دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

مدل زمانبندی عادلانهٔ جریان‌های داده در شبکه‌های چندگامی بی‌سیم اقتضائی

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر- معماری کامپیوتر

حمید رضا سالاریان

استاد راهنما
دکتر پژمان خدیوی

تیرماه ۱۳۸۷

تقدیم به

مادر عزیز و مهربانم

او که را ستی قامتم در شکستگی قامتش تجلی یافت.

در برابر وجود گرامیش زانوی ادب بر زمین می نهم و با دلی مملو از عشق و محبت بر دست پرمهرش بوسه می‌زنم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و
نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به
دانشگاه صنعتی اصفهان است.
این پایان نامه با حمایت مادی و معنوی
مرکز تحقیقات مخابرات ایران
به انجام رسیده است.

تشکر و قدردانی

از دست و زبان که برآید کز عهده شکرش به در آید

حمد و سپاس بی‌پایان از آنّ خالق یکتاست که اندک داشته و اندوخته ناچیز خود را مرهون لطف و مرحمت بی کران او می‌باشم. پس از تواضع در برابر آستان حضرت دوست، لازم می‌دانم از خانواده عزیزم، بخصوص مادر مهربانم و برادرم شکرا.. به خاطر زحمات بی‌دریغشان صمیمانه تشکر کنم.

از استاد ارجمند و بزرگوار، جناب آقای دکتر پژمان خدیوی، استاد راهنمای پایان نامه، که با عشق و علاقه مرا در انجام این امر یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌نمایم و از ایزد منان سلامتی و بهروزی را برای ایشان خواستارم.

ازاستاد مشاور پایان نامه، جناب آقای دکتر حسین سعیدی ، که با دقت و با صبر و حوصله فراوان همچون چند سال شاگردی در محضر ایشان تجربیات ارزشمند خود را در اختیار اینجانب قرار دارند تشکر می‌نمایم.

از استاد محترم، جناب آقای دکتر دوست حسینی که هم به عنوان سرپرست تحصیلات تکمیلی و هم به عنوان داور برای به انجام رسیدن این پایان نامه زحمت زیادی را متحمل شدند تشکر فراوان دارم.

از اساتید محترم، جناب آقای دکتر جمالالدین گلستانی و جناب آقای دکتر مهمدی مهدوی که زحمت داوری این پایان‌نامه را بر عهده گرفتند و با راهنمایی‌های خود کمک ارزشمندی در تکمیل و بهبود این پایان نامه داشتند نیز تشکر فراوان دارم.

همچنین از سرکار خانم نکویی به‌خاطر زحمات بی‌شائبه ایشان در طی این دوره کمال تشکر و قدردانی را به عمل می‌آورم.

از کلیه دوستان عزیز که دوران خوشی را در کنار آنها گذراندم و افتخار آشنایی با آنها را داشتم، تشکر می کنم و از خداوند متعال، سلامتی و بهروزی همه این عزیزان را خواستارم.

حمید رضا سالاریان

تابستان ۱۳۸۷

دانشگاه صنعتی اصفهان

فهرست مطالب

عنوان ..... **صفحه**

فهرست مطالب ..... هشت

چکیده ۱

فصل اول: مقدمه

۱-۱. مقدمه ۲

۱-۲. طرح مسأله ۵

۱-۳. ساختار پایان نامه ۷

فصل دوم: مروری بر مبانی شبکه‌های بی‌سیم

۲-۱. مبانی ارتباط بی‌سیم ۸

۲-۲. لایهٔ MAC در استاندارد IEEE 802.11 ..... ۱۰

۲-۳. شبکه‌های بی‌سیم چندگامی ۱۳

۲-۴. شبکه‌های اقتضائی ۱۴

۲-۵. مدل ریاضی شبکه‌های اقتضائی ۱۵

۲-۶. بررسی وطایف لایهٔ شبکه در شبکه‌های اقتضایی چندگامی ۱۷

۲-۷. مدل‌های منصفانه ۲۱

۲-۸. خلاصه ۲۴

فصل سوم: مروری بر مدل‌های منصف در لایهٔ شبکه

۳-۱. مقدمه ۲۵

۳-۲. بررسی مسأله ۲۶

۳-۳. تابع رضایت‌مندی ۳۰

۳-٤. تقسیم بندی جریان‌ها بر اساس آدرس مبدأ ۳۱

۳-۵. تقسیم بندی جریان‌ها بر اساس تعداد گره باقی مانده تا مقصد ۳۶

۳-٦. اولویت بندی وزن‌دار بر اساس تعداد گره‌های باقی مانده تا مقصد و فاصلهٔ طی شده از مبدأ (WHP) ۴۰

۳-۷. الگوریتم QMMN ۴۵

۳-۸. خلاصه ۵۰

فصل چهارم: الگوریتم زمانبدی HBPQ

٤-۱. مقدمه ۵۲

۴-۲. مشخصات گره‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی ۵۳

۴-۳. اولویت دادن به جریان‌های دارای تأخیر بیشتر..... ۵۵
۴-۴. الگوریتم HBPQ..... ۵۹
۴-۶. ارزیابی عملکرد روش زمانبندی HBPQ..... ۶۳
۴-۷. خلاصه..... ۶۴

فصل پنجم: ارزیابی کارایی الگوریتم HBPQ

۵-۱. شبیه‌سازی ۶۶
۵-۱-۱. شبیه‌سازی برای شبکهٔ با ۱۰ گره ۶۷
۵-۱-۲. شبیه‌سازی برای شبکه با ۳۰ گره ۷۴
۵-۲. خلاصه ۸۱

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

۶-۱: مروری بر مطالب ارائه شده در پایان‌نامه ۸۲
۶-۲. نتیجه‌گیری ۸۴
۶-۳. پیشنهادات ۸۵

مراجع .....

