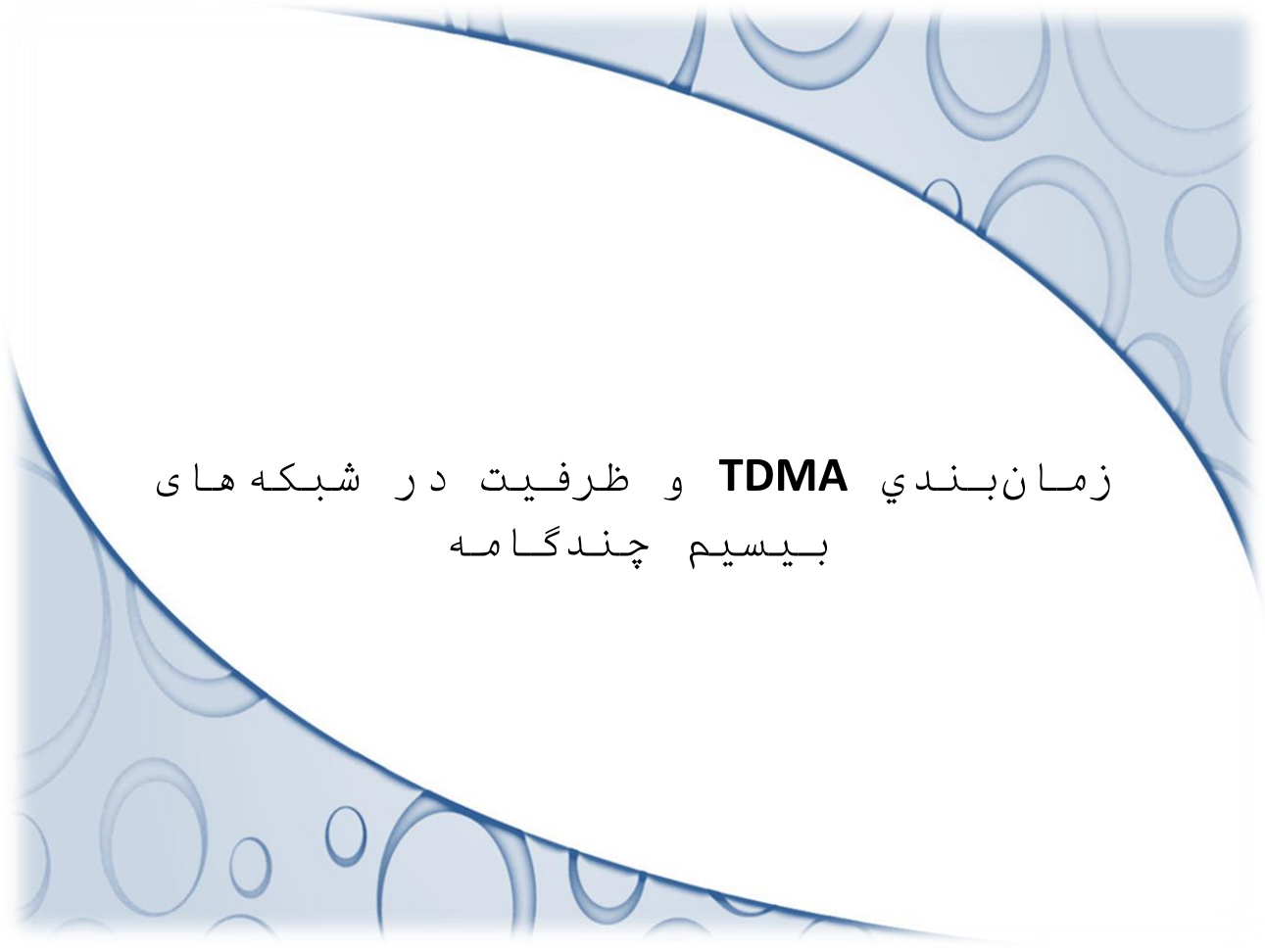


بسم الله الرحمن الرحيم



زمان‌بندی TDMA و ظرفیت در شبکه‌های بیسیم چندگانه

۸. زمانبندی TDMA و ظرفیت در شبکه‌های بیسیم چندگانه

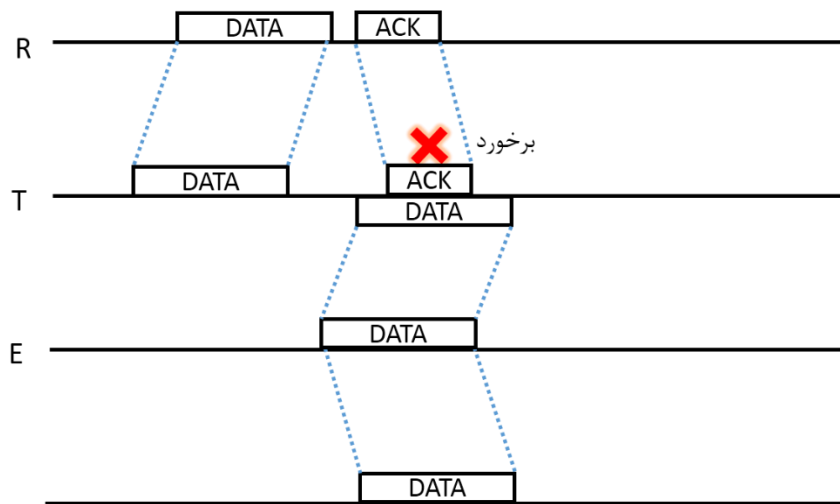
اهداف بخش

- کسب مهارت در تخصیص روزه زمانی به شبکه‌های زنجیری
- محاسبه ظرفیت شبکه‌های با توپولوژی زنجیری

۱، ۸. مقدمه

همانطور که دیدیم، در نحوه تعیین دسترسی گره‌ها به رسانه بیسیم باید مسئله گره پنهان و آشکار مدنظر قرار گیرد. گره پنهان نباید همزمان با فرستنده‌ی لینک ارسال کند در حالی که گره آشکار می‌تواند همزمان به ارسال پردازد. در این بخش قبل از بررسی روش‌های دسترسی تصادفی قصد داریم زمانبندی TDMA لینک‌های شبکه چندگانه را مورد بررسی قرار دهیم و سپس در بخش آینده به زمانبندی به روش دسترسی تصادفی برای این گونه شبکه‌ها خواهیم پرداخت. باید توجه داشت که وظیفه الگوریتم MAC در واقع چیزی جز زمانبندی ارسالها روی کانال نیست. از این رو، کلمه زمانبندی اطلاق عام برای MAC محسوب می‌گردد.

گفتیم که گره آشکار در معرض فرستنده و پنهان از گیرنده است؛ بنابراین می‌تواند همزمان با فرستنده اقدام به ارسال نماید. حال اگر در ارتباط بین دو گره پس از ارسال داده قرار باشد بسته ACK پس فرستاده شود، دیگر گره آشکار نمی‌تواند به ارسال خود ادامه دهد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می‌شود، بسته ACK که روی لینک $R \rightarrow T$ ارسال می‌شود در محل فرستنده (T) با سیگنال گره E دچار برخورد خواهد شد. عبارت دیگر گره آشکار برای لینک TR (که حامل داده است)، برای لینک معکوس RT (که حامل ACK است)، در نقش گره پنهان ظهور می‌کند.

