



دانشکده مهندسی کامپیوتر

استاد درس: دکتر دیانت

بهار ۱۴۰۰

## تمرین ۸ درس شبکه‌های تلفن همراه

تمرین ۸

پریسا یل‌سوار  
شماره دانشجویی: ۹۶۵۲۲۰۸۷

## فهرست مطالب

۴	۱ فناوری OFDM و مفاهیم آن
۴	۱.۱ توسعه OFDM
۶	۲.۱ انتقال اطلاعات توسط OFDM
۶	۳.۱ ویژگی‌های کلیدی OFDM
۷	۲ اتفاقاتی که در رابطه با موج (فرکانس) در بحث 5G رخ داده است
۷	۱.۲ مبانی طراحی موج 5G
۹	۲.۲ کاندیدهای شکل موج 5G
۱۱	۳.۲ فرکانس‌های 5G

## فهرست تصاویر

۵	شیوه قدیمی انتخاب سیگنال بین کانال‌های مختلف	۱
۵	مفهوم ابتدایی OFDM	۲
۶	فاصله محافظ در سیگنال‌های OFDM	۳
۷	نیازمندی‌های 5G	۴
۸	مشکل PAPR در طرح‌های چند حامل	۵
۹	مشکل OOB در طرح‌های چند حامل	۶
۹	مهمترین کاندیدهای شکل موج 5G	۷
۱۰	خلاصه کاندیدهای شکل موج 5G	۸

## ۱ فناوری OFDM و مفاهیم آن

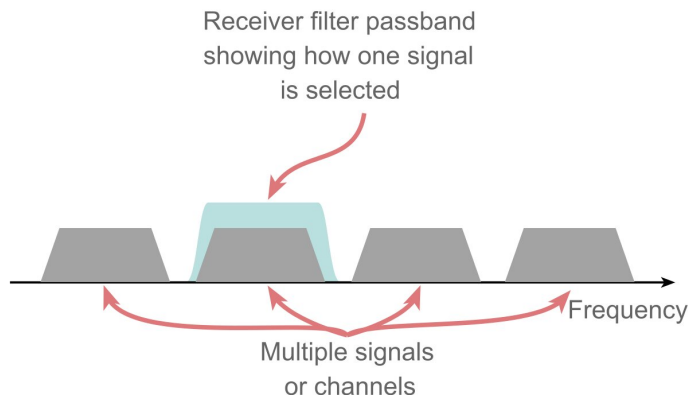
802.11a اولین استاندارد است که از OFDM در طیف ۵ گیگاهرتز و پس از آن 802.11g در طیف 2.4 گیگاهرتز استفاده کرد.

### ۱.۱ توسعه OFDM

استفاده از OFDM<sup>۱</sup> و به طور کلی مدولاسیون چند حامل در سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است زیرا بستری ایده آل برای انتقال ارتباطات داده بی سیم فراهم می کند [۱]. با این حال مفهوم فناوری OFDM برای اولین بار در دهه ۱۹۶۰ و ۱۹۷۰ طی تحقیقاتی در مورد روشهای کاهش تداخل بین کانالهای با فاصله نزدیک بررسی شد. در ابتدا استفاده از OFDM به پردازش زیادی نیاز داشت و به همین دلیل برای استفاده عمومی قابل اجرا نبود. برخی از اولین سیستمهایی که OFDM را به کار گرفتند پخش دیجیتال بود - در اینجا OFDM قادر به ارائه فرم بسیار قابل اطمینان از انتقال داده در شرایط مختلف مسیر سیگنال بود. یک مورد رادیو دیجیتال DAB بود که در اروپا و سایر کشورها معرفی شد. این شرکت پخش تلویزیونی نروژ NRK بود که اولین سرویس را در ۱ ژوئن ۱۹۹۵ راه اندازی کرد. OFDM همچنین برای تلویزیون دیجیتال نیز مورد استفاده قرار گرفت. بعداً در نتیجه افزایش سطح ادغام، قدرت پردازش افزایش یافت و OFDM برای سیستمهای ارتباطی 4G تلفن همراه که از حدود سال ۲۰۰۹ شروع به فعالیت کردند، در نظر گرفته شد.

