دانشکده فنی

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های همزمانی در سیستم‌های مخابراتی چندکاریری مبتنی بر ویولت

از

هدیه آقابرار جوبجارکلی

استاد راهنما

دکتر غلامرضا باقرسلیمی

مهندس بهمن زنج

اسفند ۱۳۹۰

دانشکده فنی

گروه مهندسی برق

گرایش الکترونیک

ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های همزمانی در سیستم‌های مخابراتی چندکاریری مبتنی بر ویولت

از :

هدیه آقابرار جوبجارکلی

استادان راهنما :

دکتر غلامرضا باقرسلیمی

مهندس بهمن زنج

استاد مشاور :

مهندس حمیدرضا سفیدی شیرکوهی

اسفند ۱۳۹۰

تقدیم به پدر و مادر مهربانم

که وجودشان چراغ فروغ بخش زندگیم بوده است.

تقدیر و تشکر

لازم می‌دانم از تمامی کسانی که مرا در این پژوهش یاری نموده‌اند و به‌خصوص از اساتید ارجمندم جناب آقای **دکتر باقرسلیمی** و جناب آقای **مهندس بهمن زنج** به سبب مساعدت‌های بی‌دریغ و زحمات بی‌وقفه ایشان مراتب قدردانی را ابراز نمایم. از این‌که در تمامی مراحل پروژه وقت و انرژی خود را جهت انجام این کار صرف نموده‌اند تشکر و سپاس فراوان دارم.

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

فهرست جدول‌ها ..... ح

فهرست شکل‌ها ..... ح

فهرست علائم اختصاری ..... ر

چکیده فارسی ..... ش

چکیده انگلیسی ..... ص

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۱

۱-۲- تکنیک OFDM ۱

۱-۳- MCM مبتنی بر تبدیل ویولت ۲

۱-۴- MCM مبتنی بر بانک فیلتر ۳

۱-۵- تخمین پارامترهای همزمانی ۴

۱-۶- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم : اصول OFDM

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۱-۱- سیستم مخابراتی ۶

۲-۱-۲- انتشار چند مسیره ۷

۲-۱-۳- ساختار سیستم‌های تک‌کاریری و چندکاریری ۸

۲-۲- سیستم OFDM ۹

۲-۳- تولید کاریرهای فرعی با استفاده از نوسان ساز ۱۱

۲-۳-۱-خطاهای همزمانی ۱۲

۲-۴- پیاده سازی بر اساس FFT ۱۳

۲-۵- زمان محافظ و افزایش چرخشی ۱۳
۲-۶- پنجره کردن ۱۵
۲-۷- پردازش سیگنال OFDM ۱۶
۲-۸- نتیجه گیری ۱۷

فصل سوم : OFDM مبتنی بر تبدیل ویولت

۳-۱- مقدمه ۱۸
۳-۲- تئوری ویولت ۱۸
۳-۳- تبدیل ویولت پیوسته (CWT) ۱۹
۳-۴- تبدیل ویولت گسسته ۲۰
۳-۵- بانک فیلتر ۲۱
۳-۵-۱- بانک فیلترآنالیز ۲۲
۳-۵-۲- بانک فیلترسنتز ۲۳
۳-۵-۳- ویولت پکت‌ها ۲۳
۳-۶- ویولت‌های معروف ۲۴
۳-۷- انتخاب فیلتر ویولت برای OFDM ۲۵
۳-۸- مدولاسیون چندکاریری مبتنی بر ویولت پکت ۲۷
۳-۹- دیاگرام بلوکی DWT-OFDM ۲۹
۳-۱۰- نتیجه گیری ۳۰

فصل چهارم : خطاهای همزمانی در سیستم‌های OFDM وWPMCM

۴-۱- مقدمه ۳۱
۴-۲- آفست فرکانسی کاریر (CFO) در مدولاسیون چندکاریری ۳۱
۴-۲-۱- آفست فرکانسی در OFDM ۳۲
۴-۲-۲- آفست فرکانسی در WPMCM ۳۳

