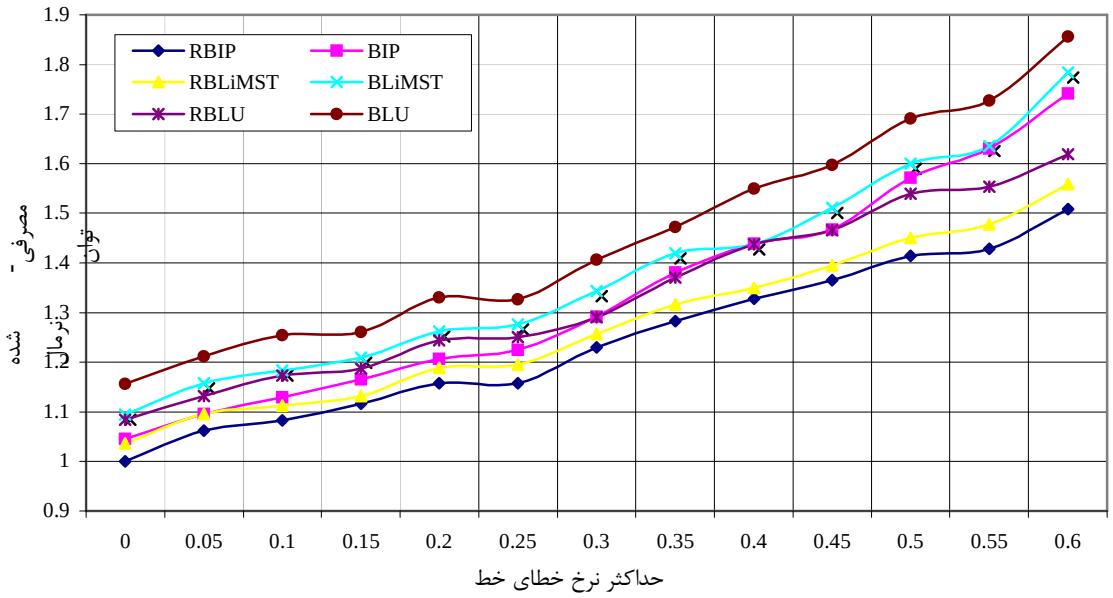
در این مقاله دو حالت بدون خطا و با خطای الگوریتم‌های ذکر شده پیاده‌سازی شده و مورد مقایسه و بررسی قرار گرفته است. مقایسه بر اساس محاسبه هزینه درخت حاصل از اجرای هر روش در حالتهای متفاوت و سپس اجرای عملیات جاروب بر روی درخت حاصل بوده است و سپس هزینه هر درخت بر اساس رابطه پیشنهادی برای الگوریتم RBIP محاسبه شده است. هزینه درخت در حالتهای مختلف بر اساس کم‌هزینه‌ترین درخت نرمال شده و نمودار بر اساس عدد نرمال شده رسم گردیده است.

در دو وضعیت کلی که اینجا مورد بررسی قرار گرفته، تغییر توان ارسالی نرمال شده بر اساس وزن درخت با کمترین مصرف توان، نسبت به نرخ خطا در ارسال بسته‌ها بین دو گره همسایه و سپس تغییر توان ارسالی نرمال در حالت چندپخشی نسبت به اندازه گروه چندپخشی می‌باشد.

در مقایسه بر اساس نرخ خطا، دو چیدمان به صورت مشبک 10×10 و نیز چیدمان تصادفی در یک محدوده 10×10 به طور جداگانه بررسی شده است. در مقایسه حالت چند پخشی، برای اجتناب از وضعیت دو قسمت شدن شبکه، بررسی فقط در حالت گرید (مشبک 10×10) انجام شده است. در همه شبیه‌سازی‌ها، گره‌ها ثابت و فضای آزمایش بدون مانع و ضریب تضعیف امواج ارسالی (a) برابر 2 در نظر گرفته شده است. گره‌ها مشکل انرژی نداشته و حداکثر و حداقل توان ارسالی ممکن همه گره‌ها با هم برابر است.

عواملی که در این شبیه‌سازی در نظر گرفته نشده است عبارتند از جابجایی گره‌ها و امکان محاسبه توزیع شده درخت همه پخشی.

مدّت زمان انجام شبیه‌سازی در سه حالت اجرا در مجموع حدوداً 7 دقیقه بود که شامل 3 اجرای متفاوت با 3 حالات متفاوت چیدمان، نرخ خطا و گروه چندپخشی، هر اجرا شامل محدوده‌ای از نقشه‌های مختلف و بازای هر محدوده 20 وضعیت مختلف با پارامترهای مشابه بود که هر کدام با اجرای 6 گونه ذکر شده روش‌های تشکیل درخت مورد بررسی قرار گرفت. هر نقطه بر روی نمودار میزان نرمال شده مربوط به اجرای 20 وضعیت مختلف می‌باشد.