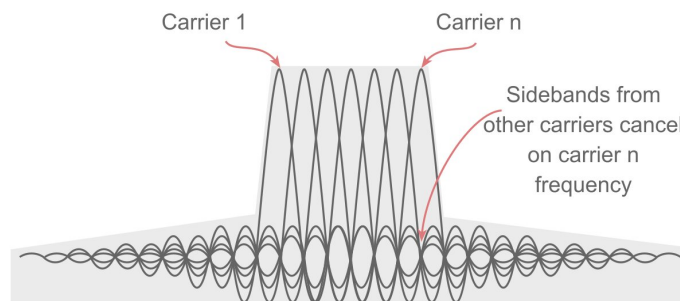
مفهوم Orthogonal در تقسیم فرکانس به عمود بودن سیگنالها اشاره دارد که به یک تعریف ریاضی بر می گردد که در آن هرگاه دو تابع سینوسی در هم ضرب شوند، انتگرال این حاصلضرب در هر پریود زمانی برابر صفر خواهد بود. در واقع مدل OFDM مدولاسیون Multi Tone باعث می شود که هرکدام از این زیر حاملها، "دو به دو" با هم متعامد باشند و به دلیل قابلیت تفکیک پذیری زیرحاملها که متأثر از این خاصیت است، می توان آنها را به گونه ای در کنار هم چید که بر روی هم همپوشانی داشته باشند چیزی که در حالت Multi Tone امکان ندارد [۲]. به بیانی دیگر، OFDM نوعی مدولاسیون چند حامل است. یک سیگنال OFDM از تعدادی حامل مدوله شده با فاصله نزدیک تشکیل شده است [۱]. مدولاسیون در حالت کلی از هر شکلی (صدا، داده یا غیره) وقتی به یک حامل اعمال می شود، نوارهای کناری از هر طرف پخش می شوند. هنگامی که سیگنالها کنار یکدیگر منتقل می شوند باید از یکدیگر فاصله داشته باشند تا گیرنده بتواند آنها را با استفاده از فیلتر جدا کند، همچنین باید یک باند محافظ بین آنها وجود داشته باشد. نکته قابل توجه این است که این مورد برای OFDM صادق نیست. گرچه نوارهای جانبی از هر حامل با هم تداخل دارند، اما می توان آنها را بدون تداخلی که انتظار می رود دریافت کرد زیرا به صورت متعامد با یکدیگر هستند.

<sup>۱</sup> Orthogonal Frequency Division Multiplexing



شکل ۱: شیوه قدیمی انتخاب سیگنال بین کانال‌های مختلف

برای فهمیدن نحوه کار OFDM، لازم است گیرنده را بررسی کنیم. گیرنده به عنوان یک بانک دمولاتورها عمل می‌کند و هر حامل را به DC ترجمه می‌کند. سیگنال حاصل در طول دوره نماد<sup>۲</sup> یکپارچه می‌شود تا داده‌های آن حامل را دوباره تولید کند. همان دمولاتور سایر حاملان را نیز دمولاسیون می‌کند. از آنجا که فاصله حامل برابر با متغیر دوره نماد<sup>۳</sup> است یعنی در دوره نماد، تعداد زیادی چرخه خواهند داشت طوری که تاثیر گذاری آنها در مجموع به صفر می‌رسد؛ به عبارت دیگر هیچ تداخلی وجود ندارد.



