

مالتی پلکس فرکانسی متعامد (OFDM) برای شبکه‌های بیسیم

احسان حسنی سعدی

گروه مهندسی برق - مخابرات

دانشکده فنی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرری

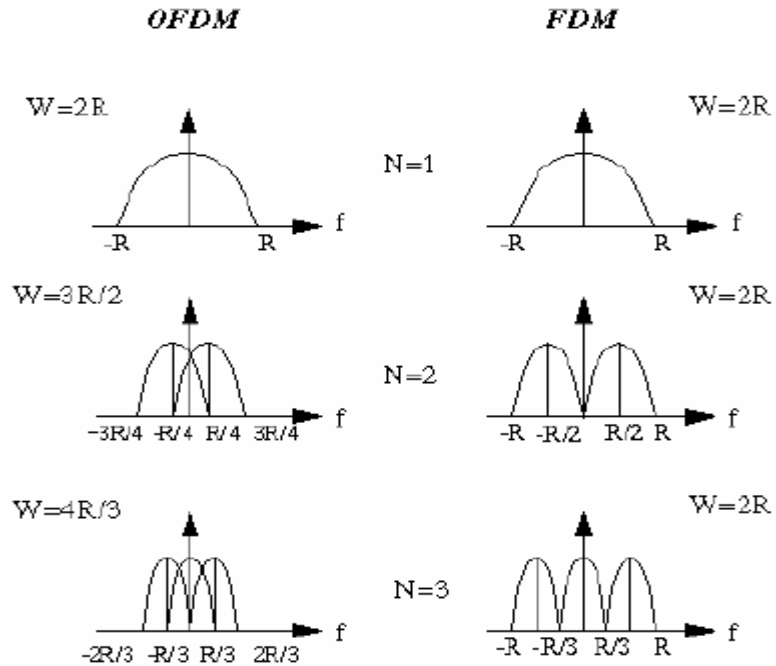
E - mail : dipouny@yahoo.com

چکیده : OFDM حالت خاصی از ارسال چند کاربری می‌باشد که در آن جریان داده توسط چندین زیرکاربر بانرخ بیت کمتر ارسال می‌شود . در جولای 1998 گروه استاندارد IEEE ، OFDM را بعنوان استاندارد جدید 5 GHZ انتخاب کرد که برای نرخ بیت 6 mbps تا 54 mbps در نظر گرفته شده است .

کلمات کلیدی : Orthogonal- OFDM (تعامد)- IFFT

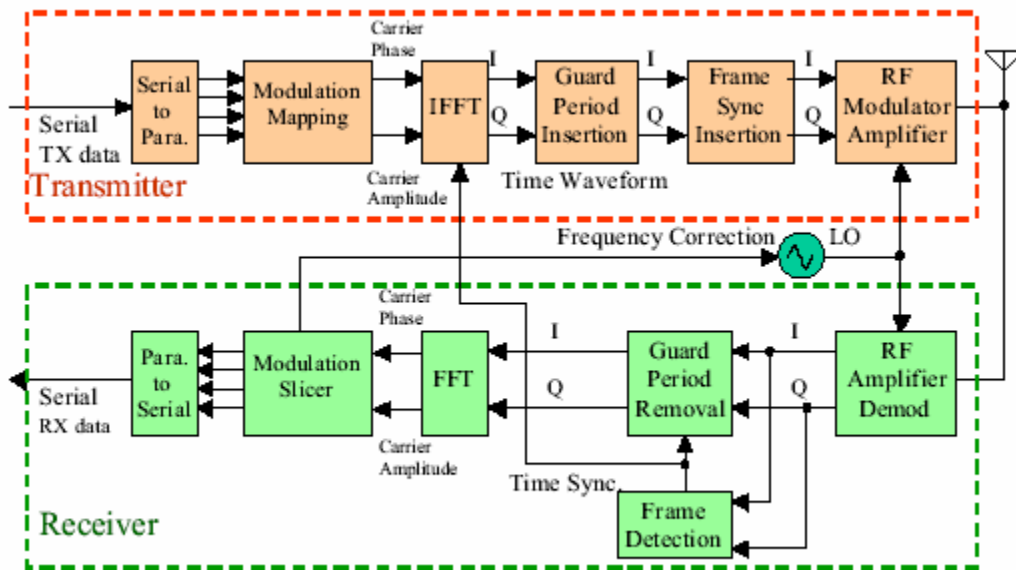
۱ - مقدمه :

