

ارائه یک الگوریتم زمانبندی متمرکز با قابلیت Spatial Reuse

برای شبکه‌های مش بی‌سیم مبتنی بر استاندارد 802.16

مصطفی صالحی

تهران، دانشگاه امیرکبیر،

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

mos_salehi@aut.ac.ir

سیاوش خرسندی

تهران، دانشگاه امیرکبیر،

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

khorsand@aut.ac.ir

چکیده - این مقاله الگوریتم جدیدی به منظور بهبود زمانبندی متمرکز در مد مش استاندارد IEEE802.16 و تخصیص بهینه اسلات‌های زمانی به نودهای شبکه با در نظر گرفتن Spatial Reuse، ارائه می‌کند. در الگوریتم‌های فعلی، سربار مربوط به Guard Symbol‌های مابین اسلات‌های زمانی در شبکه‌های 802.16، در نظر گرفته نشده است. الگوریتم ارائه شده در این مقاله بطور همزمان سربار سوئیچینگ، بکارگیری spatial reuse برای استفاده کارا از منابع رادیویی، مدل کامل تداخل و تاثیر جایگاه نود در درخت مسیریابی بر روی کارایی زمانبندی را در نظر می‌گیرد. مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های موجود در این زمینه، بر اساس شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، نشان می‌دهد که طول زمانبندی در الگوریتم پیشنهادی از ۸ درصد تا ۵۰ درصد بهبود یافته است.

کلید واژه- زمانبندی، سربار سوئیچینگ، مش، 802.16

۱- مقدمه

استاندارد 802.16 با MAC مبتنی بر تکنولوژی TDMA راه‌حل مناسبی برای پیاده‌سازی شبکه‌های مش بی‌سیم است.

در مد مش (Subscriber Station) SSها، میتوانند از طریق یکدیگر، با هم ارتباط برقرار کنند و ترافیک خود را از طریق رله توسط سایر SSها، به مقصد هدایت نمایند. در این توپولوژی (Base Station) BS به نودی اطلاق میشود که شبکه مش را به اینترنت (یا شبکه خارجی) متصل می‌کند

جهت ارسال بسته‌ها بین SSها و از SSها به BS، نیاز به درخواست و تخصیص اسلات‌های زمانی میباشد. اسلات‌های زمانی به دو بخش با مدیریت متمرکز و مدیریت توزیع شده تقسیم میشوند. در مکانیزم متمرکز، که برای هدایت ترافیک اینترنت SSها از طریق BS بکار برده میشود، BS مسئول زمانبندی ارسال‌ها در کل شبکه است. از آنجا که در این مکانیزم تمام بسته‌های کنترلی و دیتا از BS عبور می‌کنند، پروسه زمانبندی متمرکز و با قابلیت اطمینان بالا میباشد. با

با رشد تقاضا برای سرویس‌های Triple Play، نیاز به شبکه‌های دسترسی باند پهن به سرعت در حال افزایش است. سیستم‌های دسترسی بی‌سیم باند پهن مبتنی بر استاندارد 802.16 [1] میتوانند راه‌حل جایگزینی برای سیستم‌های سیمی (Cable، xDSL) باشند. مزیت این سیستم‌ها، راه‌اندازی سریع سیستم، قابلیت گسترش زیاد و هزینه کم برای نگهداری و توسعه شبکه، در کنار نرخ ارسال دیتا قابل رقابت با سیستم‌های سیمی میباشد.

استاندارد 802.16، دو مد عملیاتی مختلف را معرفی می‌کند: PMP (Point-to-Multi Point) و مش. پیاده‌سازی شبکه‌های PMP که در آنها تمامی نودها بطور مستقیم به یک نود مرکزی متصل هستند، همیشه امکان پذیر نیست. به کمک مد مش استاندارد 802.16، میتوان به سرعت اتصال‌های بی‌سیم قابل اطمینانی با سطح پوشش بسیار بیشتر از شعاع قابل دسترس در لایه فیزیکی فراهم آورد. لذا مد مش