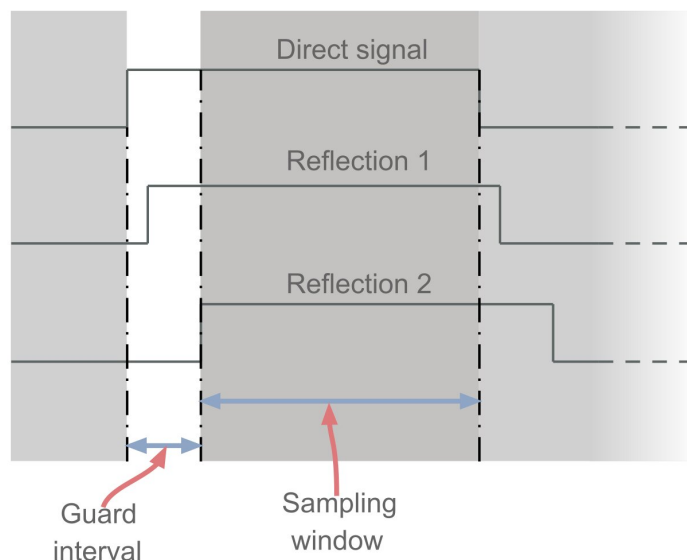
شکل ۲: مفهوم ابتدایی OFDM

یکی از الزامات سیستم‌های انتقال و دریافت OFDM خطی بودن آنهاست. هرگونه غیر خطی بودن باعث ایجاد تداخل بین حامل‌ها در نتیجه اعوجاج بین مدولاسیون می‌شود. به بیانی دیگر، این امر سیگنال‌های ناخواسته‌ای را ایجاد می‌کند که باعث ایجاد تداخل و اختلال در تعاملی انتقال می‌شود.

<sup>۲</sup> symbol period  
<sup>۳</sup> reciprocal of the symbol period

## ۲.۱ انتقال اطلاعات توسط OFDM

شیوه سنتی انتقال داده از طریق کانال رادیویی و به صورت سریالی است. این روش به یک کانال اختصاصی نیاز دارد و هرگونه تداخل در فرکانس منفرد می‌تواند کل انتقال را مختل کند. OFDM رویکرد دیگری را اتخاذ می‌کند. در سیگنال OFDM داده به صورت موازی از طریق حامل‌های گوناگون منتقل می‌شود. جریان کلی به تعدادی "زیر جریان"<sup>۴</sup> موازی تقسیم می‌شود. این امر تداخل بین نمادها را کاهش می‌دهد و دریافت دقیق هر نماد را با حفظ همان توان عملیاتی آسان تر می‌کند. نرخ پایین داده در هر جریان به این معنی است که تداخل ناشی از بازتاب بسیار کم اهمیت است. این با اضافه کردن زمان باند محافظ یا فاصله محافظ به سیستم حاصل می‌شود. این اطمینان می‌دهد که داده فقط در صورت پایدار بودن سیگنال و عدم ورود سیگنال تأخیری جدید که زمان و فاز سیگنال را تغییر دهد، نمونه برداری می‌شود.



شکل ۳: فاصله محافظ در سیگنال‌های OFDM

## ۳.۱ ویژگی‌های کلیدی OFDM

تفاوت‌های OFDM با روش سنتی FDM به شرح زیر است:

- چندین حامل (به نام حامل‌های فرعی) جریان اطلاعات را حمل می‌کنند.
- حامل‌های فرعی نسبت به یکدیگر متعامد هستند.
- برای به حداقل رساندن گسترش تاخیر کانال و تداخل بین نماد، به هر نماد یک فاصله محافظ اضافه می‌شود.

<sup>۴</sup>substreams

## ۲ اتفاقاتی که در رابطه با موج (فرکانس) در بحث 5G رخ داده است

در ابتدا به صورت خلاصه شکل موج و نیازمندی های 5G را تعریف می کنیم. سپس به کاندیدهای شکل موج در 5G نگاهی می اندازیم. در آخر نیز چالش های فرکانسی 5G را مطرح می کنیم.

