دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی‌تکنیک تهران)
دانشکده مهندسی کامپیوتر و فنآوری اطلاعات

پایان‌نامه کارشناسی ارشد فنآوری اطلاعات

تخصیص پویای منابع در شبکه‌های سلولی مبتنی بر OFDMA

نگارش

سجّاد مرادی

استاد راهنما

دکتر سیاوش خرسندی

بهمن ماه ۱۳۸۶

بسمـه تعالـی

دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(پلی تکنیک تهران)
معاونت پژوهشی

فرم اطلاعات پایان نامه
کارشناسی ارشد و دکترا

تاریخ: .....

پیوست: .....

نام و نام خانوادگی:	سجّاد مرادی	**دانشجوی آزاد** ☒	**بورسیه** ☐	**معادل** ☐
شماره دانشجوئی:	۸٤۱۳۱۰۸۱	**دانشکده:** مهندسی کامپیوتر	**رشته تحصیلی:**	فنآوری اطلاعات
نام و نام خانوادگی استاد راهنما:	دکتر سیاوش خرسندی			
عنوان پایان نامه به فارسی:	تخصیص پویای منابع در شبکه‌های سلولی مبتنی بر OFDMA			
عنوان پایان نامه به انگلیسی:	Dynamic Resource Allocation in OFDMA Cellular Networks			
نوع پروژه:	**کارشناسی ارشد** ☒ / **دکترا** ☐	**کاربردی** ☒	**بنیادی** ☐	**توسعه ای** ☐ **نظری** ☒
تاریخ شروع:	مهرماه ۱۳۸۵	**تاریخ خاتمه:** بهمن ماه ۱۳۸۶	**تعداد واحد:**	۶
سازمان تأمین کننده اعتبار:	مرکز تحقیقات مخابرات ایران			
واژه های کلیدی به فارسی:	شبکه‌های سلولی، تخصیص منابع، OFDMA، استفادهٔ مجدد فرکانسی، یادگیری تقویتی			
واژه های کلیدی به انگلیسی:	Cellular Networks, Resource Allocation, OFDMA, Frequency Reuse, Reinforcement Learning			

نظرها و پیشنهادها به منظور بهبود فعالیت های پژوهشی دانشگاه:

استاد راهنما:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: **تاریخ:**

نسخه ۱: معاونت پژوهشی

نسخه ۲: کتابخانه و به انضمام دو جلد پایان نامه به منظور تسویه حساب با کتابخانه و مرکز اسناد و مدارک علمی

تقدیم به پدر عزیز و مادر مهربانم

که در زندگی همواره مشوق من بوده اند

با سپاس فراوان از استاد بزرگوارم،

جناب آقای دکتر سیاوش خرسندی،

که راهنمای من در انجام این پژوهش بودند.

همچنین از مرکز تحقیقات مخابرات ایران جهت پشتبانی از انجام این پژوهش، سپاسگزارم.

این پایان نامه براساس قرارداد شماره ۱۵۳۷۰/۵۰۰/ت مورخه ۱۳/۱۲/۱۳۸۵ تحت حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران انجام شده است.

اینجانب **سجّاد مرادی** تعهد می‌نمایم که مطالب ارائه شده در این پایان نامه حاصل کار پژوهشی و تحقیق اینجانب می‌باشد و قبلا برای احراز هیچ مدرک دیگری ارائه نشده است. رجوع به دست‌آوردهای پژوهشی دیگران که در این پایان نامه از آنها استفاده شده، مطابق مقررات ارجاع داده شده است. چنانچه در هر شرایطی این موارد به درستی رعایت نگردد، دانشگاه مجاز به ابطال پایان نامه خواهد بود. کلیه حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد.