۴-۳- آفست زمانی سمبل (STO) در مدولاسیون چندکاریری ۳۴
۴-۳-۱- آفست زمانی در OFDM ۳۴
۴-۳-۲- آفست زمانی در WPMCM ۳۶
۴-۴- نویز فاز در مدولاسیون چندکاریری ۳۷
۴-۴-۱- مدل نویز فاز ۳۷
۴-۴-۲- نویز فاز در OFDM ۴۰
۴-۴-۳- نویز فاز در WPMCM ۴۱
۴-۵- نتیجه گیری ۴۲

فصل پنجم : الگوریتم‌های همزمانی در سیستم‌های OFDM

۵-۱- مقدمه ۴۳
۵-۲- روش‌های تخمین STO ۴۳
۵-۲-۱- روش‌های تخمین حوزه زمان STO ۴۳
۵-۲-۱-۱- روش‌های تخمین STO با استفاده از پیشوند چرخشی CP ۴۳
۵-۲-۱-۲- روش‌های تخمین STO با استفاده از سمبل آموزشی ۴۴
۵-۲-۲- روش‌های تخمین حوزه فرکانس STO ۴۵
۵-۳- روش‌های تخمین CFO ۴۶
۵-۳-۱- روش‌های تخمین حوزه زمان CFO ۴۶
۵-۳-۱-۱- روش‌های تخمین CFO با استفاده از پیشوند چرخشی CP ۴۶
۵-۳-۱-۲- روش‌های تخمین CFO با استفاده از سمبل آموزشی ۴۷
۵-۳-۲- روش‌های تخمین حوزه فرکانس CFO ۴۷
۵-۴- روش‌های تخمین نویز فاز ۴۹
۵-۴-۱- تخمین نویز فاز با استفاده از آرایش شانه‌ای پایلوت‌ها ۵۰
۵-۴-۲- تخمین نویز فاز با استفاده از آرایش بلوکی پایلوت‌ها ۵۲

۵-۵- نتیجه گیری ۵۳

فصل ششم : همزمانی در سیستم‌های مدولاسیون چندکاریری مبتنی بر بانک فیلتر (FBMC)

۶-۱- مقدمه ۵۴

۶-۱-۱- بانک فیلتر مدوله‌شده PR (MFB) ۵۵

۶-۱-۲- transmultiplexer مدوله‌شده به‌صورت نمایی PR ۵۷

۶-۲- مدل سیستم FBMC با خطاهای همزمانی ۵۸

۶-۳- همزمان‌سازی سیستم FBMC ۵۹

۶-۳-۱- الگوریتم کمترین مربع (LS) تخمین CFO و آفست زمانی سمبل ۶۰

۶-۳-۲- الگوریتم ML تخمین CFO و آفست زمانی سمبل ۶۲

۶-۴-نتیجه گیری ۶۴

فصل هفتم : ارزیابی عملکرد الگوریتم‌های همزمانی

۷-۱- مقدمه ۶۵

۷-۲- سیستم‌های چندکاریری مبتنی بر FBMC و OFDM ۶۵

۷-۲-۱- پارامترهای شبیه‌سازی ۶۵

۷-۲-۲- نتایج شبیه سازی ۶۷

۷-۳- سیستم‌های چندکاریری مبتنی بر WPMCM و OFDM ۸۴

۷-۳-۱- پارامترهای شبیه‌سازی ۸۴

۷-۳-۲- نتایج شبیه سازی ۸۴

فصل هشتم : نتیجه گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده ۹۵

مراجع ۹۶

فهرست جدول‌ها

عنوان **صفحه**

جدول ۳-۱ ویژگی‌های ویولت‌های استاندارد ۲۵

جدول ۷-۱ پارامترهای شبیه سازی ۶۶

جدول ۷-۲ پارامترهای شبیه سازی ۸۴

فهرست شکل‌ها

عنوان **صفحه**

شکل ۲-۱ تحول و تکامل مخابرات بی‌سیم چند رسانه‌ای ۶

شکل ۲-۲ دیاگرام بلوکی سیستم مخابراتی دیجیتال ۷

شکل ۲-۳ انتشار چند مسیره ۸

شکل ۲-۴ سیگنال چند مسیره: الف) سیستم SC، ب) سیستم MC ۹

شکل ۲-۵ پهنای باند مورد استفاده توسط تکنولوژی شبکه تلفن سوئیچینگ عمومی (PSTN) ۱۰

شکل ۲-۶ مفهوم سیگنال OFDM (الف) تکنیک مرسوم چندکاریری و (ب) تکنیک مدولاسیون چندکاریری متعامد ۱۰