این حال تاخیر برپایی اتصالها زیاد است. در مکانیزم توزیع شده، که برای ارتباط بین SSها و هدایت ترافیک اینترنت استفاده میشود، ارسالها به شکل کاملاً توزیع شده و بدون نیاز به تعامل با BS زمانبندی میشوند. از آنجا که در این مکانیزم تصمیم گیریها توسط نودها بطور محلی و با توجه به بار ترافیکی و شرایط کانال فیزیکی نودها صورت می-گیرد، مکانیزم توزیع شده نسبت به مکانیزم متمرکز انعطاف پذیرتر، ولی پیچیده تر و دارای سربار بیشتر میباشد. از آنجا که ترافیک اینترنت، عمده ترافیک شبکه را تشکیل می دهد، مکانیزم زمانبندی متمرکز، مکانیزم غالب میباشد.

مطالعه بر روی زمانبندی در شبکه های TDMA سالهای زیادی است که مورد توجه بوده است. با این حال بسیاری از الگوریتم های معرفی شده در این مطالعات، قابل اعمال به مد مش 802.16 نیستند. مدل تداخل بکار رفته در برخی از این کارها [2,3,4] تنها تداخل بین لینک های دارای نود مشترک را در نظر می گیرند. همچنین مطالعات صورت گرفته سربار ناشی از ارسال را نادیده گرفته اند. این سربار در شبکه های 802.16 زیاد میباشد.

الگوریتم های متعددی نیز بطور مشخص برای شبکه های مش 802.16 ارائه شده است. الگوریتم ارائه شده در [5] میزان فضای قابل استفاده مجدد (spatial reuse) در شبکه را، که در استاندارد نادیده گرفته شده است، مد نظر قرار می دهد. در مراجع [6,7,8,9] الگوریتم هایی برای زمانبندی متمرکز ارائه شده است که در مدل تداخل خود، تداخل نوع دوم را در نظر گرفته و از مزایای spatial reuse نیز در زمانبندی بهره می برند. در [6] و [7] به منظور افزایش کارایی IEEE 802.16، طرح cross-layer آگاه از تداخلی مورد مطالعه قرار گرفته است. در این کار، مسیریابی بر اساس یک چارچوب درختوار است که در کنار آن از یک زمانبند آگاه از تداخل استفاده می شود. در [10] نیز طراحی cross-layer دیگری میان لایه های شبکه (مسیریابی) و MAC (زمانبندی) معرفی شده است، که به مسئله تشکیل درخت مسیریابی و پروسه زمانبندی بطور همزمان پرداخته است. اگر چه این الگوریتم ها spatial reuse را بکار می برند ولی با این حال از آنجا که به هر نود اجازه داده میشود که در یک فریم چندین بار ارسال کند، سربار ارسال باعث کاهش گذردهی واقعی سیستم میشود. این مسئله در این

مطالعات نادیده گرفته شده است. در مقابل [9] زمانبندی لینکها در فریم را به یکبار محدود می کند. این فرض نیز از بکارگیری موثر spatial reuse جلوگیری می کند.

سایر بخش های مقاله به شرح زیر میباشد. بخش ۲ مروری اجمالی بر مد مش استاندارد 802.16 دارد. پس از آن در بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی ارائه می گردد. در این بخش روال زمانبندی متمرکز تشریح میشود. در انتها نیز با شبیه سازی این الگوریتم سعی شده است کارایی آن با سایر الگوریتم های موجود با معیارهای مختلف مقایسه شود.

۲- مد مش استاندارد 802.16

مد مش استاندارد 802.16 تنها از MACی پشتیبانی می کند که مبتنی بر تکنولوژی TDMA بوده و بر روی یک لایه فیزیکی TDM بنا شده است. استاندارد از OFDM برای پیاده سازی این لایه فیزیکی استفاده می کند. OFDM، بلوک هایی از بیتها را به شکل سمبول هایی با طول زمانی ثابت در می آورد. سمبول های OFDM بصورت گروه (اسلات های زمانی) در آمده و در فریم هایی با طول یکسان قرار داده میشوند. مدیریت سمبول های OFDM، با دسته بندی آنها در اسلات های زمانی ساده میشود. در یک شبکه مش، از آنجا که تمام نودها در یک سطح دیده میشوند، زیر فریم های جداگانه ای برای ترافیک downlink و uplink در نظر گرفته نمیشود.

