بسم الله الرحمن الرحیم

دانشگاه بیرجند

دانشکده مهندسی

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک

تخصیص فرکانس در مخابرات سیار (نسل دوم، GSM)

نگارش:

مهناز میری

استاد راهنما:

جناب آقای دکتر سید حمید ظهیری

استاد مشاور:

جناب آقای دکتر ناصر ندا

تابستان 1390

تقدیم به

دستان مهربان مادرم و روح پاک پدرم

تحقیق ارائه شده حاصل زحمات جمعی از اساتید و دوستان می‌باشد که نهایت تقدیر و تشکر را از آنها دارم. از آقای دکتر سید حمید ظهیری که در به پایان رسانیدن این تحقیق صبورانه همراه و راهنمای بنده بودند و دوست عزیزم خانم مهندس سهیلا رادبوی بسیار سپاسگذارم. این تحقیق تحت حمایت مالی مرکز تحقیقات اداره مخابرات استان خراسان جنوبی صورت گرفته است که از این مرکز نیز کمال تشکر را دارم.

چکیده:

گسترش روزافزون استفاده از تلفن همراه، بهینه ساختن شبکه‌های مخابرات سیار را امری ضروری و اجتناب ناپذیر ساخته است. سیستم جهانی برای ارتباطات سیار (GSM)[1] به عنوان یکی از پرکاربردترین شبکه‌های ارتباطی، از این امر مستثناء نیست. از طرفی محدودیت موجود در تعداد فرکانس‌های مفید در طیف فرکانسی که منبع موجود برای شبکه‌های GSM هستند؛ سبب شده تا ایده استفاده مجدد فرکانسی[2] ارائه شود. با استفاده از این روش، می‌توان پاسخگوی حجم بالای تقاضا برای استفاده از این تکنولوژی بود اما استفاده از این روش، سبب بروز تداخل می‌شود. از بین بردن این تداخل، تقریبا امری غیرممکن است از این رو محققان زیادی سعی نموده‌اند با ارائه روش‌های گوناگونی به بهینه ساختن تخصیص فرکانسی و در نتیجه کمتر ساختن تداخل بپردازند. در این تحقیق سعی نموده‌ایم با استفاده از قوانین ریاضی حاکم بر مسئله و شبیه سازی شبکه GSM در چهار حالت مختلف برای نقشه شهری و نحوه چینش ترافیک، به تخصیص فرکانسی بهینه که کمترین تداخل ممکن را سبب شود، دست یابیم. نحوه پیاده سازی روش و الگوریتم بهینه سازی مورد استفاده در آن، هر دو برای اولین بار صورت گرفته‌اند. روش بهینه سازی مورد استفاده، الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA)[3] است که الگوریتمی ابتکاری، برگرفته از نیروی گرانش بین اجسام در فضاست. با توجه به ابعاد در نظر گرفته شده برای مسئله، روش ارائه شده نتایج خوبی را دربر داشته شده است.

کلید واژه‌ها: الگوریتم جستجوی گرانشی، تخصیص فرکانس، شبکه GSM.

[1] Global system for mobile communications (GSM)
[2] Frequency reuse
[3] Gravitational search algorithm (GSA)

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جداول.....ج

فهرست اشکال.....د

مقدمه.....1

1. شبکه مخابرات سیار و مسئله تخصیص فرکانس.....6

1-1. شبکه مخابرات سیار.....7

1-1-1. اهداف شبکه مخابرات سیار و راه حل‌ها.....7

1-1-2. تکنیک‌های دسترسی کاربران به شبکه.....8

1-1-2-1. تکنیک‌های دسترسی چندگانه برای یک کاربر.....8

1-1-2-2. تکنیک‌های دسترسی چندگانه برای چند کاربر.....9

1-1-3. مدل‌های تلفاتی شبکه.....9

1-2. سیستم GSM.....10

1-3. مفاهیم مسئله تخصیص فرکانس.....11

1-3-1. مقادیر فرکانس‌های دردسترس و تداخل آنها.....11

1-3-2. تخصیص فرکانس بلاک شده.....16

1-3-3. طبقه بندی‌ها.....17

1-3-4. مسئله تخصیص فرکانس دارای حداکثر سرویس دهی (Max-FAP) و مسئله تخصیص فرکانس دارای حداقل بلاک شدگی (MB-FAP).....20