### ۱.۲ مبانی طراحی موج 5G

موج شکل فیزیکی سیگنالی که اطلاعات مدوله شده را از طریق یک کانال حمل می کند، تعریف می کند [۳]. اطلاعات از فضای پیام به فضای سیگنال در فرستنده نگاشت می شود و یک عمل معکوس در گیرنده برای بازیابی پیام انجام می شود. شکل موج، که ساختار و شکل اطلاعات را در فضای سیگنال تعریف می کند، می تواند توسط عناصر اساسی آن توصیف شود: نماد<sup>۵</sup>، شکل پالس<sup>۶</sup> و شبکه<sup>۷</sup>.  
رادیو جدید 5G باید طیف گسترده ای از خدمات را پشتیبانی کند؛ در درجه اول، برنامه هایی که به پهنای باند بیشتر و بازده طیفی بیشتری نیاز دارند در گروه eMBB قرار می گیرند. در حالی که مواردی که به ماندگاری باتری دستگاه نیاز شدید دارند در mMTC قرار می گیرند. معمولاً سنسورهای هوشمند صنعتی یا ایمپلنت های پزشکی چندین سال بدون نیاز به تعمیر و نگهداری کار می کنند و از این رو پیچیدگی کم دستگاه و بهره وری بالای انرژی برای این سرویس های mMTC بسیار مهم است. علاوه بر این برنامه های حیاتی مانند جراحی از راه دور یا وسایل نقلیه خودران در URLLC نشان قرار می گیرند. الزامات کلیدی مرتبط با هر یک از این گروه ها در شکل ۴ نشان داده شده است.

	eMBB	mMTC	URLLC
نیازمندی های مهم	بازده طیفی بالا	انتقال همزمان با حجم زیاد	قابلیت اطمینان بالا
	تاخیر کم	بازده بالا انرژی	تاخیر کم
		پیچیدگی کم دستگاه	

شکل ۴: نیازمندی های 5G

در سوال ۱ به طور کامل در مورد OFDM صحبت کردیم. OFDM را می توان توسط الگوریتم تبدیل سریع فوریه معکوس (IFFT) پیاده سازی کرد. پس از آن، پیشوند حلقوی (CP) با کپی کردن آخرین قسمت از دنباله IFFT و ضمیمه کردن آن به ابتدا به عنوان یک فاصله نگهداری اضافه می شود. طول CP بر اساس حداکثر تاخیر بیش از حد کانال برای کاهش اثر تداخل بین نمادها (ISI) تعیین می شود. با این حال این کد در 4G LTE رمزگذاری شده است و گسترش تاخیر کانال کاربر را در نظر نمی گیرد. در نتیجه فاصله نگهدارنده ثابت منجر به تخریب کارایی طیفی می شود. علاوه CP با اطمینان از مدور بودن کانال و با امکان برابر سازی دامنه فرکانس (FDE) می تواند تداخل در یک محیط چند راهی را کنترل کند.  
یک ایراد مهم هر سیستم چند حامل، از جمله CP-OFDM نسبت قدرت اوج به متوسط بالا<sup>۸</sup> است که به دلیل اضافه شدن تصادفی حامل های فرعی در حوزه زمان ایجاد می شود. به عنوان مثال، چهار سیگنال

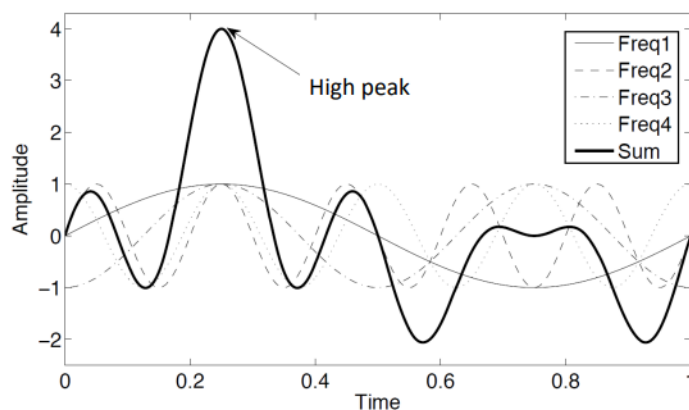
<sup>۵</sup>symbol

<sup>۶</sup>pulse shape

<sup>۷</sup>lattice

<sup>۸</sup>high peak-to-average power (PAPR)