OFDM یکی از مباحث جذاب برای محققین می‌باشد و برای استانداردهای جدید شبکه‌های بیسیم محلی IEEE 802.11a و HIPERLAN/2 و سیستم‌های مخابرات چند رسانه‌ای متحرک (MMAC) پذیرفته شده است . OFDM می‌تواند بعنوان یک تکنیک مدولاسیون یا یک تکنیک مالتهی پلکسینگ در نظر گرفته شود . یکی از دلایل اصلی استفاده از OFDM توانایی مقابله با فرکانس منتخب محو شدگی یا تداخل باند باریک است . در یک سیستم تک کاربری ، محو شدگی یا تداخل ، سبب از بین رفتن کل ارتباط می‌شود ولی در یک سیستم چند کاربری فقط درصد کمی از زیرکاربرها تحت تاثیر قرار می‌گیرند . کدگذاری های تصحیح خطا می‌توانند برای تصحیح این زیرکاربرها استفاده شوند . ایده استفاده از ارسال اطلاعات به صورت موازی و مالتهی پلکس فرکانسی در اواسط دهه شصت میلادی مطرح شد . در یک سیستم کلاسیک ارسال موازی اطلاعات ، تمامی پهنای باند فرکانسی به N زیر کانال فرکانسی ناهمپوشانی شده تقسیم می‌شود . هر زیر کانال توسط یک سمبل جداگانه مدوله شده و سپس N کانال ، مالتهی پلکس فرکانسی می‌شوند . ظاهراً جلوگیری از همپوشانی طیفی کانالها برای حذف تداخل بین کانالها مناسب است ولی منجر به استفاده غیر کارآمد از طیف موجود می‌شود . در OFDM زیرکاربرهای متعامد همپوشانی شده ، باعث بهبود کارایی طیف می‌شود. [۱]



شکل ۱

شکل ۱ تفاوت بین تکنیک چند کاربری ناهمپوشانی شده و تکنیک چند کاربری همپوشانی شده را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با استفاده از تکنیک مدولاسیون چند کاربری همپوشانی شده، تقریباً 50٪ در پهنای باند صرفه‌جویی شده است. برای درک تکنیک چند کاربری همپوشانی شده باید هم‌نشوایی بین زیرکاربرها را کاهش دهیم یعنی باید بین کاربرهای مدوله‌شده مختلف تعامد وجود داشته باشد.



شکل ۲

در شکل ۲ دیگرام کلی یک فرستنده و گیرنده OFDM نمایش داده شده است. [۲]

۲- تعامد (or thogonality)

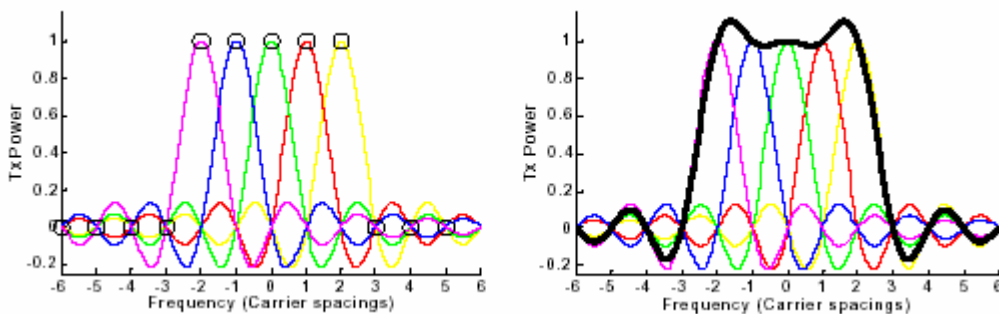
بخش تعامد (or thogonality) از نام OFDM نشان می‌دهد که یک رابطه ریاضی دقیق بین فرکانس‌های کاربرها در سیستم برقرار است. در یک سیستم FDM نرمال، کاربرهای زیادی به گونه‌ای در کنار هم قرار گرفته‌اند که می‌توان سیگنالها را توسط فیلترها و دمدولاتورهای عادی دریافت کرد. در این گیرنده‌ها باید فاصله محافظ بین کاربرها برقرار شود. وجود این فواصل محافظ در حوزه فرکانس سبب کاهش کارایی فرکانسی می‌شود.