نمودار (1) مقایسه توان مصرفی درخت همه پخشی، 100 گره، با چیدمان تصادفی با نرخ خطای متفاوت

در همه حالات می‌توان که عموماً روش RBIP بهترین پاسخ را می‌دهد. در شرایط مختلف بعد از روش RBIP، روش BIP و یا RBLiMST قرار دارد. تقریباً در همه حالات نیز بدترین پاسخ‌ها متعلق به روش BLU می‌باشد.

4-1- اجرای اول

در نمودار (1)، توان مصرفی درخت همه پخشی با 100 گره عضو که به طور تصادفی در یک فضای مربع شکل با ابعاد 10×10 قرار گرفته بودند به صورت نرمال شده بر اساس درخت با کمترین هزینه (RBIP با نرخ خطای 0/1) در حالتهای مختلف برای نرخ خطای از 0/1 تا 0/6 و همه الگوریتم‌های ذکر شده و نسخه‌های غیرمطمئن آنها مقایسه گردیده است.

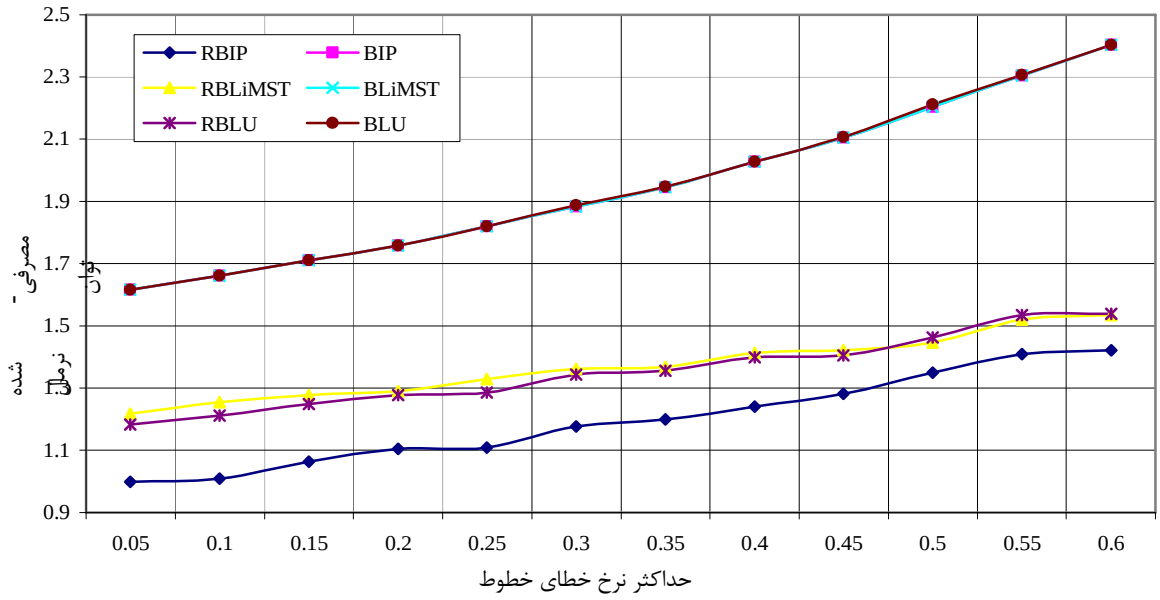
در این نمودار، ساختار توزیع گره‌ها به صورت تصادفی در فضای مربعی با ابعاد 10×10 بوده است که نرخ خطای بین دو به دوی گرهها در هر نقشه وضعیتی متفاوت و تصادفی، ولی محدود به Max-Loss بوده است که نمودار بر حسب پارامتر Max-Loss رسم شده است. تعداد گرهها 100 عدد و گروه چندپخشی شامل همه گرهها بوده است. (حالت همه پخشی).

در اکثر حالات RBIP بهترین جواب را داده و پس از آن RBLiMST قرار دارد. بدترین جواب نیز متعلق BLU و قبل از آن BLiMST می باشد. به طور کلی در این نمودار هر سه روش مطمئن عملکردی بهتر از هر سه روش غیرمطمئن داشته‌اند.

4-2- اجرای دوم

در نمودار(2)، توان مصرفی درخت‌های همه پخشی مختلف مشتمل بر 100 گره با چیدمان مشبک به صورت 10×10 در یک فضای مربع شکل مقایسه شده است. اعداد بر اساس توان مربوط درخت دارای کمترین هزینه (RBIP با نرخ خطای 0/1) نرمال شده‌اند. درخت ارتباطی در حالتهای مختلف برای نرخهای خطای از 0/1 تا 0/6 و با استفاده از الگوریتم‌های مطمئن و غیر مطمئن مورد بحث به دست آمده و مقایسه شده است.