سینوسی را همانطور که در شکل ۵ با فرکانسهای مختلف و تغییر فاز نشان داده شده، در نظر بگیرید. هنگامی که دامنه اوج سیگنالهای مختلف به طور همزمان تراز می شوند، پوشش سیگنال حاصل، قله های بالایی<sup>۹</sup> را نشان می دهد. در نتیجه چنین قله های بالا، تقویت کننده قدرت در فرستنده در منطقه غیر خطی کار می کند و باعث ایجاد تحریف و گسترش طیفی می شود. علاوه بر این با افزایش تعداد زیر حامل ها، واریانس توان خروجی نیز افزایش می یابد.



شکل ۵: مشکل PAPR در طرح های چند حامل

مسئله مهم دیگر مربوط به سیستم های CP-OFDM میزان بالای انتشار آن از باند<sup>۱۰</sup> است. سیگنال OFDM به خوبی در دامنه زمان با شکل یک پالس مستطیلی قرار دارد که منجر به شکل سینک<sup>۱۱</sup> در حوزه فرکانس می شود. همانطور که در شکل ۶ نشان داده شده است. به ویژه لبه های جانبی سینک در حامل های لبه باعث تداخل قابل توجهی می شوند و باید کاهش یابد. برای جلوگیری از تداخل کانال مجاور<sup>۱۲</sup> به طور معمول، OOBه با روشهای مختلف پنجره سازی یا فیلتر، همراه با تخصیص باند محافظ کاهش می یابد. استاندارد 3GPP LTE از 10% پهنای باند کل به عنوان باندهای محافظ برای حل این مشکل استفاده می کند. با این حال تخصیص محافظ ثابت باعث کاهش کارایی طیفی می شود.

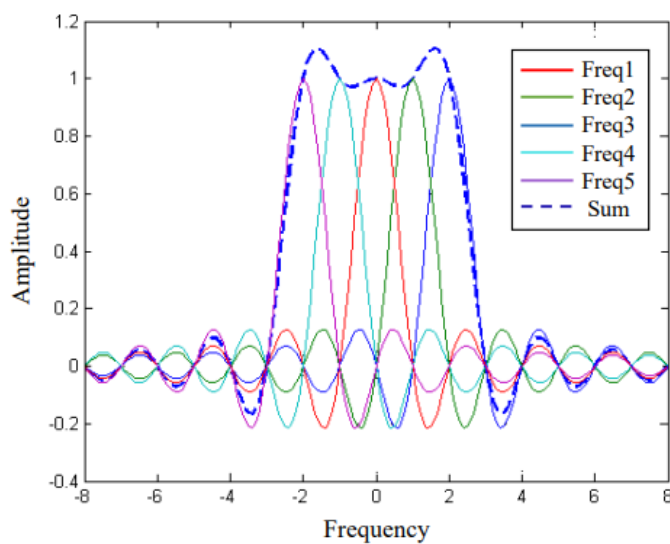
<sup>۹</sup>high peaks

<sup>۱۰</sup>high out of band emissions (OOBE)

<sup>۱۱</sup>تایع سینک

<sup>۱۲</sup>adjacent channel interference (ACI)