۹۲

چکیده

یکی از مسائل حیاتی در شبکه‌های اقتضائی بی‌سیم چندگامی، توزیع منصفانهٔ پهنای باند موجود بین گره‌های مختلف است. علی‌رغم تحقیقات زیاد انجام شده، در جهت توزیع عادلانهٔ پهنای باند در شبکه‌های تک‌گامی، مطالعات اندکی بر روی ارائهٔ یک مدل منصف برای شبکه‌های چندگامی انجام شده است. یک گره در شبکه‌های بی‌سیم چندگامی، باید علاوه بر ارسال ترافیک خود، ترافیک بازپخشی را نیز ارسال نماید. از این‌رو در هر گره، علاوه بر وجود رقابت با سایر گره‌ها برای ارسال داده به یک مقصد خاص، رقابت بین ترافیک خود گره و ترافیک باز پخشی، در لایهٔ شبکه، امری اجتناب ناپذیر است. بنابراین، زمانبندی منصفانهٔ جریان‌های دادهٔ ورودی به لایهٔ شبکهٔ یک گره، امری ضروری است. در این پایان‌نامه، برای حل مشکل زمابندی جریان‌های دادهٔ فعال در شبکه‌های چندگامی بی‌سیم اقتضائی، الگوریتمی منصفانهٔ جهت توزیع منابع گره بین جریان‌های مختلف، ارائه می‌گردد. هدف اصلی این روش زمانبندی که HBPQ(History Based Priority Queuing) نامیده می‌شود، جلوگیری از ایجاد قحطی‌زدگی برای هر یک از جریان‌های فعال در شبکه است. این روش زمانبندی تلاش می‌کند تا میزان رضایت‌مندی کاربران شبکه به هم نزدیک گردد. برای سنجش میزان رضایت‌مندی هر کاربر، از یک تابع رضایتمندی استفاده می‌شود. برای تعریف این تابع، کارایی و فاصلهٔ بین مبدأ و مقصد جریان، در نظر گرفته شده است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد، در هنگام استفاده از روش HBPQ، هر جریان متناسب با فاصلهٔ بین مبدأ و مقصد خود، از یک کارایی نسبی برخوردار می‌گردد.

فصل اول

مقدمه

۱ ـ۱. مقدمه

شبکه‌های ارتباطی امروزی، سیستم‌هایی بسیار پیچیده هستند. شبکه‌های تلفن عمومی[۱] (PSTN) و شبکه‌های ارتباط داده‌ای[۲]، بسیاری از کشورهای جهان، فرهنگ‌ها و زبان‌ها را به هم متصل کرده است. شبکه‌های بی‌سیم، تنها بخشی کوچک از این سیستم ارتباطی پیچده هستند. در سال ۱۸۹۵، کمی پس از اختراع تلفن، اولین ارتباط رادیوئی توسط مارکونی[۳] برقرار شد و بعد از آن، ارتباط رادیوئی به سرعت به سمت برقراری ارتباط در دامنهٔ وسیع‌تر، با کیفیت بهتر، توان مصرفی کمتر، توسط ابزارهای مخابراتی کوچک‌تر و ارزان‌تر، شروع به پیشرفت کرد تا حدی که شبکه‌های رادیوئی عمومی و خصوصی، تلویزیون و شبکه‌های انتقال دادهٔ بی‌سیم به صورت امروزی به وجود آمدند. شبکه‌های بی‌سیم قادرند نوت‌بوک‌ها[۴] و تجهیزات قابل حمل[۵] بی‌سیم را در داخل یک ساختمان، بدون نیاز به سیم، به هم متصل کرده و امکان برقراری ارتباط بین آنها را فراهم سازند [۱]. امروزه، یکی از زمینه‌های پویا و پرکار در شبکه‌های کامپیوتری، ارتباطات بی‌سیم است. اگرچه مطالعه بر روی این‌گونه شبکه‌ها از سال ۱۹۶۰ شروع شده است ولی دههٔ گذشته شاهد پیشرفت قابل توجهی در زمینهٔ تحقیقات و پیاده‌سازی شبکه‌های بی‌سیم بوده است. یکی از مهمترین دلایل پیشرفت این شبکه‌ها، رشد سریع تکنولوژی VLSI در این دوره بوده که این امکان را فراهم ساخته تا بتوان الگوریتم‌های پیچیدهٔ پردازش سیگنال و تکنیک‌های کدینگ را بر روی یک سطح کوچک پیاده‌سازی کرد [۲].

---

[1] Public Switching Telephone Network
[2] Marconi
[3] Data Network
[4] Lap tops
[5] Portable Devices

انواع مختلفی از شبکه‌های بی‌سیم وجود دارد. یک نمونه از شبکه‌های بی‌سیم رایج، شبکه‌های سلولی[۱] هستند. این نوع شبکه‌ها، تشکیل شده است از تعداد زیادی تلفن‌های سلولی[۲] یا مشترک و یک ایستگاه مرکزی[۳] که به شبکهٔ تلفن عمومی متصل است. مشترکین از طریق ایستگاه مرکزی با یکدیگر و شبکهٔ ثابت تلفن ارتباط برقرار می‌کنند. محدوده‌ای را که توسط ایستگاه مرکزی پوشش داده می‌شود یک سلول می‌نامند و در داخل یک سلول وظیفهٔ زمانبندی و جلوگیری از ایجاد برخورد بین ارتباطات بر عهدهٔ ایستگاه مرکزی است. اگرچه در این نوع از شبکه‌های بی سیم بیشتر ارتباطات از نوع صدا است و زمانبندی صدا به دلیل داشتن نرخ ارسال بیت ثابت و یکنواخت مشکل جدی را برای ایستگاه مرکزی ایجاد نمی‌کند، اما با افزایش تقاضا برای برقراری ارتباط داده‌ای در این شبکه‌ها، امروزه مهمترین چالش نسل سوم این شبکه‌ها، نحوهٔ مدیریت ارتباطات از نوع داده است. چرا که در ارتباطات داده‌ای نرخ ارسال بیت بر خلاف صدا ثابت و یکنواخت نیست و ماهیت انفجاری[۴] دارد [۱][۳].

نوع دیگر از شبکه‌های بی سیم، شبکه‌های بی‌سیم محلی یا (WLAN)[۵] هستند [۱]. نرخ ارسال بیت در این مدل از شبکه‌ها، نسبت به شبکه‌های سلولی بسیار بیشتر است. می توان شبکهٔ WLAN را شبیه یک سلول از شبکهٔ سلولی در نظر گرفت که در آن، تمام ارتباطات از طریق ایستگاه مرکزی سلول صورت می پذیرد. با استفاده از این شبکه می‌توان نوت بوک‌ها و سایر تجهیزات قابل حمل را در داخل یک ساختمان یا اداره، به هم متصل کرد. مهمترین استاندارد برای شبکه‌های WLAN خانوادهٔ 802.11 است [۴]. استانداردهای در سطح کوچکتر هم برای شبکه‌های WLAN وجود دارد مثل Bluetooth [۵] یا استاندارد جدید ارتباط بر اساس UWB[۶] [۶] که هدف آنها برقراری ارتباط بی‌سیم بین وسایل ارتباطی و استفاده کمتر از کابل و سیم در داخل یک اداره یا مرکز بزرگ است.