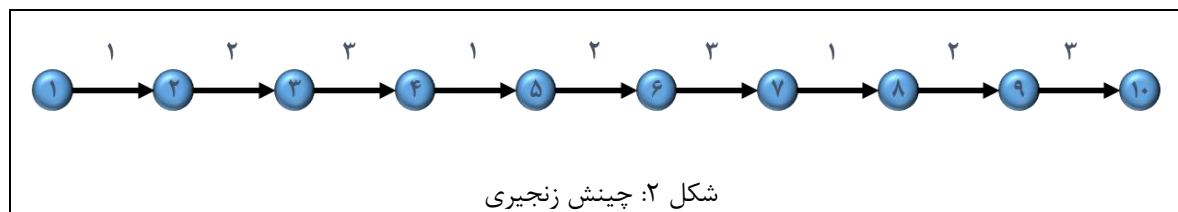


شکل ۱: برخورد داده گره آشکار (E) با ACK لینک TR

در چنین شرایطی عملی‌ترین راهکار اینست که با گره آشکار همچون گره پنهان برخورد شود و از ارسال آن جلوگیری بعمل آید. البته بهره‌گیری از مکانیسم شنود حامل خودبخود منجر به ساکت ماندن گره آشکار و جلوگیری از بروز برخورد با ACK خواهد شد. اما باید اتلاف ظرفیت کانال بدلیل عدم ارسال گره آشکار را پذیرفت.

۸.۱.۱. چینش زنجیری

نخستین مثال از زمانبندی لینک‌ها را برای یک شبکه چندگامه که از کنار هم قرار گرفتن تعدادی گره بیسیم در امتداد یک خط بوجود می‌آید آغاز می‌کنیم. اینگونه چینش مثلاً در شبکه‌های بین خودرویی هنگامی که خودروها در طول یک اتوبان در حال حرکتند بوجود می‌آید. بعنوان مثالی دیگر می‌توان به دوربین‌های ترافیکی کنار جاده‌ای اشاره نمود که برای ارتباط با مرکز کنترل، هر یک ترافیک دیگری را به عقب حمل می‌کند. شکل زیر مثالی از چینش زنجیری (یا خطی) شامل ۱۰ گره را نشان می‌دهد.



در اینجا فرض شده هر گره تنها در محدوده برد گره‌های مجاورش قرار دارد و ناحیه تداخل هر گره هم محدود به همین گره‌های مجاور است. همچنین جهت حمل ترافیک هم مطابق فلش از چپ به راست فرض شده است. آخرین گره سمت راست یک دروازه است که به شبکه خارجی متصل است و مقصد تمامی بسته‌ها می‌باشد.

اکنون می‌خواهیم به هر لینک یک روزنه زمانی اختصاص دهیم که هم بسته داده خود را در آن ارسال کند و هم ACK آن را پس بگیرد. برای این کار به حداقل ۳ روزنه زمانی احتیاج خواهیم داشت. شکل فوق روزنه‌های زمانی اختصاص یافته به هر لینک را در بالای آن لینک نشان می‌دهد. طبق زمانبندی ارائه شده هیچ گره پنهان یا آشکاری همزمان با فرستنده‌ی لینک فعال نخواهد بود. اگر ظرفیت تکنولوژی بیسیم بکار رفته یا درحقیقت همان نرخ بیت هر لینک برابر C bps باشد، در این صورت با توجه به تقسیم‌بندی زمان به سه روزنه زمانی، بطور متوسط به هر لینک ظرفیتی برابر $C/3$ bps اختصاص خواهد یافت.

برای مشاهده پویانمایی اینجا کلیک کنید



جهت انجام خودآزمایی کلیک کنید



جهت انجام خودآزمایی کلیک کنید



خودآزمایی قبل نشان می‌دهد که زمانبندی اعمال شده بهینه نیست، زیرا ۸۹٪ ظرفیت لینک ۱۲، ۷۸٪ ظرفیت لینک ۲۳ و به همین ترتیب بخش قابل توجهی از ظرفیت سایر لینکها را بهدر می‌دهد. این زمانی است که می‌شد در آن ترافیک ارسال نمود اما در شرایط موجود بدون استفاده باقی می‌ماند. در واقع با زمانبندی ایجاد شده در کل 1.33C از مجموع ظرفیت 3C تمامی ۹ لینک خالی می‌ماند؛ یعنی اتلاف ظرفیتی برابر ۴۴٪ در طول زنجیر!

