بسم اللّه الرحمن الرحيم

دانشکده فنی و مهندسی

بخش مهندسی برق

پایان نامه تحصیلی برای دریافت درجه کارشناسی ارشد رشته مهندسی برق گرایش مخابرات سیستم

طراحی الگوریتم جدید کامپندینگ برای کاهش نسبت پیک به میانگین توان در سیستم های OFDM

استاد راهنما:

دکتر سیامک طالبی

مؤلف:

عماد میمند کرمانی

شهریورماه ۱۳۹۰

این پایان نامه به عنوان یکی از شرایط احراز درجه کارشناسی ارشد به

بخش مهندسی برق

دانشکده فنی و مهندسی

دانشگاه شهید باهنر کرمان

تسلیم شده است و هیچگونه مدرکی به عنوان فراغت از تحصیل دوره مزبور شناخته نمیشود.

دانشجو : **عماد میمند کرمانی**

استاد راهنما : **دکتر سیامک طالبی**

استاد مشاور :

داور ۱ : **دکتر سعید سریزدی**

داور ۲ : **دکتر احمد حکیمی**

نماینده ی تحصیلات تکمیلی دانشکده در جلسه دفاع : **دکتر رضا رهگذر**

معاونت پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده : **دکتر حجت اله رنجبر**

حق چاپ محفوظ و مخصوص به دانشگاه شهید باهنر کرمان است.

چکیده

OFDM به عنوان یک تکنیک برای مدولاسیون و مالتی پلکسینگ همزمان سیگنال های دیجیتال به دلیل امکان استفاده از سخت افزارهای سریع محاسبه *FFT* به جای استفاده از بانکی از مدولاتورها و فیلترها و همچنین قابلیت بالای آن برای مقابله با چندمسیری در کانال های با شرایط دشوار، امروزه به شدت مورد توجه قرار گرفته است و برای مخابره اطلاعات با نرخ بالا، از جمله وایمکس (*WiMAX*)، ارسال و پخش ویدئو و صوت دیجیتال (*DVB/DAB*) و سیستم های مخابرات بیسیم نسل چهارم (*4G*)، مورد استفاده قرار می گیرد.

یکی از مشکلات سیستم های *OFDM*، بالا بودن نسبت توان ماکزیمم به توان متوسط (*PAPR*) در آن می باشد که باعث پیچیدگی مبدل های دیجیتال به آنالوگ (*D/A*) در فرستنده و آنالوگ به دیجیتال (*A/D*) در گیرنده و کاهش بهره تقویت کننده های قدرت می شود. در این رساله پس از مرور چند روش متداول برای کاهش *PAPR* در سیستم های *OFDM*، سه روش کامپندینگ (*Companding*) جدید یرای کاهش *PAPR* معرفی و عملکرد آن ها به صورت تئوری و با شبیه سازی ارائه می شود. پس از آن دو الگوریتم بهینه سازی بر مبنای الگوریتم جستجوی هارمونی (*HSA*) روی روش ارسال دنباله جزئی (*PTS*) به هدف کاهش *PAPR* ارائه و پیاده سازی می شود که نتایج قابل توجهی در مقایسه با روش های موجود به دست آمده است.

کلمات کلیدی:

مدولاسیون *OFDM* (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*)، *PAPR* (*Peak-to-Average Power Ratio*)، *Companding*، *PTS* (*Partial Transmit Sequence*)، *HSA* (*Harmony Search Algorithm*).

فهرست مطالب

فصل اول: مقدمه ای بر سیستم های مخابراتی *OFDM* ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- مفاهیم اولیه و تاریخچه *OFDM* ۲