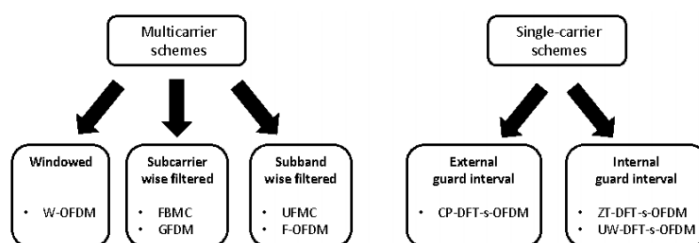




شکل ۶: مشکل OOBE در طرح های چند حامل

## ۲.۲ کاندیدهای شکل موج 5G

کاندیدهای شکل موج 5G به دو دسته شیوه های چند حامل و شیوه های تک حامل تقسیم می‌شوند. شکل ۷ این تقسیم بندی را نشان می‌دهد.



شکل ۷: مهمترین کاندیدهای شکل موج 5G

توضیح و شرح هر کدام از این روش ها از حوصله این گزارش خارج است. به همین منظور مزایا و معایب آن ها را به صورت خلاصه در شکل ۸ بررسی می‌کنیم.

روش های چند حامل		
معایب	مزایا	شکل موج
OOBE و PAPR بالا نیاز به هماهنگی دقیق عملکرد ضعیف برای برنامه های حرکتی بالا کد دست نویس CP	FDE ساده ادغام آسان MIMO انتساب فرکانس انعطاف پذیر پیچیدگی اجرای کم	CP-OFDM
یا بهره وری طیفی ضعیف یا عملکرد BER (به نوع پنجره بستگی دارد)	تمام مزایای CP-OFDM OOBE پایین تر در مقایسه با CP-OFDM	W-OFDM
یکپارچه سازی MIMO و طراحی آزمایشی عدم ایمنی در برابر ISI به دلیل کمبود CP پیچیدگی اجرای بالا افزایش مصرف برق به دلیل سیگنالینگ OQAM	بهترین محلی سازی فرکانس (به عنوان مثال کمترین OOBE) بازده طیفی خوب (بدون باند محافظ یا CP) مناسب برای برنامه های با تحرک بالا برای انتقال ناهمزمان راحت است	OQAM-FBMC
تأخیر بالاتر به دلیل پردازش بلوک یکپارچه سازی MIMO و طراحی آزمایشی پیچیدگی اجرای بالا	طراحی انعطاف پذیر محلی سازی فرکانس خوب PAPR کاهش یافته	GFDM
عدم ایمنی در برابر ISI به دلیل کمبود CP پیچیدگی گیرنده بالا به دلیل افزایش اندازه FFT	محلی سازی فرکانس خوب طول فیلتر کوتاه تر در مقایسه با عملیات زیر حامل (به عنوان مثال، OQAM-FBMC و GFDM) سازگار با MIMO	UFMC
پیچیدگی پیاده سازی بسیار بالا	دانه بندی فیلتر انعطاف پذیر محلی سازی فرکانس بهتر طول فیلتر کوتاه تر در مقایسه با عملیات زیر حامل (به عنوان مثال، OQAM-FBMC و GFDM) سازگار با MIMO	F-OFDM
روش های تک حامل		
معایب	مزایا	شکل موج
OOBE بالا نیاز به هماهنگی دقیق کد دست نویس CP	CP-OFDM تمام مزایای PAPR کم	CP-DFT-s-OFDM
نیاز به هماهنگی دقیق سیگنالینگ اضافی برای کنترل عملکرد پیوند محدود برای مدولاسیون مرتبه بالاتر	فاصله محافظ انعطاف پذیر کارایی طیفی بهتر CP-DFT-s-OFDM پایین تر در مقایسه با OQAM	ZT-DFT-s-OFDM
نیاز به هماهنگی دقیق سیگنالینگ کنترل اضافی عملکرد پیوند محدود برای مدولاسیون مرتبه بالاتر پیچیدگی اجرای بالا	فاصله محافظ انعطاف پذیر بهترین بازده طیفی PAPR و OQAM کمترین میزان	UW-DFT-s-OFDM

