بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

مسیریابی با کیفیت‌سرویس در شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی

پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی کامپیوتر

مهناز اولیائی

استاد راهنما

دکتر محمدحسین سرایی

۱۳۹۳

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته مهندسی کامپیوتر خانم مهناز اولیائی

تحت عنوان

مسیریابی با کیفیت‌سرویس در شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی

در تاریخ ۱۳۹۳/۰۶/۳۱ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهایی قرار گرفت.

۱. استاد راهنمای پایان‌نامه	دکتر محمدحسین سرایی
۲. استاد داور	دکتر محمدحسین منشئی
۳. استاد داور	دکتر علی فانیان
سرپرست تحصیلات تکمیلی	دکتر محمدعلی خسروی فرد

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از تحقیق موضوع این پایان‌نامه مطلق به دانشگاه صنعتی اصفهان است.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فصل اول: مقدمه

فصل دوم: شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی

۲-۱ شبکه‌های بی‌سیم با زیرساخت ۶

۲-۱-۱ شبکه‌های بی‌سیم محلی ۷

۲-۱-۲ شبکه‌های سلولی ۸

۲-۲ شبکه‌های بی‌سیم بدون زیرساخت ۹

۲-۲-۱ پروتکل مسیریابی AOMDV ۱۲

۲-۳ مقایسه‌ی دو ساختار اصلی شبکه‌های بی‌سیم ۱۳

۲-٤ دلایل ایجاد شبکه بی‌سیم ترکیبی ۱۵

۲-۵ دسته‌بندی شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی موجود ۱۷

فصل سوم: مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی

۳-۱ مسیریابی در معماری UCAN ۲۱

۳-۱-۱ کشف پروکسی ۲۲

۳-۲ مسیریابی در معماری iCAR ۲۵

۳-۲-۱ استراتژی‌های بازپخش ۲۶

۳-۳ مسیریابی در معماری MADF ۲۷

۳-٤ مسیریابی در معماری HNA ۲۸

۳-۴-۱ الگوریتم مسیریابی FMARP ۲۹
۳-۵ مسیریابی با روش انتقال مستقیم ۳۰
۳-۶ مسیریابی با روش بازپخش دوگامی ۳۱
۳-۶-۱ فرآیند کشف سرویس بازپخش ۳۲
۳-۷ مسیریابی با روش سه‌گامی توزیع‌شده ۳۳
۳-۷-۱ مسیریابی در مرحله‌ی Uplink ۳۴
۳-۷-۲ مسیریابی داده در مرحله Downlink ۳۵
۳-۸ مسیریابی با سیاست سلول یکسان ۳۵
۳-۹ مسیریابی بر اساس نوع برنامه‌ی کاربردی ۳۷
۳-۹-۱ طرح مسیریابی یک ۳۷
۳-۹-۲ طرح مسیریابی دو ۳۸
۳-۱۰ مسیریابی بر اساس موقعیت مکانی ۳۹
۳-۱۱ مسیریابی با معیارهای کیفیت‌سرویس ۴۰
۳-۱۲ جمع بندی و مقایسه‌ی روش‌های مختلف مسیریابی ۴۰
فصل چهارم: روش پیشنهادی و ارزیابی کارایی
۴-۱ مروری کلی بر پروتکل مسیریابی پیشنهادی ۴۶
۴-۲ شبیه‌ساز NS-2 ..... ۵۶
۴-۳ نتایج شبیه‌سازی ۶۰
۴-۳-۱ سرعت تحرک گره‌ها ۶۰

۴-۳-۲ بار شبکه ۶۲
۴-۳-۳ تعداد ارتباطات ۶۴
۴-۳-۴ ارتباطات خارجی ۶۵
۴-۳-۵ برد انتقال ۶۷
فصل پنجم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات
مراجع

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ : شبکه‌های بی‌سیم با زیرساخت [۸]..... ۶