شکل ۲-۷ طیف (الف) یک کانال فرعی OFDM و (ب) یک سیگنال OFDM ۱۰

شکل ۲-۸ مدولاتور OFDM ۱۱

شکل ۲-۹ مثالی از چهار کاریر فرعی در یک سمبل OFDM ۱۲

شکل ۲-۱۰ تأثیر چند مسیری؛ هیچ سیگنالی در زمان محافظ وجود ندارد؛ کاریر فرعی تأخیریافته ۲ باعث ICI روی کاریر فرعی ۱ می‌شود و برعکس ۱۴

شکل ۲-۱۱ سمبل OFDM با افزایش چرخشی ۱۵

شکل ۲-۱۲ مثالی از یک سیگنال OFDM با سه کاریر فرعی در یک کانال دو مسیری. خط نقطه چین یک مؤلفه مسیر تأخیر یافته را نشان می‌دهد ۱۵

شکل ۲-۱۳ دیاگرام بلوکی یک فرستنده گیرنده OFDM ۱۶

شکل ۳-۱ ویولت Mexican Hat با مقیاس‌ها و انتقال‌های مختلف ۲۰

شکل ۳-۲ پاسخ فرکانسی فیلتر ویولت و مقیاس ۲۱

شکل ۳-۳ بانک فیلتر آنالیز ۲ کاناله ۲۲

شکل ۳-۴ درخت آنالیز سه طبقه ۲۲

شکل ۳-۵ باندهای فرکانسی برای درخت آنالیز سه طبقه ۲۳

شکل ۳-۶ بانک فیلتر سنتز ۲ کاناله ۲۳

شکل ۳-۷ باندهای فرکانسی درخت ویولت پکت سه طبقه ۲۴

شکل ۳-۸ ویولت Haar، چپ: تابع scaling، وسط: تابع ویولت، راست: پاسخ فرکانسی LPF و HPF ۲۶

شکل ۳-۹ ویولت Daubechies با ۲۰ ضریب، چپ: تابع scaling، وسط: تابع ویولت، راست: پاسخ فرکانسی LPF و HPF ۲۶

شکل ۳-۱۰ ویولت Symlets با ۲۰ ضریب، چپ: تابع scaling، وسط: تابع ویولت، راست: پاسخ فرکانسی LPF وHPF ۲۶

شکل ۳-۱۱ ویولت Coiflet با ۲۴ ضریب، چپ: تابع scaling، وسط: تابع ویولت، راست: پاسخ فرکانسی LPF و HPF ۲۷

شکل ۳-۱۲ Wavelet Packets Transmultiplexer ۲۷

شکل ۳-۱۳ طیف هشت کاریر فرعی متعامد: الف) OFDM، ب) Daubechies8 ..... ۲۹

شکل ۳-۱۴ دیاگرام بلوکی فرستنده و گیرنده OFDM مبتنی بر ویولت ۳۰

شکل ۴-۱ آثار خطای فرکانسی ε : کاهش توان سمبل دریافتی مطلوب (+) و ICI از کاریرهای فرعی دیگر (O) ۳۳

شکل ۴-۲ STO بر خلاف جهت پیشوند چرخشی (به سمت راست) ۳۵

شکل ۴-۳ STO به سمت پیشوند چرخشی (به سمت چپ) ۳۶

شکل ۴-۴ PSD یک‌طرفه سیگنال نوسان‌ساز با نویز فاز ۳۸

شکل ۴-۵ طیف لورنتس با پهنای باندهای 3dB یکطرفه مختلف ۳۹

شکل ۵-۱ روش تخمین STO با استفاده از دو پنجره متحرک ۴۴

شکل ۵-۲ تخمین STO با استفاده از سمبل آموزشی تکراری (دوره تناوب $\frac{T_{sub}}{2}$) ۴۵

