دانشگاه زنجان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: مخابرات

عنوان:

بررسی تکنیک OFDM

نگارش:

امیرعطا ریحانی فر

استاد راهنما:

دکتر حبیب الله زلفخانی

تیر ۱۳۸۹

فهرست

فصل اول - مقدمه

در این فصل ابتدا یاد آوری مختصری از مخابرات دیجیتال را با عنوان پیش زمینه ارائه می کنیم و سپس OFDM[1] را به عنوان تکنیکی در مخابرات دیجیتال معرفی کرده و آشنایی مختصری با آن پیدا می کنیم .

۱.۱. پیش زمینه

لایه ی فیزیکی در هر فرستنده دیجیتال شامل نگاشت[2] اطلاعات دیجیتال ورودی به شکل موجی می شود که باید توسط کانالی ارسال گردد . این کانال می تواند انواع مختلف اعوجاج مثل نویز و . . داشته باشد . عکس این عمل نیز در گیرنده انجام می شود . به طور خلاصه کار گیرنده نیز نگاشت شکل موج دریافتی از کانال به اطلاعات دیجیتالی است که سعی می شود تا حد امکان با اطلاعات دیجیتال ورودی برابر باشد . یکی از روشهای ساده ی این نگاشت PAM[3] است که به طور مفصل در درس مخابرات بحث می شود .

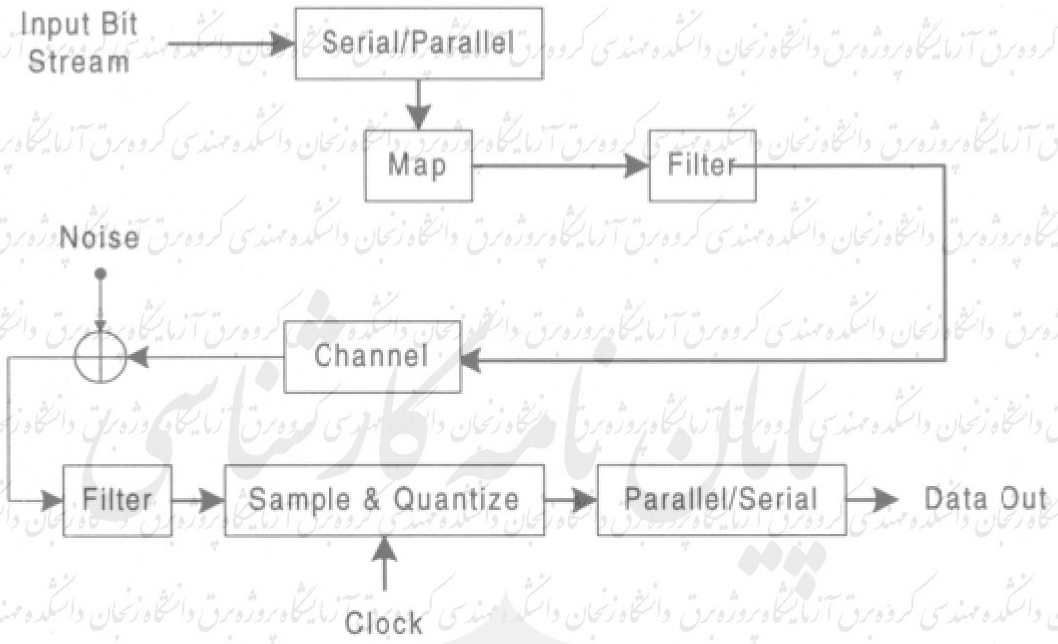
شکل ۱ – یک سیستم PAM ساده را نشان می دهد .