شکل ۸: خلاصه کاندیدهای شکل موج 5G

## ۳.۲ فرکانس‌های 5G

شبکه‌های تلفن همراه GSM اولیه در فرکانس‌های ۸۵۰ مگاهرتز و ۱۹۰۰ مگاهرتز کار می‌کردند. شبکه‌های 2G و 3G روش مدولاسیون را تغییر دادند اما تا حد زیادی از همان طیف با باند‌های فرکانسی سازمان یافته استفاده کردند. با تکامل 3G باند‌های فرکانسی اضافی و همچنین طیف حدود ۲۱۰۰ مگاهرتز در آن گنجانده شدند. فناوری‌های 4G LTE نیز باند‌های اضافی طیف و فرکانس ایجاد کرده است، یعنی حدود ۶۰۰ مگاهرتز، ۷۰۰ مگاهرتز، 1.7 یا 2.1 گیگاهرتز، 2.3 گیگاهرتز و 2.5 گیگاهرتز. تمام فرکانس‌های شبکه تلفن همراه قبلی براساس مجوز است.

برنامه‌های باند فرکانسی 5G بسیار پیچیده‌تر است، زیرا طیف فرکانس 5G از ۴۵۰ مگاهرتز تا ۶ گیگاهرتز و موج میلی‌متری از 24.250 گیگاهرتز تا 52.600 گیگاهرتز را شامل می‌شود، همچنین شامل طیف بدون مجوز است. علاوه بر این ممکن است طیف 5G در محدوده ۵۹۲۵ تا ۷۱۵۰ مگاهرتز و ۶۴ گیگاهرتز تا ۸۶ گیگاهرتز باشد. بنابراین 5G شامل تمام طیف‌های سلولی قبلی و طیف زیادی در محدوده زیر ۶ گیگاهرتز است. انتشار اولیه استاندارد 3GPP به نام 5G New Radio Non-standalone (5G NR) شامل چندین باند فرکانس زیر ۶ گیگاهرتز بود که توسط FR1 تعیین شده‌اند. دومین نسخه 3GPP از 5G پس از IMT-2020 شامل باندهای فرکانسی FR2 در طیف موج میلی‌متری است. در ادامه به صورت مختصر این باندها را بررسی می‌کنیم [۴]:

### • low-band

طیف low-band به هر طیفی گفته می‌شود که کمتر از ۱ گیگاهرتز باشد. شبکه‌های بی‌سیم اولیه، که اغلب به عنوان تلفن همراه آنالوگ شناخته می‌شوند، در طیف low-band ۸۰۰ مگاهرتز قرار دارند. در آن زمان اپراتورها اغلب از طیف low-band به عنوان “beachfront property” یاد می‌کردند زیرا شرکت‌های مخابراتی بی‌سیم می‌توانند تنها در یک برج به هزاران مشتری در صدها مایل مربع خدمات دهند.

در دنیای 5G طیف low-band این امکان را برای اپراتورها فراهم می‌کند تا دامنه گسترده‌ای از پوشش را فراهم کنند، اما همچنین به این معنی است که سرعت و تأخیر شبکه 5G احتمالاً فقط اندکی از آنچه با شبکه‌های 4G ارائه می‌شود بهتر خواهد بود. بیشتر عملکرد شبکه 5G به فاصله کاربر با سلول بستگی دارد. با این وجود، طیف low-band نفوذ سیگنال بی‌سیم به پنجره‌ها و دیوارها را آسان می‌کند.

### • mid-band

طیف در محدوده ۱ گیگاهرتز تا ۶ گیگاهرتز یک طیف میان‌باند است و برای 5G ایده‌آل در نظر گرفته می‌شود، زیرا می‌تواند داده‌های زیادی را حمل کند در حالی که مسافت قابل توجهی را نیز طی می‌کند. GSMA طیف در محدوده 3.3 گیگاهرتز تا 3.8 گیگاهرتز را ویژه توصیف می‌کند. این سازمان در یک مقاله سفید اخیر توضیح داده است که این طیف ایده‌آل است زیرا بسیاری از کشورهای جهان از پیش آن را برای 5G تعیین کرده‌اند.