شکل ۵-۳ تخمین STO با استفاده از پاسخ ضربه کانال ۴۶

شکل ۵-۴ شماتیک همزمانی CFO با استفاده از سمبل‌های (tones) پایلوت ۴۸

شکل ۵-۵ طرح پیشنهادی در [۶۴] ۵۲

شکل ۶-۱ بانک فیلتر آنالیز-سنتز ۵۶

شکل ۶-۲ TMUX مختلط ۵۸

شکل ۷-۱ RMSE تخمین زننده‌های CFO در سیستم EMFB برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۶۷

شکل ۷-۲ RMSE تخمین زننده‌های STO در سیستم EMFB برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۶۸

شکل ۷-۳ مقایسه RMSE در سیستم EMFB بین دو نوع مدولاسیون برای تخمین زننده‌های (الف) CFO و (ب) STO ۶۹

شکل ۷-۴ BER تخمین زننده‌های CFO در سیستم EMFB برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۱

شکل ۷-۵ BER تخمین زننده‌های STO در سیستم EMFB برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۲

شکل ۷-۶ BER تخمین زننده‌های CFO در سیستم EMFB برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۳

شکل ۷-۷ BER تخمین زننده‌های STO در سیستم EMFB برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۴

شکل ۷-۸ RMSE تخمین زننده‌های CFO در سیستم OFDM برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۵

شکل ۷-۹ RMSE تخمین زننده‌های STO در سیستم OFDM برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۶

شکل ۷-۱۰ مقایسه RMSE در سیستم OFDM بین دو نوع مدولاسیون برای تخمین زننده‌های (الف) CFO و (ب) STO ۷۷

شکل ۷-۱۱ BER تخمین زننده‌های CFO در سیستم OFDM برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۸

شکل ۷-۱۲ BER تخمین زننده‌های STO در سیستم OFDM برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۷۹

شکل ۷-۱۳ BER تخمین زننده‌های CFO در سیستم OFDM برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۸۰

شکل ۷-۱۴ BER تخمین زننده‌های STO در سیستم OFDM برای مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۸۱

شکل ۷-۱۵ مقایسه BER بین دو سیستم EMFB و OFDM با مدولاسیون QPSK برای تخمین زننده‌های (الف) CFO و (ب) STO ۸۳

شکل ۷-۱۶ BER برای OFDM در حضور WGN با مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۸۵

شکل ۷-۱۷ BER برای OWDM با ویولت هار در حضور WGN و با مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۸۶

شکل ۷-۱۸ BER برای OFDM در حضور نویز وینر با مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۸۷

شکل ۷-۱۹ BER برای OWDM با ویولت هار در حضور نویز وینر و با مدولاسیون (الف) QPSK و (ب) 16-QAM ۸۸

شکل ۷-۲۰ BER برای OFDM در حضور (الف) WGN و (ب) نویز وینر ۸۹

شکل ۷-۲۱ BER برای OWDM با ویولت هار در حضور (الف) WGN و (ب) نویز وینر ۹۰

شکل ۷-۲۲ (الف) BER و (ب) RMSE برای OFDM و OWDM در حضور نویز فاز گوسی سفید با استفاده از 16-QAM ۹۱

شکل ۷-۲۳ (الف) BER و (ب) RMSE برای OFDM و OWDM در حضور نویز فاز وینر با استفاده از 16-QAM ۹۲

شکل ۷-۲۴ (الف) BER و (ب) RMSE برای OWDM با ویولت‌های Sym در حضور نویز فاز گوسی سفید با استفاده از 16-QAM ۹۳

شکل ۷-۲۵ (الف) BER و (ب) RMSE برای OWDM با ویولت‌های db در حضور نویز فاز وینر با استفاده از 16-QAM ۹۴