1-3-5. مسئله تخصیص فرکانس حداقل درجه (MO-FAP).....22

1-3-6. مسئله تخصیص فرکانس حداقل محدوده (MS-FAP).....22

1-3-7. مسئله تخصیص فرکانس حداقل تداخل (MI-FAP).....25

1-3-8. مسئله تخصیص فرکانس طیف ثابت (FS-FAP).....26

1-3-9. ویژگی‌های اضافه.....27

2. الگوریتم جستجوی گرانشی.....29

2-1. الگوریتم‌های هوشمند 30
2-2. الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) 30
2-3. الگوریتم جستجوی گرانشی باینری (BGSA) 34
3. نتایج عملی 35
3-1. دلایل ارائه روش پیاده سازی جدید 36
3-2. روش پیاده سازی پیشنهادی 36
3-2-1. تخصیص فرکانس اولیه 40
3-3. مدل تلفات بر اساس لگاریتم فاصله 41
3-4. تخصیص فرکانس با استفاده از GSA 41
3-5. نتایج عملی 41
3-5-1. شبیه سازی با درنظر گرفتن محدودیت هم کانال 42
3-5-2. شبیه سازی با درنظر گرفتن محدودیت‌های هم کانال و کانال مجاور 44
3-6. مقایسه 47
4. بحث و نتیجه گیری 49
4-1. ویژگی‌های روش پیاده سازی پیشنهادی 50
4-2. پیشنهادات 51
مراجع 52
واژه نامه فارسی به انگلیسی 56
واژه نامه انگلیسی به فارسی 59

فهرست جداول

عنوان **صفحه**

جدول (1-1)، پارامتر تلفات برای محیط‌های مختلف.....10
جدول (3-1)، نتایج با درنظر گرفتن محدودیت هم کانال.....42
جدول (3-2)، نتایج با درنظر گرفتن هر دو محدودیت‌های هم کانال و کانال مجاور.....44
جدول (3-3)، مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج حاصل از [26] و [27].....47
جدول (3-4)، نتایج مربوط به [28].....48
جدول (3-5)، نتایج مربوط به روش پیشنهادی.....48

فهرست اشکال

عنوان **صفحه**

شکل (1-1). روش TDMA 9

شکل (1-2). روش FDMA 9

شکل (1-3). دسترسی چندگانه در سیستم GSM 11

شکل (1-4). نواحی بهترین سرور در یک شبکه GSM 13

شکل (1-5). مثالی از استفاده مجدد فاصله‌ها در شبکه‌های سلولی شش ضلعی 14

شکل (1-6). مثالی از تداخل متقارن 15

شکل (1-7). مثالی از گراف تداخل از طرح CALMA 18

شکل (2-1). شبه کد الگوریتم جستجوی گرانشی 33

شکل (3-1). Case 1 37

شکل (3-2). Case ۲ 38

شکل (3-3). Case ۳ 39

شکل (3-4). Case ٤ 39

منحنی (3-1). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case 1 42

منحنی (3-2). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case ۲ 43

منحنی (3-3). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case ۳ 43

منحنی (3-4). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case ٤ 44

منحنی (3-5). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case 1 45

منحنی (3-6). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case ۲ 45

منحنی (3-7). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case ۳ 46

منحنی (3-8). نحوه پاسخگویی الگوریتم برای Case ٤.....46
نمودار (3-1). مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج حاصل از [26] و [27].....47

مقدمه

ارتباطات بی‌سیم در زمینه‌های مختلفی مانند تلفن همراه، پخش امواج رادیو و تلویزیون، ارتباطات ماهواره‌ای، شبکه‌های محلی بی‌سیم (WLAN)[1] و ارتباطات نظامی، کاربرد دارد. در تمام این موارد با توجه به ویژگی‌های کاربرد، به تخصیص فرکانس بهینه و کارآمد نیاز است؛ بنابراین به نوعی مسئله تخصیص فرکانس (FAP)[2] مطرح می‌گردد.