چکیده

هدف از این پایان‌نامه توسعه و ارزیابی الگوریتم پویای تخصیص منابع در شبکه‌های OFDMA است. در این تحقیق شبکه‌های سلولی مدنظر قرار گرفته‌اند، به گونه‌ای ناحیهٔ سرویس به سلول‌هایی تقسیم می‌گردد و ترمینال‌های موبایل به منظور وصل شدن به شبکه بایستی به ایستگاه‌های پایه‌ای که در مرکز هر سلول قرار دارند، متصل شوند. در شبکه‌های OFDMA، باند فرکانسی به تعدادی زیرکانال انتقال تجزیه می‌گردد و با توجه به خاصیت متعامد بودن (Orthogonaility) نیاز به ناحیهٔ حائل (Guard) بین کانال‌های موجود نمی‌باشد. از آنجا که تعداد کانال‌های فرکانسی محدود می‌باشد، تخصیص کانال‌ها به کاربران باید به نحوی انجام شود که بیشترین گذردهی حاصل شود. از این رو الگوریتم‌های تخصیص منابع به نحوی طراحی می‌شوند که با توجه به شرایط مختلف کاربران، نظیر مقادیر مختلف سیگنال به نویز و نرخ داده‌های مورد نیاز متفاوت، این هدف برآورده شود. در اینجا به منظور دستیابی همزمان به دو هدف گذردهی بالای شبکه و تخصیص عادلانهٔ منابع به کاربران، مسألهٔ تخصیص منابع به نحو جدیدی به صورت فرمال تعریف شده است که در آن الگوریتم متناظر با این مسأله، گذردهی سیستم را ماکزیمم می‌کند با این محدودیت که تخطی از عدالت از یک آستانهٔ قابل تنظیم تجاوز نکند. دو الگوریتم برای حل مسألهٔ تعریف شده ارائه شده است که یکی به صورت توزیع‌شده و دیگری به صورت متمرکز کار می‌کنند. مسألهٔ تعریف شده به صورت یک مسألهٔ تصمیم‌گیری مارکف مدل گردیده است که برای حل آن جهت پیدا کردن سیاست بهینه تخصیص کانال از روش یادگیری Q-Learning استفاده شده است. با توجه به محدودیت روش یادگیری تقویتی در حل مسائل با فضای حالت بزرگ یا پیوسته، از روش جدیدی که مبتنی بر نقشه‌های خودسازمان‌ده (Self-Organizing Maps) می‌باشد، استفاده شده است. این روش قابلیت حل مسائل با فضای حالات بزرگ را دارا می‌باشد. روش فوق در محیط شبیه‌سازی پیاده گردیده و با روش‌های موجود مقایسه شده است. نتایج نشاندهندهٔ بهبود تا ۷۶ درصد و متوسط ۲۲ درصد در گذردهی شبکه و عملکرد همواره عادلانهٔ این روش نسبت به روش‌های دیگر می‌باشد.

کلمات کلیدی: شبکه‌های سلولی، تخصیص منابع، OFDMA، استفادهٔ مجدد فرکانسی، یادگیری تقویتی

فهرست مطالب

۱- مقدمه ۱

۱-۱ انگیزهٔ کار ۱

۱-۲ انواع روش‌های تخصیص کانال ۲

۱-۳ موضوع این پایان‌نامه ۳

۱-۴ ساختار پایان‌نامه ۴

۲- اصول معماری شبکه‌های سلولی OFDMA ۶

۲-۱ مؤلفه‌های معماری شبکه‌های سلولی ۶

۲-۲ اصول مالتی‌پلکسینگ و روش‌های مختلف دسترسی چندگانه ۷

۲-۳ اصول OFDM و OFDMA ۱۱

۲-۴ تطبیق لینک ۱۴

۲-۵ مدلسازی مسألهٔ تخصیص منابع در شبکه‌های سلولی مبتنی بر OFDMA ۱۵

۲-۶ کارهای انجام شدهٔ قبلی ۲۳

۲-۷ نتیجه‌گیری ۳۰

۳- استفاده از یادگیری تقویتی برای حل مسألهٔ تخصیص منابع ۳۲

۳-۱ مسأله یادگیری تقویتی ۳۲

۳-۲ تفاضل زمانی ۴۲

۳-۳ نقشه‌های خودسازمان‌ده ۴۵

۳-۴ یادگیری تقویتی مبتنی بر نقشه‌های خودسازمان‌ده ۵۳

۳-۵ نگاشت مسألهٔ تخصیص منابع به یادگیری تقویتی ۵۵

۳-۶ نتیجه‌گیری ۶۲

۴- پیاده‌سازی و نتایج ارزیابی‌ها ۶۳

۴-۱ نتایج ارزیابی روش توزیع‌شده ۶۳

۴-۲ نتایج ارزیابی روش متمرکز ۶۸

۵- جمع‌بندی و پیشنهادات ۷۸

مراجع ۸۰

فهرست کلمات اختصاری ۸۲

فهرست لغات فارسی-انگلیسی ۸۳

فهرست شکل‌ها

شکل ۲–۱ مؤلفه‌های اصلی یک سیستم سلولی موبایل ۷

شکل۲–۲ مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم فرکانس (FDM). ۸

شکل۲–۳ مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم زمان (TDM). ۹

شکل۲–۴ مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم کد (CDM). ۱۰

شکل۲–۵ تفاوت OFDMA و OFDM-TDMA. ۱۲

شکل۲–۶ مفهوم استفادهٔ مجدد در شبکه‌های سلولی. ۲۰

شکل۲–۷ رویهٔ تعیین تعداد زیرکانال‌های هر ضریب استفادهٔ مجدد در الگوریتم SSAS ۳۰

شکل۳–۱ تعامل عامل و محیط در یادگیری تقویتی. ۳۳

شکل۳–۲ نمودار پشتیبان برای V^{π} ۴۱

شکل ۳–۳ تفاضل زمانی جدولی برای تخمین تابع ارزش ۴۴

شکل ۳–۴ شبه کد الگوریتم یادگیری کیو ۴۵

شکل۳–۵ توپولوژی نورون‌های شبکه روی لایه خروجی. ۴۷

شکل۳–۶ نگاشت یک بردار از ابعاد بالاتر به فضایی با ابعاد کوچکتر در نقشهٔ خودسازمانده استاندارد ۴۸