۱-۳- مروری بر فصل های آینده ۶

فصل دوم: اصول سیستم های *OFDM* ۷

۲-۱- مقدمه ۸

۲-۲- تولید زیرحامل ها با استفاده از *IDFT* ۸

۲-۳- زمان محافظ و گسترش دوره ای ۱۳

۲-۴- پنجره گذاری ۱۷

۲-۵- انتخاب پارامترهای مربوط به سیستم های *OFDM* ۲۱

۲-۶- بلوک دیاگرام سیستم *OFDM* ۲۲

۲-۷- پیچیدگی پیاده سازی *OFDM* نسبت به مدولاسیون تک حامله ۲۴

فصل سوم: مروری بر روش های کاهش *PAPR* در سیستم های *OFDM* ۲۶

۳-۱- مقدمه ۲۷

۳-۲- توزیع مقادیر *PAPR* در سیگنال *OFDM* ۲۹

۳-۳- برش سیگنال و پنجره گذاری بر روی پیک سیگنال ۳۲

۳-۴- حذف پیک ۳۷

۳-۵- کدهای کاهش دهنده *PAPR* ۴۳

۳-۶- دنباله های *Scrambler* ۴۶

فصل چهارم: روش های کامپندینگ برای کاهش *PAPR* در سیستم های *OFDM* ۴۸

۴-۱- مقدمه ۴۹

۴-۲- تبدیل $\mu - law$ ۵۰

۴-۳- تبدیل تابع خطا ۵۷

۴-۴- تبدیل تابع نمایی ۶۴

۴-۵- تبدیل تابع *Airy* ۶۹

فصل پنجم: عملکرد روش های کامپندینگ کنونی و پیشنهاد سه تبدیل جدید ۷۷
۵-۱- مقدمه ۷۸
۵-۲- تبدیل تابع خطای بهبود یافته ۷۸
۵-۳- تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته ۷۹
۵-۴- تبدیل تابع گاما ناتمام ۸۴
۵-۵- شبیه سازی ها ۸۵
۵-۵-۱-شبیه سازی تبدیل $\mu - law$ ۸۶
۵-۵-۲-شبیه سازی تبدیل تابع خطا ۹۶
۵-۵-۳-شبیه سازی تبدیل تابع نمایی ۹۹
۵-۵-۴-شبیه سازی تبدیل تابع *Airy* ۱۰۸
۵-۵-۵-شبیه سازی تبدیل تابع خطای بهبود یافته ۱۱۱
۵-۵-۶-شبیه سازی تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته ۱۲۱
۵-۵-۷-شبیه سازی تبدیل تابع گاما ناتمام ۱۳۱
۵-۶- نتایج و پیشنهادات ۱۴۱
فصل ششم: بهبود *PAPR* در سیستم های *OFDM* با الگوریتم جستجوی هارمونی ۱۴۴
۶-۱- مقدمه ۱۴۵
۶-۲- روش ارسال دنباله جزئی (*PTS*) ۱۴۶
۶-۳- الگوریتم جستجوی هارمونی (*HSA*) ۱۴۷
۶-۴- روش *HSA* برای کاهش *PAPR* ۱۵۱
۶-۵- روش *Global Harmony Search* (*GHS*) برای کاهش *PAPR* ۱۵۴
۶-۶- نتایج و شبیه سازی ها ۱۵۷
فهرست منابع و مراجع ۱۶۰
واژه نامه ۱۶۳

فهرست شکل ها

۲-۱- مدولاتور *OFDM* ۹

۲-۲- مثالی از ۴ زیرحامل در یک سمبل *OFDM* ۱۰

۲-۳- طیف زیرحامل های منفرد ۱۱

۲-۴- تاثیر چند مسیری در زمان محافظ با مقدار صفر، زیرحامل تاخیر یافته ۲ روی زیرحامل ۱، *ICI* ایجاد می کند و بالعکس ۱۴

۲-۵- سمبل *OFDM* با گسترش سیکلی در زمان محافظ ۱۵

۲-۶- مثالی از سیگنال *OFDM* با سه زیرحامل در یک کانال چند مسیری *2-Ray*، خطوط نقطه چین بیانگر اجزای چند مسیری سیگنال دریافتی می باشد. ۱۶

۲-۷- اثر چند مسیری روی *Constellation* سیگنال دریافتی سیستم *OFDM* با سمبل های ورودی *16-QAM* و ۴۸ زیر حامل در یک کانال چند مسیری *2-Ray* که در آن سطح پرتو حاصل از چند مسیری *6dB* پایینتر از پرتو اصلی است. (*a*) تاخیر < زمان محافظ، (*b*) تاخیر به اندازه ۳٪ زمان *FFT* بیشتر از زمان محافظ، (*c*) تاخیر به اندازه ۱۰٪ زمان *FFT* بیشتر از زمان محافظ ... ۱۷

۲-۸- چگالی طیف توان (*PSD*) بدون پنجره گذاری با تعداد زیرحامل های ۱۶، ۶۴ و ۲۵۶ ۱۸

۲-۹- توسعه دوره ای و پنجره گذاری روی سیگنال *OFDM*. T_s برابر با زمان سمبل، T بازه زمانی *FFT*، T_G زمان محافظ، T_{prefix} زمان پیش محافظ و β مقدار پارامتر *Roll off* را نشان می دهد. ...