در شبکه‌های سلولار منبع مورد استفاده جهت برقراری ارتباط فرکانس‌های موجود در طیف رادیویی می باشد که در دهه‌های اخیر به علت رشد و توسعه سریع سیستم‌های بی‌سیم، مسئله کمبود فرکانس در این طیف به وجود آمده است. بنابراین استفاده بهینه از این منبع محدود، بسیار مهم است. از جمله راه حل‌ها برای استفاده بهینه از این منبع، استفاده مجدد فرکانس‌ها در شبکه ارتباطی بی‌سیم می‌باشد اما این استفاده مجدد، ممکن است به علت به وجود آمدن تداخل بین سیگنال‌ها سبب از بین رفتن کیفیت ارتباط شود.

منظور از حل مسئله تخصیص فرکانس، برقراری مصالحه بین استفاده مجدد فرکانس‌های طیف رادیویی و کاهش کیفیت شبکه است. محققان به منظور مدل سازی مسئله از سه ویژگی رایج شبکه‌های بی‌سیم استفاده می‌کنند و ایده‌های مختلف مدل سازی و حل مسئله را ارائه می‌دهند. این سه ویژگی عبارتند از: تداخل بین سیگنال‌های رادیویی، فرکانس‌های دردسترس و معیار بهینه سازی. با توجه به ابعاد مختلف مسئله، یک مسئله بهینه سازی با عملیات ریاضی پیچیده به وجود می‌آید که می‌توان با استفاده از تکنیک های مختلفی آن را حل نمود. مدل‌ها و الگوریتم‌های متفاوت بسیاری با توجه به دیدگاه محققان، هدف از ایجاد شبکه و شرایط خاص موجود در مسئله پیشنهاد داده شده است. به طور کلی این مدل‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند:

1. تکنیک‌هایی بر مبنای ریاضی شامل تکنیک‌های بهینه سازی و کاهش محدوده؛
2. تکنیک‌های جستجوی ابتکاری[3].

لزوم حل مسئله تخصیص فرکانس و استفاده از روش‌های هوشمند:

در سال‌های اخیر، گسترش سریع استفاده از ارتباطات سیار به خصوص شبکه‌های GSM سبب شده است که تحقیقات پیرامون مسئله تخصیص فرکانس که برخی آن را مسئله تخصیص کانال (CAP)[4] نیز می‌نامند، رشد سریع و چشم گیری داشته باشد. آمار نشان می‌دهد تا اواسط سال 2006، 1/8 میلیارد مشترک در 210 کشور دنیا از سرویس‌های GSM استفاده می‌کردند که بیانگر گسترش 77% شبکه‌های GSM می‌باشد؛ بنابراین دست یافتن به تخصیص فرکانسی بهینه و در واقع حل مسئله تخصیص فرکانس برای نسخه‌های اولیه و حتی توسعه و اصلاح یافته شبکه‌های GSM امری ضروری و اجتناب ناپذیر است [4].

کاربردهای مسئله مدل‌های مختلفی را سبب می‌شود که تمام آنها دارای دو ویژگی اصلی هستند:

[1] Wireless local area networks (WLANs)
[2] Frequency assignment problem (FAP)
[3] Heuristic search techniques
[4] Channel assignment problem (CAP)

1. بازه‌ای از فرکانس‌ها در اختیار است و باید آنها را به مجموعه‌ای از آنتن‌ها اختصاص داد به نحوی که انتقال داده بین فرستنده و گیرنده ممکن گردد؛
2. فرکانس‌های اختصاص یافته به دو آنتن، ممکن است در یکدیگر تداخل ایجاد کنند و در نتیجه کیفیت سیگنال کاهش یابد.