شکل۳–۷ تعیین مجموعه نورونهای همسایه با توجه به نورون برنده ۴۹

شکل۳–۸ تابع گوسی همسایگی ۵۰

شکل ۴–۱ پاداش دریافتی توسط یک عامل یادگیری تقویتی در طول زمان. ۶۵

شکل۴–۲ گذردهی شبکه به ازای الگوریتم‌های مختلف در حین زمان. ۶۶

شکل۴–۳ میانگین تخطی غیرمجاز از عدالت در حین زمان. ۶۷

شکل۴–۴ گذردهی شبکه به ازای الگوریتم‌های مختلف در حین زمان. ۶۸

شکل۴–۵ گذردهی شبکه به ازای نرخ‌های مورد نیاز متفاوت کاربران. ۷۰

شکل۴–۶ گذردهی شبکه به ازای تعداد کاربران مختلف. ۷۱

شکل۴–۷ گذردهی شبکه به ازای نرخ‌های مورد نیاز متفاوت کاربران برای توزیع گوسی کاربران در سلول‌ها. ۷۲

شکل۴–۸ گذردهی شبکه به ازای تعداد کاربران متفاورت برای توزیع گوسی کاربران در سلول‌ها. ۷۳

شکل۴–۹ گذردهی شبکه به ازای نرخ‌های مورد نیاز متفاوت کاربران برای توزیع گوسی معکوس کاربران در سلول‌ها. ۷۴

شکل۴–۱۰ گذردهی شبکه به ازای تعداد کاربران متفاورت برای توزیع گوسی معکوس کاربران در سلول‌ها. ۷۵

فهرست جدول‌ها

جدول ۴-۱ طرح‌های مختلف مدولاسیون و کدینگ مورد استفاده در شبیه‌ساز. ۶۴
جدول۴-۲ تخطی غیرمجاز از عدالت به ازای نرخ‌های مورد نیاز متفاوت کاربران. ۷۰
جدول۴-۳ تخطی غیرمجاز از عدالت به ازای تعداد کاربران مختلف. ۷۱
جدول۴-۴ تخطی غیرمجاز از عدالت به ازای نرخ‌های مورد نیاز متفاوت کاربران برای توزیع گوسی کاربران در سلول‌ها. ۷۲
جدول۴-۵ تخطی غیرمجاز از عدالت به ازای تعداد کاربران متفاوت برای توزیع گوسی کاربران در سلول‌ها. ۷۳
جدول۴-۶ تخطی غیرمجاز از عدالت به ازای نرخ‌های مورد نیاز متفاوت کاربران برای توزیع گوسی معکوس کاربران در سلول‌ها. ۷۵
جدول۴-۷ تخطی غیرمجاز از عدالت به ازای تعداد کاربران متفاوت برای توزیع گوسی معکوس کاربران در سلول‌ها. ۷۶

۱- مقدمه

۱-۱ انگیزهٔ کار

ارتباطات بی‌سیم در دهه‌های آخر قرن بیستم با موفقیت شبکه‌های نسل دوم[1] (2G) در سرویس‌های شبکه‌های سلولی موبایل شتاب گرفته است. موفقیت جهانی سیستم‌هایی نظیر GSM[2] راه جدیدی را برای زندگی در قلمرو فنآوری اطلاعات و ارتباطات نشان داده است. سرویس‌های اصلی این سیستم‌ها همگی بر روی انتقال صدا تمرکز یافته‌اند. اطلاعات موجود از بازار پژوهشی نشان می‌دهد که تقاضای زیادی برای سرویس‌های سرعت‌بالای مالتی‌مدیای موبایل در تمام جهان وجود دارد. با ظهور سیستم‌های بی‌سیم نسل سوم (3G) انتظار می‌رود که نرخ دادهٔ قابل قبول که بالاتر از آنچه که سیستم‌های 2G ارائه می‌کردند، می‌باشد و مطابق با نیازهای کاربران امروزی است، تدارک دیده شود. اما 3G انتهای کار نیست، چرا که تقاضای در حال افزایش کاربران، صنعت را وادار به تحقیق برای راه‌حل‌های بهتر به منظور فراهم کردن نرخ‌داده‌های بسیار بالاتر کرده است. نتیجه استفاده از ایدهٔ ارسال چند-حامل[3] بوده است که برای سیستم‌های نسل چهارم (4G) بی‌سیم مورد استفاده قرار گرفته است [1].