فهرست علائم اختصاری

ADC or A/D ……..…Analog to Digital Convertor

ADSL ……...…… Asymmetric Digital Subscriber Lines

AFC ……...……... Automatic Frequency Control

AML ……...…….. Approximate Maximum-Likelihood

AWGN ……...…….. Additive White Gaussian Noise

BER ……...……... Bit Error Rate

BLUE ……...… Best Linear Unbiased Estimation

BPSK …… Binary Phase Shift Keying

CFO …….. Carrier Frequency Offset

CMFB ……... Cosine Modulated Filter Bank

CP …… Cyclic Prefix

CPE …….. Common Phase Error

CTF …….. Channel Transfer Function

CWT ……. Continuous Wavelet Transform

DA …… Data-Aided

DAB …….. Digital Audio Broadcasting

DAC …….. Digital to Analog Convertor

DFT …….. Discrete Fourier Transform

DQPSK ……. Differential Quadrature Phase Shift Keying

DSL …….. Digital Subscriber Lines

DVB …….. Digital Video Broadcasting

DVB-RCT …… Terrestrial return channel of DVB

DVB-T …….. Terrestrial Digital Video Broadcasting

DWMT …….. Discrete Wavelet Multi-tone

DWT …… Discrete Wavelet Transform

DWPT ……..……..Discrete Wavelet Packet Transform

ELT …….. Extended Lapped Transform

EMFB ……... Exponentially Modulated Filter Bank

FBMC ……... Filter Bank Multi Carrier

FDM ……. Frequency Division Multiplexing

FEC …….. Forward Error Correction

FEQ …….. Frequency-domain Equalizer

FFT ……... Fast Fourier Transform

FIR …… Finite Impulse Response

FMT …….. Filtered Multi-tone

GSM ……. Global System for Mobile communications

HDSL ……... High-bit-rate Digital Subscriber Lines

HF …… High Frequency

HPF …….. High Pass Filter

I …… In-phase

ICI …… Inter Carrier Interference

ICWT …… Inverse Continuous Wavelet Transform

IDFT ……. Inverse Discrete Fourier Transform

IDWPT ……. Inverse Discrete Wavelet Packet Transform

IDWT ……... Inverse Discrete Wavelet Transform

IEEE ……. The Institute of Electrical and Electronics Engineers

IFFT …….. Inverse Fast Fourier Transform

ISI ……. Inter Symbol Interference

LAN …….. Local Area Network

LPF ……... Low Pass Filter

LS ……. Least Squares

MC …… Multi Carrier

MCM …… Multi Carrier Modulation

MFB ……. Modulated Filter Bank

ML …… Maximum-Likelihood

MLS …… Modified LS

MLT …….. Modulated Lapped Transform

MRA …… Multi-Resolution Analysis

MSE …….. Mean Square Error

NBI ……..…….. Narrow Band Interference

NDA …….. Non-Data-Aided

OFDM …….. Orthogonal Frequency Division Multiplexing

ONB …….. Orthonormal Basis

OQAM …….. Offset Quadrature Amplitude Modulation

OWDM ……. Orthogonal Wavelet Division Multiplexing

PAM …….. Pulse Amplitude Modulation

PAPR …… Peak to Average Power Ratio

PR ……. Perfect Reconstruction

PSD …….. Power Spectral Density

PSK ……..…… Phase Shift Keying

PSTN …… Public Switch Telephone Network

Q ……... Quadrature

QAM …… Quadrature Amplitude Modulation

QMF …….. Quadrature Mirror Filters

QPSK …… Quadrature Phase Shift Keying

RF ……. Radio Frequency

RFI …… Radio Frequency Interference

RMSE …...…… Root Mean Square Error

RRC …….. Root Raised Cosine

SC ……. Single Carrier

SMFB ……... Sine Modulated Filter Bank

SNR ……..Signal to Noise Ratio

SRRC …… Square Root Raised Cosine

STO …….. Symbol Time Offset

3GPP …… Third-Generation Partnership Project

TED ……... Timing Error Detector

TMUX ……..…… TransMUltiplexer

UTRAN …… Universal Terrestrial Radio Access Network

VDSL/VHDSL ….…… Very High–speed Digital Subscriber Lines

Wi-Fi ……..…… Wireless fidelity

Wi-MAX …….. Worldwide Interoperability for Microwave Access

WLAN …….. Wireless Local Area Network

WPM …… Wavelet Packet Modulation

WPMCM ……... Wavelet Packet Multicarrier Modulation

چکیده :