شرایط زیر سبب بروز تداخل بین دو سیگنال می‌شوند:

أ. دو فرکانس در طیف رادیویی نزدیک به هم باشند. البته لازم به ذکر است که هارمونیک‌های حاصل از رخ دادن پدیده داپلر نیز ممکن است باعث به وجود آمدن تداخل شوند اما معمولا بازه فرکانسی طوری انتخاب می‌شود که این نوع تداخل رخ ندهد؛

ب. سیگنال‌های تداخلی توان لازم را برای تخریب کیفیت یک سیگنال داشته باشند که این حالت زمانی رخ می‌دهد که آنتن‌ها به لحاظ جغرافیایی نزدیک به هم باشند.

گسترش ارتباطات سیار، کمبود فرکانس‌های مفید در طیف رادیویی را سبب شد. محققان برای جبران این کمبود، ایده سلولار و استفاده مجدد از فرکانس‌ها را مطرح نمودند اما این استفاده مجدد فرکانسی باعث به وجود آمدن سطوح بالایی از تداخل می‌شود؛ بنابراین نیاز به طراحی‌های فرکانسی است که تداخل و هزینه های پیاده سازی طرح‌ها را کاهش دهند. اما تحقیقات نشان داده‌اندکه دست یافتن به چنین طراحی‌هایی تقریبا غیرممکن است در نتیجه محققان به طراحی با استفاده از تکنیک‌های برمبنای ریاضی و تئوری گراف روی آوردند.

اولین بار در دهه 60، Metzger مسائل تخصیص فرکانس و ارائه راه حل برای آنها را مطرح نمود [5]. او استفاده از تکنیک‌های برمبنای ریاضی، به خصوص تکنیک‌های رنگ آمیزی گراف را برای بهینه سازی مسئله پیشنهاد داد.

در اوایل دهه 80 بیشتر محققان برای حل مسئله به استفاده از الگوریتم‌های هوشمند بر مبنای مسئله رنگ آمیزی گراف روی آوردند. در سال 1980 برای نخستین بار Hale رابطه مسئله تخصیص فرکانس با رنگ آمیزی گراف (راس)، به ویژه مسئله T-coloring را بیان نمود [6]. پس از آن تحقیقات بسیاری در زمینه تئوری گراف انجام شد که خلاصه ای از آن ها توسط Roberts در سال 1991 تهیه گردید [7].

تکنیک کاهش محدوده اولین بار در سال 1982 توسط Gamst و Rave برای عمومی‌ترین مسئله تخصیص فرکانس آن زمان (MS-FAP که در بخش 1-3-6 توضیح داده خواهد شد) مطرح گردید [8].

تخصیص کانال به سه روش صورت می‌گیرد:

1. تخصیص کانال ثابت (FCA)[1]: منطقه مورد نظر به تعدادی سلول تقسیم می‌شود و به هر سلول، تعدادی کانال اختصاص داده می‌شود. طرح‌های FCA بسیار ساده هستند اما با شرایط تغییر ترافیک تقاضا سازگاری ندارند؛
2. تخصیص کانال پویا (DCA)[2]: تمام کانال‌ها به اشتراک گذاشته می‌شوند و در صورت برقرار شدن تماس جدید طوری که شرط تداخل برآورده شود، به آن کانال اختصاص داده می‌شود. پیچیدگی بالای مسئله در این حالت با انعطاف پذیری طرح و سازگاری آن با ترافیک جبران می‌گردد. اما طرح های DCA تحت شرایط بالا بودن بار شبکه کمتر از FCA بهینه‌اند. برای رفع این نقص طرح‌های هایبرید مطرح شدند؛
3. تخصیص کانال هایبرید (HCA)[3]: ترکیبی از دو نوع FCA و DCA می‌باشد؛ تعدادی از فرکانس‌ها تخصیص داده می‌شوند اما فاصله‌ای در طیف فرکانسی باید ذخیره گردد تا در صورت وجود تقاضا بلافاصله فرکانسی به آن اختصاص یابد.

طرح‌های FCA به علت سادگی هنوز مبنای طراحی بسیاری از سیستم‌های ارتباطات سیار می‌باشند.