در بیشتر حالات بهترین جواب متعلق به RBIP بوده است. پس از آن RBLiMST قرار دارد. بدترین جواب نیز با تفاوت کمی متعلق به هر سه روش غیر مطمئن است. مقادیر BLU، BLiMST، و BIP به طور تقریبی با هم برابر می‌باشند. به طور کلی در این نمودار نیز هر سه روش مطمئن عملکردی بهتر از هر سه روش غیر مطمئن داشته‌اند.



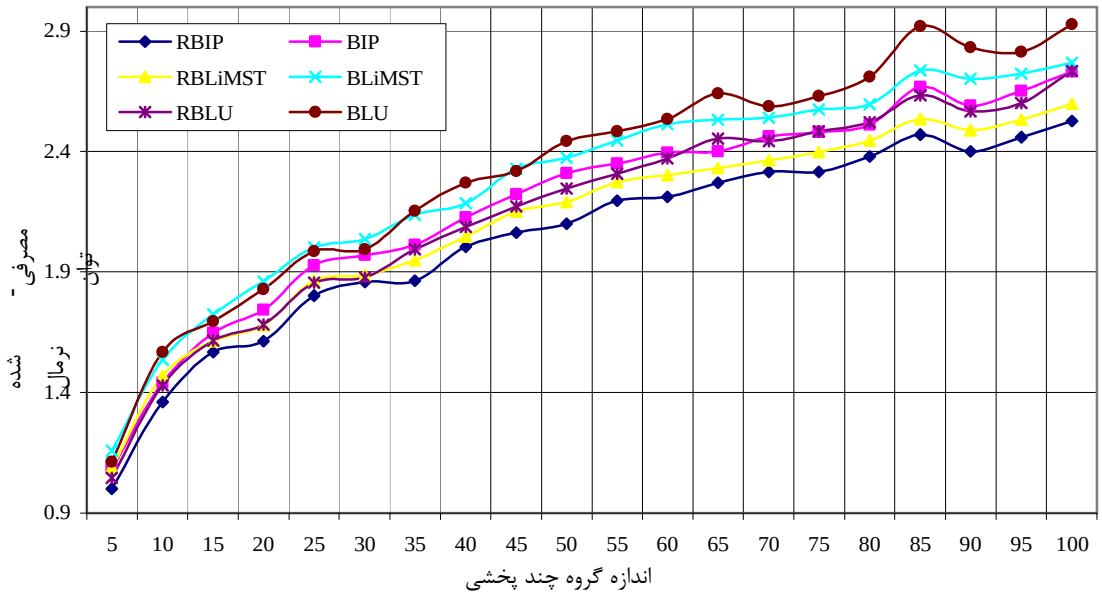
نمودار (2) مقایسه توان مصرفی درخت همه پخشی، 100 گره، گرید 10×10 با نرخ خطای متفاوت

4-3- اجرای سوم

در نمودار(3)، توان مصرفی درخت چند پخشی با اندازه گروه چند پخشی متغیر و تعداد کلی 100 گره در صفحه با چیدمان مشبک در یک فضای مربع با ابعاد10×10 به صورت نرمال شده بر اساس درخت با کمترین هزینه (RBIP با تعداد گره مقصد 5) در حالتهای مختلف برای اندازه گروه چند پخشی از 5 تا 100 گره و الگوریتم‌های مطمئن و غیر مطمئن معرفی شده مقایسه گردیده است.

در این نمودار، ساختار توزیع گره‌ها به صورت تصادفی در فضای مربعی با ابعاد 10×10 بوده است که نرخ خطا بین گرهها به صورت تصادفی با Max-Loss 0/4 برای همه وضعیت‌ها و اندازه گروه چندپخشی متغیر بوده است که نمودار بر حسب آن رسم شده‌است.

در اکثر حالات RBIP بهترین جواب را داده و پس از آن RBLiMST قرار دارد. بدترین جواب نیز با فاصله کمی متعلق به هر سه روش BLU و BLiMST است. به طور کلی در این نمودار نیز هر سه روش Reliable عملکردی بهتر از هر سه روش Unreliable داشته‌اند.



نمودار (3) مقایسه توان مصرفی درخت چند پخشی، 100 گره، گرید 10×10 با نرخ خطای 0/4

5- کارهای پیش‌رو

نکته اصلی که در این مقاله مورد بحث قرار گرفت تأثیر ارسال مجدد بر مصرف توان و ارائه الگوریتم تشکیل درخت بر اساس این پارامتر برای ارسال داده همه‌پخشی در شبکه‌های نامتعارف بود. پارامترهای دیگری وجود دارند که در نظر گرفتن آنها می‌تواند منجر به کاهش بیشتر مصرف توان در شبکه‌های نامتعارف بی‌سیم شود. در کارهای آینده نگارنده تلاش می‌کند تا تأثیر عمق شاخه‌های درخت همه‌پخشی و نیز اثر اشتراک مسیر برای ارسال همه‌پخشی را در مصرف توان را مورد بررسی قرار دهد.