شکل ۲-۲ : مشکل خرابی ایستگاه پایه [۷]..... ۶

شکل ۲-۳ : مشکل وجود مانع در شبکه‌های سلولی[۱۲]..... ۹

شکل ۲-۴ : شبکه‌های بی‌سیم بدون زیرساخت [۸] ۱۰

شکل ۲-۵ : مسیریابی دوباره به دلیل حرکت [۷]..... ۱۰

شکل ۲-۶ : قطع ارتباط [۷] ۱۱

شکل ۲-۷ : ساختار جدول مسیریابی پروتکل AOMDV [۱۶] ۱۳

شکل ۲-۸ : مثالی از یک شبکه بی‌سیم ترکیبی [۲۲] ۱۶

شکل ۲-۹ : دسته بندی معماری‌های مختلف شبکه‌ی بی‌سیم ترکیبی..... ۱۸

شکل ۳-۱ : معماری UCAN [۲۷] ۲۲

شکل ۳-۲ : دو روش کشف پروکسی در معماری UCAN [۲۷]..... ۲۴

شکل ۳-۳ : معماری iCAR [۱]..... ۲۵

شکل ۳-۴ : استراتژی‌های بازپخش در معماری iCAR [۱۲] ۲۷

شکل ۳-۵ : معماری MADF [۴۰] ۲۸

شکل ۳-۶ : معماری HNA [۱] ۲۸

شکل ۳-۷ : نمودار گذار حالت در معماری HWN [۷]..... ۳۰

شکل ۳-۸ : معماری بازپخش دوگامی [۲۶] ۳۱

شکل ۳-۹ : انتقال داده در پروتکل DTR [۳۹] ۳۳

شکل ۳-۱۰ : انتخاب همسایه در DTR [۳۹] ۳۵
شکل ۳-۱۱ : سیاست سلول یکسان [۲۳] ۳۶
شکل ۳-۱۲: یافتن گره مورد علاقه بر اساس سکتور ۳۹
شکل ۴-۱: روند کلی پروتکل مسیریابی پیشنهادی در گره‌های سیار ۴۸
شکل ۴-۲: روند کلی پروتکل مسیریابی پیشنهادی در نقطه دسترسی ۵۰
شکل ۴-۳: ثبت گره‌های سیار در ایستگاه پایه با استفاده از پروتکل MIP ۵۳
شکل ۴-۴: کد جستجوی مسیر توسط گره‌های سیار ۵۴
شکل ۴-۵: کد خارج کردن بسته از حالت جاسازی شده ۵۵
شکل ۴-۶: کد توزیع‌بار بین مسیرهای موجود ۵۵
شکل ۴-۷: ساختار کلی شبیه‌ساز NS-2 ..... ۵۶
شکل ۴-۸: محیط شبیه‌سازی ۵۸
شکل ۴-۹: ساختار گره سیار ۵۹
شکل ۴-۱۰: نسبت بسته‌های دریافتی به ارسالی برحسب سرعت حرکت گره‌ها ۶۱
شکل ۴-۱۱:سربار مسیریابی برحسب سرعت حرکت گره‌ها ۶۱
شکل ۴-۱۲: تاخیر انتها به انتها برحسب سرعت حرکت گره‌ها ۶۲
شکل ۴-۱۳: نسبت بسته‌های دریافتی به ارسالی برحسب نرخ ارسال داده‌ها ۶۳
شکل ۴-۱۴: سربار مسیریابی برحسب نرخ ارسال داده‌ها ۶۳
شکل ۴-۱۵: تاخیر انتها به انتها برحسب نرخ ارسال داده‌ها ۶۳
شکل ۴-۱۶: نسبت بسته‌های دریافتی به ارسالی برحسب تعداد ارتباطات ۶۴
شکل ۴-۱۷: سربار مسیریابی برحسب تعداد ارتباطات ۶۵

شکل ۴-۱۸: تاخیر انتها به انتها برحسب تعداد ارتباطات ۶۵

شکل ۴-۱۹: نسبت بسته‌های دریافتی به ارسالی برحسب درصد ارتباطات خارجی.....۶۶

شکل ۴-۲۰: سربار مسیریابی برحسب درصد ارتباطات خارجی.....۶۶

شکل ۴-۲۱: تاخیر انتها به انتها برحسب درصد ارتباطات خارجی.....۶۶

شکل ۴-۲۲: نسبت بسته‌های دریافتی به ارسالی برحسب برد انتقال ۶۷

شکل ۴-۲۳: سربار مسیریابی برحسب برد انتقال ۶۸

شکل ۴-۲۴: تاخیر انتها به انتها برحسب برد انتقال ۶۸

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول ۲-۱: استانداردهای شبکه‌های محلی بی‌سیم و سلولی ۹