مسئله با درجه سختی $\mathcal{NP}$ و $\mathcal{P}$:

أ. مسئله دارای درجه سختی $\mathcal{P}$ یا کلاس $\mathcal{P}$، به آن دسته از مسائل تصمیم گیری اطلاق می‌شود که در زمانی کثیرالجمله، به صورت قطعی و محدود به اندازه ورودی قابل حل هستند. حل این دسته از مسائل فقط با استفاده از تئوری‌هایی که عمل‌های ورودی یا خروجی را ساده می‌سازند و در برهان های ریاضی استفاده می‌شوند، ممکن است. چنین تئوری‌هایی را اصطلاحا ماشین تورینگ[4] می نامند؛

ب. مسئله دارای درجه سختی $\mathcal{NP}$ یا کلاس $\mathcal{NP}$ آن دسته از مسائل تصمیم گیری می‌باشند که در زمانی کثیرالجمله و به صورت غیر قطعی قابل حل هستند. همانند کلاس $\mathcal{P}$ حل این دسته از مسائل نیز با استفاده از ماشین تورینگ ممکن است.

استفاده از تکنیک‌های بهینه سازی در تخصیص فرکانس برای شبکه‌های GSM الزامی است زیرا با توجه به آنچه بیان شد مسئله از کلاس *NP*-hard می‌باشد. تکنیک‌های بر مبنای ریاضی، تکنیک‌هایی تقریبی هستند، در زمانی طولانی اجرا می‌شوند و حلی که بیشترین فاکتور بهینه سازی را دارد، می‌یابند. در مقابل در تکنیک‌های هوشمند، تضمینی برای یافتن بهترین پاسخ وجود ندارد اما در عمل این تکنیک‌ها حل‌هایی خوب برای بیشتر مسائل به دست می‌آورند. درعمل، بیشتر الگوریتم‌های تقریبی در مقابل الگوریتم‌های هوشمند شکست می‌خورند زیرا الگوریتم‌های هوشمند برای بیشتر داده‌های ورودی، حل‌هایی بهینه در

[1] Fixed channel assignment (FCA)
[2] Dynamic channel assignment (DCA)
[3] Hybrid channel assignment (HCA)
[4] Touring machine

زمانی کوتاه می‌یابند. با توجه به دلایل فوق در سال‌های اخیر، بسیاری از محققان به استفاده از الگوریتم های هوشمند برای حل مسئله روی آورده‌اند.

از جمله تکنیک‌های بر مبنای ریاضی که در حل مسئله تخصیص فرکانس استفاده می‌شوند:

1. رمزگذاری‌های جایگزین: تولید ستونی[1] و فرمول بندی موقعیت[2]؛
2. روش‌های بهینه سازی و کاهش محدوده، شامل: قوانین شاخه گزینی، انتخاب ریز مسائل، تکنیک های کاهش و طرح‌های برش در جستجوی درختی؛
3. ساده سازی لاگرانژ؛
4. کاهش پتانسیل.

[1] Column generation
[2] Orientation formulation

فصل اول:

شبکه مخابرات سیار و مسئله تخصیص فرکانس

1 - 1 شبکه مخابرات سیار

1 - 1 - 1 اهداف شبکه مخابرات سیار و راه حل‌ها

هدف یک شبکه مخابرات سیار، داشتن پوشش[1]، ظرفیت[2] و سرعت[3] عالی است. منظور از پوشش شبکه، ناحیه‌ای از فضا و جغرافیای زمین است که شبکه می‌تواند پوشش دهد که طبیعتا زیاد بودن آن، مطلوب است. ظرفیت شبکه، منظور تعداد کاربرانی است که به طور هم زمان می‌توانند از شبکه استفاده کنند و منظور از سرعت، سرعت شبکه در برقراری ارتباط‌هاست.

حالت مطلوب برای شبکه، زیاد بودن هر سه هدف فوق می‌باشد اما این اهداف باهم در تضاد هستند. اگر ظرفیت افزایش یابد لازم است حجم انتقال داده زیاد باشد بنابراین با محدودیت سرعت مواجه می‌شویم اما نکته مهم‌تر محدودیت منابع است.