---

[1] Orthogonal Frequency Division Multiplexing

[2] Mapping

[3] Pulse Amplitude Modulation



شکل ۱ – یک سیستم PAM ساده

شکل موج ارسال شده در این سیستم به صورت زیر است :

$$s(t) = \sum_n a_n g(t - nT)$$ معادله ۱

در معادله بالا اطلاعاتی که باید ارسال شوند ، اعداد سری a_n هستند . ریت ارسال سمبل ها $1/T$ می باشد و $g(t)$ پاسخ ضربه فیلتر فرستنده است که معمولا پایین گذر می باشد . اعداد سری a_n از الفبای L تایی انتخاب می شوند و در نتیجه بیت ریت این سیستم برابر $1/T \log_2 L$ است . مطلوب است متوسط حروف الفبا برابر صفر باشد و در فاصله های مساوی از یکدیگر قرار داشته باشند . مقادیر a_n معمولا چنین هستند :

$$-A(L-1), \dots, -A, A, \dots, A(L-1)$$ معادله ۲

اگر حروف الفبا هم احتمال فرض شوند ، توان ارسالی به صورت زیر خواهد بود :

$$A^2 \frac{L^2-1}{3T} \int_{-\infty}^{\infty} g^2(t)\,dt$$ معادله ۳

در گیرنده ، سیگنال با r(t) فیلتر می شود که شامل یک اکولایزر وفقی[1] است و سپس نمونه برداری شده و خروجی به صورت نزدیکترین عضو الفبا به نمونه موجود ، تعیین می شود . برای جلوگیری از ISI ، مطلوب ماست $x(t)=g(t)*h(t)*r(t)$ برای $t=kT$ (k هر عدد صحیح مخالف صفر) صفر باشد که h(t) پاسخ ضربه کانال می باشد . این همان معیار نایکوئیست[2] می باشد که در حوزه فرکانس به صورت زیر بیان می شود :

$$\sum_m X(f+\frac{m}{T}) = const$$ معادله ٤

حداقل پهنای باند مورد نیاز 1/2T است . شرط معادله ٤ وقتی برآورده می شود که پاسخ فرکانسی در بازه $-1/2T < f < 1/2T$ ثابت باشد که در نتیجه پاسخ حوزه زمان به صورت زیر خواهد بود :

$$x(t) = \frac{\sin\frac{\pi t}{T}}{\frac{\pi t}{T}}$$ معادله ٥

مقداری پهنای باند اضافی نیز که با Roll-Off Factor مشخص می شود ، مورد نیاز است تا پاسخ حوزه زمان سریعا افت کند . توجه کنید که r(t) فیلتر وفقی نیست ، زیرا باید شرط ISI[3] را برآورده کند.

اگر r(t) بهره ای داشته باشد که سطح حرف الفبای x(0) در 2A قرار گیرد ، در این صورت خطا وقتی رخ می دهد که نویز شرط $|n| > A$ را برای سطوح داخلی و شرط $n < -A$ یا $n > A$ را برای سطوح خارجی بالایی یا پایینی ارضا کند . اگر نویز گاوسی با چگالی طیفی توان N(f) در ورودی گیرنده داشته باشیم ، در این صورت واریانس نویز چنین است :

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} N(f)\,|R(f)|^2\, df$$ معادله ٦

---

[1] Adaptive Equalizer

[2] Nyquist Criterion

[3] Inter Symbol Interference

و احتمال خطا برای هر سمبل چنین است :

$$P_e = \frac{2(L-1)}{L}\, Q\left(\frac{A}{\sigma}\right)$$ معادله ۷

که در معادله بالا Q(x) (انتگرال خطای نرمال) چنین است :