جدول ۲-۲: مقایسه دو ساختار اصلی شبکه‌های بی‌سیم [۷]..... ۱۴

چکیده

در سال‌های اخیر شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی، متشکل از شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار و شبکه‌های اقتضایی به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای شبکه‌های بی‌سیم نسل آینده موردتوجه قرار گرفته است. یکی از عناصر کلیدی برای دستیابی به گذردهی و بهره‌وری بالا در این شبکه‌ها پروتکل‌های مسیریابی است. علاوه بر این امروزه بسیاری از برنامه‌های کاربردی شبکه همانند انتقال داده‌های چندرسانه‌ای و همچنین برنامه‌های بلادرنگ نیازمند کیفیت‌سرویس هستند، لذا ضروری است پروتکل مسیریابی ارائه‌شده برای شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی معیارهای کیفیت‌سرویس نظیر تأخیر را در نظر بگیرد. در این پایان‌نامه یک پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی با گره‌های تک‌واسطی ارائه شده است. این واسط که از نوع WiFi با استاندارد IEEE 802.11 است امکان ارتباط گره‌های سیار با یکدیگر و نقطه دسترسی را فراهم می‌کند. در شبکه‌های WiFi ارتباط گره‌های سیار با یکدیگر و یا با شبکه‌های خارجی از طریق نقطه دسترسی برقرار می‌شود و نقطه دسترسی به‌عنوان دروازه گره‌های سیار در نظر گرفته می‌شود. درصورتی‌که گره‌های سیار در برد انتقال نقطه دسترسی نباشند و یا در نواحی مرده باشند آنگاه امکان ارسال بسته‌ها وجود ندارد و این گذردهی کلی شبکه را کاهش می‌دهد. پروتکل مسیریابی پیشنهادی بر اساس تقاضا و نه به‌صورت پیش‌فعال مسیرها را ایجاد می‌کند، امکان دسترسی چندگامی به نقطه دسترسی و سایر گره‌ها را فراهم می‌کند، از یک روش توزیع‌شده برای کاوش مسیرهای ایجادشده و ارسال و توزیع بسته‌ها بر روی مسیرهای با ازدحام کمتر استفاده می‌کند که این مکانیسم در همان فرآیند مسیریابی و بدون ایجاد سربار اضافه‌تر انجام می‌شود. در این پایان‌نامه ابتدا شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی و معماری آن‌ها معرفی می‌شوند. سپس پروتکل‌های مسیریابی ارائه‌شده تاکنون تشریح می‌شوند. درنهایت پروتکل پیشنهادی ارائه و سپس کارایی آن از طریق شبیه‌سازی ارزیابی خواهد شد.

واژه‌های کلیدی: شبکه بی‌سیم ترکیبی، کیفیت‌سرویس، شبکه‌های WiFi

فصل اول
مقدمه

امروزه فنّاوری‌های بی‌سیم به‌سرعت در حال پیشرفت هستند و اغلب دستگاه‌ها مجهز به امکاناتی هستند که به آن‌ها اجازه می‌دهد تا از طریق ارتباطات بی‌سیم به یکدیگر متصل شوند. این ارتباطات بی‌سیم می‌تواند از طریق بلوتوث، وای‌فای[1] و یا تشکیل شبکه‌های اقتضایی[2] ایجاد شود. به‌عنوان‌مثال تعداد کاربران اینترنت بی‌سیم در سال‌های اخیر سه برابر شده است. همچنین تعداد کاربران تلفن‌های همراه در آمریکا از ۹۲/۸ میلیون در سال ۲۰۱۱ به ۱۲۱/۴ میلیون در سال ۲۰۱۲ رسیده است و پیش‌بینی می‌شود این تعداد به ۲۰۷ میلیون نفر در سال ۲۰۱۷ خواهد رسید. امروزه مردم علاقه‌مند به دیدن ویدئو، انجام بازی و تماشای تلویزیون از طریق دستگاه‌های سیارِ بی‌سیم هستند و برنامه‌های کاربردی بلادرنگ و چندرسانه‌ای بسیار موردتوجه قرار گرفته‌اند. همچنین با رشد اینترنت و گرایش شبکه‌های بی‌سیم نسل چهارم به سمت شبکه‌های تماماً مبتنی بر آدرس اینترنتی[3]، تقاضا برای اتصال گره‌های سیار[4] به اینترنت و استفاده از سرویس‌ها و برنامه‌های کاربردی افزایش یافته است. این برنامه‌ها نیازمند پشتیبانی از کیفیت‌سرویس[5] در محیط‌های بی‌سیم و سیار هستند. بااین‌حال وجود محدودیت‌هایی همانند دردسترس نبودن منابع، محدودیت توان، امنیت و مکانیسم‌های مسیریابی ارائه خدماتی با کیفیت بالا را برای این شبکه‌ها با مشکل روبرو کرده است. درنتیجه، زیرساختی با نرخ داده‌ی بالا نیاز است تا این محدودیت‌ها را رفع کرده و گره‌های سیار واقع در شبکه‌های بی‌سیم اقتضایی را به شبکه‌های ثابت مثل اینترنت متصل

---

1 WiFi
2 Adhoc network
3 IP
4 Mobile node (MN)
5 Quality of service (QoS)

کند [۱]،[۲]. شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی[1] با بهره‌گیری از مزایای دو شبکه‌ی بی‌سیم زیرساخت‌دار[2] و شبکه‌ی بی‌سیم بدون زیرساخت، راه‌حلی برای افزایش گذردهی و بهره‌وری شبکه‌های بی‌سیم محسوب می‌شوند [۳].