..... ۱۹

۲-۱۰- طیف مربوط به پنجره گذاری *Raised Cosine* با مقادیر پارامتر *Roll off* برابر با ۰، ۰/۰۲۵، ۰/۰۵، ۰/۱ ..... ۲۰

۲-۱۱- بلوک دیاگرام یک فرستنده و گیرنده *OFDM* ۲۴

۳-۱- مقدار جذر نسبت توان پیک به توان ماکزیمم در یک سیگنال *OFDM* با ۱۶ زیرحامل و مدوله شده با فاز یکسان برای تمام زیرحامل ها ۲۸

۳-۲- توزیع *PAPR* برای یک سیگنال *OFDM* با (*a*) ۱۲، (*b*) ۲۴، (*c*) ۴۸ و (*d*) تعداد نامحدودی زیرحامل (نویز گاوسی). تعداد نمونه های شبیه سازی ۱۲میلیون می باشد. ۲۹

۳-۳- توزیع *PAPR* بدون فرانمونه برداری و با (*a*) ۱۶، (*b*) ۳۲، (*c*) ۶۴، (*d*) ۱۲۸، (*e*) ۲۵۶ و (*f*) ۱۰۲۴ زیرحامل. خطوط نقطه چین مربوط به شبیه سازی می باشد. ۳۰

۳-۴- تابع توزیع تجمعی *PAPR* با (*a*) ۱۶، (*b*) ۳۲، (*c*) ۶۴، (*d*) ۱۲۸ و (*e*) ۲۵۶ زیرحامل. خطوط نقطه چین مربوط به شبیه سازی و نقاط پررنگ مربوط به محاسبات است. ۳۱

۳-۵- پنجره *Kaiser* با پارامترهای مختلف ۳۴

۳-۶- طیف فرکانسی سیگنال *OFDM* با ۳۲ زیرحامل با استفاده از روش های برش سیگنال و پنجره گذاری پیک با سطح آستانه *۳dB* بالاتر از مقدار *RMS* ۳۵

۳-۷- طیف فرکانسی یک سیگنال *OFDM* با ۳۲ زیرحامل با پنجره گذاری با سطح آستانه *۳dB* بالاتر از مقدار *RMS* سیگنال. طول سمبل برای ۱۲۸ نمونه و طول پنجره برابر با (*a*) ۳، (*b*) ۵، (*c*) ۷، (*d*) ۹، (*e*) ۱۱، (*f*) ۱۳، (*g*) ۱۵ نمونه می باشد و منحنی (*h*) مربوط به *OFDM* ایده آل می باشد. ۳۶

۳-۸- نرخ خطای پَکت بر حسب سیگنال به نویز برای بسته های ۶۴ بیتی در کانال *AWGN*. سیگنال *OFDM* برای رسیدن به *PAPR* (*a*) ۶، (*b*) ۵ و (*c*) *۴dB* برش یافته است. ۳۶

۳-۹- نرخ خطای پَکت بر حسب سیگنال به نویز برای بسته های ۶۴ بیتی در کانال *AWGN*. سیگنال *OFDM* برای رسیدن به *PAPR* (*a*) ۱۶، (*b*) ۶، (*c*) ۵، (*d*) *۴dB* با طول پنجره ۱/۱۶ زمان *FFT* پنجره گذاری شده است. ۳۷

۳-۱۰- تابع مرجع *Sinc* که با یک تابع *Raised Cosine* پنجره گذاری شده است. ۳۸

۳-۱۱- بلوک دیاگرام فرستنده *OFDM* با استفاده از حذف پیک ۳۹

۳-۱۲- چگالی طیف توان برای (a) طیف اعوجاج پیدا نکرده با ۳۲ زیرحامل و$PAPR = ۱۵dB$، (b) طیف پس از حذف پیک با $PAPR = ۴dB$، (c) برش سیگنال برای دست یافتن به $PAPR = ۴dB$. تابع مرجع حذف پیک دارای طولی برابر ۱/۴ طول سمبل $OFDM$ است. ۴۰