در برخی مواقع به دلیل نبود زیر ساخت ارتباطی ثابت مثل نقاط دسترسی یا مراکز سوئیچینگ موبایل کاربران شبکه‌های بی‌سیم قادر به برقراری ارتباط با هم نیستند. گاهی اوقات با وجود زیر ساخت ارتباطی، استفاده از آن بسیار هزینه‌بر و دسترسی به آن به سادگی امکان پذیر نیست. برای حل این مشکل، مشتریان برای برقرای ارتباط با یکدیگر به صورت شخصی و موقتی اقدام به برپایی یک شبکه می‌نمایند که به آن شبکهٔ اقتضائی بی‌سیم[۷] گفته می‌شود [۱][۷]. در شبکه‌های اقتضائی، گره مرکزی یا ایستگاه مرکزی وجود ندارد و همهٔ گره‌های شبکه شبیه به هم هستند. شبکه به صورت خودکار و از طریق لینک‌های ارتباطی بین گره‌ها و الگوریتم‌های کنترلی توزیع شده[۸]، خود را سازماندهی کرده و هر یک از گره‌ها نیز از طریق همین مسیرهای ارتباطی و الگوریتم‌های توزیع شده، جداول مسیریابی خود را توسعه داده و تکمیل می‌نمایند. به دلیل محدودیت بازهٔ ارسال و دریافت داده در شبکه‌های اقتضائی،

---

[1] Cellular Network
[2] Cellular Telephone
[3] Base Station
[4] Burst
[5] Wireless Local Area Network
[6] Ultra Wide Band communication
[7] Wireless Ad Hoc Network
[8] Distributed control algorithms

در این نوع از شبکه‌ها از روش چندگامی و مشارکتی برای انتقال داده‌ها و برقراری ارتباط بین گره‌ها استفاده می‌شود. بر این اساس، گره‌های میانی در مسیر انتقال داده به عنوان مسیریاب و ارسال کنندهٔ بسته‌های سایر گره‌ها، به خدمت گرفته می‌شوند.

مهمترین مزایای شبکه‌های اقتضائی عبارتند از :

- **بر اساس تقاضا شکل می‌گیرند و به هیچ طرح و نقشهٔ قبلی نیاز ندارند**.
- **باعث صرفه جویی در هزینهٔ راه‌اندازی و نگهداری شبکه می‌شوند**. این امر به دلیل نیاز نداشتن به یک ساختار ثابت است.
- **در برابر بروز خطا مقاوم هستند.** یک نقطهٔ حیاتی خطا در شبکه وجود ندارد و با وقوع خطا برای یک گره، ارتباط سایر گره‌ها آسیب نمی‌بیند به طوری که گره‌های دیگر به صورت پویا راه‌های مختلف دیگری برای ارتباط با هم پیدا می‌کنند.

به دلیل برپایی سریع شبکه‌های اقتضائی و قابلیت پیکربندی خودکار، می‌توان از این شبکه‌ها در ارتباطات نظامی، مواقع اضطراری (آتش سوزی یا زلزله) یا در هنگام برگزاری کنفرانس‌ها و اجتماعات استفاده کرد. در سال‌های اخیر، بسیاری از کشورها، سرمایه‌گذاری‌های زیادی بر روی شبکه‌های اقتضائی انجام داده‌اند. به عنوان مثال موسسهٔ صنعتی فدرال سوئیس[1] (EPFL)، یک پروژهٔ ۱۰ ساله را آغاز کرده است که هدف آن طراحی یک سیستم ارتباطی بی‌سیم خودکار است تا با استفاده از آن، شهروندان قادر باشند در هر لحظه از زمان و در هر مکانی، به صورت مستقیم با هم ارتباط داده‌ای بی‌سیم داشته باشند. بسیاری از محققین نیز در تلاش هستند تا پروتکل‌های ارتباطی تحت عنوان شبکه‌های اقتضایی چندگامی[2] را برپا نمایند.

کارهای تحقیقاتی که در حال حاضر بر روی شبکه‌های اقتضائی انجام می‌شود را می‌توان به چند دستهٔ تقسیم کرد:

- طراحی پروتکل‌های کنترل دسترسی واسط[3] که بتوان با استفاده از آنها، از ظرفیت شبکه حداکثر استفاده را به عمل آورد. در عین حال اینکه حداقل عدالت در توزیع پهنای باند بین مشترکین حفظ شود و هیچ مشترکی دچار قحطی زدگی[4] نگردد.

---

[1] Ecole Polytechnique Federal de Lausanne
[2] Multihop Ad Hoc Network (MANET) [3] Medium Access Control [4] Starvation

- ارائهٔ الگوریتم‌های توزیع شدهٔ مسیریابی در شبکه‌های اقتضائی که با استفاده از آنها، هر مشتری قادر باشد با توجه به تغییر زیاد پیکربندی شبکه، بسته‌ها را در کمترین زمان ممکن و از کوتاهترین مسیر موجود به سمت مقصد ارسال کند در حالی که کمترین ترافیک سربار و کنترلی را تولید کند.
- ارائهٔ الگوریتمی برای مدیریت جریان‌های داده در یک گره، در حالتی که از روش چندگامی برای برقرای ارتباط در شبکهٔ اقتضائی استفاده می‌شود، به منظور برقرای عدالت در توزیع منابع گره بین جریان‌های مختلف و کاهش زمان تاخیر در شبکه.

در این پژوهش بیشتر بر روی آخرین مورد تمرکز صورت گرفته است و تلاش می‌شود تا روش‌هایی مورد بررسی قرار گیرند که هدف آنها، ایجاد عدالت بین جریان‌های مختلف داده در یک گره می‌باشد.

۱ ۴. طرح مسأله

دستیابی به عدالت، یکی از مهمترین اهداف در شبکه‌های کامپیوتری است. هنگامی که منابع شبکه نتوانند پاسخگوی نیاز مشتریان باشند باید به صورتی عادلانه بین مشتربان تقسیم شوند. مدل ایده‌آل برای توزیع عادلانهٔ منابع در شبکه، استفاده از max-min fairness [۸] است که مطالعات زیادی بر روی پیاده‌سازی آن در شبکه‌های بی‌سیم صورت گرفته است. بر اساس این مدل، مشتریان به دو دسته تقسیم می‌شوند: یک دسته مشتریانی هستند که نیاز آنها به طور کامل توسط منابع شبکه برآورده نمی‌شود، که همهٔ این مشتریان به اندازهٔ مساوی از منابع بهره می‌برند. دستهٔ دوم، مشتریانی هستند که نیاز آنها کمتر از مقدار توزیع شده بین گره‌ها بر اساس عدالت است، از اینرو، این مشتریان هر کدام به همان اندازه که نیاز دارند از منابع بهره‌مند می‌شوند.