یکی از راه‌های بهره‌گیری از مزایای دو شبکه‌ی بی‌سیم زیرساخت‌دار و شبکه‌ی بی‌سیم بدون زیرساخت و ارائه برنامه‌های کاربردی چندرسانه‌ای با نیازمندی‌های کیفیت‌سرویس در شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی ارائه پروتکل‌های مسیریابی کارا با در نظر گرفتن پارامترهای کیفیت‌سرویس برای این شبکه‌ها است.

سطح سرویسی که یک کاربر از شبکه به دست می‌آورد به‌عنوان کیفیت‌سرویس شناخته می‌شود. هدف کیفیت‌سرویس تضمین تحویل بهتر اطلاعات ارسال‌شده توسط شبکه و همچنین بهره‌وری بهتر از منابع شبکه است. برای مثال حداقل پهنای‌باند، حداکثر تأخیر و حداکثر نرخ گم‌شدگی بسته[3] در حین ارسال از یک مبدأ به مقصد ازجمله معیارهای کیفیت سرویس است[۶].

کیفیت‌سرویس می‌تواند در هر یک از لایه‌های پشته‌ی پروتکلی، از لایه فیزیکی گرفته تا لایه کاربردی اعمال شود. هر لایه پارامترهای کیفیت‌سرویس مخصوص به خود را دارد. به‌عنوان‌مثال در لایه فیزیکی به کیفیت انتقال و در لایه لینک به متغیر نرخ خطای بیتی رسیدگی می‌شود. لایه شبکه با تغییرات پهنای‌باند و تأخیر سروکار دارد. لایه انتقال بر روی تأخیر و گم‌شدن بسته‌ها به علت خطای انتقال تمرکز دارد و نهایت هدف کیفیت‌سرویس در لایه کاربردی رسیدگی به قطع متوالی و برقراری مجدد ارتباطات است [۴].

هدف مسیریابی با کیفیت‌سرویس یافتن مسیرهایی است که در آن نیازمندی‌های برنامه‌های کاربردی لحاظ شده باشد. در مسیریابی با کیفیت‌سرویس تنها تعداد گام‌های مسیر در نظر گرفته نمی‌شود، بلکه معیارهای دیگری همانند تأخیر، پهنای‌باند، طول عمر شبکه و تغییرات تأخیر هم لحاظ می‌شود. در مسیریابی با کیفیت‌سرویس اطلاعات هر لینک موردبررسی قرار می‌گیرد و بر اساس این اطلاعات مسیرهایی انتخاب می‌شوند که نیازمندی‌های کیفیت‌سرویس موردنظر برنامه‌های کاربردی را برآورده کنند [۴]، [۶]، [۱۴].

همان‌طور که بیان شد با استفاده از مسیریابی بر اساس کیفیت‌سرویس می‌توان مسیرهایی را انتخاب کرد که نیازمندی‌های کیفیت‌سرویس درخواست‌های ارتباطی را برآورده کند و همچنین بتواند به‌طور مؤثر از منابع شبکه استفاده کند. اما لحاظ کردن کیفیت‌سرویس در شبکه‌های بی‌سیم دشوارتر از شبکه‌های سیمی است [۵]. برخی از این مشکلات در ادامه آورده شده است.

---

[1] Hybrid wireless networks
[2] Infrastructure wireless networks
[3] Packet loss

۱. **تغییر پویای توپولوژی شبکه:** ازآنجایی‌که گره‌ها در شبکه‌ی بی‌سیم هیچ‌گونه محدودیتی در حرکت ندارند، توپولوژی شبکه به‌طور پویا تغییر می‌کند. این امر منجر به شکسته‌شدن پی‌درپی مسیرها می‌شود و درنهایت اعمال کیفیت‌سرویس در چنین شبکه‌هایی را مشکل می‌سازد.
۲. **اطلاعات نادرست:** به علت تغییر پویای توپولوژی شبکه ممکن است جداول مسیریابی دقیق نباشند و درنتیجه برخی از بسته‌های بلادرنگ ضرب‌الاجل تعیین‌شده‌ی خود را از دست می‌دهند و برخی نیز هیچ‌گاه به مقصد نمی‌رسند.
۳. **کانال‌های رادیویی مشترک و مستعد خطا:** انتشار سیگنال از طریق رسانه‌ی بی‌سیم و امواج رادیویی موجب اختلالاتی همانند تضعیف، انتشار چند مسیری و تداخل[1] می‌شود.
۴. **دسترسی محدود به منابع:** منابعی همانند پهنای‌باند، انرژی، فضای ذخیره‌سازی و توانایی پردازش در شبکه‌های بی‌سیم محدود است.
۵. **رسانه‌ی ناامن:** به دلیل همه‌پخشی ناامن رسانه بی‌سیم، ارتباطات از طریق کانال بی‌سیم به‌شدت ناامن است.