دسترسی چندگانه بر مبنای تقسیم فرکانس‌های عمود[4] (OFDMA) یک کاندیدای قابل‌توجه برای سیستم‌های نسل چهارم است که دسترسی چندگانه را برای ارسال چند-حامل امکان‌پذیر کرده است. این روش دسترسی چندگانه نرخ دادهٔ بسیار بالا را با تضمین نیازمندی‌های کیفیت سرویس تدارک دیده است.

---

[1] 2nd Generation
[2] Global System for Mobile Communication
[3] Multi-carrier
[4] Orthogonal Frequency Division Multiple Access

از آنجا که شبکه‌های سلولی برای استفادهٔ عملی بسیار مناسب هستند، استفاده از شبکه‌های سلولی OFDMA بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. چالش عمدهٔ که در مقابل این نوع شبکه‌ها وجود دارد، تخصیص کارای منابع به کاربران در حضور تداخل کانال‌های هم‌فرکانس متعلق به سلول‌های مختلف است به نحوی که نیازمندی‌های کیفیت سرویس کاربران را هم در نظر بگیرد.

از دیدگاه مهندسی، بهترین راه‌حل تنها زمانی بدست می‌آید که شبکهٔ رادیویی به خوبی پیکربندی شده و الگوریتم‌ها یا روش‌های مناسب مدیریت منابع رادیویی به کار برده شود. شبکه‌های رادیویی موبایل بایستی چالش تدارک کیفیت سرویس بهتر و گذردهی بالا برای سرویس‌های مالتی‌مدیا را علی‌رغم کمیاب بودن منابع طیفی را لحاظ کنند. اگر چه میزان طیف فرکانسی موجود عملاً ظرفیت شبکه‌های رادیویی را محدود می‌کند، استفاده از راه‌حل‌های مؤثر می‌تواند استفاده از ظرفیت موجود از منابع طیفی داده شده را افزایش دهد.

۱-۲ انواع روش‌های تخصیص کانال

روش‌های مختلفی برای حل مسألهٔ تخصیص کانال پیشنهاد شده است که می‌توان آنها را به دو دستهٔ متمرکز و توزیع‌شده تقسیم کرد. الگوریتم‌های متمرکز آنهایی هستند که یک کنترل‌کنندهٔ مرکزی با توجه به وضعیت تمامی سلول‌ها منابع را به کاربران تخصیص می‌دهد، درحالیکه در الگوریتم‌های توزیع‌شده، تخصیص در هر سلول به صورت مستقل و بدون نیاز به آگاهی از وضعیت دیگر سلول‌ها انجام می‌شود. الگوریتم‌های مکاشفه‌ای در [2-6] پیشنهاد شده‌اند که منابع موجود را به کاربران به نحوی تخصیص می‌دهند که توان ارسالی در ایستگاه‌های پایه می‌نیمم شود. الگوریتم‌های پیشنهادی در [2]، [3]، [5]، و [6] متمرکز هستند، درحالیکه الگوریتم ارائه شده در [4] توزیع شده است.

الگوریتم توزیع‌شده پیشنهادی در [7] از تئوری بازی‌ها برای حل مسألهٔ تخصیص منابع بهره می‌برد. در ابتدا یک تابع سودمندی[1] که کارایی سیستم را با احتساب تداخل بین کانال‌های سلول‌های مختلف در نظر

[1] Utility Function

می‌گیرد، تعریف می‌شود. سپس مسألهٔ تخصیص کانال به عنوان یک بازی غیرمشارکتی[1] مدل می‌شود که استفاده از آن به راه‌حلی منجر می‌شود که گذردهی کل سیستم را افزایش می‌دهد. در [8]، الگوریتمی معرفی می‌شود که سعی دارد گذردهی را ماکزیمم کند، بدون این که عدالت را برای کاربران رعایت کند. لذا کاربرانی که از تداخل هم‌کانالی بیشتری برخوردار هستند، منابع کمتری دریافت می‌کنند. الگوریتم توزیع شده در [9] سعی داردکه بیشترین میزان تخلف از کیفیت سرویس[2] را به ازای کاربران سلول‌های مختلف می‌نیمم کند. این الگوریتم برای شرایطی که منابع شبکه به اندازهٔ نیاز کاربران باشد، عملکرد مناسبی دارد. اما در شرایطی که این نیازهای کاربران کمتر از ظرفیت شبکه باشد، ماکزیمم کردن گذردهی در نظر گرفته نشده است. در [10]، برای دست‌یابی به گذردهی بهینهٔ سیستم، یک فرموله‌سازی برنامه‌ریزی خطی با محدودیت کیفیت سرویس ارائه شده است. از آنجا که یافتن راه‌حل بهینه برای برنامه‌ریزی خطی دارای پیچیدگی محاسباتی بالایی است، یک الگوریتم مکاشفه‌ای که به جوابی مناسب منجر می‌شود، ارائه شده است.