در سیگنال OFDM می‌توان کاربرها را به گونه‌ای مرتب کرد که باند کناری کاربرها باهم همپوشانی داشته باشند و درعین حال سیگنالها را بتوان بدون تداخل کاربرهای مجاور دریافت کرد. بدین منظور کاربرها باید برهم عمود باشند. گیرنده بعنوان یک بانک دمدولاتور عمل می‌کند که هر کاربر را به DC تبدیل کرده و از سیگنال منتج در یک دوره تناوب سمبل، انتگرال گیری می‌کند تا اطلاعات خام بدست آیند. اگر کاربرهای دیگر همگی به فرکانس‌هایی تبدیل شوند که در حوزه زمان تمام تعداد سیکلها را در پریود سمبل، T ، داشته باشند آنگاه عمل انتگرال گیری از این کاربرها منتج به صفر می‌شود. بنابراین کاربرها به طور خطی مستقل هستند (متعامدند)، اگر فاصله بین آنها مضربی از $\frac{1}{T}$ باشد.

فرض کنید مجموعه سیگنالهای X را داشته باشیم که Xp ، P امین جز از این مجموعه است. سیگنالها متعامدند اگر:

$$\int_a^b Xp(T)Xq^*(t)dt = \begin{cases} K & p=q \\ 0 & p \neq q \end{cases} \quad (1)$$

علامت * معرف مزدوج مختلط و بازه (a و b) پریود سمبل می باشد. یک اثبات ساده ریاضی وجود دارد که توابع $\sin(mx)$ ، ($m=1,2,3,\dots$) در بازه π تا $-\pi$ بر هم عمود هستند.



شکل ۳

همانطور که در شکل ۳ دیده می‌شود خاصیت تعامد ارسال باعث می‌شود که قله هر زیرکاربر منطبق با صفر دیگر زیرکاربرها شود.

۳- مثالی از یک سیستم OFDM با ۴ کاربر

فرض کنید می‌خواهیم دنباله بیت : 1, 1, 1, -1, -1, 1, -1, 1, -1, -1, -1, 1, -1, 1, 1, -1, ... را توسط OFDM با استفاده از ۴ زیرکاربر ارسال کنیم. سیگنال نرخ سمبل 1 و فرکانس نمونه برداری 1 نمونه در هر سمبل می‌باشد پس هر انتقال یک بیت است. حال این بیت‌ها را در سطریهای ۴ تایی می‌نویسیم و به این صورت تبدیل سریال به موازی انجام می‌دهیم.

C1	C2	C3	C4
1	1	-1	-1
1	1	1	-1
1	-1	-1	-1
-1	1	-1	-1
-1	-1	1	1

جدول ۱

مطابق جدول ۱ هر ستون بیت‌هایی را نشان می‌دهد که توسط یک زیرکاربر ارسال می‌شوند. با اولین زیرکاربر (C1) آغاز می‌کنیم. از تئوری نمونه‌برداری نایکوئیست می‌دانیم که کمترین فرکانسی که اطلاعات را به درستی در بر خواهد داشت باید دو برابر نرخ اطلاعات باشد. در این حالت نرخ اطلاعات برای هر کاربر $\frac{1}{4}$ یا 1 سمبل در ثانیه برای تمامی ۴ کاربر می‌باشد. بنابراین کمترین فرکانس که می‌تواند حامل نرخ بیت $\frac{1}{4}$ باشد، $\frac{1}{2} \text{HZ}$ است ولی برای راحتی 1HZ در نظر می‌گیریم.