در این پایان‌نامه یک پروتکل مسیریابی برای شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی با گره‌های تک‌واسطی ارائه شده است. این واسط که از نوع WiFi با استاندارد IEEE 802.11 است امکان ارتباط گره‌های سیار با یکدیگر و نقطه دسترسی را فراهم می‌کند. در شبکه‌های WiFi ارتباط گره‌های سیار با یکدیگر و یا با شبکه‌های خارجی از طریق نقطه دسترسی برقرار می‌شود و نقطه دسترسی به‌عنوان دروازه گره‌های سیار در نظر گرفته می‌شود. درصورتی‌که گره‌های سیار در برد انتقال نقطه دسترسی نباشند و یا در نواحی مرده باشند آنگاه امکان ارسال بسته‌ها وجود ندارد و این گذردهی کلی شبکه را کاهش می‌دهد. پروتکل مسیریابی پیشنهادی بر اساس تقاضا و نه به‌صورت پیش‌فعال مسیرها را ایجاد می‌کند، امکان دسترسی چندگامی به نقطه دسترسی و سایر گره‌ها را فراهم می‌کند، از یک روش توزیع‌شده برای کاوش مسیرهای ایجادشده و ارسال و توزیع بسته‌ها بر روی مسیرهای با ازدحام کمتر استفاده می‌کند که این مکانیسم در همان فرآیند مسیریابی و بدون ایجاد سربار اضافه‌تر انجام می‌شود.

در ادامه این پایان‌نامه در فصل دوم ابتدا دو ساختار اصلی شبکه‌های بی‌سیم که اجزا تشکیل‌دهنده‌ی شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی هستند بررسی خواهند شد و سپس دلایل و انگیزه‌های ایجاد این شبکه‌ها تبیین و یک دسته‌بندی برای معماری‌های مختلف آن ارائه می‌شود. در فصل سوم روش‌های مختلف مسیریابی در شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی شرح داده می‌شود. در فصل چهارم پروتکل مسیریابی پیشنهادی و نتایج ارزیابی تشریح خواهند شد. درنهایت در فصل پنجم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه خواهند شد.

[1] Collision

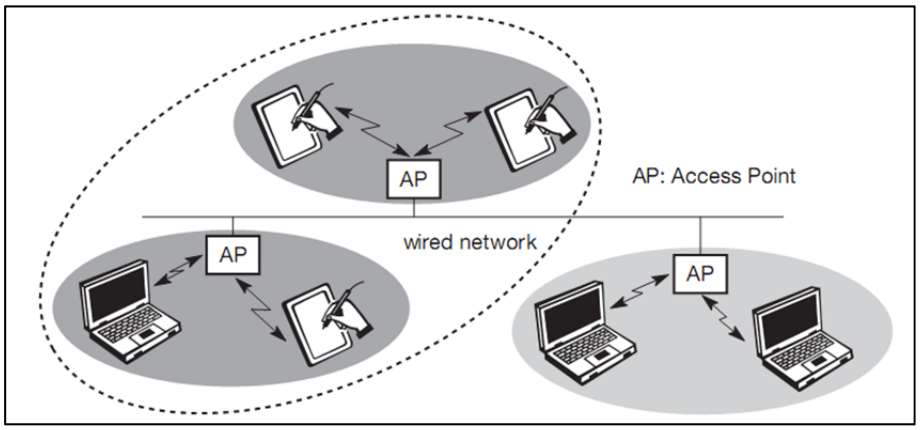
فصل دوم
شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی

شبکه‌های بی‌سیم به‌سرعت در حال پیشرفت و گسترش هستند و افزایش تعداد پایانه‌ها و مشترکین سیار نشانه‌ای از رشد سریع این شبکه‌ها است. کاربران این شبکه‌ها خواستار ارتباطاتی هستند که در هر زمان و مکان بتوانند به سرویس‌هایی کاربردی نظیر صوت، تصویر و متن با پهنای‌باند بالا دسترسی داشته باشند. همان‌طور که اشاره شد این سرویس‌ها نیازمند کیفیت و نرخ داده‌ی بالا هستند. یکپارچه‌سازی شبکه‌های بی‌سیم مختلف با یکدیگر و ظهور شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی می‌تواند مشکل نیاز به پهنای‌باند بالا و سرویس‌های کیفیتی را حل کند و موجب کاهش هزینه‌های گسترش و تکمیل دسترسی‌ها و زیرساخت‌های جدید شود [۱]. شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی از ترکیب شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار و شبکه‌های بی‌سیم اقتضایی تشکیل شده‌اند و هدفشان دستیابی به حداکثر کارایی و بهره‌وری از منابع شبکه است.