۳-۱۳- مقدار PER بر حسب سیگنال به نویز برای ۶۴ بیتی در یک کانال $AWGN$. حذف پیک برای کاهش $PAPR$ تا (a) ۱۶، (b) ۶، (c) ۵، (d) $۴dB$ اعمال شده است. ۴۱

۳-۱۴- PER بر حسب سیگنال به نویز برای بسته ۶۴ بیتی در کانال $AWGN$. مقدار $PAPR$ با استفاده از روش های (a) برش سیگنال، (b) حذف پیک و (c) پنجره گذاری پیک تا $۵dB$ کاهش پیدا کرده است. ۴۲

۳-۱۵- جذر مقدار $PAPR$ برای سیگنال $OFDM$ با ۱۶ زیرحامل و مدوله شده توسط یک کد متمم ۴۵

۳-۱۶- استفاده از روش SLM در کاهش $PAPR$ ۴۷

۳-۱۷- استفاده از روش PTS برای کاهش $PAPR$ ۴۷

۴-۱- بلوک یک سیستم $OFDM$ با روش کامپندینگ ۵۰

۴-۲- رابطه بین ورودی و خروجی تبدیل تابع خطا به ازاء k_1 و k_2 های مختلف ۵۸

۴-۳- پوش سیگنال $OFDM$. (a) سیگنال $OFDM$ اصلی، (b) سیگنال بریده شده در سطح $۵dB$، (c) سیگنال فشرده شده با تبدیل $\mu - law$، (d) سیگنال فشرده شده با تبدیل تابع خطا ۶۰

۴-۴- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و دو روش دیگر ۶۱

۴-۵- مکمل تابع توزیع تجمعی $(CCDF)$ سیگنال ها قبل و بعد از فشرده سازی ۶۱

۴-۶- طیف سیگنال های $OFDM$ اصلی و دو روش دیگر ۶۲

۴-۷- عملکرد BER سیستم های مختلف $OFDM$ با $SSPA$ و کانال $AWGN$ ۶۳

۴-۸- سیستم $OFDM$ تبدیل کامپندینگ نمایی ۶۴

۴-۹- تابع کامپندینگ نمایی به ازاء dهای مختلف ۶۸

۴-۱۰- شکل موج های سیگنال $OFDM$ اصلی و سیگنال فشرده شده، (a) سیگنال $OFDM$ اصلی، (b) سیگنال فشرده شده با تبدیل $u\text{-}law$، (c) سیگنال فشرده شده با تبدیل نمایی به ازاء $d = 1$، (d) سیگنال فشرده شده با تبدیل نمایی به ازاء $d = 2$ ۶۹

۴-۱۱- توابع کامپندینگ و دیکامپندینگ تبدیل $Airy$ بع ازاء α های مختلف ۷۲

۴-۱۲- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و سیگنال های کامپند شده ۷۴

۴-۱۳- تابع $CCDF$ برای سیگنال اصلی و سیگنال های کامپند شده ۷۵

۴-۱۴- BER در مقابل SNR برای سیگنال اصلی و کامپند شده برای کانال $AWGN$ ۷۶

۵-۱- کامپندر تبدیل $\mu - law$ به ازاء μهای ثابت و ماکزیمم دامنه A به ازاء ۱، ۲، ۳ و ۴ .... ۸۷

۵-۲- کامپندر تبدیل $\mu - law$ به ازاء ماکزیمم دامنه های ثابت و μهای متغیر به ازاء ۱، ۷/۸۷، ۱۵، ۶۳، ۱۲۷ و ۲۵۵ ..... ۸۸

۵-۳- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء μهای ثابت و ماکزیمم دامنه های متغیر به ازاء ۱، ۲، ۳ و ۴ ..... ۸۹

۵-۴- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء ماکزیمم دامنه های ثابت و μهای متغیر به ازاء ۱، ۷/۸۷، ۱۵، ۶۳، ۱۲۷ و ۲۵۵ ..... ۸۹

۵-۵- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء μهای ثابت و ماکزیمم دامنه های متغیر به ازاء ۱، ۲، ۳ و ۴ ..... ۹۰