برای رفع این مشکل، بهتر است تا به هر لینک تنها به اندازه‌ی نیاز آن ظرفیت تخصیص داد. بهترین حالت آنست که کلیه روزنه‌های زمانی اختصاص داده شده به یک لینک هیچگاه خالی نمانند و بهره‌وری تمام لینکها برابر ۱ شود. برای این منظور کفایت روزنه‌های زمانی را کوچکتر بگیریم و به هر لینک متناظر با ترافیک عبوری‌اش روزنه اختصاص دهیم.

همانطور که دیدیم هیچ سه لینک متوالی نمی‌توانند روزنه‌های مشترک داشته باشند. بیشترین ترافیک عبوری نیز متعلق به سه لینک آخر یعنی ۸-۷، ۹-۸ و ۱۰-۹ است که هر یک بترتیب برابر ۷λ، ۸λ و 9λ می‌باشد. بنابراین در مجموع به $9+8+7=24$ روزنه‌های نیاز داریم. با توجه به ترافیک عبوری روی هر لینک، درمی‌یابیم که لینک ۲-۱ تنها یک روزنه زمانی نیاز دارد. به همین ترتیب برای لینکهای بعدی میزان ترافیک عبوری و تعداد و شماره‌ی روزنه‌های اختصاص یافته در جدول زیر فهرست گردیده است. مشاهده می‌شود که با این زمانبندی بهره‌وری تمام لینکها برابر ۱۰۰٪ خواهد شد.

Link	1->2	2->3	3->4	4->5	5->6	6->7	7->8	8->9	9->10
Traffic	λ	2λ	3λ	4λ	5λ	6λ	7λ	8λ	9λ
Timeslots	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Timeslot Index #	1	2,3	4,5,6	1,7,8,9	2,3,10,11,12	4,5,6,13,14,15	1,7,8,9,16,17,18,19	2,3,10,11,12,20,21	4,5,6,13,14,15,22,23,24

جهت انجام خودآزمایی کلیک کنید



خلاصه بخش

- در چینش زنجیری هیچ سه لینک متوالی نمی‌توانند روزه زمانی مشترک داشته باشند.
- بهترین حالت زمانبندی آنست که کلیه روزه‌های زمانی اختصاص داده شده به یک لینک هیچ‌گاه خالی نمانند.
- باید به هر لینک، متناظر با ترافیک عبوری‌اش روزه اختصاص دهیم.