یک فریم مش از دو زیر فریم کنترلی و زیر فریم دیتا تشکیل شده است. زیر فریم کنترلی برای ارسال بسته های کنترلی (پیغام های سیگنالیینگ) و زیر فریم دیتا برای ارسال بسته های دیتا بکار برده میشود. دو نوع زیر فریم کنترلی وجود دارد: زیر فریم کنترل شبکه و زیر فریم کنترل زمانبندی. به وسیله زیر فریم کنترل شبکه، نودها بسته های پیکربندی را در سطح شبکه پخش می کنند. زیر فریم کنترل زمانبندی نیز برای ارسال پیغام های کنترلی، که وظیفه زمانبندی اسلات های زمانی در زیر فریم دیتا را بر عهده دارند، بکار برده میشود. زیر فریم کنترل زمانبندی خود از دو بخش تشکیل شده است: ۱- پیکربندی و زمانبندی متمرکز ۲- زمانبندی توزیع شده. فریم هایی که در بر دارنده زیر فریم کنترلی شبکه هستند، بطور متناوب ایجاد میشوند.

۳ اسلات ارسال میشود. یعنی در این حالت ۵۰٪ سربار ارسال داریم.

۳- الگوریتم زمانبندی با قابلیت Spatial Reuse

۳-۱- روال زمانبندی

در بحث زمانبندی با دو مسئله روبرو هستیم: ۱. تعیین زمان ارسال پیغام‌های کنترلی ۲. اختصاص اسلات‌های زمانی در زیر فریم دیتا به نودهای شبکه برای حمل ترافیک کاربران. در متن استاندارد 802.16، الگوریتم زمانبندی برای ارسال پیغام‌های کنترلی در مد مش مشخص شده است. در ارتباط با زمانبندی ارسال دیتا، اگرچه نحوه سیگنالینگ و ساختار پیغام‌ها مشخص شده است، جزئیات الگوریتم زمانبندی و نحوه دسترسی کارا و عادلانه نودها به کانال و رزرو اسلات‌های زمانی زیر فریم دیتا در متن استاندارد نیامده و به زمان پیاده‌سازی استاندارد موکول شده است. در این مقاله تمرکز بر روی اختصاص اسلات‌های زمانی در زیر فریم دیتا با مکانیزم متمرکز میباشد.

در مکانیزم زمانبندی متمرکز هر SS با توجه به ترافیک ترمینال‌های خود، پهنای باند انتها به انتهای درخواستی خود را تخمین زده و توسط پیغام کنترلی MSH-Request CSCH:Request آنرا برای BS ارسال می‌کند. پس از جمع‌آوری این اطلاعات، BS با توجه به درخت مسیریابی، میزان پهنای باند واگذار شده به لینک‌های شبکه (در درخت مسیریابی) را محاسبه می‌نماید. لذا کارایی زمانبندی متمرکز به درخت مسیریابی (یا درخت زمانبندی) که الگوریتم زمانبندی بر روی آن اجرا میشود نیز بستگی دارد. BS به وسیله پیغام MSH-CSCF، SSها را از درخت مسیریابی‌ای که ایجاد کرده است و تغییرات احتمالی آن مطلع می‌سازد.

سیس BS نحوه انتساب پهنای باند به نودها را در غالب پیغام کنترلی MSH-CSCH:Grant در سطح شبکه مش مالتی‌کست می‌نماید و آنرا به اطلاع SSها می‌رساند. انتساب پهنای باند به لینک‌ها باید به گونه‌ای باشد که پهنای باند انتها به انتهای درخواستی تمام SSها ارضاء شود.