۵-۶- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء ماکزیمم دامنه های ثابت و μهای متغیر به ازاء ۱، ۷/۸۷، ۱۵، ۶۳، ۱۲۷ و ۲۵۵ ..... ۹۱

۵-۷- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء μهای ثابت و ماکزیمم دامنه های متغیر به ازاء ۱، ۲، ۳ و ۴ ..... ۹۲

۵-۸- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء ماکزیمم دامنه های ثابت و μهای متغیر به ازاء ۱، ۷/۸۷، ۱۵، ۶۳، ۱۲۷ و ۲۵۵ ..... ۹۳

۵-۹- نسبت خطای بیت در سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء μهای ثابت و ماکزیمم دامنه های متغیر به ازاء ۱، ۲، ۳ و ۴ در گیرنده ۹۴

۵-۱۰- نسبت خطای بیت در سیگنال اصلی و تبدیل $\mu - law$ به ازاء ماکزیمم دامنه های ثابت و μهای متغیر به ازاء ۱، ۷/۸۷، ۱۵، ۶۳، ۱۲۷ و ۲۵۵ در گیرنده ۹۵

۵-۱۱- کامپندر تابع خطا به ازاء K_1های متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۷ و ۲ ..... ۹۶

۵-۱۲- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تابع خطا به ازاء K_1های متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۷ و ۲ ..... ۹۶

۵-۱۳- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تابع خطا به ازاء K_1های متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۷ و ۲ ..... ۹۷

۵-۱۴- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تابع خطا به ازاء K_1های متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۷ و ۲ ..... ۹۷

۵-۱۵- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تابع خطا به ازاء K_1های متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۷ و ۲ در گیرنده ۹۸

۵-۱۶- کامپندر تبدیل تابع نمایی به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۵ ..... ۹۹

۵-۱۷- کامپندر تبدیل تابع نمایی به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۰۰

۵-۱۸- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۵ ..... ۱۰۱

۵-۱۹- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۰۲

۵-۲۰- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۵ ..... ۱۰۲

۵-۲۱- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۰۳

۵-۲۲- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۵ ..... ۱۰۴

۵-۲۳- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۰۵

۵-۲۴- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۵، ۰/۷، ۱، ۲ و ۵ در گیرنده ۱۰۶

۵-۲۵- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع نمایی به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ در گیرنده ۱۰۷

۵-۲۶- کامپندر تابع $Airy$ به ازاء Kهای متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶ و ۱/۹ ..... ۱۰۸

۵-۲۷- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تابع $Airy$ به ازاء Kهای متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶ و ۱/۹ ..... ۱۰۸

۵-۲۸- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تابع $Airy$ به ازاء Kهای متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶ و ۱/۹ ..... ۱۰۹

۵-۲۹- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تابع $Airy$ به ازاء Kهای متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶ و ۱/۹ ..... ۱۰۹

۵-۳۰- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع $Airy$ به ازاء Kهای متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱، ۱/۳، ۱/۶ و ۱/۹ در گیرنده ۱۱۰

۵-۳۱- کامپندر تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ ..... ۱۱۱

۵-۳۲- کامپندر تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۱۲

۵-۳۳- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ ..... ۱۱۳

۵-۳۴- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۱۴

۵-۳۵- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ ..... ۱۱۵

۵-۳۶- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۱۶

۵-۳۷- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ ..... ۱۱۷

۵-۳۸- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۱۸

۵-۳۹- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ در گیرنده ۱۱۹

۵-۴۰- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع خطای بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ در گیرنده ۱۲۰

۵-۴۱- کامپندر تبدیل تابع $Airy$ بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱ و ۱/۳ ..... ۱۲۱

۵-۴۲- کامپندر تبدیل تابع $Airy$ بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و۸ ..... ۱۲۲

۵-۴۳- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع $Airy$ بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱ و ۱/۳ ..... ۱۲۳

۵-۴۴- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۲۴

۵-۴۵- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱ و ۱/۳ ..... ۱۲۵

۵-۴۶- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۲۶

۵-۴۷- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱ و ۱/۳ ..... ۱۲۷

۵-۴۸- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ ..... ۱۲۸

۵-۴۹- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء dهای ثابت و ضریب K متغیر به ازاء ۰/۱، ۰/۴، ۰/۷، ۱ و ۱/۳ در گیرنده ۱۲۹