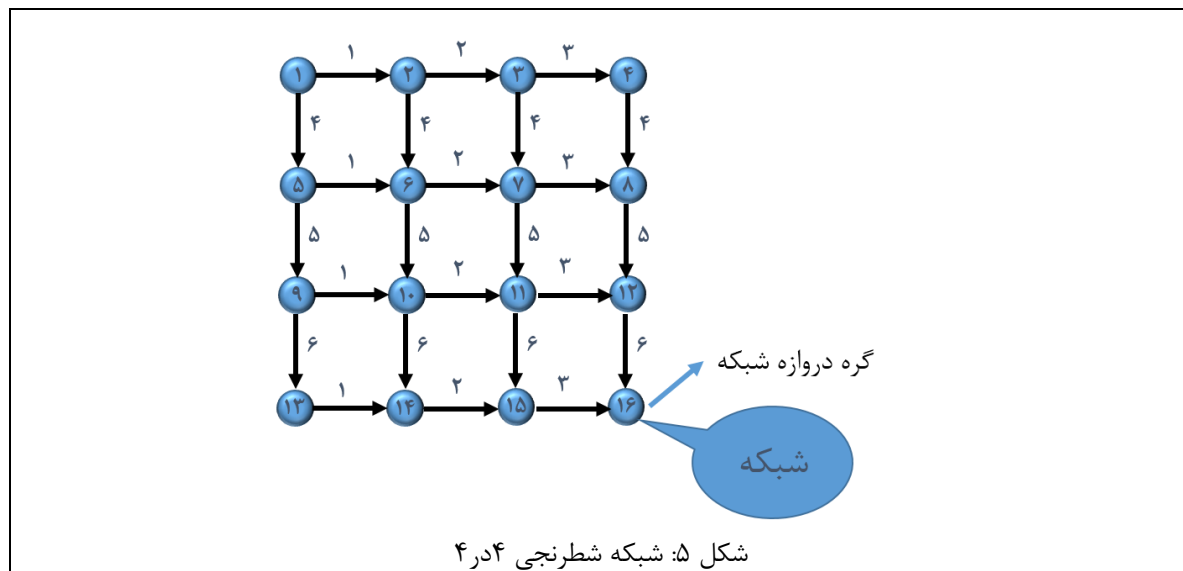
۲، ۸. چینش شطرنجی

اهداف بخش

- کسب مهارت در تخصیص روزنه زمانی به شبکه‌های شطرنجی
- محاسبه ظرفیت شبکه‌های با توپولوژی شطرنجی

اکنون شبکه شطرنجی زیر را با ابعاد 4×4 گره در نظر بگیرید. این شبکه در کل دارای ۱۶ گره است که گره گوشه پایین سمت راست نقش دروازه دارد و تمامی ترافیک به سوی آن رله می‌شود. بازهم برآنیم تا زمانبندی مناسبی برای شبکه فوق بدست آوریم. فعلا میزان ترافیک عبوری مدنظر نیست و کافیت به هر لینک یک روزنه اختصاص دهیم.

برای تغییر ذائقه فرض می‌کنیم که سیر ارسال بسته و دریافت ACK طی هر روزنه زمانی بصورت سنکرون انجام میشود؛ بدین معنی که با آغاز روزنه زمانی ابتدا یک بسته داده با طول ثابت و بلافاصله در انتهای آن بسته ACK بر میگردد. در چنین شرایطی، گره آشکار مزاحم ACK نخواهد شد و میتواند همزمان فعالیت کند.



بعنوان نمونه، لینک ۱→۲ را در نظر بگیرید، گره‌های پنهان این لینک شامل ۳ و ۶ و گره آشکار آن تنها ۵ است. همچنین ۲ نمی‌تواند طی فعالیت ۱→۲ ارسال کند. البته گره آشکار ۵ مزاحمتی برای ACK برگشتی از ۲ به ۱ ایجاد نمی‌کند چون همزمان با ACK برگشتی خودش (به ۵) خواهد شد. بنابراین ۵ می‌تواند همزمان با فعالیت لینک ۱→۲ اقدام به ارسال بسته نماید. اگر برای همه لینکها به همین ترتیب عمل کنیم، می‌توان روزنه‌های زمانی را مطابق برچسب هر لینک نشان داده شده در شکل فوق، اختصاص داد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مجموع تنها به ۶ روزنه احتیاج داریم که در نتیجه ظرفیت هر لینک برابر $C/6$ خواهد شد. البته این تنها شیوه‌ای نیست که می‌توان روزنه‌های زمانی را بین لینکها توزیع نمود.

برای مشاهده پویانمایی اینجا کلیک کنید.



تمامی لینکهایی که نمی‌توانند با یکدیگر همزمان فعال باشند را متعلق به یک قلمرو برخورد (Collision Domain) یا قلمرو تداخل (Interference Domain) می‌نامند. ظرفیت C در حقیقت متعلق به تمامی لینکهای یک قلمرو برخورد (یا تداخل) است که الگوریتم زمانبندی آنرا بین لینکها تقسیم می‌کند. بعلاوه، در هر لحظه تنها یک لینک می‌تواند در یک قلمرو برخورد فعال باشد. همچنین یک لینک ممکن است متعلق به بیش از یک قلمرو برخورد باشد.

پویانمایی از تعلق به بیش از یک قلمرو برخورد

برای مشاهده پویانمایی اینجا کلیک کنید.



بین ابعاد قلمرو برخورد و فاصله استفاده مجدد از فرکانس رابطه نزدیکی برقرار است. هر چه فاصله استفاده مجدد از یک فرکانس کوچکتر باشد، ابعاد قلمرو برخورد نیز کوچکتر می‌شود. همچنین هر چه ابعاد یک قلمرو برخورد بزرگتر باشد، ظرفیت آن (C bps) در مساحت بزرگتری پخش می‌شود و در نتیجه ظرفیت بر واحد سطح برحسب bps/m^2 کاهش می‌یابد. در آخر، کل ظرفیت جابجایی ترافیک در کل شبکه متناظر است با تعداد قلمروهای برخورد آن.