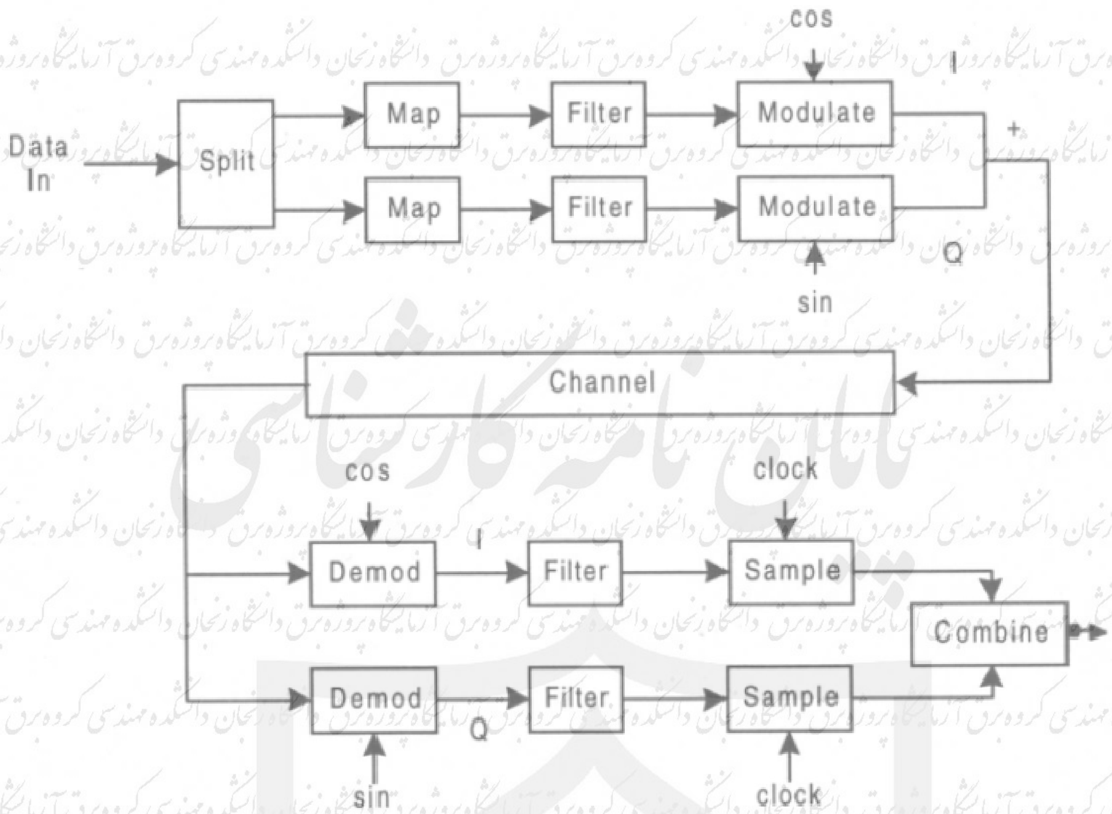
$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} e^{-y^2/2}\, dy$$ معادله ۸

PAM معمولا برای کانالهایی مناسب است که شامل فرکانس صفر هستند . اگر کانال فرکانس صفر را عبور ندهد ، باید مدولاسیونی انتخاب شود که طیف سیگنال را در باند فرکانسی مطلوب قرار دهد . یکی از این روشها QAM[1] است که آن را می توان به صورت دو سیگنال PAM در نظر گرفت که با یک فرکانس مشخص مدوله شده اند ، ولی $\frac{\pi}{2}$ بین آنها اختلاف فاز وجود دارد . در گیرنده ، عمل دمدولاسیون با همان فرکانس کاریر انجام می شود و سیگنال اولیه به دست می آید . برخلاف بعضی دیگر از مدولاسیون ها مثل FM[2] ، QAM از نظر بازده پهنای باند بهینه است ، چرا که پهنای باند مورد نیاز آن برای بیت ریت یکسان ، مثل سیگنال PAM است . همچنین کارایی QAM در مقابل نویز ، با حالت PAM قابل مقایسه است . شکل ۲ – یک سیستم QAM ساده را نشان می دهد .

---

[1] Quadrature Amplitude Modulation

[2] Frequency Modulation



شکل ۲ – یک سیستم QAM ساده

سیگنال QAM به صورت زیر است :

$$\sum_n a_n\, g(t-nT)cos\omega t - \sum_n b_n\, g(t-nT)sin\omega t \qquad \text{معادله ۹}$$

همین سیگنال را می توان به فرم زیر نیز نوشت :