۵-۵۰- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع *Airy* بهبود یافته به ازاء Kهای ثابت و توان d متغیر به ازاء ۱، ۲، ۴ و ۸ در گیرنده ۱۳۰

۵-۵۱- کامپندر تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_2های ثابت و K_1 متغیر به ازاء ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ ..... ۱۳۱

۵-۵۲- کامپندر تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_1های ثابت و K_2 متغیر به ازاء ۱، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۴ ..... ۱۳۲

۵-۵۳- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_2های ثابت و K_1 متغیر به ازاء ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ ..... ۱۳۳

۵-۵۴- تابع چگالی احتمال سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_1های ثابت و K_2 متغیر به ازاء ۱، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۴ ..... ۱۳۴

۵-۵۵- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_2های ثابت و K_1 متغیر به ازاء ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ ..... ۱۳۵

۵-۵۶- چگالی طیف توان سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_1های ثابت و K_2 متغیر به ازاء ۱، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۴ ..... ۱۳۶

۵-۵۷- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_2های ثابت و K_1 متغیر به ازاء ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ ..... ۱۳۷

۵-۵۸- مکمل تابع توزیع تجمعی سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_1های ثابت و K_2 متغیر به ازاء ۱، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۴ ..... ۱۳۸

۵-۵۹- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_2های ثابت و K_1 متغیر به ازاء ۰/۴، ۰/۵، ۰/۶، ۰/۷، ۰/۸ و ۰/۹ ..... ۱۴۰

۵-۶۰- نسبت خطای بیت سیگنال اصلی و تبدیل تابع گاما ناتمام به ازاء K_1های ثابت و K_2 متغیر به ازاء ۱، ۱/۱، ۱/۲، ۱/۳ و ۱/۴ ..... ۱۴۱

۶-۱- بلوک دیاگرام روش *PTS* ۱۴۶

۶-۲- جزئیات شباهت بین بهینه سازی مهندسی و ابتکار موسیقی ۱۴۸

۶-۳- روند بهینه سازی در *HSA* ۱۴۹

۶-۴- تولید هارمونی جدید بر اساس حافظه هارمونی، تنظیمات و اعداد رندم ۱۵۰

۶-۵- شبه کد روند تولید بردار هارمونی جدید ۱۵۶

۶-۶- مقایسه کاهش *PAPR* بین دو روش پیشنهاد شده *HSA* و *GHS* در تعداد تکرارهای ۲۰ و ۴۰ به همراه چند روش دیگر ۱۵۸

۶-۷- مقایسه میانگین بهترین مقادیر تابع هزینه بین دو روش پیشنهادی *HSA* و *GHS* به همراه چند روش دیگر ۱۵۹

فهرست جداول

۵-۱- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل $\mu - law$ نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامتر A و μ ۹۳

۵-۲- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل تابع خطا نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامتر K_1 ..... ۹۸

۵-۳- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل تابع نمایی نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامترهای K و d ۱۰۵

۵-۴- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل تابع $Airy$ نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامتر K ۱۱۰

۵-۵- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل تابع خطای بهبود یافته نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامترهای K و d ۱۱۸

۵-۶- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل تابع $Airy$ بهبود یافته نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامترهای K و d ۱۲۸

۵-۷- میزان خرابی تداخل خارج از باند در تبدیل تابع گاما ناتمام نسبت به سیگنال اصلی به ازاء مقادیر مختلف پارامترهای K_1 و K_2 ..... ۱۳۹

۵-۸- مقایسه روش های ذکر شده به ازاء پارامترهای مشخص ۱ ..... ۱۴۲

۵-۹- مقایسه روش های ذکر شده به ازاء پارامترهای مشخص ۲ ..... ۱۴۳

فصل اول

مقدمه ای بر سیستم های مخابراتی

OFDM

۱-۱- مقدمه

در عصر جدید که به درستی آن را عصر ارتباطات نام نهاده اند، نیاز به برقراری ارتباط از طریق مبادله داده، صوت و تصویر (داده های چند رسانه ای[۱])، منجر به معرفی نسل جدیدی از سیستم های مخابراتی به نام سیستم های بیسیم باند گسترده برای ارسال داده های چند رسانه ای (*WBMCS*[۲]) شده است. نیاز روزافزون به توسعه شبکه های محلی بیسیم[۳] در کنار ضرورت برقراری ارتباطات چند رسانه ای از طریق شبکه موبایل به منظور اتصال به شبکه جهانی اینترنت و یا ارتباط همزمان صوتی و تصویری، لزوم گسترش ارتباطات بیسیم پهن باند با نرخ بالا را آشکار می سازد [۱].