تحقیقات زیادی بر روی الگوریتم‌های توزیع عادلانهٔ پهنای باند در لایهٔ فیزیکی انجام شده است و نتیجهٔ آن هم استاندارد کنونی IEEE 802.11 برای شبکه‌های بی‌سیم است که که تا حدود زیادی عدالت را در سطح لایهٔ فیزیکی پیاده‌سازی می‌کند. اما به زودی نشان داده خواهد شد که این الگوریتم به هیچ عنوان قادر نیست در سطح لایهٔ شبکه، عدالت را بین جریان‌های مختلف داده در حالت چندگامی برقرار نماید.

یکی از راه حل‌هایی که ممکن است برای رفع این مشکل به کار گرفته شود، استفاده از پروتکل کنترل انتقال[1] (TCP) [۹] بر روی استاندارد IEEE 802.11 است. در حال حاظر استفاده از TCP بر روی شبکه‌های اقتضائی، موضوع بسیاری از تحقیقات را شامل می‌شود [۱۲-۱۰]. اما همهٔ ترافیک‌ها در شبکه‌های اقتضائی چندگامی، از نوع TCP نمی‌باشند و همچنین مشکل عدالت در لایهٔ شبکه باید در لایهٔ شبکه حل شود نه در لایهٔ پائین‌تر از آن.

---

[1] Transmission Control Protocol

در شبکه‌های اقتضایی چندگامی، هر گره باید علاوه بر تولید، ارسال و دریافت داده‌های خود، نقش مسیریاب یا سوئیچ را برای سایر گره‌های شبکه ایفا کند [۱]. ازاین رو در لایهٔ شبکهٔ هر گره باید از سیستم صف برای دریافت، پردازش و ارسال داده‌های سایر جریان‌های ورودی به گره و جریان دادهٔ تولیدی خود گره، استفاده کرد. در حالتی که ترافیک شبکه بالا است، انتخاب یک الگوریتم زمانبندی برای انتخاب بستهٔ مناسب از صف جهت پردازش و ارسال به لایهٔ فیزیکی، می‌تواند تأثیر زیادی بر روی کارایی کل شبکه و تغییر زمان تاخیر بسته‌ها داشته باشد.

یک الگوریتم زمانبندی مناسب در لایهٔ شبکه باید دارای خصوصیات زیر باشد:

- ایجاد صف‌های اولویت مناسب در لایهٔ شبکه، برای سرویس دهی اولویت دار به جریان‌های داده‌ای ورودی به این لایه.
- توزیع عادلانهٔ منابع گره بر اساس یک معیار عدالت منطقی و مطلوب، بین جریان‌های مختلف داده، بر اساس اولویت آنها.
- برقراری عدالت در سرویس‌دهی به جریان‌های ورودی به یک صف اولویت.
- قابلیت سازگاری با الگوریتم‌های مختلف مسیریابی و افزایش استفاده از حداکثر ظرفیت شبکه
- پایداری در شرایط بار ترافیکی زیاد و کاهش زمان تأخیر بسته‌ها در شبکه

به دلیل نوپا و جدید بودن این بحث در شبکه‌های بی‌سیم، روش‌های زیادی برای زمانبندی و ایجاد صف در لایهٔ شبکه برای شبکه‌های اقتضائی چندگامی ارائه نشده است. در این پژوهش با استفاده از شبیه سازی، به بررسی نقاط قوت و ضعف چند الگوریتم ارائه شده پیشین در این زمینه پرداخته می‌شود و نشان داده خواهد شد که هیچ یک از این الگوریتم‌ها، به نحوه و چگونگی سرویس‌دهی جریان‌های داده در داخل یک صف اولویت اشاره‌ای نکرده‌اند. با بررسی وپیشنهاد روش‌های جدید تلاش می‌گردد یک روش مناسب برای زمانبندی جریان‌های داده در لایهٔ شبکه ارائه گردد تا بتوان با استفاده از آن عدالت را بین تمام جریان‌های دادهٔ ورودی به یک گره بر اساس اولویت هر جریان و بر اساس یک معیار عدالت منطقی و مناسب، به نحو مطلوبی برقرار نمود. در این روش، از میزان ترافیکی که هر بسته در گره‌های قبلی در مسیر خود تجربه کرده است، به عنوان معیاری برای اولویت دادن به آن در داخل یک صف اولویت استفاده می‌شود که در واقع معیار عدالت برای زمانبندی جریان‌های مختلف داده است.

۱ ۳. ساختار پایان نامه

مطالب ارائه شده در فصول بعدی این پایان نامه به شرح زیر است:

در فصل دوم، مبانی کلی شبکه‌های بی‌سیم مورد بررسی قرار می‌گیرد و در ادامه به مشکلات موجود بر سر راه طراحی یک زمانبند ایده‌آل برای زمانبندی جریان‌های داده در این شبکه‌ها پرداخته می‌شود.

در فصل سوم ابتدا به صورت مدون و با استفاده از مدل‌های ریاضی به بیان مشکل موجود در شبکه‌های اقتضائی چندگامی اشاره می‌شود. سپس و در ادامه روش‌ها و الگوریتم‌های ارائه شدهٔ قبلی در زمینهٔ ایجاد صف‌های اولویت‌دار در لایهٔ شبکه برای مدیریت جریان‌های داده بر روی شبکه‌های اقتضائی چندگامی، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

در فصل چهارم، یک روش جدید برای مدیریت جریان‌های داده در داخل یک صف اولویت ارائه خواهد شد و جزئیات آن به طور دقیق و مفصل مورد بررسی قرار می‌گیرد. از مهمترین مزایای این روش نسبت به روش‌های قبلی زمانبندی جریان‌های داده، در نظر گرفتن تأخیر تجربه شده توسط هر جریان داده برای تعیین اولویت آن در داخل صف مربوط به خود است. چرا که در برخی مواقع چندین جریان داده با یک اولویت وارد یک صف خاص شده و ترتیب سرویس‌دهی به آنها اهمیت پیدا می‌کند.