هر شبکه مخابراتی برای برقراری ارتباط از یک منبع استفاده می‌کند؛ به عنوان مثال منبع مورد استفاده در شبکه GSM، عرض باند فرکانسی و در شبکه CDMA، کدها که رشته اعداد هستند، می‌باشد. در شبکه GSM با محدودیت عرض باند فرکانسی مواجه هستیم زیرا از سویی تنها مخابرات سیار نیست که از طیف فرکانسی استفاده می‌کند؛ شبکه‌های تلویزیونی و ماهواره‌ای و ... نیز از این منبع استفاده می‌کنند و از سوی دیگر هرچه تعداد کاربران شبکه بیشتر می‌شود، این محدودیت نیز مهم‌تر می‌گردد.

اولین شبکه سیار شامل یک آنتن بسیار قوی بود که منطقه وسیعی را پوشش می‌داد. چنین شبکه‌ای در عمل، پوشش زیاد اما ظرفیت کمی داشت برای رفع این معضل ایده سیستمی سلولار به منظور بهینه نمودن شبکه، پیشنهاد داده شد: ناحیه مورد نظر برای شبکه را به سلول‌های ریز تقسیم نموده و به جای استفاده از یک آنتن بسیار قوی در مرکز شبکه، آنتن‌های خیلی ضعیف‌تر در هر سلول قرار داده می‌شود و به این ترتیب پوشش هر سلول به آنتن مربوطه‌اش محول می‌گردد. با پیاده سازی این ایده ظرفیت شبکه زیاد می‌شود اما در پوشش، تفاوتی ایجاد نمی‌گردد. در صورت گسترش یافتن ناحیه تحت پوشش، کافی است یک سلول به شبکه افزود که از جمله مزایای استفاده از این روش است.

با پیاده سازی ایده سلولار، محققان توانستند ظرفیت شبکه‌های مخابرات سیار را افزایش دهند اما هم چنان مشکل محدودیت منبع وجود داشت بنابراین محققان ایده استفاده مجدد فرکانسی را بیان نمودند: طیف فرکانسی به چند گروه تقسیم گشته و هر گروه فرکانسی به یک سلول اختصاص داده می‌شود البته با درنظر گرفتن این محدودیت که هیچ دو سلول مجاوری نباید عرض باند فرکانسی یکسانی داشته باشند. این تخصیص گروه فرکانسی برای سلول‌های دیگر نیز به همین ترتیب ادامه می‌یابد. به عنوان مثال، عرض باند به

[1] Coverage
[2] Capacity
[3] Mobility

سه گروه A و B و C تقسیم گشته و هر گروه به یک سلول اختصاص داده می‌شود و برای سلول‌های دیگر، مجددا از همین سه گروه فرکانسی استفاده می‌گردد.

با استفاده از ایده استفاده مجدد فرکانسی، تا حد زیادی تداخل بین سلول‌ها از بین می‌رود ولی با دور شدن امواج هم چنان امکان تداخل وجود دارد. از بین بردن این تداخل و یا کمتر نمودن آن، هدفی است که محققان در حل مسئله تخصیص فرکانس به دنبال آن هستند.

1 - 1 - 2 تکنیک‌های دسترسی کاربران به شبکه

محیط مخابرات سیار، بین کاربرانی که از آن استفاده می‌کنند مشترک است. مشترک بودن محیط به این معناست که کاربران (موبایل‌ها)، از محیطی مشترک برای ارسال و دریافت سیگنال استفاده می‌کنند و سیگنال ارسال گشته از آنتن در صورت داشتن هم خوانی‌های لازم توسط تمام کاربران دریافت می‌شود. بنابراین مشارکت کاربران در گرفتن سیگنال ارسالی وجود دارد.