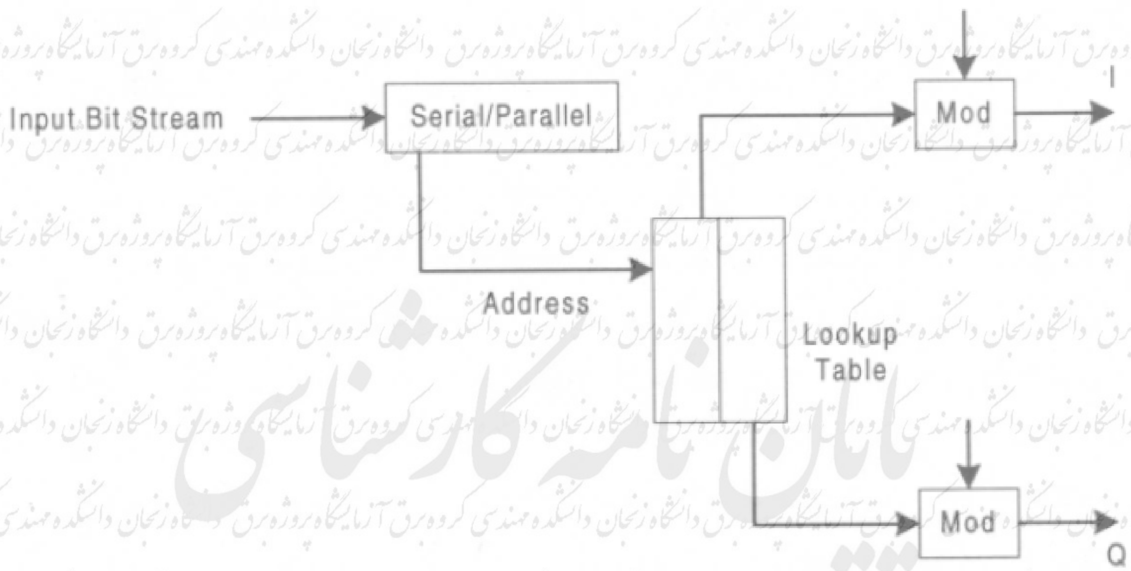
$$Re\{\sum_n c_n\, g(t-nT)e^{j\omega t}\} \qquad \text{معادله ۱۰}$$

در معادله بالا جفت سمبل های حقیقی $\mathbf{a_n}$ و $\mathbf{b_n}$ با سمبل مختلط $c_n = \mathbf{a_n} + j\mathbf{b_n}$ جایگزین می شوند . پهنای باند لازم برای ارسال چنین سمبل های مختلط 1/T می باشد . مقادیر سمبل های مختلط به صورت Constellation در صفحه مختلط نشان داده می شوند . شکل ۳ – Constellation یک سیگنال ۱۶ تایی QAM را نشان می دهد که از دو سیگنال ٤ تایی PAM ساخته می شود .

شکل ۳ – Constellation یک سیگنال ۱۶ تایی QAM

مربع بودن Constellation در شکل بالا ضروری نیست . شکل ٤ – نگاشت اطلاعات ورودی روی نقاط Constellation را نشان می دهد . یک Constellation با مرز های دایروی ، از نظر کارایی در مقابل نویز ، وضعیت بهتری دارد . با در نظر گرفتن n سمبل مختلط به عنوان یک گروه ، می توان با آن گروه به عنوان یک سمبل در فضای 2n بعدی رفتار کرد . در این حالت ، شکل ٤ می تواند به نحوی گسترش یابد که شامل تعداد کافی مبدل سریال به موازی باشد و بتواند همه بیت ها را در n سمبل جا دهد و شامل یک LUT[۱] باشد که 2n خروجی داشته باشد .

[۱] Look Up Table



شکل ٤ – نگاشت اطلاعات ورودی روی نقاط Constellation

۱.۲. پیدایش OFDM

استفاده از FDM[۱] به زمانی بر می گردد که تلگراف مورد استفاده قرار گرفت و بیش از یک سیگنال با بیت ریت پایین از یک کانال با پهنای باند نسبتا وسیع عبور داده شد . برای تمایز سیگنال ها در گیرنده فرکانس های کاریر به اندازه ی کافی دور از هم انتخاب می شدند تا روی همدیگر هم پوشانی نداشته باشند و همچنین برای جداسازی آنها به فیلتر های خیلی تیز نیاز نباشد و این امر بازده فرکانسی را پایین می آورد .