در فصل پنجم با استفاده از شبیه‌ساز OPNET [۱۳]، الگوریتم ارائه شدهٔ جدید با الگوریتم‌های پیشین مقایسه شده است. در این فصل، یک تابع رضایت‌مندی تعریف و بر اساس آن چند الگوریتم مختلف زمانبندی جریان‌های داده، با هم مقایسه می‌شوند. همچنین این الگوریتم‌ها با استفاده از چند معیار مهم مثل ایجاد تأخیر برای بسته‌های ارسالی در شبکه، نیز مورد مقایسه قرار می‌گیرند.

در پایان و در فصل ششم، به طور خلاصه یک نتیجه‌گیری کلی از پژوهش انجام شده ارائه می‌گردد و سپس موضوعاتی بیان می شود که می تواند مبنای تحقیقات آینده قرار گیرد.

فصل دوم
مروری بر مبانی شبکه‌های بی‌سیم

در این فصل، ابتدا به مبانی ارتباط بی‌سیم و استاندارد IEEE 802.11 اشاره می‌شود. در ادامه، به شبکه‌های بی‌سیم چندگامی پرداخته خواهد شد و سپس، مدل ریاضی شبکه‌های اقتضائی بی‌سیم چندگامی مورد بررسی قرار می‌گیرد. در بخش بعدی، وظایف لایهٔ شبکهٔ یک گره، در شبکه‌های اقتضائی بی‌سیم چندگامی، بر شمرده شده و به نقش مهم این لایه در توزیع عادلانهٔ منابع یک گره، بین جریان‌های مختلف وارد شده به آن در حالت چندگامی، اشاره می‌گردد. در قسمت بعدی، معیارهای یک الگوریتم زمانبندی عادلانهٔ جریان‌های فعال در یک شبکهٔ اقتضائی بی‌سیم مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته و به ویژگی‌های یک الگوریتم زمانبندی خوب اشاره می‌شود. سپس به بیان مدل توزیع منابع بر اساس max-min اشاره شده و به بررسی مزایای آن پرداخته می‌شود. در پایان یک نتیجه‌گیری از مطالب مطرح شده در این فصل ارائه می‌گردد.

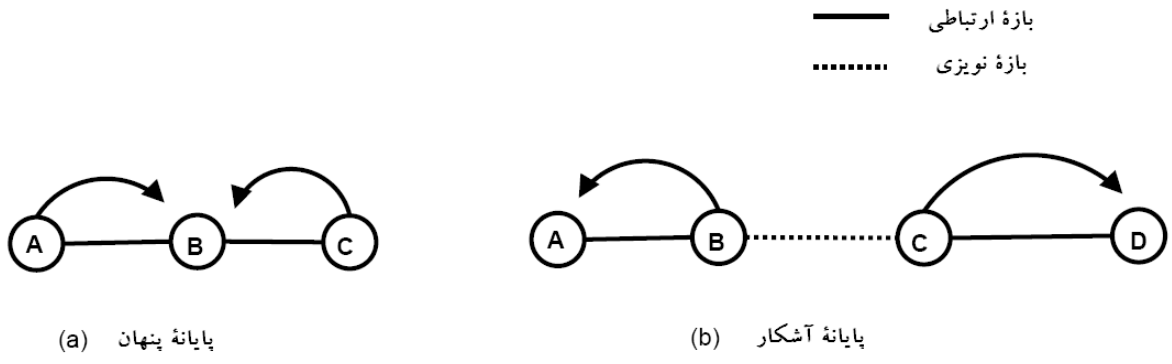
۲ ـ۱. مبانی ارتباط بی‌سیم

در این بخش به مبانی و اصول یک ارتباط بی‌سیم اشاره می‌گردد. شبکه‌های بی‌سیم، مدلی از شبکه هستند که در آن ارتباط بین گره‌ها بدون استفاده از کانال یا فیبرنوری صورت می‌گیرد. در مدل کردن شبکه‌های بی‌سیم، از دو بازهٔ ارتباطی[1] و نویزی[2] استفاده می‌شود [۱]. هنگامی که یک گره در بازهٔ ارتباطی یک فرستنده قرار دارد، قادر است سیگنال ارسالی از فرستنده را با اطمینان از صحت و درستی پیام، دریافت نماید. وقتی گیرنده خارج از محدودهٔ

[1] Transmission range
[2] Interference range

ارتباطی فرستنده است ولی در بازهٔ نویزی آن قرار دارد، قادر است سیگنال ارسالی از طرف فرستنده را تشخیص دهد ولی نمی‌تواند آن را دریافت کند. علاوه بر این ممکن است فرستنده باعث ایجاد اختلال در دریافت پیام توسط گیرنده از یک فرستندهٔ دیگر گردد. اگر گیرنده خارج از محدودهٔ نویزی فرستنده باشد، قادر نیست هیچ سیگنال ارسالی از فرستنده را تشخیص داده و فرستنده هم نمی‌تواند برای گیرنده مزاحمتی ایجاد کند. این مسأله باعث بروز مشکل پایانهٔ مخفی[1] و پایانهٔ آشکار[2] در شبکه‌های بی‌سیم می‌گردد [۱][۱۴]. به عنوان مثال، شکل (۲-۱) را در نظر بگیرید. در حالت (a)، گره A و C هردو در بازهٔ ارتباطی گره B قرار دارند ولی خارج از محدودهٔ نویزی یکدیگر هستند. بنابراین گره C اگر بخواهد داده‌ای را برای گره B ارسال کند در زمانی که گره A مشغول ارسال داده به گره B است، کانال را آزاد تشخیص داده و شروع به ارسال می‌کند. این امر باعث ایجاد تداخل[3] در گره B می‌گردد. ایجاد تداخل در شبکه‌های بی‌سیم توسط گیرنده تشخیص داده می‌شود نه فرستنده و از آن، تحت عنوان مشکل پایانهٔ پنهان یاد می‌گردد.