با توجه به وجود اشتراک‌های بیان شده، برای داشتن شبکه‌ای بهینه، از تکنیک‌های دسترسی چندگانه[1] استفاده می‌شود:

1. کانال مخابراتی در مخابرات سیار، دوطرفه[2] است یعنی یک کاربر به طور هم زمان یک سیگنال، ارسال و یک سیگنال، دریافت می‌کند بنابراین باید قابلیت جداسازی سیگنال‌های رفت و برگشت وجود داشته باشد؛
2. سیگنال‌های مربوط به کاربران مختلف باید از قابلیت جداسازی از یکدیگر برخوردار باشند.

1 - 1 - 2 - 1 تکنیک‌های دسترسی چندگانه برای یک کاربر:

1. مدار دوطرفه دسته بندی فرکانسی (FDD)[3]: در این حالت، جداسازی بین سیگنال‌های رفت و برگشت، با استفاده از فرکانس صورت می‌گیرد. چون دریافت و ارسال سیگنال برای هر کاربر، در دو باند فرکانسی مجزا انجام می‌شود شبکه، برای برقرار سازی یک مکالمه، باند فرکانسی خاصی را به سیگنال ارسالی و باند دیگری را به سیگنال دریافتی اختصاص می‌دهد؛
2. مدار دوطرفه دسته بندی زمانی (TDD)[4]: این مدار همانند FDD می‌باشد با این تفاوت که برای جداسازی سیگنال‌ها به جای فرکانس، از زمان استفاده می‌گردد. شبکه، زمان را واحد بندی می‌کند و یک واحد زمانی خاص را برای ارسال سیگنال و واحد زمانی دیگری را برای دریافت آن اختصاص می‌دهد. مثلا ارسال سیگنال در زمان‌های زوج و دریافت آن در زمان‌های فرد، صورت می‌گیرد. با استفاده از این تکنیک، بین دریافت و ارسال، وقفه ایجاد می‌شود بنابراین باید زمان‌ها بسیار کوچک باشند.

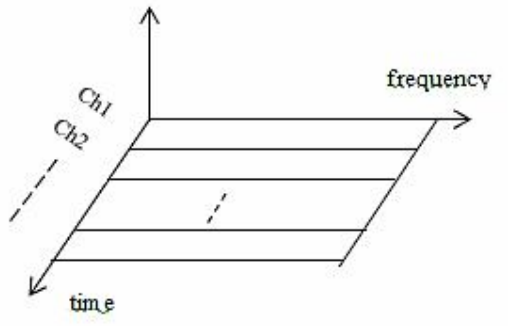
[1] Multiple access techniques
[2] Duplexing
[3] Frequency division duplexing (FDD)
[4] Time division duplexing (TDD)

به هنگام استفاده از روش FDD، برای جداسازی باندهای فرکانسی، در مدار گیرنده به فیلتر duplexer نیاز است که از لحاظ سخت افزاری، طراحی دقیق چنین فیلتری امری دشوار است. در مقابل، در روش TDD به چنین فیلتری نیاز نیست که مزیتی برای این روش محسوب می‌گردد.

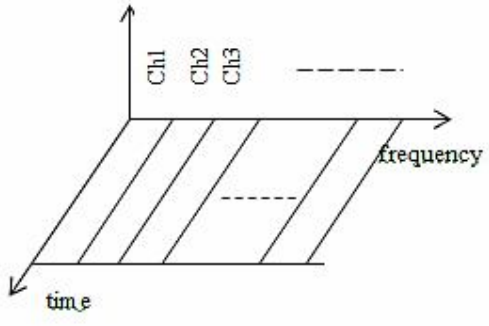
در روش FDD، مدارهای سوئیچینگ زیادی لازم نمی‌باشد زیرا ارسال اطلاعات، به صورت پیوسته صورت می‌گیرد در مقابل، در روش TDD، وجود چنین مدارهایی لازم است زیرا ارسال و دریافت اطلاعات به صورت ناپیوسته است.