با این حال طیف میان‌باند دیگر نیز برای 5G استفاده می‌شود. به عنوان مثال اپراتورها در چین و ژاپن در نظر دارند از طیف 4.5 گیگاهرتز تا 5 گیگاهرتز برای 5G استفاده کنند. و برخی از اپراتورها در ایالات متحده و کانادا قصد دارند از طیف 2.3 گیگاهرتز و 2.5 گیگاهرتز تا 2.6 گیگاهرتز برای 5G استفاده کنند (یا در حال حاضر نیز از آنها استفاده می‌کنند).

### • high-band

GSMA توصیه می‌کند که اپراتورها از طیف موج میلی‌متری در باند ۲۶ گیگاهرتز، ۴۰ گیگاهرتز، ۵۰ گیگاهرتز و ۶۶ گیگاهرتز برای خدمات تلفن همراه استفاده کنند. با این حال این انجمن همچنین یادآور

می‌شود که طیف‌های ۲۶ گیگاهرتز و ۲۸ گیگاهرتز از قبل حرکت<sup>۱۲</sup> بالایی از اپراتورها دارند، همچنین این باندها در مجاورت یکدیگر هستند و بنابراین پشتیبانی از گوشی‌ها را آسان‌تر می‌کند. طیف موج میلی‌متر محدود است زیرا سیگنال‌ها نمی‌توانند خیلی دور حرکت کنند. در بعضی موارد سیگنال کمتر از یک مایل حرکت می‌کند و همچنین در معرض تداخل مواردی مانند درختان و ساختمانها و حتی شیشه هستند. اما مزیت طیف موج میلی‌متر این است که اگر سیگنال خالی از بار باشد، کاربران می‌توانند سرعت اتصال بین ۱ گیگابیت بر ثانیه تا ۳ گیگابیت بر ثانیه یا حتی بیشتر داشته باشند.

---

<sup>۱۲</sup> momentum

## مراجع

- [1] electronicsnotes, *What is ofdm: Orthogonal frequency division multiplexing*, Web Page. [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/radio/multicarrier-modulation/ofdm-orthogonal-frequency-division-multiplexing-what-is-tutorial-basics.php>.
- [2] Wikipedia, *Orthogonal frequency-division multiplexing*, Web Page. [Online]. Available: [https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AF%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%B3%DB%8C%D9%88%D9%86\\_%D8%AA%D9%82%D8%B3%DB%8C%D9%85\\_%D9%81%D8%B1%DA%A9%D8%A7%D9%86%D8%B3\\_%D8%B9%D9%85%D9%88%D8%AF%D8%A8%D8%B1%D9%87%D9%85](https://fa.wikipedia.org/wiki/%D9%85%D8%AF%D9%88%D9%84%D8%A7%D8%B3%DB%8C%D9%88%D9%86_%D8%AA%D9%82%D8%B3%DB%8C%D9%85_%D9%81%D8%B1%DA%A9%D8%A7%D9%86%D8%B3_%D8%B9%D9%85%D9%88%D8%AF%D8%A8%D8%B1%D9%87%D9%85).
- [3] A. F. Demir, M. El Gourdi, M. Ibrahim, and H. Arslan, "Waveform design for 5g and beyond," *5G Networks: Fundamental Requirements, Enabling Technologies, and Operations Management*, pp. 51–76, 2018. DOI: 10.1002/9781119333142.ch2. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1002/9781119333142.ch2>.
- [4] Nokia, *5g spectrum bands explained*, Web Page. [Online]. Available: <https://www.nokia.com/networks/insights/spectrum-bands-5g-world/>.