مشکل پایانهٔ آشکار بر خلاف پایانهٔ پنهان اتفاق می‌افتد. در سناریوی(b) شکل (۲-۱) ، چون دو گره B و C در بازهٔ نویزی یکدیگر قرار دارند، برای جلوگیری از ایجاد تداخل، وقتی یکی از آنها داده ارسال می‌کند دیگری خاموش است. به این ترتیب وقتی B به A داده می‌فرستد، C به D داده‌ای ارسال نمی‌کند و بر عکس. ولی در حالتی که B گیرنده باشد، A خارج از محدودهٔ ارتباطی فرستندهٔ C است و وقتی C گیرنده است، D خارج از محدودهٔ نویزی فرستندهٔ B خواهد بود و هیچ تداخلی صورت نمی‌پذیرد. با این حال این ارسال و دریافت به صورت همزمان اتفاق نمی‌افتد. این مشکل را در شبکه‌های بی‌سیم، پایانهٔ آشکار می‌نامند. مشکل پایانهٔ پنهان باعث بروز تداخل و مشکل پایانهٔ آشکار باعث ایجاد تأخیر غیر ضروری در شبکهٔ بی‌سیم می‌گردد.

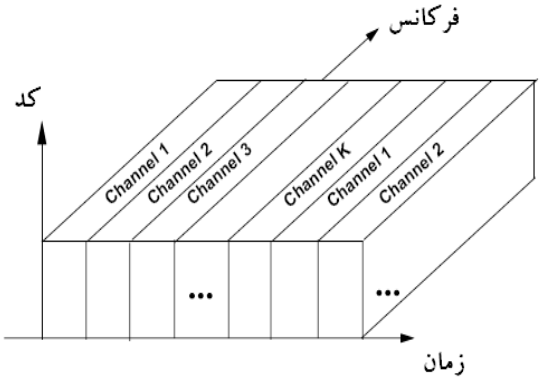


شکل ۲-۱ : مشکل پایانهٔ پنهان (a) مشکل پایانهٔ آشکار (b) در ارتباطات بی‌سیم [۱۴]

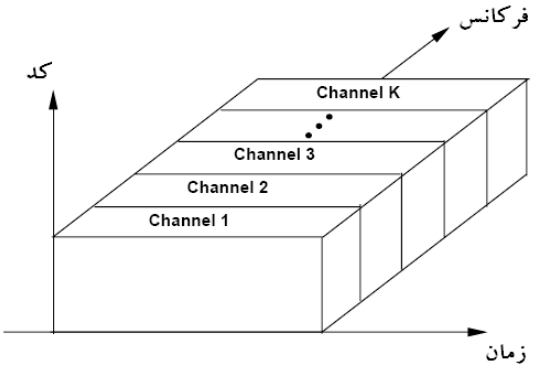
[1] Hidden-terminal [2] exposed-terminal [3] Collision

۲ ـ۲. لایهٔ MAC در استاندارد IEEE 802.11

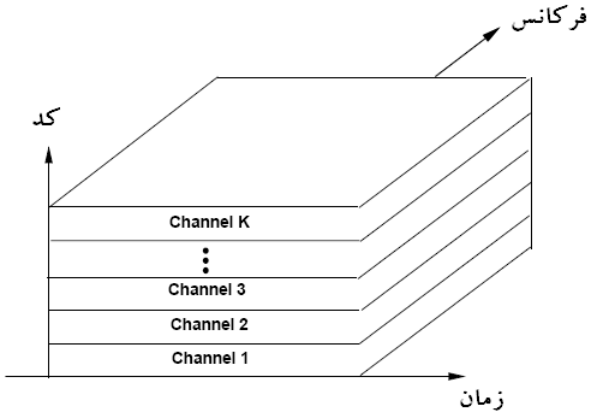
در این بخش یکی از مهمترین قسمت‌های یک گره بی‌سیم، یعنی لایهٔ کنترل دسترسی، مورد بررسی قرار می‌گیرد. مکانیزم‌های کنترل دسترسی کانال (MAC) زیادی برای انتقال مطمئن اطلاعات بر روی فضای نویزی و غیر قابل اعتماد شبکه‌های بی‌سیم، وجود دارد. نحوهٔ دسترسی کاربران به کانال مشترک ارتباطی با استفاده از دو روش صورت می‌پذیرد [۱]. یکی از این روش‌ها، دسترسی چندگانه[1] است که در آن، کانال ارتباطی به چندین بخش اختصاصی تقسیم شده و به هر کاربر یک بخش تخصیص داده می‌شود. TDMA[2]، FDMA[3] و CDMA[4] از رایج‌ترین روش‌های کنترل دسترسی چندگانه هستند. شکل (۲-۲) نحوهٔ تقسیم کانال توسط هر یک از این روش‌ها را نشان می‌دهد.



الف) TDMA



ب) FDMA



ج) CDMA

شکل ۲-۲ : مکانیزم‌های کنترل دسترسی چندگانه [۱]

---

[1] Multiple Access
[2] Time Division Multiple Access
[3] Frequency Division Multiple Access
[4] Code Division Multiple Access

مکانیزم دیگر کنترل دسترسی به کانال، روش دسترسی تصادفی[1] است. در این روش کانال ارتباطی به صورت پویا به کاربران فعال اختصاص داده می‌شود. کنترل دسترسی ALOHA ، CSMA[2] و زمانبندی[3]، از مکانیزم‌های کنترل دسترسی تصادفی می‌باشند. در پروتکل CSMA، فرستنده وقتی داده را بر روی کانال اشتراکی ارسال می‌کند که آنرا آزاد و بدون استفاده ببیند. پروتکل CSMA همراه با روش جلوگیری از تداخل[4] (CSMA/CA) یکی از روش‌های دسترسی به کانال در استاندارد IEEE 802.11 است.

استاندارد IEEE 802.11 برای کنترل دسترسی به کانال مشترک ارتباطی، دارای دو وضعیت عملیاتی است. یکی تابع هماهنگی توزیع شده یا (DCF)[5] و دیگری تابع هماهنگی متمرکز یا (PCF)[6] است [۴][۱۴]. از PCF در حالتی که گره در یک شبکهٔ دارای ساختار قرار داشته باشد و کنترل دسترسی توسط یک گره مرکزی انجام شود، استفاده می‌گردد، این در حالی است که DCF نیاز به گره کنترل کنندهٔ مرکزی ندارد. در وضعیت کاری DCF، استاندراد IEEE 802.11 از مکانیزم CSMA/CA استفاده می‌کند.