هنگامیکه SS یک پیغام MSH-CSCH را دریافت می‌کند، با توجه به درخت مسیریابی و پهنای باند انتها به انتهای

از زیر فریم دیتا، برای حمل ترافیک نودهای شبکه استفاده میشود. تعداد بیتی که یک سمبول OFDM در زیر فریم دیتا می‌تواند حمل کند، به مدولاسیون و روش کدینگ مورد استفاده توسط فرستنده، بستگی دارد. به عنوان مثال اگر از BPSK-1/2 استفاده شود، توسط هر سمبول ۱۲ بایت حمل خواهد شد.

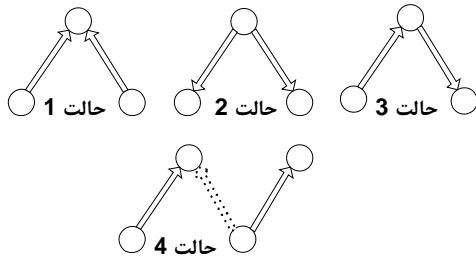
طول اسلات‌های زمانی در یک زیر فریم دیتا (تعداد سمبول‌های OFDM)، از رابطه زیر محاسبه میشود:

$$(1) \quad \left[\frac{\text{تعداد سمبول‌های OFDM در فریم} - (7 * \text{MSH-CTRL-LEN})}{256} \right] = \text{طول اسلات‌های زمانی در زیر فریم دیتا}$$

تعداد سمبول‌های OFDM در فریم به طول فریم و پهنای-باند کانال بستگی دارد. برای مثال اگر طول فریم ۱۰ میلی ثانیه و پهنای باند ۲۰ مگاهرتز باشد، تعداد سمبول‌های یک فریم ۸۰۰ خواهد بود. MSH-CTRL-LEN نیز تعداد اسلات‌های زمانی در زیر فریم کنترلی میباشد. از آنجا که در یک زیر فریم کنترلی هر اسلات زمانی معادل ۷ سمبول OFDM است، از یک ضریب ۷ در رابطه ۱ استفاده شده است.

تعداد اسلات‌های زمانی در زیر فریم دیتا محدود به ۲۵۶ میباشد. این تعداد خود به دو بخش تقسیم میشود. بخش اول با مکانیزم متمرکز و بخش دوم با مکانیزم توزیع‌شده زمانبندی میشود. پارامتر MSH-CSCH-DATA-FRACTION تعیین می‌کند که چه میزان از اسلات‌های زیر فریم دیتا میتوانند در زمانبندی با مکانیزم متمرکز بکار گرفته شوند.

بین Burst‌های دیتای ارسالی نودهای SS، سرباری معادل ۲ یا ۳ سمبول گارد OFDM در نظر گرفته میشود. برای نشان دادن تاثیر سربار ارسال، مدولاسیون BPSK-1/2 را در نظر می‌گیریم و فرض کنیم طول اسلات‌های زمانی به دست آمده از رابطه ۱ معادل ۳ سمبول OFDM باشد و هر ارسال از ۳ سمبول گارد استفاده می‌نماید. لذا کوچکترین بسته دیتا ۳۶ بایت بوده که برای ارسال نیاز به دو اسلات زمانی دارد (۳ سمبول گارد OFDM که معادل یک اسلات است، سربار ارسال میباشد). یعنی ۱۰۰٪ سربار ارسال داریم. انتخاب بعدی ارسال بسته‌ای به طول ۷۲ بایت است، که در



شکل ۱: مدل تداخل

۳: سربرار سوئیچینگ بین نودها جهت ارسال و دریافت، باید مد نظر قرار گیرد.

۴: تاثیر جایگاه نود در درخت مسیریابی و به روز رسانی ساختار درخت مسیریابی در بهبود کارایی در نظر گرفته شود.

کارهای قبلی بطور همزمان به موارد فوق نپرداخته‌اند. بطور خاص سربرار سوئیچینگ بین نودها در کارهای قبل نادیده گرفته شده است. روش پیشنهادی هر چهار مسئله را بطور همزمان مورد توجه قرار داده است تا الگوریتم بهینه‌ای برای زمانبندی ارائه شود. این الگوریتم در شکل ۲ آورده شده است. الگوریتم برای ترافیک uplink آورده شده است. ویرایش این الگوریتم برای ترافیک downlink به راحتی قابل انجام است.