1 - 1 - 2 - 2 تکنیک‌های دسترسی چندگانه برای چند کاربر:

1. دسترسی چندگانه دسته بندی فرکانسی (FDMA)[1]: در این روش، کاربران مختلف با استفاده از کانال‌های فرکانسی از یکدیگر جدا می‌شوند. به این ترتیب که محدوده فرکانسی به نواحی کوچکتری که کانال نامیده می‌شوند، تقسیم می‌گردند بنابراین کاربران مختلف، در زمان یکسان اما در کانال‌های فرکانسی متفاوتی قرار دارند؛
2. دسترسی چندگانه دسته بندی زمانی (TDMA)[2]: در این روش، باند فرکانسی خاصی دردسترس است و این زمان است که بین کاربران مختلف، تقسیم می‌شود. در این تکنیک باید فرستنده و گیرنده سنکرون باشند. در سیستم‌های مبتنی بر TDMA برای هر کاربر یک زمان[3] اختصاص داده می‌شود.



شکل (1-1). روش TDMA



شکل (1-2). روش FDMA

1 - 1 - 3 مدل‌های تلفاتی شبکه

به طور کل مدل‌های تلفاتی یک شبکه سیار را که لازم است در محاسبات مربوط به اتلاف توان درنظر گرفته شوند، می‌توان به دو دسته تقسیم نمود: تلفات مربوط به مدل ترافیکی محیط و تلفات مربوط به مدل سایه[4] محیط.

[1] Frequency division multiple access (FDMA)
[2] Time division multiple access (TDMA)
[3] Time slot
[4] Shadowing

در تلفات مربوط به مدل ترافیکی محیط، برای محیط‌های مختلف با توجه به جنس و شرایط آنها، پارامتری برای مدل سازی ریاضی استخراج شده است. این پارامتر، *n*، در محاسبه مدل تلفات بر اساس لگاریتم فاصله، مورد استفاده قرار می‌گیرد. جدول (1-1)، مقادیر به دست آمده برای این پارامتر در محیط های مختلف را نشان می‌دهد.

محیط	پارامتر تلفاتی (*n*)
فضای آزاد	2
ناحیه رادیویی سلولار شهری	2,7 تا 3,5
ناحیه رادیویی سلولار سایه دار	3 تا 5
در ساختار line of sight	1,6 تا 1,8
مسدود شدن با ساختمان	4 تا 6
مسدود شدن با کارخانه‌ها	2 تا 3

جدول (1-1)، پارامتر تلفات برای محیط‌های مختلف

تلفات مربوط به سایه که ناشی از وجود ساختمان‌ها، درختان و دیگر موانع در محیط است به صورت یک متغیر تصادفی گوسی مدل می‌شود. این متغیر، متغیری با متوسط صفر و انحراف استاندارد ▫ است.

1 - 2 سیستم GSM

سیستم GSM در استانداردهای مختلفی ارائه شده است که تمام این استانداردها کاملا با هم هم خوانی دارند. این سیستم از ایده سلولار و استفاده مجدد فرکانسی برای پیاده سازی شبکه مخابراتی استفاده می کند و همان طور که بیان شد منبع مورد استفاده آن برای برقرارسازی ارتباط، طیف فرکانسی است. معمولا در این سیستم به ازای هر سه (و یا هفت) سلول، تمام طیف فرکانسی استفاده می‌شود و استفاده مجدد فرکانسی به ازای هر سه (و یا هفت) سلول صورت می‌گیرد که اصطلاحا گفته می‌شود شبکه دارای reuse 3 (و یا reuse 7) است. به این عدد، اندازه خوشه[1] سیستم نیز می‌گویند.

استانداردی که در ایران از آن استفاده می‌شود استاندارد اروپا بوده و شامل دو سیستم GSM 900 و GSM 1800 می‌باشد. در هر دو این استانداردها از ترکیب تکنیک‌های TDMA و FDMA استفاده می‌گردد و برای یک کاربر از روش FDD، برای جداسازی سیگنال‌ها استفاده می‌شود. شکل (1-3) دسترسی چندگانه در سیستم GSM را نشان می‌دهد. بخش قرمز رنگ شکل، یک کانال فیزیکی[2] که به یک کاربر برای برقراری ارتباط اختصاص داده می‌شود را مشخص می‌نماید.

[1] Cluster
[2] Physical channel