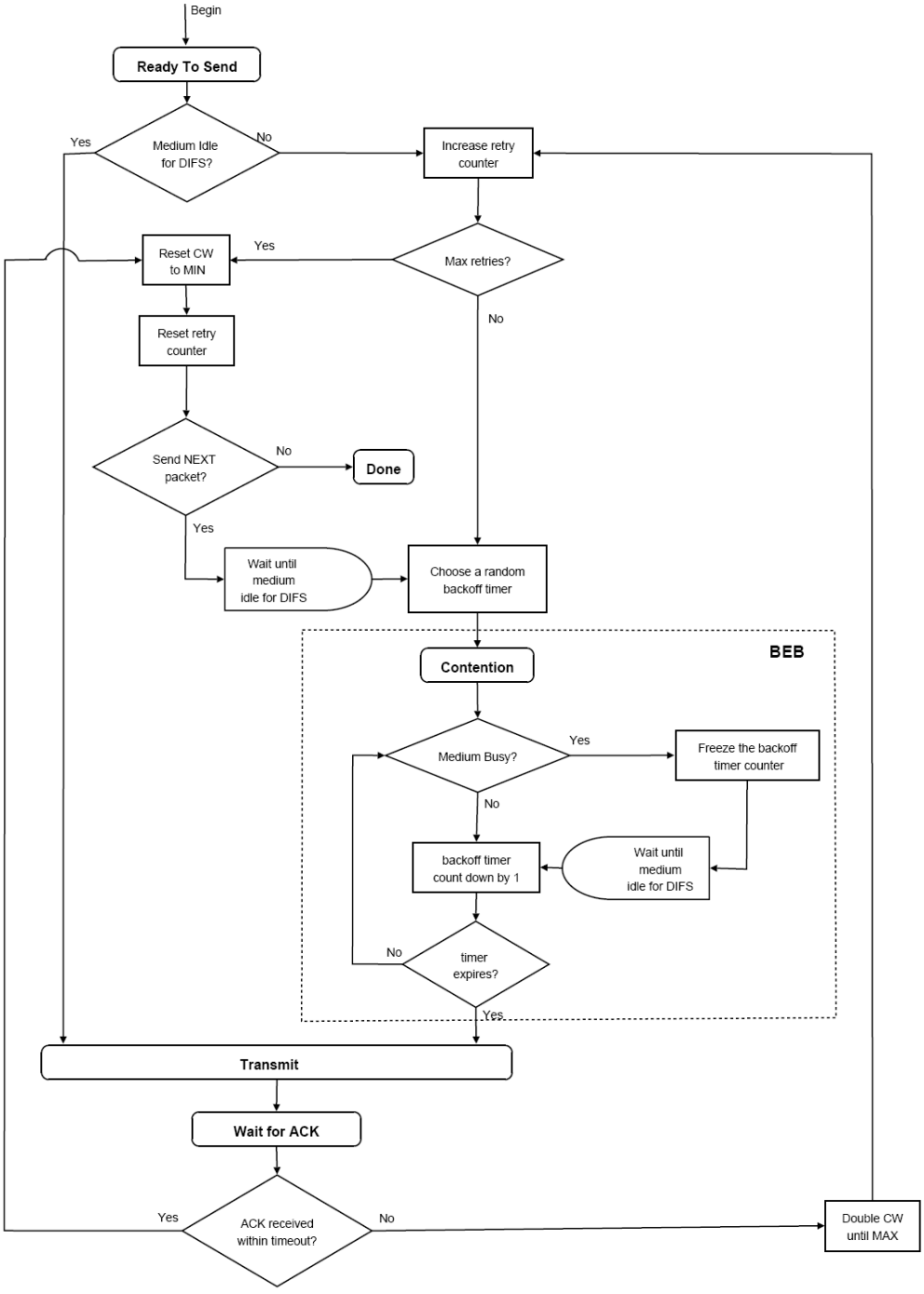
در IEEE 802.11 MAC با استفاده از سه پارامتر DIFS[7] ، PIFS[8] و SIFS[9] ، زمان انتظار قبل از دسترسی به کانال تعریف می‌شود. DIFS بیشترین زمان بین انتظار بین دو بستهٔ ارسالی در مکانیزم DCF، PIFS بیشترین زمان بین انتظار بین دو بستهٔ ارسالی در مکانیزم PCF و SIFS کمترین زمان بین انتظار بین دو بستهٔ ارسالی است. اگر گرهی DIFS را برای زمان انتظار بسته‌های خود انتخاب کند، دارای کمترین اولویت و اگر SIFS را انتخاب کند، دارای بیشترین اولویت در دسترسی به کانال است.

در ادامه، نحوهٔ عملکرد مکانیزم CSMA/CA در روش DCF مورد بررسی قرار می‌گیرد. شکل (۳-۲) چگونگی دسترسی فرستنده به کانال ارتباطی مشترک را نشان می‌دهد. هر گره که خواستار فرستادن داده بر روی کانال است، ابتدا به بررسی کانال پرداخته تا ببیند آیا ارسال دیگری بر روی آن صورت می‌گیرد یا خیر. اگر کانال برای مدت زمان DIFS بیکار باشد، گره بلافاصله شروع به ارسال می‌کند. در غیر این صورت، با انتخاب یک عدد تصادفی به عنوان شمارندهٔ کاهشی، وارد فاز رقابت می‌شود. عدد تصادفی بیانگر مدت زمانی است که باید گره قبل از تلاش مجدد برای ارسال، صبر کند. این عدد از یک بازه تحت عنوان پنجرهٔ رقابت (CW)[10] انتخاب می‌شود. در هر بازهٔ زمانی مشخص (حدود ۶ میکرو ثانیه) گره کانال را بررسی و در صورت آزاد بودن آن یک واحد از شمارندهٔ کاهشی کم می‌کند. زمانی که شمارنده به صفر رسید، بلافاصله گره شروع به ارسال می‌نماید.

---

[1] Random Access
[2] Carrier Sense Multiple Access
[3] Scheduling
[4] Collision Avoidance
[5] Distributed Coordination Function
[6] Point Coordination Function
[7] DCF Inter-Frame Spacing
[8] PCF Inter-Frame Spacing
[9] Short Inter-Frame Spacing
[10] Contention Window

بعد از هر دریافت موفق، گیرنده با ارسال یک پیام تصدیق، فرستنده را از صحت دریافت بسته مطلع می‌کند. پیام تصدیق SIFS ثانیه بعد از دریافت بسته توسط گیرنده ارسال می‌شود. اگر بعد از یک دورهٔ زمانی مشخص، فرستنده پیام تصدیق را دریافت نکند، فرض را بر وقوع برخورد گذاشته و طول پنجرهٔ رقابت خود را دوبرابر می‌کند، و برای ارسال مجدد بسته وارد فاز رقابت می‌گردد. کمترین طول پنجرهٔ رقابت ۳۲ و بیشترین طول آن ۱۰۲۴ است.