در ابتدا با توجه به مدل تداخل، ماتریس تداخل از روی گراف همسایگی و درخت مسیریابی ایجاد میشود. لیستی از نودهایی که فرزندی نداشته یا مجموع اسلات‌های درخواستی فرزندان آنها، که اختصاص داده نشده است، صفر است تشکیل میشود (activeChild). با در نظر گرفتن ماتریس تداخل و بکارگیری Spatial reuse تمام اسلات‌های مورد نیاز نودهای activeChild تخصیص داده میشوند. اولویت انتخاب با نودی است که کمترین تداخل را با سایر نودها دارد. سپس لیستی از والدین نودهای activeChild که اسلات درخواستی تخصیص داده نشده دارند، تشکیل میشود (activeParent). بخشی از اسلات‌های مورد نیاز نودهای activeParent که می‌توانند بطور همزمان در بازه زمانبندی نودهای activeChild ارسال کنند، تخصیص داده میشوند. اولویت انتخاب در این مرحله با نودی است که به BS نزدیکتر بوده و تعداد اسلات درخواستی بیشتری دارد، میباشد.

منتسب به هر یک از SSها، پهنای باندی که به هر یک از لینک‌های درخت مسیریابی منتسب شده است را محاسبه می‌کند. قابل ذکر است که BS و SSها از الگوریتم مشابهی برای اینکار استفاده می‌کنند. در نهایت هر SS با اجرای یک الگوریتم زمانبندی یکسان و استفاده از توپولوژی شبکه (درخت مسیریابی) و پهنای باند لینک‌ها، زمان شروع ارسال خود و طول آن را مشخص می‌کند.

زمانبندی جدید، در اولین فریم پس از اینکه آخرین نود در درخت مسیریابی پیغام MSH-CSCH را از والد خود دریافت کرد، قرار داده میشود. لازم به ذکر است، زمانبندی تعیین شده در i امین پریود زمانبندی، در پریود زمانبندی $i+1$ ام بکار برده میشود.

۳-۲- الگوریتم پیشنهادی

مسائل مطرح در زمانبندی متمرکز را میتوان در ۴ موضوع زیر دسته‌بندی کرد:

۱: مدل تداخل در سطح شبکه، باید در زمانبندی در نظر گرفته شود. در شکل ۱ مدل تداخل مورد استفاده، نشان داده شده است. سه حالت اول (که جزء تداخل نوع اول میباشد) میان لینک‌هایی روی می‌دهد که یک همسایه مشترک دارند. در حالت ۱ ارسال‌های همزمان به یک گیرنده انجام میشود. حالت ۲ یک فرستنده بطور همزمان به دو گیرنده ارسال انجام می‌دهد. در حالت ۳ نیز یک نود نمیتواند بطور همزمان ارسال و دریافت کند. علاوه بر این سه نوع تداخل، شبکه‌های مش مبتنی بر TDMA (همچون 802.16)، در مورد لینک‌های مربوط به همسایه‌های تا دو گام دورتر خود نیز محدودیت دارند. این حالت (که تداخل نوع دوم گفته میشود) با حالت ۴ در شکل نشان داده شده است. در این نوع تداخل لینک‌هایی که ارسال همزمان بر روی آنها تداخل ایجاد می‌کند با خطوط پر رنگ نشان داده شده‌اند. تداخل به این دلیل روی می‌دهد که هر دو فرستنده یک همسایه مشترک دارند، که میتواند ارسال هر دوی آنها را بشنود.