ارزیابی و بهبود عملکرد روش‌های همزمانی در سیستم‌های مخابراتی چندکاریری مبتنی بر ویولت

هدیه آقابرار جوبجارکلی

در سال‌های اخیر، پژوهش‌های فراوانی برای جایگزینی تبدیل ویولت و همچنین بانک فیلتر به جای تبدیل فوریه در سیستم‌های چند کاریری صورت گرفته است. نتایج پژوهش‌ها برتری کیفی سیستم‌های چندکاریری مبتنی بر تبدیل ویولت (OWDM) و مبتنی بر بانک فیلتر (FBMC) را به‌دلیل محدودیت طیفی کانال‌های فرعی نسبت به سیستم‌های چندکاریری مبتنی بر تبدیل فوریه (DFT-OFDM) نشان می‌دهد.

هر گیرندهٔ چندکاریری پیش از آشکارسازی کاریرهای فرعی می‌بایست دست کم دو مرحله همزمانی را، یکی در سمبل (به منظور زمان بندی) و دیگری در فرکانس کاریر، انجام دهد. خطاهای همزمانی مختلف (شامل آفست زمانی، نویز فاز و آفست فرکانسی) در سیستم‌های چندکاریری منجر به ICI، ISI، تضعیف، و چرخش فاز سمبل‌های مدوله شده می‌گردد. از این رو از خطاهای همزمانی به عنوان معایب سیستم‌های چندکاریری نام برده می‌شود.

این پایان‌نامه به ارزیابی تکنیک‌های مختلف تخمین در سیستم‌های OWDM و FBMC در حضور خطاهای همزمانی مختلف و در کانال فیدینگ به منظور کمینه کردن آن آثار مخرب می‌پردازد. عملکرد BER الگوریتم‌های مختلف در این سیستم‌ها از طریق شبیه سازی بررسی و با یکدیگر و با سیستم OFDM مقایسه می‌گردد. نتایج شبیه سازی‌ها نشان می‌دهد که الگوریتم-های همزمانی آفست فرکانسی کاریر و خطای زمانی سمبل با استفاده از سیستم‌های FBMC بسیار بهتر از همزمان‌سازهای سیستم OFDM در کانال فیدینگ چند مسیره عمل می‌کنند. همچنین الگوریتم‌های همزمانی دو سیستم OWDM و OFDM در حضور نویز فاز در کانال فیدینگ چند مسیره کاملاً مشابه هم عمل می‌کنند.

کلید واژه : همزمانی، مدولاسیون چند کاریری، ویولت، بانک فیلتر.

Abstract :

Performance Evaluation and Improvement of Synchronization Techniques in Wavelet-Based Multi-carrier Communication Systems

Hedyeh Aqabarar Jobjarkoli

In the recent years, several research have been made to replace the wavelet transform and filter-bank instead of the Fourier transform in multicarrier systems. The results of the research show the qualitative superiority of the DWT-OFDM (OWDM) and Filter-bank Multicarrier (FBMC) systems due to their spectral constraints.

Each multicarrier receiver must perform at least two synchronization operations because of symbol timing and carrier frequency offset before multicarriers detection. Different synchronization errors including symbol timing offset, carrier frequency offset and phase noise lead to the ISI, ICI, attenuation and phase rotation of the demodulated symbols. Hence, the sensitivity to these errors is the disadvantage of the multicarrier systems in comparison to the single carrier systems.

This thesis evaluates different synchronization algorithms for OWDM and FBMC systems over multipath fading channels to minimize the effects of synchronization offsets. The BER performance of different synchronization estimators are considered via computer simulations and compared with OFDM synchronizers. It is demonstrated by the result that the carrier frequency and symbol timing estimators for FBMC systems outperform the OFDM estimators over multipath fading channels. Also, the synchronization algorithms for OWDM and OFDM systems perform quite similar in the presence of phase noise over multipath fading channels.