۱-۳ موضوع این پایان‌نامه

در این پروژه مسألهٔ تخصیص کانال در شبکه‌های سلولی OFDMA مطرح و دو روش برای حل آن ارائه شده است که یکی به صورت توزیع‌شده و دیگری به صورت متمرکز می‌باشد. تعریف فرمال جدیدی از مسأله تخصیص کانال ارائه می‌گردد که گذردهی سیستم را ماکزیمم می‌کند در حالیکه عدالت و نیازمندی‌های کاربران را هم در نظر می‌گیرد. در واقع، الگوریتم متناظر با مسألهٔ فرموله شده باید همواره گذردهی را ماکزیمم کند، با این محدودیت که تخطی از عدالت از یک آستانهٔ از پیش تعیین شده‌ای تجاوز نکند. از آنجا که مسألهٔ تخصیص کانال می‌تواند به صورت یک مسألهٔ تصمیم‌گیری مارکف مدل شود، برای حل آن از روش یادگیری تقویتی [11] استفاده می‌گردد. این مسأله می‌تواند به صورت متمرکز مورد بررسی قرار بگیرد،

[1] Non-cooperative
[2] QoS Violation

ولی از آنجا که عامل‌های تصمیم گیری در هر سلول یا مجموعه‌ای از سلول‌ها می‌تواند عملکرد مستقل خود را داشته باشند، حل مسأله به صورت توزیع شده نیز در این پایان‌نامه مد نظر قرار می‌گیرد. در راه‌حل ارائه شده، عامل‌های یادگیری تقویتی در هر سلول عملکردی مستقل دارند. استفاده از روش یادگیری تقویتی برای مسائل با فضای حالت بزرگ و یا پیوسته با محدودیت روبرو می‌باشد و لذا باید راه‌حل مناسبی برای محدود کردن فضای حالت ارائه شود. نقشه‌های خود سازمان‌ده بر مبنای شبکه‌های عصبی رشد یابنده اخیراً برای حل این مسائل به کار رفته‌اند.در این پایان‌نامه از روش یادگیری تقویتی که فضاهای ورودی و خروجی آن با استفاده از نقشه‌های خود سازمان‌ده مدل شده است [12] و [13]، استفاده می‌شود.

۱-۴ ساختار پایان‌نامه

ساختار این پایان نامه به صورت زیر است. در فصل اوّل انگیزهٔ کار و توصیف مسأله بیان گردید و مرور کوتاهی بر کارهای موجود صورت پذیرفت. در فصل دوم اصول معماری شبکه‌های سلولی OFDMA بیان می‌شود. در این فصل ابتدا مؤلفه‌های معماری شبکه‌های سلولی توضیح داده می‌شود. سپس اصول مالتی‌پلکسینگ[1] و روش‌های مختلف دسترسی چندگانه بیان می‌شود که از میان آنها تمرکز بر روی OFDM و OFDMA خواهد بود. در ادامه نحوهٔ تطبیق لینک سیستم با شرایط موجود ارائه خواهد شد. سپس مسألهٔ تخصیص منابع به صورت فرمال بیان می‌شود و در انتها مروری بر روی چند کار انجام شدهٔ قبلی و ایده‌های مطرح در این پایان‌نامه انجام خواهد شد.

فصل سوم به ارائهٔ راه‌حل برای مسألهٔ بیان شده می‌پردازد. از آنجا که برای حل مسأله از روش یادگیری تقویتی که از نقشه‌های خود سازمانده بهره می‌برد، استفاده شده است، در ابتدا به صورت مختصر آشنایی با مفاهیم یادگیری تقویتی و شبکه‌های خود سازمانده ارائه می‌شود. پس از معرفی این دو، روش ترکیبی

[1] Multiplexing

یادگیری تقویتی که از شبکه‌های خودسازمانده استفاده می‌کند، بیان می‌شود و در انتها نگاشت مسألهٔ تخصیص منابع به چارچوب یادگیری تقویتی بیان می‌شود.

فصل چهارم به پیاده‌سازی و نتایج ارزیابی‌ها برمی‌گردد. در ابتدا پارامترهای محیط شبیه‌سازی بیان می‌شود و سپس نتایج آزمایش‌های مختلف برای روش ارائه شده بیان می‌شود. در فصل پنجم نیز جمع‌بندی از مطالب گفته ارائه می‌شود و پیشنهاداتی برای کارهای آینده بیان می‌شود.