۲: راندمان کار شبکه با استفاده از Spatial Reuse میتواند افزایش یابد.

```

input: neighboring, routingTree, slotRequest
output: schedulingMatrix

1: initialize schedulingMatrix
2: collision=generateCollisionMatrix(neighboring, routingTree);
3: maxSlot=0;
4: while ~ (isempty(slotRequest))
5: activeChild=generateActiveChild(slotRequest);
6: startSlot=maxSlot+1;
7: for each node in activeChild
8: node=selectNodeWithMinInterference(activeChild, collision);
9: [childAllocatedSlot, maxSlot]=schedulChild(node, collision, startSlot);
10: end
11: slotRequest=slotRequest-childAllocatedSlot;
12: activeParent=generateActiveParent(slotRequest);
13: for each node in activeParent
14: node=selectNodeWithMaxSlot(activeParent, slotRequest);
15: parentAllocatedSlot=schedulParent(node, collision, startSlot, maxSlot);
16: end
17: relayedPackets=relayPacketFunc(parentAllocatedSlot, childAllocatedSlot);
18: slotRequest=slotRequest-parentAllocatedSlot+relayedPackets;
19: end

```

شکل ۲: الگوریتم پیشنهادی

جدول ۱: پارامترهای مورد استفاده در شبیه سازی

پارامتر	مقدار
مدولاسیون و کدینگ مورد استفاده	BPSK-1/2
طول فریم	۲۰ میلی ثانیه
پهنای باند کانال	۱۰۰ مگا هرتز
MSH-CTRL-LEN	۱۰
MSH-CSCH-DATA-FRACTION	٪۱۰۰
تعداد سمبولهای گارد OFDM	3
شعاع ارسال	۱۵
تعداد SSها	۱۰ الی ۵۰ (افزایش با گام ۱۰)
اسلاتهای uplink درخواستی SSها	تصادفی از رنج (۱ الی ۳)

۴-۲ نتایج شبیه سازی

در شکل های ۳ و ۴ الگوریتم پیشنهادی به ترتیب از لحاظ طول زمانبندی و سربار ارسال با سایر الگوریتمها مقایسه شده است. بطور میانگین بهبود الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتمهای استاندارد، TTS، MRCS، و LA از نظر طول زمانبندی، به ترتیب ۵۰٪، ۳۶٪، ۳۳٪، و ۸٪، از نظر سربار ارسال به ترتیب ۲۷٪، ۵۹٪، ۷۲٪، و ۲۷٪ می باشد. نتایج، میانگین مقادیر حاصل از تکرار هر سناریوی شبیه سازی به میزان ۱۰۰ مرتبه، می باشند.

در نهایت با توجه ارسال های زمانبندی شده و رله ترافیک فرزندان به والدینشان، اسلات درخواستی SSها به روز میشود. این روند تا هنگامی که اسلاتهای مورد نیاز تمام نودها تخصیص داده شود، تکرار میشود.

۴- شبیه سازی

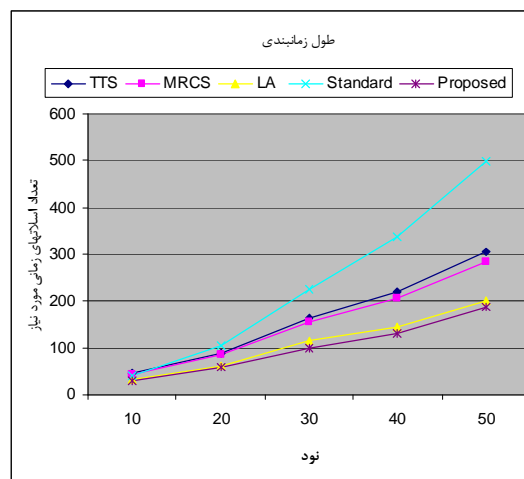
پایه سازی الگوریتم پیشنهادی، در محیط Matlab انجام شده است. کارایی این الگوریتم، با الگوریتمی که در استاندارد 802.16، بطور ضمنی، در غالب یک مثال آورده شده است و الگوریتمهای موجود در این زمینه، همچون [8] TTS، [9] LA، [10] MR-CS، مقایسه شده است. معیارهای ارزیابی کارایی، طول زمانبندی (تعداد اسلاتهایی که برای پاسخ به ترافیک درخواستی تمام SSها نیاز است)، سربار سوئیچینگ می باشند.