پویانمایی از رابطه فاصله استفاده مجدد از فرکانس و ابعاد قلمرو برخورد

برای مشاهده پویانمایی اینجا کلیک کنید.



پویانمایی از رابطه ظرفیت بر واحد سطح و تعداد و ابعاد قلمروهای برخورد

برای مشاهده پویانمایی اینجا کلیک کنید.



جهت انجام خودآزمایی کلیک کنید.



پویانمایی از پاسخ به خودآزمایی بالا

برای مشاهده پویانمایی اینجا کلیک کنید.



جهت انجام خودآزمایی کلیک کنید



خلاصه بخش

- تمامی لینک‌هایی که نمی‌توانند با یکدیگر همزمان فعال باشند را متعلق به یک قلمرو برخورد (Collision Domain) یا قلمرو تداخل (Interference Domain) می‌نامند.
- هرچه فاصله استفاده مجدد از یک فرکانس کوچکتر باشد، ابعاد قلمرو برخورد نیز کوچکتر می‌شود.
- هرچه ابعاد یک قلمرو برخورد بزرگتر باشد، ظرفیت آن (C bps) در مساحت بزرگتری پخش می‌شود و در نتیجه ظرفیت بر واحد سطح برحسب bps/m^2 کاهش می‌یابد.

۳, ۸. رابطه زمانبندی، ظرفیت و مسیریابی

اهداف بخش

- درک تأثیر متقابل زمانبندی، ظرفیت و مسیریابی

جهت انجام خودآزمایی کلیک کنید



همان‌طور که در خودآزمایی فوق ملاحظه نمودید، نحوه مسیریابی و توزیع ترافیک تأثیر مستقیم بر زمانبندی دارد. از طرف دیگر، زمانبندی در واقع ظرفیت هر لینک را تعیین می‌کند؛ و ظرفیت، خود بر مسیریابی تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین زمانبندی نیز بر مسیریابی تأثیر خواهد گذاشت.

رابطه متقابل و تنگاتنگی بین زمانبندی و مسیریابی وجود دارد که عنصر ارتباط دهنده‌ی این دو همان ظرفیت است.

از همین رو بهتر است که حل مسئله مسیریابی و زمانبندی تواما انجام شود تا بیشترین ظرفیت برای شبکه حاصل گردد. البته حل توام این دو مسئله در حالت کلی مشکل و جزو دسته مسائل NP-hard است. به همین دلیل اغلب ابتدا یکی را حل می‌کنیم و سپس با استفاده از آن سراغ حل دومی می‌رویم.

برای مثال می‌توان ابتدا مسئله مسیریابی را بدون محدودیت ظرفیت حل نمود. اکنون توزیع ترافیک بر روی لینکها مشخص است و ظرفیت هر لینک باید حداقل برابر با ترافیک عبوری از آن تعیین شود. برای این منظور مسئله زمانبندی باید به گونه‌ای حل شود که به ظرفیت مورد نیاز برسیم. اگر چنین زمانبندی مقدور نباشد، باید دوباره مسیریابی را تغییر داد و به همین صورت کار را تکرار نمود تا به پاسخ قابل قبول برسیم.

در حالت دیگر، می‌توان ابتدا مسئله زمانبندی را فارغ از اینکه چه توزیع ترافیکی بر شبکه حاکم است حل نمود. سپس با داشتن ظرفیت لینکها، اقدام به مسیریابی مبتنی بر ظرفیت موجود نمود. اگر برای یک ارتباط هیچ مسیری پیدا نشد، باز باید زمانبندی را تغییر داد و دوباره اقدام به مسیریابی نمود.

خلاصه بخش

- رابطه متقابل و تنگاتنگی بین زمانبندی و مسیریابی وجود دارد که عنصر ارتباط دهنده‌ی این دو همان ظرفیت است.