کاربر 1 باید 1 و 1 و 1 و 1- را ارسال کند که بر روی فرکانس 1 HZ قرار داده شده است.

کاربر 2 فرکانس 2 HZ دارد. این هارمونیک بعدی نسبت به فرکانس 1 HZ است.

کاربر 3 و 4 به ترتیب فرکانس 3 HZ و 4 HZ دارند.

حال تمام این بیتها را با ۴ کاربر مستقل با فرکانسهای متعادل 1HZ تا 4HZ مدوله کرده ایم. آنچه انجام شده عبارت است از تبدیل رشته بیتها به چند رشته بیت و اختصاص یک بیت در هر زمان به ۴ زیرکاربر استفاده شده. حال تمام این کاربرها مدوله شده را توسط بلوک IFFT با هم جمع می کنیم تا سیگنال OFDM ایجاد شود. به طور خلاصه می توانیم بنویسیم:

$$C(t) = \sum_{n=1}^N m_n(t) \sin(2\pi n t) \quad (2)$$

معادله ۲ معکوس تبدیل فوریه می باشد.

۳-۱ - استفاده از IFFT برای ایجاد سمبل OFDM

FFT یک سیگنال تصادفی را مرتباً در نمایی های مختلط در یک محدوده فرکانسی ضرب می کند و حاصل جمع را به صورت ضربی از آن فرکانس قرار می دهد. ضرایب به عنوان طیف شناخته می شوند و نشان دهنده میزان حضور آن فرکانس در سیگنال ورودی می باشند. نتیجه عمل FFT سیگنال در حوزه فرکانس می باشد. می توان FFT را به صورت سینوسی زیر نوشت:

$$x(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) + j \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (3)$$

که $x(n)$ ضریب سینوسها و کسینوسها در فرکانس $\frac{2\pi k}{N}$ می باشد و $x(k)$ مقدار طیف برای k امین فرکانس و $x(n)$ مقدار سیگنال در زمان n می باشد.

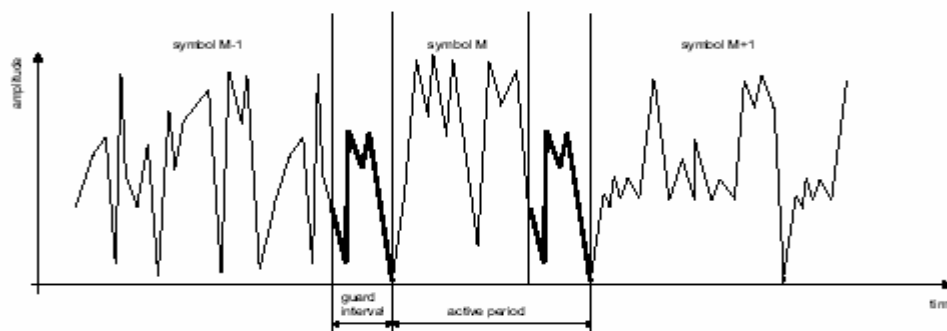
IFFT این طیف را دریافت و تمام آن را به سیگنال حوزه زمان تبدیل می کند. معادله IFFT به صورت زیر است:

$$X(n) = \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \sin\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) - j \sum_{k=0}^{N-1} x(k) \cos\left(\frac{2\pi kn}{N}\right) \quad (4)$$