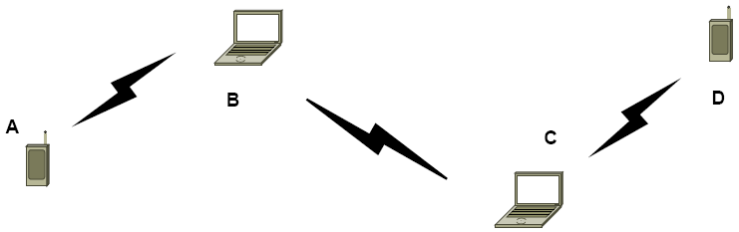


شکل ۲-۳: مکانیزم کنترل دسترسی در روش CSMA/CA [۱۴]

برای مقابله با مشکل پایانهٔ پنهان، IEEE 802.11 یک مکانیزم اختیاری در نظر گرفته است که با استفاده از آن، فرستنده قبل از ارسال، یک پیام کنترلی RTS[۱] برای گیرنده ارسال می‌کند. گیرنده با دریافت این پیام، در صورت نبود مشکل برخورد، یک پیام کنترلی CTS[۲] برای فرستنده ارسال می‌کند و آمادگی خود را جهت دریافت بسته‌ها اعلام می‌دارد. فرستنده نیز با دریافت این پیام از گیرنده، بلافاصله شروع به ارسال می‌کند و در صورت نیامدن پیام CTS، احتمال وقوع برخورد در شبکه را داده و دوباره وارد فاز رقابت می گردد.

۲ ۳. شبکه‌های بی‌سیم چندگامی

در این قسمت به چگونگی شکل‌گیری یک ارتباط چندگامی اشاره می‌شود. شبکه‌های بی‌سیم چندگامی، مدلی توسعه یافته از شبکه‌های بی‌سیم تک گامی هستند[۱۴]. در این شبکه‌ها دو گره که در بازهٔ ارتباطی یکدیگر قرار ندارند، می‌توانند از طریق گره‌های میانی با هم ارتباط داشته باشند. به جریانی از بسته‌های داده، که مسیر بین فرستنده تا گیرنده را با استفاده از گره‌های میانی طی می‌کنند، یک جریان داده در شبکه گفته می‌شود. به عنوان مثال شبکهٔ بی‌سیم نشان داده شده در شکل (۲-۴) را در نظر بگیرید. در این حالت اگر گره A بخواهد با گره D که در بازهٔ ارتباطی خود قرار ندارد، ارتباط داشته باشد، این ارتباط از طریق گره‌های میانی B و C صورت می‌گیرد. این نوع از شبکه را، شبکه بی‌سیم چندگامی می‌نامند چرا که در آن، ترافیک ارسالی از طرف فرستنده، از طریق گره‌های میانی برای گیرنده ارسال می گردد.



شکل ۲-۴: شبکهٔ بی‌سیم چندگامی [۱۴]

در شبکه‌های چندگامی نسبت به شبکه‌های تک گامی، سه نوع رقابت جدید ایجاد می‌شود:

۱ -در این نوع شبکه‌ها یک جریان داده، در طول مسیر خود ار مبدأ تا مقصد، باید از چندین گره میانی در شبکه عبور کند. از اینرو بازده و کارایی یک جریان را نمی‌توان، بر خلاف شبکه‌های تک‌گامی، با استفاده از میزان پهنای باندی که یک لینک ارتباطی در مسیر، به این جریان اختصاص داده است تعیین کرد، بلکه

---

[1] Request To Send [۲] Clear To Send

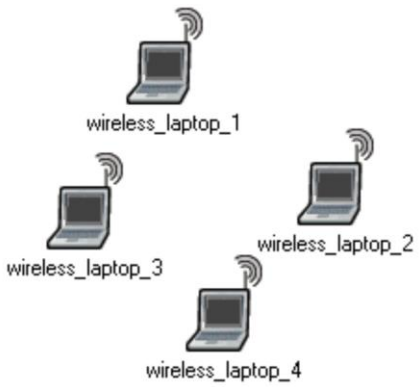
بازدهٔ آن توسط یک لینک گلوگاه و حیاتی که کمترین پهنای باند را نسبت به سایر لینک‌های مسیر به این جریان اختصاص داده است، تعیین می‌گردد.

۲ - یک جریان داده در شبکه، در صورت داشتن اشتراک مسیر با سایر جریان‌ها داده، باید بر سر تصاحب منابع در هر گره با آنها رقابت کند. در عمل، در یک گره میانی، ترافیک تولیدی توسط خود گره، باید با ترافیکی که گره قرار است به عنوان واسطه ارسال کند، بر سر تصاحب منابع به رقابت بپردازد.

۳ - گاهی مواقع یک جریان در طول مسیر خود، باید با خودش بر سر تصاحب کانال اشتراکی به رقابت بپردازد، چرا که ممکن است چند گره میانی در بازهٔ ارتباطی یکدیگر قرار داشته باشند و بخواهند بسته‌های مربوط به یک جریان را ارسال نمایند.

۲ ۴. شبکه‌های اقتضائی

در این قسمت به صورت مختصر به مرور شبکه‌های اقتضائی بی‌سیم پرداخته می‌شود. یک شبکهٔ اقتضائی، مجموعه‌ای از گره‌های متحرک بی‌سیم است که قادرند به صورت خودکار و بدون کمک گرفتن از هیچ زیرساخت از قبل طراحی شده، تشکیل یک شبکه داده و از این طریق، با هم ارتباط داده‌ای برقرار نمایند [۷]. همانگونه که در شکل (۲-۵) نشان داده شده است، در غیاب یک ساختار اصلی، گره‌ها، خود با استفاده از الگوریتم‌های توزیع شدهٔ کنترل، مدیریت شبکه را بر عهده دارند.



شکل ۲-۵ :یک نمونه از شبکهٔ اقتضائی [۱۵]

در این شبکه‌ها، گره‌ها به صورت دینامیکی یک ساختار پایه از گره‌های زیر مجموعه تشکیل می‌دهند. در بعضی حالت‌ها که فاصلهٔ گره‌ها از هم زیاد است، می‌توان از تکنیک چندگامی برای ارسال بسته‌ها به سمت مقصد استفاده کرد که این عمل باعث افزایش کارایی، افزایش دامنهٔ تحت پوشش، کاهش مصرف توان، بالا بردن نرخ ارسال بیت