برای دسترسی به نرخ انتقال بالا که لازمه چنین سیستم هایی می باشد، استفاده از روش های مناسب و با کارایی بالا برای مدولاسیون سیگنال ها مورد نیاز است. یکی از مهمترین و مناسب ترین روش ها برای این منظور سیستم *OFDM*[۴] می باشد. در این بخش به مروری بر این سیستم ها خواهیم پرداخت. در این راستا در ادامه مروری بر مفاهیم این سیستم داشته و سپس تاریخچه کوتاهی در مورد آن ارائه خواهیم کرد.

۱-۲- مفاهیم اولیه و تاریخچه *OFDM*

OFDM یک روش انتقال با چند حامل می باشد که در آن جریان داده با نرخ بالای ورودی به چندین زیر جریان داده با نرخ پایین تر تقسیم شده و توسط تعدادی حامل ارسال می شود. در واقع *OFDM* یک روش برای مدوله و مالتی پلکس کردن همزمان داده ها می باشد [۲].

یکی از دلایل اصلی استفاده از *OFDM* افزایش مقاومت سیستم مخابرات سیار در برابر فیدینگ با انتخاب فرکانسی[۵] و همچنین مقابله با اثر تداخل باند باریک می باشد. در یک سیستم با یک حامل، فیدینگ عمیق یا تداخل شدید می تواند کل اتصال مخابراتی را قطع کند، اما در یک

[1] Multimedia
[2] Wireless Broad band Multimedia Communication
[3] WLAN
[4] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[5] Frequency Selective Fading

سیستم با چند حامل به احتمال زیاد زیر کانال های مرتبط با درصد کمی از حامل ها تحت تاثیر فیدینگ شدید قرار گرفته و سایر زیر کانال ها قابل استفاده باقی می ماند [۲].

دریک سیستم کلاسیک مالتی پلکس فرکانسی[1] با داده های موازی، باند فرکانسی به N قسمت ناهمپوشان تقسیم می شود و حامل متناظر با هر زیر کانال با سمبل های متفاوتی مدوله شده و سیگنال کلیه زیر کانال ها بصورت فرکانس با یکدیگر مالتی پلکس می گردد. همانطور که ملاحظه می شود، روش فوق برای جلوگیری از تداخل فرکانسی زیر کانال ها مناسب است. اما در این تکنیک استفاه بهینه ای از عرض باند فرکانسی صورت نمی گیرد. این بدان دلیل است که در این روش باید زیر حامل ها در فاصله فرکانسی نسبتا زیادی (بیشتر از عرض باند طیفی که حول یک زیر حامل قرار می گیرد) ازهم قرار داده شوند تا بتوان با استفاده از فیلتر و دمدولاتور سیگنال مربوط به آنها را از یکدیگر جدا کرد. به عبارت دیگر، دراین روش به باند محافظ[2] در زیر کانال ها نیاز می باشد که منجر به کاهش کارایی طیفی می گردد [۳].

برای مقابله با این ضعف در اواسط دهه ۶۰ میلادی روش FDM با کانال های همپوشان مطرح شد که در آن هر زیر کانال با نرخ ارسال b بیت بر ثانیه، به فاصله b هرتز از زیر کانال های مجاور قرار می گیرد. با استفاده از این سیستم از متعادل سازی[3] پر سرعت و همچنین از نویز ضربه ای و گسترش ناشی از چندمسیری جلوگیری می گردد و این در حالی است که عرض باند نیز به صورت بهینه و کامل استفاده می گردد. با استفاده ازتکنیک های FDM همپوشان می توان تا ۵۰٪ نسبت به روش FDM، کارایی طیفی را افزایش داد [۳].