Keywords : Synchronization, MultiCarrier Modulation, Wavelet, Filter-bank.

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

تقاضای هرچه افزون‌تر نرخ‌های اطلاعات بالا، نیازمند به‌وجود آمدن سیستم‌های بی‌سیمی است که از پهنای باندهای ارسال بزرگ‌تری استفاده می‌کنند و در نتیجه در محیط‌های ارسال با مشکلات پیچیده‌تری مواجه می‌شوند. برای مثال، کانال‌های انتخابگر فرکانسی باعث تداخل بین سمبل‌ها[۱] (ISI) می‌شوند. مشکل دیگر این است که سیگنال باند پهن با سیگنال‌های باند باریک که بخش‌هایی از طیف سیگنال مطلوب را خراب می‌کنند مواجه می‌شود. در سال‌های اخیر مدولاسیون چندکاریری[۲] (MCM) به‌عنوان یک تکنیک مدولاسیون عملی و مناسب برای ارسال داده با سرعت بالا روی کانال‌های بی‌سیم همراه با فیدینگ (fading) مورد توجه زیادی قرار گرفته است.

اصل MCM تقسیم پهنای باند کلی به باندهای فرعی باریک موازی مختلفی است که به سیستم‌های چندکاریری[۳] (MC) در مقایسه با سیستم‌های تک‌کاریری[۴] (SC) مزیت‌های مهمی می‌بخشد. دو مزیت مهم عبارتند از مقاوم بودن در کانال‌های انتخابگر فرکانسی به‌دلیل افزایش زمانی سمبل، و دیگری حساسیت کمتر به تداخل باند باریک[۵] (NBI). چرا که در این حالت تداخل باند باریک فقط تعدادی از کاریرهای فرعی و نه تمام سیستم را تحت تأثیر قرار می‌دهد.

۱-۲- تکنیک OFDM

تکنیک مالتی‌پلکس تقسیم فرکانسی متعامد[۶] (OFDM) تاکنون یکی از بهترین تکنیک‌های MC بوده است. OFDM به‌خاطر مقاومت ذاتی‌اش به انتشار چندمسیره و همسان‌سازی بسیار ساده (یک ضریب مختلط برای هر کاریر فرعی) و پیچیدگی پیاده-سازی کمتر از سیستم SC که نیاز به همسان‌ساز پیچیده دارد، در استانداردهای مختلف پذیرفته شده است [۳-۱].

شروع تحقیقات در مورد OFDM به دهه ۱۹۵۰ برمی‌گردد. در دهه‌های ۱۹۶۰/۱۹۵۰ تکنیک OFDM در سیستم‌های مخابراتی نظامی فرکانس بالای[۷] (HF) مختلف از جمله KINEPLEX [۴،۵]، ANDEFT [۶] و KATHRYN [۹-۷]، مورد استفاده قرار گرفت. در دهه ۱۹۸۰، OFDM برای مودم‌های با سرعت بالا [۱۲-۱۰]، مخابرات دیجیتال موبایل [۱۳] و ضبط با تراکم بالا مورد مطالعه قرار گرفت. در دهه ۱۹۹۰، OFDM برای خطوط مشترک دیجیتال با نرخ بیت بالا[۸] (HDSL) [۱۴]، خطوط مشترک دیجیتال نامتقارن[۹] (ADSL) [۱۵]، خطوط مشترک دیجیتال با سرعت بسیار بالا[۱۰] (VHDSL)

---

[۱] Inter Symbol Interference
[۲] Multi Carrier Modulation
[۳] Multi Carrier
[۴] Single Carrier
[۵] Narrow Band Interference
[۶] Orthogonal Frequency Division Multiplexing
[۷] High Frequency
[۸] High-bit-rate digital subscriber lines
[۹] Asymmetric digital subscriber lines
[۱۰] Very high–speed digital subscriber lines

[۱۵]، و پخش صوت و تصویر دیجیتال[۱] (DAB- DVB) [۱۸-۱۶] مورد مطالعه قرار گرفت. این تحقیق منجر به پیاده‌سازی سیستم‌های OFDM در ADSL [۱۹]، DAB [۲۰] و DVB [۲۱] و شبکه‌های محلی بی‌سیم WLAN[۲] داخل ساختمان [۲۴-۲۲] شد.