۲- اصول معماری شبکه‌های سلولی OFDMA

در این فصل به تشریح موضوع پایان‌نامه و کارهای انجام شدهٔ قبلی می‌پردازیم. ابتدا اصول پایهٔ عملکرد شبکه‌های سلولی بیان می‌گردد و اصول مالتی‌پلکسینگ و روش‌های دسترسی چندگانه بر مبنای OFDM و OFDMA تشریح می‌شود. سپس مسألهٔ تخصیص منابع در این شبکه‌ها بیان می‌شود و در انتها نیز کارهای انجام شدهٔ قبلی و ایده‌های تحقیقاتی مطرح در این پایان نامه بیان می‌شود.

۲-۱ مؤلفه‌های معماری شبکه‌های سلولی

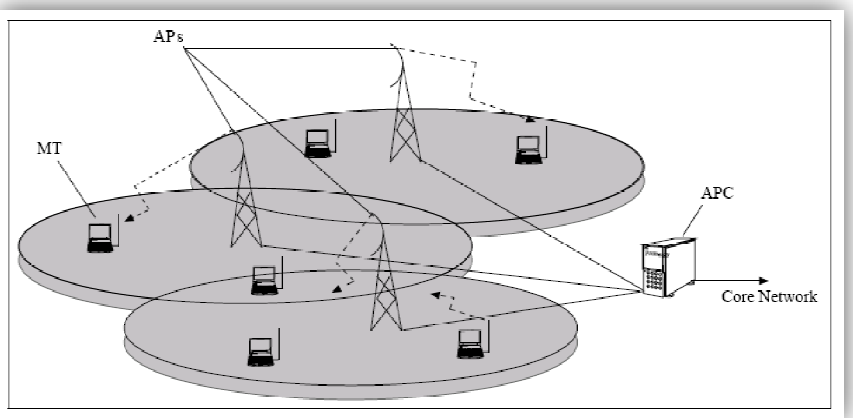
برای شبکه‌های بی‌سیم دو نوع پیکربندی موردی[1] و دارای زیرساخت[2] وجود دارد. در شبکه‌های موردی، نه ساختار ثابتی برای شبکه وجود دارد، نه نقاط ثابتی. در این شبکه‌ها گره‌ها سعی می‌کنند که با برقراری ارتباط با گره‌های مجاور، اتصال در شبکه را ایجاد کنند. شبکه‌هایی که دارای زیرساخت هستند، از نقاط دسترسی[3] ثابتی استفاده می‌کنند که ترمینال‌های موبایل برای ارتباط با شبکه باید با آنها ارتباط برقرار کنند. نقاط دسترسی می‌توانند به هم متصل باشند. شبکه‌های سلولی موبایل یک مثال ملموس از شبکه‌های دارای زیرساخت هستند [14].

یک نقطهٔ دسترسی گره‌ای است که ارتباط رادیویی را برای ترمینال‌های موبایل فراهم می‌کند. نقاط دسترسی معمولاً به یک شبکهٔ هستهٔ باسیم[4] وصل هستند. یک نقطهٔ دسترسی می‌تواند به عنوان کنترل‌کنندهٔ مرکزی، منابع رادیویی را به ترمینال‌های موبایل تخصیص دهد. معمولاً ناحیه‌ای که شبکه در آن سرویس ارائه می‌کند، به سلول‌هایی تقسیم می‌شود که یک ایستگاه پایه[5] به عنوان نقطهٔ دسترسی یا درگاه در مرکز یک سلول قرار می‌گیرد. در واقع ایستگاه‌های پایه تحت نظارت عناصر سطح بالاتر که در اینجا کنترل‌کنندهٔ نقاط

---

[1] Ad-hoc
[2] Infrastructure
[3] Access Point (AP)
[4] Wired Backbone Network
[5] Base Station

دسترسی[1] خوانده می‌شوند، کنترل کنندهٔ منابع رادیویی در سلول‌ها می‌باشند. ترمینال‌های موبایل با استفاده از منابع رادیویی موجود با نقطهٔ دسترسی سلول خود ارتباط برقرار می‌کنند. تخصیص منابع رادیویی به ترمینال‌های موبایل می‌تواند توسط هر نقطهٔ دسترسی یا توسط کنترل‌کنندهٔ نقاط دسترسی انجام شود. مؤلفه‌های اصلی یک سیستم سلولی در شکل۲-۱ نشان داده شده است که شامل ترمینال‌های موبایل[2]، نقاط دسترسی و کنترل‌کنندهٔ نقاط دسترسی است.