اما مساله اساسی در تکنیک های FDM همپوشان، همشنوایی[4] بین زیر کانال ها است که برای جلوگیری از این مساله می توان از حامل های متعامد[5] استفاده نمود. این نکته اساس روش مدولاسیون $OFDM$ می باشد. معنای تعامد آنست که باید فرکانس حامل ها با یکدیگر ارتباط خاصی داشته باشد تا از لحاظ ریاضی سیگنال های مربوط به این حامل ها بر یکدیگر عمود گردند. به بیان دیگر درتکنیک $OFDM$ حامل ها به گونه ای چیده می شوند که باندهای کناری[6] زیر حامل های مجزا با یکدیگر همپوشانی داشته باشند اما در عین حال بتوان سیگنال روی یک زیر حامل را بدون هیچ گونه تداخل ناشی از زیر حامل های مجاور دریافت نمود [۳]. در فصل آینده این موضوع با جزئیات بیشتر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

---

[1] Frequency Domain Multiplexing (FDM)
[2] Guard Band
[3] Equalization
[4] Cross Talk
[5] Orthogonal
[6] Side Band

درتکنیک *OFDM* گیرنده مانند مجموعه ای ازدمدولاتورها عمل می کند که سیگنال دریافتی را با کمک عمل انتگرالگیری که روی یک پریود از سیگنال انجام می دهد به یک مقدار *DC* تبدیل می کند. اما نکته اصلی آنجاست که اگر همه داده ها را بازیابی کنیم، همگی دریک بازه زمانی *T* قرار خواهند گرفت اما حاصل انتگرال گیری برای تمام زیر حامل های دیگر جز زیر حامل مورد نظر صفر خواهد بود. می توان ملاحظه نمود اگر زیرحامل ها به فاصله $1/T$ از هم قرار گیرند، برهم عمود بوده و به صورت خطی از یکدیگر مستقل خواهند بود [۳].

درسال ۱۹۷۱، *Weinstein* و *Ebert* پیشنهاد کردند که از عمل *DFT* بر روی داده های موازی به عنوان بخشی از پروسه مدوله کردن و دمدوله کردن سیگنال های موازی استفاده شود. در واقع طیف سیگنال *OFDM* به صورت زیر طیف های منفرد با فاصله فرکانسی *b*، که برابر با سرعت انتقال هر زیر حامل است، می باشد؛ لذا در گیرنده می توان با عمل *DFT* و محاسبه مقادیر همبستگی[1] در فرکانس مرکزی هر زیر طیف، داده ها را بدون هیچ هم شنوایی بازیابی نمود. این بدان دلیل است که درفرکانس مرکزی هیچ همشنوایی بین کانال ها وجود ندارد. علاوه بر آن با استفاده از *DFT* مالتی پلکس کردن سیگنال ها نیز بدون استفاده از فیلترینگ باند پایه[2] و صرفا با استفاده از پردازش باند پایه صورت می گیرد [۳].

می توان دید در *OFDM* به جای استفاده از مجموعه ای از اسیلاتورها و دمدوله کننده های همزمان، که در تکنیک *FDM* ضروری است، همه این مراحل به صورت پیاده سازی دیجیتال انجام می شود. در پیاده سازی گیرنده و فرستنده در صورت استفاده ازالگوریتم *FFT* تعداد عملیات محاسبه *DFT*، *N* تایی از N^2 به *NlogN* کاهش می یابد . همچنین پیشرفت های جدید در عرصه تراشه های با سرعت بالا که امکان عملیات پرحجم در زمان کم را فراهم می کند، پیاده سازی سیستم های *OFDM* را کاملا عملی کرده است [۳].

بطور خلاصه برخی از مزایا و معایب سیستم *OFDM* به قرار زیر می باشد [۲]، [۴]:

- *OFDM* یک روش کارآمد برای مقابله با مساله چند مسیری در مخابرات سیار است و برخلاف سیستم های با یک حامل که در کانال های چندمسیری استفاده از متعادل ساز برای آنها ضروری است، سیستم های *OFDM* نیازی به متعادل سازی ندارند و یا در موارد ضروری می توان از متعادل سازهایی با یک تپ استفاده کرد که این امر پیچیدگی سیستم های *OFDM* را در مقایسه با سیستم های با یک حامل به طور قابل توجهی کاهش می دهد.

[1] Correlation
[2] Base Band