۱ Frequency Division Multiplexing

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

می توان به جای فرستادن چندین پیغام مجزا با بیت ریت کم در یک پهنای باند مشخص ، یک پیغام با بیت ریت بالا فرستاد . برای این منظور باید یک مبدل سریال به پارالل در خروجی منبع اطلاعات قرار دهیم و اطلاعات را به صورت موازی در فرکانس های مختلف ارسال کنیم . چنین ارتباط موازی را می توان با یک ارتباط سریال با بیت ریت بالا مقایسه کرد . سیستم موازی اگر به صورت چندین سیستم فرستنده و گیرنده سریال پیاده سازی شود ، بسیار پر هزینه خواهد بود . علاوه بر این بیت ریت مجموع سیستمهای سریال کمتر از بیت ریت یک سیستم واحد در همان پهنای باند خواهد بود و علت آن وجود بازه های محافظ[1] غیر قابل استفاده در حالت اول است . از طرفی دیگر یک کانال تنها با پهنای باند زیاد دارای ISI بالاتری نسبت به زیر کانالهای خود خواهد بود و علت آن فاصله زمانی کوتاه بین سیگنال ها و اعوجاج زیاد ناشی از پهنای باند وسیع است .

قبل از اکولایزرها ، برای رسیدن به بیت ریت بالا در کانالهای دارای پراش[2] ، روش ارسال موازی با وجود هزینه بالا و بازده فرکانسی کم ، ترجیح داشت . دیگر مزیت روش ارسال موازی ، حساسیت کم آن به اکثر نویز های ضربه ای است .

سهم اصلی در کاهش پیچیدگی سیستمهای OFDM را روشهای سریع محاسبه DFT ، یعنی FFT[3] ایفا می کنند . اطلاعات ورودی به بلوکهای N تایی اعداد مختلط تبدیل می شوند و هر عدد برای یک زیر کانال در نظر گرفته می شود . بر روی هر بلوک N تایی مختلط ، عمل معکوس FFT یا IFFT[4] انجام می شود و نتایج به صورت سریال ارسال می شوند . در گیرنده اطلاعات با FFT گرفتن از بلوک