۴-۱- شرایط شبیه سازی

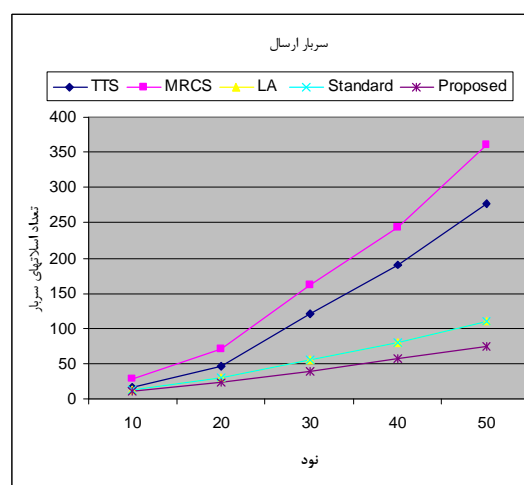
برای شبیه سازی همبندی تصادفی در یک مربع $L * L$ ایجاد شده است، که در آن $L = d\sqrt{n}/2$ است. n تعداد SSها و d شعاع ارسال یک نود است. BS در مرکز این ناحیه می باشد. مشابه این رابطه که در آن مساحت ناحیه مورد نظر متناسب با تعداد SSها و شعاع ارسال آنها در نظر گرفته میشود، در کارهای قبلی بکار گرفته شده است. پارامترهای مورد استفاده در شبیه سازی در جدول ۱ آورده شده اند.

مراجع

- [1] IEEE Std 802.16-2004, IEEE standard for local and metropolitan area networks part 16: air interface for fixed broadband wireless access systems, Oct. 1, 2004.
- [2] T. Salonidis and L. Tassiulas, "Distributed dynamic scheduling for end-to-end rate guarantees in wireless adhoc networks", ACM MobiHoc, pp. 145–156, 2005.
- [3] M. Kodialam and T. Nandagopal, "Characterizing achievable rates in multihop wireless networks: The joint routing and scheduling problem", ACM MobiCom, 2003.
- [4] M. Kodialam and T. Nandagopal, "Characterizing achievable rates in multihop wireless mesh networks with orthogonal channels", IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 13 Issue 4, pp. 868–880, 2005.
- [5] L. Fu, Zh. Cao, P Fan, "Spatial reuse in IEEE 802.16 based wireless mesh networks", IEEE ISCT, Vol. 2, pp. 1358-1361, 2005
- [6] H. Wei, S. Ganguly, R Izmailov and Z Haas, "Interference-aware IEEE 802.16 WiMax mesh networks", IEEE VTC, vol.5, pp. 3102-3106, , 2005.
- [7] J. Tao, F. Liu, Zh. Zeng and Zh. Lin, "Throughput Enhancement in WiMax Mesh Networks Using Concurrent Transmission", IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, Vol.2, pp. 871 – 874, 2005.
- [8] B. Han, W. Jia and L. Lin, "Performance evaluation of scheduling in IEEE 802.16 based wireless mesh networks", ACM Computer Communications, Vol. 30, Issue 4, pp.782–792, 2007.
- [9] D. Kim and A. Ganz, "Fair and efficient multihop scheduling algorithm for IEEE 802.16 BWA systems", IEEE Broadnets, Vol.2, pp. 833 - 839, 2005.
- [10] Y. Cao, Zh. Liu, Y. Yang, "A Centralized Scheduling Algorithm based on Multi-path Routing in WiMAX Mesh Network", IEEE WiCOM, 2006.



شکل ۳: طول زمانبندی در الگوریتم‌های مختلف



شکل ۴: سربرار سوئیچینگ در الگوریتم‌های مختلف

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله الگوریتم جدیدی برای زمانبندی متمرکز در مد مش استاندارد 802.16 ارائه شد. الگوریتم پیشنهادی بطور همزمان spatial reuse و مدل کامل تداخل را در نظر گرفته و با توجه به سربرار سوئیچینگ، تعداد ارسال‌های نودهای شبکه را در فریم تعیین می‌کند. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که طول زمانبندی در الگوریتم پیشنهادی از ۸ درصد تا ۵۰ درصد بهبود می‌یابد.