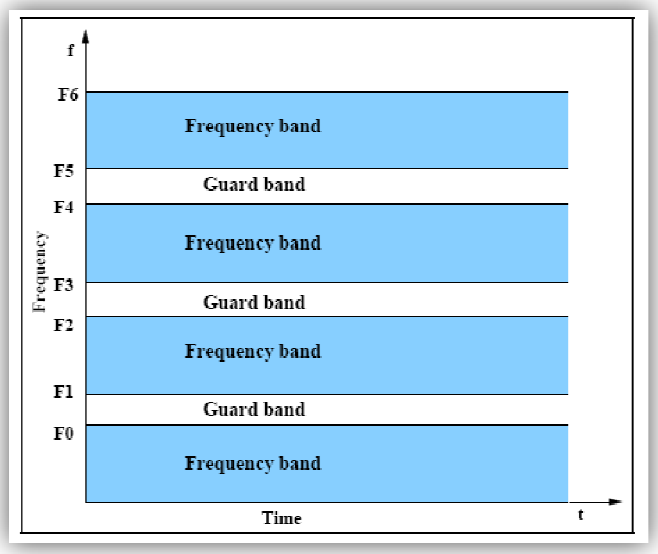
شکل ۲-۱ مؤلفه‌های اصلی یک سیستم سلولی موبایل

۲-۲ اصول مالتی‌پلکسینگ و روش‌های مختلف دسترسی چندگانه

مالتی‌پلکسینگ تکنیکی است که با استفاده از روش‌هایی امکان ارسال همزمان داده‌های مربوط به ارتباطات مختلف را فراهم می‌کند. بدین ترتیب می‌توان ظرفیت گذردهی[3] یک رسانهٔ ارتباطی را به مراتب افزایش داد. در ادامه روش‌های مالتی‌پلکسینگی که در سیستم‌های رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرند، ذکر می‌گردند.

[1] Access Point Controller (APC)
[2] Mobile Terminal (MT)
[3] Throughput

- **مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم فرکانس[1] (FDM).** در این روش طیف موجود برای استفاده در سیستم رادیویی به چندین باند فرکانسی تقسیم می‌شود که می‌توانند به صورت همزمان مورد استفاده قرار بگیرند. این نکته در شکل۲-۲ نشان داده شده است.

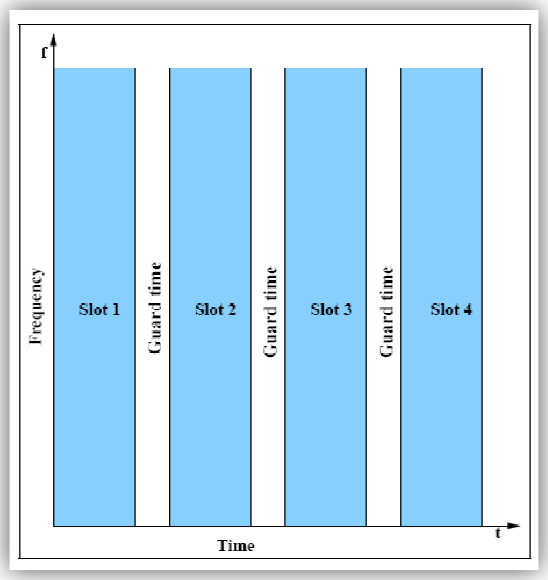


شکل۲-۲ مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم فرکانس (FDM).

طیف فرکانسی با استفاده از مدولاسیون[2] فرکانسهای حامل[3] مختلف به باندهای فرکانسی تقسیم می‌شود که بسته‌های داده و کنترلی می‌توانند از طریق آنها ارسال شوند. به منظور کاهش دادن تداخل[4] دو باند فرکانسی مجاور، استفاده از باندهای حائل[5] در این روش ضروری است [15].

- **مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم زمان[6] (TDM).** در این روش تمامی پهنای باند یک کانال رادیویی مورد استفاده قرار می‌گیرد، اما به تکه‌های زمانی[7] تقسیم می‌شود که به منظور ارسال داده به ترمینال‌ها اختصاص داده می‌شوند. این موضوع در شکل۲-۳ نشان داده شده است.

[1] Frequency Division Multiplexing
[2] Modulation
[3] Carrier Frequency
[4] Interference
[5] Guard Bands
[6] Time Division Multiplexing
[7] Time Slots

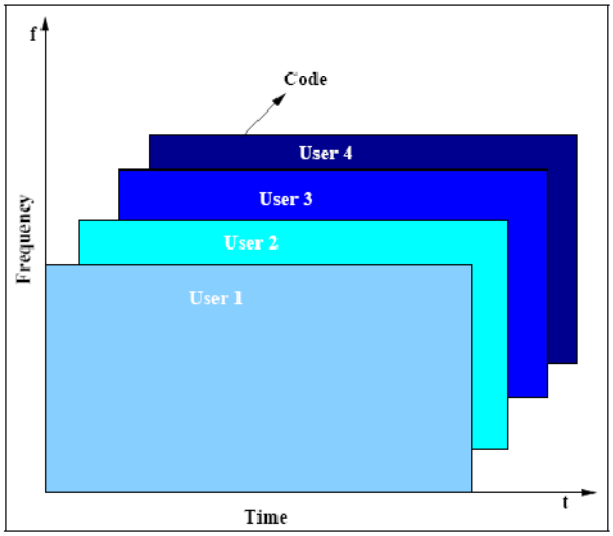


شکل۲-۳ مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم زمان (TDM).