در این فصل ابتدا استانداردها، مزایا، معایب و محدودیت‌های شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار و شبکه‌های بی‌سیم بدون زیرساخت که عناصر تشکیل‌دهنده‌ی شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی هستند بررسی می‌شود. سپس در ادامه دلایل و انگیزه‌های ایجاد شبکه‌های بی‌سیم ترکیبی بیان می‌شود و یک دسته‌بندی کلی برای معماری‌های مختلف ارائه خواهد شد.

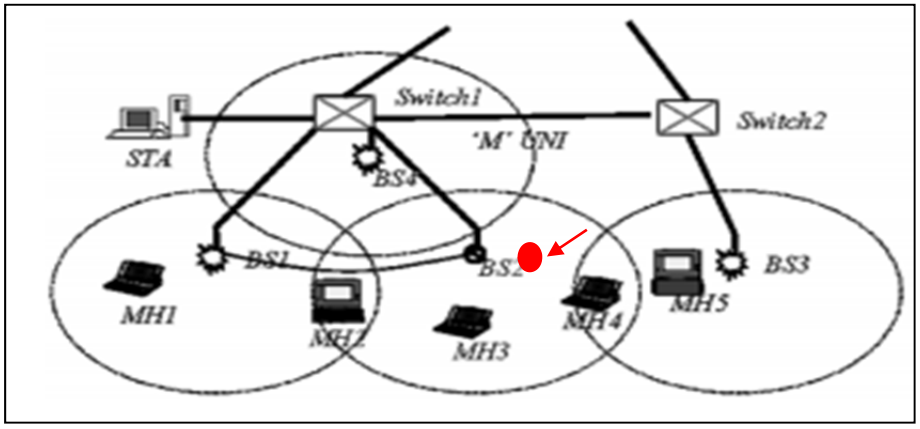
۲-۱ شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار

شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار، شبکه‌های تک‌گامی هستند که از ایستگاه‌های پایه[1] و یا نقاط دسترسی[2] ثابت برای ارتباط با شبکه‌های سیمی و اینترنت استفاده می‌کنند (شکل ۲-۱)[۷].



شکل ۲-۱: شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار [۸]

در شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار، میزبان‌های سیار[3] از طریق ایستگاه‌های پایه (نقاط دسترسی) با یکدیگر و یا با شبکه‌های خارجی ارتباط برقرار می‌کنند. در این شبکه‌ها ایستگاه پایه (نقطه دسترسی) به‌عنوان یک نقطه شکست[4] در نظر گرفته می‌شوند و در صورت ازکارافتادن، ارتباطات تمام گره‌های سیار درون آن سلول قطع می‌شود. به‌عنوان‌مثال در شکل ۲-۲، در صورت خرابی ایستگاه پایه‌ی BS2 تمامی ارتباطات بین گره‌های سیاری که تحت پوشش این ایستگاه هستند قطع می‌شود [۷].



شکل ۲-۲: مشکل خرابی ایستگاه پایه [۷]

[1] Base station (BS)
[2] Access point (AP)
[3] Mobile host (MH)
[4] Point of failure

وجود نواحی مرده[1] از دیگر مشکلات شبکه‌های بی‌سیم زیرساخت‌دار است [۷]. نواحی مرده در یک شبکه سلولی مناطقی هستند که امکان ارسال (دریافت) سیگنال به (از) ایستگاه پایه را ندارند و حتی در صورت وجود پهنای‌باند آزاد در سلول نمی‌توانند از آن استفاده کنند. بااین‌وجود استفاده از ایستگاه پایه به‌عنوان یک نقطه مرکزی، قابلیت اطمینان در شبکه را افزایش می‌دهد و امکان برقراری ارتباط با شبکه‌های خارجی نظیر اینترنت را فراهم می‌سازد.

دو مثال متداول از شبکه‌های بی‌سیم با زیرساخت، شبکه‌های بی‌سیم محلی[2] و سلولی[3] هستند که امروزه رشد قابل‌توجهی داشته‌اند. در ادامه مروری بر این دو شبکه خواهیم داشت.