در ستون ۱ در جدول ۱، بیتهای سیگنال می توانند به عنوان دامنه های محدوده معینی از سینوسیها در نظر گرفته شوند. بنابراین این می توانیم IFFT را برای تولید سیگنال حوزه زمان به کار ببریم. هر سطر از جدول ۱ می تواند بعنوان یک طیف در نظر گرفته شود. هر سطر طیف فقط ۴ فرکانس دارد. (1HZ ، 2HZ ، 3HZ ، 4 HZ) هر کدام از این ۴ فرکانس می توانند توسط IFFT به حوزه زمان تبدیل شوند. [۲]

۴- فاصله محافظ: تداخل زیرکانالها در OFDM و جداکردن زیرکانالهای جداگانه توسط FFT در گیرنده در صورتی امکان پذیر است که هیچ تداخلی بین سمبلها (ISI) و تداخلی بین کاربرها (ICI) که توسط اعوجاج کانال ارسال

ایجاد می‌شوند وجود نداشته باشد. در عمل این شرایط وجود ندارد. از آنجاکه طیف یک سیگنال OFDM کاملاً باند محدود نیست، اعوجاج خطی مثل چند مسیره بودن سبب می‌شود هر زیر کانال انرژی را بین کانالهای مجاور پخش کند و باعث بوجود آمدن ISI شود. یک راه حل ساده، افزایش زمان هر سمبل یا تعداد کاربرها است تا این اعوجاج قابل صرف نظر کردن باشد.



شکل ۴

یک روش برای جلوگیری از ISI، ایجاد بازه زمانی محافظ می‌باشد که در آن قبل از هر سمبل OFDM بخشی از انتهای خود سیگنال به ابتدای آن کپی می‌شود (طبق شکل ۴). وقتی که بازه زمانی محافظ بزرگتر از پاسخ ضربه کانال یا تاخیر چند مسیره باشد ISI حذف می‌شود. از آنجاکه ایجاد بازه زمانی محافظ سبب کاهش سرعت ارسال می‌شود، این زمان

محافظ معمولاً کمتر از $\frac{T}{4}$ در نظر گرفته می‌شود. (T زمان مفید هر سمبل است)

۵- نتیجه گیری:

مدهاست که OFDM برای مقابله با نواقص کانال ارسال مورد مطالعه قرار گرفته است. کاربرد آن در مخابرات رادیویی فرکانس بالا تا شبکه‌های تلفن و پخش صدای دیجیتال است. با پیشرفت تکنولوژی VLSI دانشمندان توانسته‌اند ترانه‌های با سرعت محاسبات بالا را طراحی کنند و در نتیجه امکان پیاده سازی عملی OFDM فراهم آمده است.

مزایای OFDM عبارتند از:

- استفاده کارآمد از پهنای باند موجود.
- پخش کردن محوشدگی فرکانس بین سمبلهای بسیار زیاد که سبب تصادفی شدن خطاهای برست می‌شود. در نتیجه به جای از دست رفتن مقادیر زیاد سمبل فقط مقادیر کمی سمبل از بین می‌رود.

- پیروید سمدبها افزایش یافته و بنابراین حساسیت سیستم نسبت به گسترش خطای تاخیر کم می‌شود .

معایب OFDM عبارتند از :

- OFDM نسبت به آفست فرکانس کاریر که توسط جیتر موج کاریر و اثر داپلر ایجاد می‌شود حساس می‌باشد .
- درگیرنده تصمیم‌گیری درباره زمان شروع سمبل FFT مشکل می‌باشد .

۶- فهرست مراجع و ماخذ

- [1] Anibal Luis Intini . *orthogonal Frequency Division Multiplexing For wireless Networks*. University of California , santa Barbara Pages : 1-4 . December , 2000
- [2] Eric Philip Lawrey Be(Hons). *Adaptive Technique for Multiuser OFDM* . James COOK university . December 2001
- [3] Dusan Matiae . *OFDM as a Possible Modulation technique for multimedia applications in the range of mm Waves* . pages 1 to 17 . 1998
- [4] Charan Langton . *Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)* pages 1 to 22 . 2004