در سال ۱۹۷۱م. استفاده از تبدیل فوریه گسسته[۳] (DFT) در MCM پیشنهاد شد. با این کار دیگر نیازی به بانک‌های نوسان-ساز (برای تولید تمام کاریرهای فرعی) نبود. DFT تعامد مطلوب را ارائه کرده و می‌تواند به‌طور مؤثر با استفاده از الگوریتم تبدیل فوریه سریع[۴] (FFT) پیاده‌سازی شود. اما استفاده از این ایده در عمل خالی از اشکال نبود و آن این‌که حفظ تعامد بین کاریرهای فرعی در یک کانال پاشنده تضمین شده نبود. در سال ۱۹۸۰م. پِلد[۵] و رویس[۶] مشکل تعامد را با معرفی پیشوند چرخشی[۷] (CP) که به هر بلوک داده اضافه می‌شود، حل کردند. وقتی‌که طول CP از تأخیر کانال بیشتر باشد، از ISI و تداخل بین کاریرهای فرعی[۸] (ICI) جلوگیری می‌شود. در سیستم‌های عملی OFDM علاوه بر CP، روش‌های همسان‌سازی نیز باید استفاده شوند. CP اطلاعات مفیدی حمل نمی‌کند و بنابراین بازده طیفی را کاهش می‌دهد. در نتیجه اخیراً توجه روز افزون به‌سمت طرح‌های چندکاریری می‌باشد که بتوانند بدون نیاز به CP، همان مقاومت را در مقابل آثار چندمسیره داشته باشند و بازده طیفی را بهبود بخشند.

شایان ذکر است که OFDM در مقایسه با SC اشکالاتی دارد که مهم‌ترین آن آسیب‌پذیری در مقابل خطاهای همزمانی از جمله آفست‌های زمانی سمبل، نویز فاز و آفست‌های فرکانسی کاریر می‌باشد [۲۵]. OFDM به آفست فرکانسی و نویز فاز حساس‌تر است.

۱-۳- MCM مبتنی بر تبدیل ویولت

در سال‌های اخیر OFDM مبتنی بر ویولت معروفیت زیادی به‌دست آورده است. ویولت‌ها در دهه ۱۹۸۰م. معرفی شدند و از آن‌پس از سوی نظریه‌پردازان و مهندسان برای کاربردهای متنوعی مورد توجه بسیار قرار گرفتند. به‌دلیل این توجه گسترده، تئوری ویولت طی سال‌های گذشته گسترش بسیار یافته و تحقیقات زیادی روی ویولت‌ها انجام شده است. به‌ویژه Mallat و Meyer رابطه نزدیکی بین ویولت و تحلیل چند دقتی[۹](MRA) کشف کردند که منجر به روش ساده‌ای برای محاسبه توابع ویولت شد. همچنین کار آن‌ها رابطه‌ای بین ویولت و بانک فیلتر دیجیتال برقرار کرد. Daubechies یک تکنیک اصولی برای تولید ویولت‌های متعامد با طول محدود از طریق طراحی بانک‌های فیلتر FIR ارائه کرد.

با تکمیل تئوری اصلی تبدیل ویولت، قابلیت کاربردی ویولت‌ها در زمینه‌های مختلف مانند پردازش سیگنال و تصویر کشف شد. ویولت‌ها به تازگی در زمینه مخابرات نیز مورد توجه قرار گرفته‌اند [۲۶].

---

۱ Digital Audio and Video Broadcasting
۲ Wireless Local Area Network
۳ Discrete Fourier Transform
۴ Fast Fourier Transform
۵ A. Peled
۶ A. Ruiz
۷ Cyclic Prefix
۸ Inter subCarrier Interference
۹ Multi Resolution Analysis