---

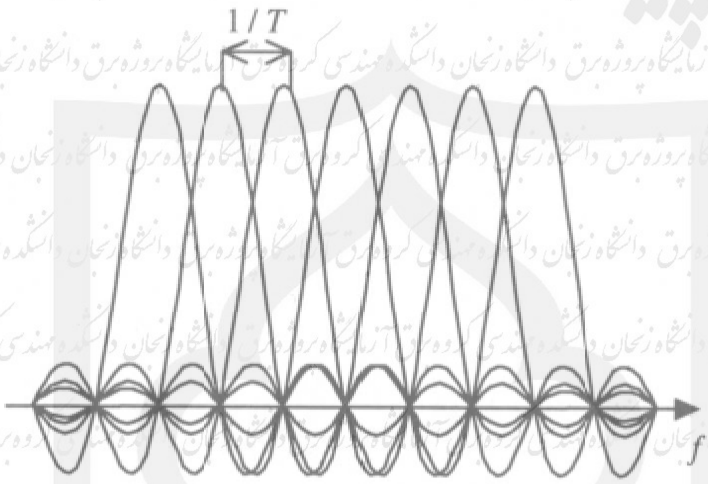
[1] Guard Interval

[2] Dispersive Channel

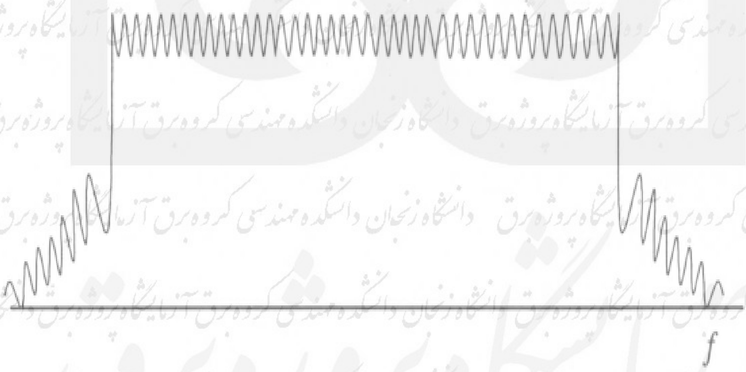
[3] Fast Fourier Transform

[4] Inverse FFT

های دریافتی بازیابی می شوند . طیف سیگنال روی خط همانند طیف N سیگنال مجزای QAM بر روی N فرکانس مختلف (با فواصلی که طول زمانی هر بلوک تعیین می کند) می باشد . هر سیگنال QAM در این حالت یک عدد مختلط ورودی را حمل می کند . طیف هر سیگنال QAM به صورت $\sin(kf) / f$ می باشد که صفر های آن روی مراکز دیگر زیر کاریر[1] ها قرار می گیرند . شکل ٥ – هم پوشانی طیف در OFDM را نشان می دهد . شکل ٦ – طیف سیگنال OFDM را نشان می دهد .



شکل ٥ – هم پوشانی طیف در OFDM



شکل ٦ – طیف سیگنال OFDM

[1] Sub Carrier

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

فهرست مراجع و منابع

Digital Modulation Techniques [Book] / auth. Xiong Fuqin. - [s.l.] : Artech House, 2006. - 2nd Edition.

Discrete-Time Signal Processing [Book] / auth. Oppenheim Alan V, Schafer Ronald W and Buck John R. - New Jersey : Prentice Hall, 1999. - 2nd Edition.

Multi-Carrier Digital Communications [Book] / auth. Bahai Ahmad S and Saltzberg Burton R. - New York : Kluwer Academic Publishers, 2002.

شبیه سازی کامپیوتری

در این قسمت می خواهیم یک سیستم ساده OFDM را با MATLAB شبیه سازی کنیم .

برای این منظور سیگنالی به صورت زیر در نظر می گیریم :

معادله ٤٠

$$s(t)=\sin(2\pi \times 100t+\varphi_1)+1.5\sin(2\pi \times 350t+\varphi_2)$$
$$+1.7\sin(2\pi \times 500t+\varphi_3)+1.4\sin(2\pi \times 1200t+\varphi_4)$$
$$+0.7\sin(2\pi \times 2500t+\varphi_5)+0.3\sin(2\pi \times 4000t+\varphi_6)$$

از سیگنال بالا با نرخ ١٠ کیلو هرتز نمونه برداری می کنیم و ١٠٠٠ نمونه بدست می آوریم و سپس هر نمونه را به صورت ٨ بیتی کوانتایز می کنیم . زمان شروع نمونه برداری یک متغیر تصادفی با توزیع یکنواخت در بازه [0,1] و φ_i ها متغیر تصادفی یکنواخت در بازه $[-\pi, \pi]$ هستند . می دانیم حداقل و حداکثر عبارت s(t) می تواند ٦.٦- و ٦.٦ باشد .با توجه به این نکته کوانتیزاسیون ٨ بیتی را انجام می دهیم و بردار qs[١] را به دست می آوریم . سپس این بردار را از مبدل سریال به موازی ٨ تایی عبور می دهیم و بردار pqs[٢] را به دست می آوریم . در هر شاخه از مدولاسیون 16 Point QAM استفاده می کنیم (مثل شکل ٣) و بردار epqs[٣] را بدست می آوریم . از بردار به دست آمده IFFT می گیریم و بردار OFDMepqs را از کانالی عبور می دهیم. کاری که کانال انجام می دهد ، اضافه کردن نویز گاوسی به سمبل های ورودی است . در گیرنده _OFDMepqs را دریافت می کنیم و همه مراحل

---

[١] Quantized s

[٢] Parallel qs

[٣] Encoded pqs