همانند FDM به منظور جلوگیری کردن از تداخل بین سمبولی[1] دو تکهٔ زمانی مجاور، یک حائل زمانی در تکنیک TDM مورد استفاده قرار می‌گیرد.

- **مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم کد[2] (CDM).** در این روش کانال‌ها نه به نواحی فرکانسی و نه به تکه‌های زمانی تقسیم می‌شود. در این روش سیگنال‌ها در یک طیف فرکانسی پهن با استفاده از کدهای یکتای کاربران به نحوی گسترده می‌شوند که گیرنده با داشتن کد کاربران قادر به تمایز اطلاعات فرستنده‌های مختلفی است که از یک فرکانس در یک زمان استفاده کرده‌اند. با استفاده از این روش هر کانال ارتباطی با یک کد یکتا تعریف می‌شود [16]. روش CDM در شکل ۲-۴ نشان داده شده است.

[1] Inter-symbol Interference
[2] Code Division Multiplexing



شکل۲-۴ مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم کد (CDM).

- **مالتی‌پلکسینگ بر مبنای تقسیم فضا[1] (SDM).** با استفاده از SDM، کانال‌های فرکانسی مورد استفاده برای ارسال داده‌ها در فاصله‌های هندسی مناسبی مورد استفادهٔ مجدد قرار می‌گیرند به نحوی که حجم عظیمی از ترافیک، علیرغم طیف فرکانسی محدود، می‌تواند بر روی ناحیهٔ گستردهٔ جغرافیایی انتقال یابد.

روش‌های مالتی‌پلکسینگ فوق متناظراً می‌توانند به عنوان روش‌های دسترسی چندگانه از طریق یک فضای انتقال مشترک مورد استفاده قرار گیرند. کانال‌های تخصیصی به کاربران می‌تواند متناظر با کانال‌های فرکانسی، زمانی، کدی و فضایی باشد که بر مبنای آن روش‌های دسترسی چندگانهٔ زیر به وجود می‌آیند:

- روش دسترسی چندگانهٔ تقسیم فرکانس (FDMA)
- روش دسترسی چندگانهٔ تقسیم زمان (TDMA)
- روش دسترسی چندگانهٔ تقسیم کد (CDMA)
- روش دسترسی چندگانهٔ تقسیم فضا (SDMA)

[1] Space Division Multiplexing

در شبکه‌های سلولی روش‌های مالتی‌پلکسینگ برای ارسال از ایستگاه پایه به کاربران (Downlink) و روش‌های متناظر دسترسی چندگانه برای ارسال از کاربران به ایستگاه پایه (Uplink) مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۲-۳ اصول OFDM و OFDMA

سیستم‌های مبتنی بر OFDM[1] یک کانال با پهنای باند بالا[2] را به چندین زیرکانال با پهنای باند پایین[3] تقسیم می‌کنند. در ODFM اطلاعاتی که قرار است ارسال شود، به چندین زیرحامل[4] نگاشت می‌شود به نحوی که این زیرحامل‌ها بر یکدیگر عمود باشند. عمود بودن بدین معناست که حائل فرکانسی بین زیرکانال‌ها برداشته شده و زیرکانال‌ها به نحوی انتخاب شده‌اند که علیرغم تداخل می‌توان داده‌های آن‌ها را از یکدیگر تفکیک کرد [1].

زمانی که احتیاج به دسترسی چندگانه باشد، OFDM می‌تواند با FDMA ، TDMA، یا هر دوی آنها ترکیب شود. ترکیب OFDM با FDMA را دسترسی چندگانه بر مبنای تقسیم فرکانس‌های عمود[5] (OFDMA) می‌نامند. دادهٔ ارسالی هر کاربر ابتدا به سمبل‌های OFDMA نگاشت می‌شود و سپس با استفاده از مدولاسیون‌های QPSK یا QAM مدوله می‌شود. ترافیک کاربران مختلف با استفاده از نگاشت فرکانس-زمان مالتیپلکس می‌شود. در روش OFDM-TDMA، در هر تکهٔ زمانی، تمامی زیرحامل‌ها توسط یک کاربر مورد استفاده قرار می‌گیرند. اما در روش OFDMA زیرحامل‌ها می‌توانند در یک زمان به کاربران مختلفی تخصیص داده شوند. لذا کاربران می‌توانند از یک یا چند زیرحامل در طول مدت ارسال استفاده کنند. تفاوت بین OFDMA و OFDM-TDMA در شکل۲-۵ نشان داده شده است [17]. در نسل چهارم شبکه‌های

[1] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[2] Broadband Channel
[3] Narrowband Subchannel
[4] Subcarrier
[5] Orthogonal Frequency Division Multiple Access