۲-۱-۱ شبکه‌های بی‌سیم محلی

شبکه‌های بی‌سیم محلی به دلیل نرخ داده‌ی بالا و هزینه نسبتاً کم اغلب برای سرویس‌دهی در محیط‌های پرازدحام مثل فرودگاه‌ها، بیمارستان‌ها و مدارس استفاده می‌شوند. استاندارد ۸۰۲.۱۱ گسترده‌ترین و عملیاتی‌ترین استاندارد شبکه‌های بی‌سیم محلی است [۹].

لایه فیزیکی استاندارد ۸۰۲.۱۱ شامل دو استاندارد طیف گسترده با فرکانس گام‌به‌گام[4] و طیف گسترده با ترتیب مستقیم[5] است که نرخ داده‌ی ۱ یا ۲ مگابیت در ثانیه را بر روی باند ۲.۴ گیگاهرتز فراهم می‌کند. نسخه‌ی ۸۰۲.۱۱b یک لایه فیزیکی طیف گسترده‌ی ترتیب مستقیم با نرخ بالا[6] (بیش از ۱۱ مگابیت در ثانیه) را بر روی باند ۲.۴ گیگاهرتز فراهم می‌کند. این استاندارد دو حالت مختلف دارد. در حالت زیرساخت، هر گره سیار به یک نقطه دسترسی ۸۰۲.۱۱b متصل شده و با آن ارتباط برقرار می‌کند. هرگاه دسترسی به این نقطه دسترسی ممکن نباشد، واسط ۸۰۲.۱۱b قادر است تا با سایر گره‌ها به‌صورت همتا به همتا[7] متصل شود [۹].

نسخه‌ی ۸۰۲.۱۱a تقسیم چندگانه فرکانس متعامد[8] با نرخ داده‌ای بیش از ۵۴ مگابیت در ثانیه را بر روی باند ۵ گیگاهرتز ارائه می‌دهد. نسخه ۸۰۲.۱۱g به کمک تقسیم OFDM نرخ داده‌ی بیش از ۵۴ مگابیت در ثانیه را بر روی باند ۲.۴ گیگاهرتز فراهم می‌کند و با نسخه ۸۰۲.۱۱b سازگار است. اخیراً نسخه‌ی ۸۰۲.۱۱n در حال استانداردسازی است که از فن آنتن‌های چند ورودی و چند خروجی[9] برای انتقال

---

[1] Dead zones
[2] Wireless local area network (WLAN)
[3] Cellular networks
[4] Frequency hopping spread spectrum (FHSS)
[5] Direct sequence spread spectrum (DSSS)
[6] High rate direct sequence spread spectrum (HR/DSSS)
[7] Peer to peer
[8] Orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)
[9] Multiple input multiple output (MIMO)

همزمان جریان‌ها استفاده می‌کند. این استاندارد قادر است که در باند فرکانسی ۲.۴ گیگاهرتز و یا ۵ گیگاهرتز، نرخ داده‌ی بیش از ۲۴۸ مگابیت در ثانیه را فراهم کند [۹].

نسخه‌ی ۸۰۲.۱۱e جهت پشتیبانی از نیازمندی‌های کیفیت سرویس (مثل برنامه‌های حساس به تأخیر) ارائه‌شده است. این نسخه با اعمال تغییر در لایه MAC از برنامه‌های کاربردی حساس به پهنای‌باند همانند صوت و تصویر پشتیبانی می‌کند. در نسخه‌ی ۸۰۲.۱۱k به‌منظور ایجاد گذر سریع و سرویس بدون وقفه، معیارهای خاصی را برای گره‌های سیار تعریف کرده است. نسخه‌ی ۸۰۲.۱۱r نیز به همین منظور طراحی شده است و به میزبان‌های سیار اجازه می‌دهد که پیش از حرکت به‌طرف یک نقطه‌ی دسترسی جدید، وضعیتی امن و باکیفیت را با آن نقطه‌ی دسترسی برقرار کنند [۹]. این استانداردها به‌طور مختصر در جدول ۲-۱ آورده شده است.

محدوده‌ی تحت پوشش کم، عدم پشتیبانی از کاربران متحرک با سرعت بالا و احتمال وجود تعداد زیادی از منابع ایجادکننده اختلال (نظیر دستگاه‌های ماکروویو، حسگرهای پارکینگ اتومبیل‌ها، بلوتوث) ازجمله نقاط ضعف شبکه‌های بی‌سیم محلی هستند.