به نظر می‌رسد نیاز به بررسی بیشتری برای تصمیم‌گیری درباره استفاده از پاسخ منفی یا مثبت و تأثیر زمان پاسخ بر مصرف توان کلی درخت وجود دارد. به طور شهودی به نظر می‌رسد که استفاده از Nack در محیط‌های با نرخ خطای پایین و Ack در محیط‌های با نرخ خطای بالا مطلوب باشد. همچنین الگوریتم ارائه شده برای اجرا به صورت offline می‌باشد که با تغییراتی باید به صورت online اجرا شود. در صورت اجرای متمرکز این الگوریتم در ریشه، نیاز به راهکاری برای اعلان همه یا بخشی از درخت همه پخشی به گره‌های فرزند احساس می‌شود. اجرای توزیع‌شده الگوریتم‌ها نیازمند بررسی بیشتری است. اجرای متمرکز در شبکه‌های نامتعارف نیازمند دید کلی از شبکه است و منجر به تحمیل بار زیادی برای جمع‌اوری اطلاعات ساختاری می‌گردد. اجرای توزیع شده و با استفاده از اطلاعات محلی برای تشکیل درخت پوشای کمینه، این مشکل را حل می‌کند.

تأثیر حرکت گره‌ها بر روی نتیجه آزمایش نامشخص است، هر چند که هیچ کدام از مقالات مرجع بررسی بر روی حالت متحرک گره‌ها نداشته‌اند. در شبیه‌سازی‌ها محیط یکنواخت فرض شده است، ضریب *alpha* در نتایج ارائه شده به طور ثابت 2 در نظر گرفته شده، هر چند که در انجام آزمایش با ضریب ثابت 4 نیز تفاوت چندانی در نمودار ایجاد نگردید. به نظر می‌رسد از آنجا که ضریب *alpha* تأثیر محیط را بر روی ارسال پیام نشان می‌دهد، برای نتیجه دقیق‌تر گره‌های دورتر باید ضریب *alpha* بزرگتری داشته باشند و بالعکس.

مراجع

[1] Ballardie, T., Francis, P., Crowcroft, J., *Core Based Trees (CBT): An Architecture for Scalable Inter-Domain Multicast Routing*, ACM Sigcomm, September 1993.

[2] Banerjee, S., Misra, A., *Minimum Energy Paths for Reliable Communication in Multi-hop Wireless Networks*, Proceedings of Mobihoc, June 2002.

[3] IEEE Computer Society LANMAN Standards Committee, *Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Std 802.11-1997, 1997.

[4] Floyd, S., Liu, V., McCanne, S., Zhang, L., *A Reliable Multicast Framework for Light-Weight Sessions and Application Level Framing*, IEEE/ACM Transactions on Networking, December 1997.

[5] Li, F., Nikolaidis, I., *On Minimum-Energy Broadcasting in All Wireless Networks*, Proceedings of IEEE Annual Conference on Local Computer Networks, November 2001.

[6] Wieselthier, J.E., Nguyen, G.D., Ephremides, A., *Resource-Limited Energy-Efficient Wireless Multicast of Session Traffic*, Proceedings of 34th International Conference on System Sciences, January 2000.

[7] Scott, K., Bamboos, N., *Routing and Channel Assignment for Low Power Transmission in PCS*, Proceedings of ICUPC, October 1996.

[8] Singh, S., Raghavendra, C.S., *Pamas: Power Aware Multi-Access Protocol with Signaling for Ad-hoc Networks*, ACM Communications Review, July 1998.

[9] Wan, P.J., Galinescu, G., Frieder, O., *Minimum-Energy Broadcast Routing in Static Ad-hoc Wireless Networks*, Proceedings of IEEE Infocom, March 2001.

[10] Wieselthier, J.E., Nguyen, G.D., Ephremides, A., *On The Construction of Energy-Efficient Broadcast and Multicast Trees in Wireless Networks*, Proceedings of IEEE Infocom, March 2000.

زیرنویس‌ها

[1] Adhoc
[2] Back-bone
[3] Base-Station
[4] NP-Hard
[5] Steiner Tree Problem
[6] Heuristic
[7] Power-Aware Multi-Access protocol with Signalling
[8] Broad-cast Incremental Power
[9] Broadcast Least-Unicast-cost
[10] Broadcast Link-based Minimum Spanning Tree