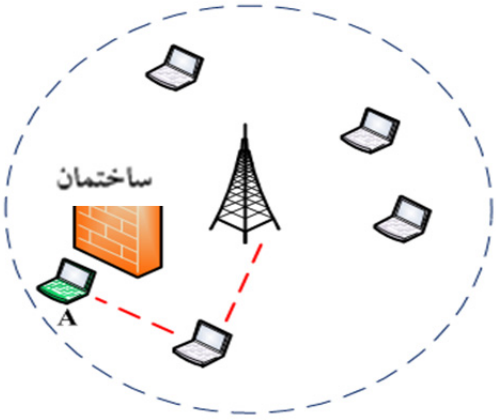
۲-۱-۲ شبکه‌های سلولی

شبکه‌های سلولی اساساً برای ارتباطات صوتی سوئیچ مدار طراحی‌شده‌اند و از ارتباط داده‌ای بسته‌های مبتنی بر TCP/IP نیز پشتیبانی می‌کنند. این شبکه‌ها به چند نسل 1G، 2G (با استانداردهایی همانند GSM و DAMPS)، 2.5G (با استانداردهایی همانند GPRS و EDGE) و 3G (با استانداردهایی مثل UMTS) دسته‌بندی‌شده‌اند. استاندارد GPRS با پل‌زدن میان شبکه بی‌سیم و اینترنت موجب کارآمدی اینترنت سیار می‌شود [۱۰]. استانداردهای شبکه‌ی سلولی به‌طور مختصر در جدول ۲-۱ آورده شده است.

در سامانه‌های سلولی افزایش ترافیک داده‌ای و محدودیت ظرفیت از دلایل اصلی ایجاد ازدحام[1] هستند. حتی در سامانه‌های نسل سوم هم در ساعات اوج ترافیک احتمال ازدحام وجود دارد. در سلول شلوغی[2] که هیچ کانال آزادی برای برقراری ارتباطات وجود ندارد، درخواست‌های جدید مسدود می‌شوند. همچنین اگر گره در حال مکالمه‌ای از سلول مجاور به این سلول شلوغ حرکت کند به علت نبود کانال آزاد ارتباطش قطع[3] می‌شود. یکی دیگر از مشکلات شبکه‌های بی‌سیم موجود، عدم توزیع متوازن ترافیک[4] است. در این شبکه‌ها برخی از سلول‌ها دچار ازدحام زیاد هستند درحالی‌که سلول‌های دیگر هنوز کانال داده آزاد دارند. همچنین در صورت وجود موانع، دریافت و ارسال سیگنال به ایستگاه پایه به‌سادگی میسر نخواهد بود. در این مواقع گره‌ها می‌بایست توان انتقالی خود را بالا ببرند که این باعث کوتاه‌شدن طول

[1] Congestion
[2] Hot spot
[3] Call dropping
[4] Load balancing

عمر باتری آن‌ها می‌شود [۱۱]. به‌عنوان‌مثال در شکل ۲-۳ به علت وجود ساختمان، گره سیار A قادر به دریافت سیگنال از ایستگاه پایه نیست. درصورتی‌که قابلیت برقراری ارتباط چندگامی بین گره‌های سیار در این شبکه‌ها وجود داشته باشد، این گره می‌تواند از طریق گره‌های میانی به ایستگاه پایه متصل شود. لازم به ذکر است در این دسته از شبکه‌ها مدیریت منابع در طرف شبکه انجام می‌شود و از انواع ترافیک-های ترکیبی باکیفیت سرویس مختلف نیز پشتیبانی می‌شود [۱۰].



شکل ۲-۳: مشکل وجود مانع در شبکه‌های سلولی[۱۲]

جدول ۲-۱: استانداردهای شبکه‌های محلی بی‌سیم و سلولی

شبکه	استاندارد	پهنای‌باند	ناحیه تحت پوشش
شبکه محلی بی‌سیم	802.11a, 802.11b, 802.11g, 802.11e, 802.11k, 802.11r	11 - 54 Mbps	چند صد متر
سلولی	GSM, UMTS, EDGE, WCDMA, CDMA2000	6.9 kbps - 2 Mbps	چند کیلومتر

۲-۲ شبکه‌های بی‌سیم بدون زیرساخت[1]

شبکه‌های بی‌سیم بدون زیرساخت، شبکه‌های چندگامی با توپولوژی پویا، گره‌های متحرک و کانال بی‌سیم مشترک هستند که بر هیچ زیرساختی تکیه ندارند [۱۳]. این شبکه‌ها، شبکه‌های بی‌سیم اقتضایی[2] نیز نامیده می‌شوند (شکل ۲-۴)[۷]. در این شبکه‌ها اگر دو گره مبدأ و مقصد در برد انتقال[3] یکدیگر نباشند، گره مبدأ از طریق گره‌های میانی بسته‌های داده را به گره مقصد موردنظر می‌رساند.

[1] Non-infrastructure wireless network
2 Adhoc wireless networks
[3] Coverage range