٤٠٨١٤

مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران
تحویل مدارک
۱۳۸۱ /۴/ ۲۰

دانشگاه صنعتی اصفهان
دانشکده برق و کامپیوتر

نقش کدینگ کانال در بازدهی سیستم OFDM

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق - الکترونیک

علیرضا محمودی

۴۰۸۱۴

اساتید راهنما

دکتر سید محمود مدرس هاشمی **دکتر علیمحمد دوست‌حسینی**

۱۳۸۱

دانشگاه صنعتی اصفهان

دانشکده برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد رشته برق (الکترونیک) آقای علیرضا محمودی

تحت عنوان

نقش کدینگ کانال در بازدهی سیستم OFDM

در تاریخ ۱/۲۶ /۱۳۸۰ توسط کمیته تخصصی زیر مورد بررسی و تصویب نهائی قرار گرفت.

۱- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر سید محمود مدرس هاشمی

۲- استاد راهنمای پایان نامه — دکتر علیمحمد دوست‌حسینی

سرپرست تحصیلات تکمیلی دانشکده — دکتر علیمحمد دوست حسینی

تشکر و قدردانی

حمد و سپاس خداوند متعال را، که عنصر اندیشه در وجودم نهاد و نعمت آموختن به من آموخت .

بر خود لازم‌می‌دانم از زحمات بیدریغ جناب آقای دکتر محمود مدرس هاشمی که درطی مراحل مختلف پروژه همواره از راهنمایی‌های ایشان به‌عنوان استاد راهنما بهره‌برده‌ام، صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

نیز از جناب آقای دکتر علیمحمد دوست‌حسینی به خاطر راهنمایی‌های ایشان در طی مراحل مختلف پروژه به‌عنوان استاد راهنمای دوم تشکر و قدردانی‌می‌نمایم.

از آقای دکتر سعیدی و آقای دکتر دخیل‌علیان هم بخاطر داوری این پایان‌نامه سپاسگزارم .

همچنین از تمامی اساتید محترم گروه الکترونیک و مخابرات دانشکده برق دانشگاه صنعتی اصفهان بویژه جناب آقای دکتر محمد رضا آشوری و نیز تمامی دانشجویان کارشناسی ارشد و دکترای دانشکده برق دانشگاه صنعتی اصفهان که بنحوی مرا در کلیه مراحل انجام پروژه یاری‌نموده‌اند، کمال تشکر و قدردانی را دارم .

از سرکار خانم دیباجی نیز بخاطر زحمات بیدریغ در مراحل نهائی پایان نامه تشکر و قدردانی می‌نمایم.

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج مطالعـــات، ابتکارات و نوآوریهای ناشی از تحقیق موضوع این پـایـــان نامه (رساله) متعلق به دانشگـــاه صنعتـــی اصفهان است.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم

فهرست مطالب

عنوان — صفحه

فهرست مطالب ..... هفت

چکیده فارسی ۱

فصل اول : مقدمه

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- تاریخچه OFDM ۲

۱-۳- ساختار پایان نامه ۵

فصل دوم : اصول OFDM

۲-۱- مقدمه ٦

۲-۲- انتشار چند مسیره ٦

۲-۲-۱- پارامترهای کانال چند مسیره ۱۰

۲-۳- ساختار سیستمهای چند حاملی ۱۴

۲-۴- تعامد حاملها ۱۷

۲-۵- نتیجه‌گیری ۲۱

فصل سوم : پیاده سازی OFDM

۳-۱- مقدمه ۲۲

۳-۲- پیاده سازی OFDM با استفاده از تبدیل فوریه گسسته ۲۲

۳-۳- فاصله زمانی محافظ ۲٦

۳-۴- شکل پالس و طیف توان خارج از باند ۳۰

۳-۵- همزمانی ۳۳

۳-۶- تخمین کانال ۳٦

۳-۷- نسبت ماکزیمم به متوسط توان ۳۹

۳-۷-۱- توزیع نسبت ماکزیمم به متوسط توان در سیگنال ٤۰

۳-۷-۲- روشهای کاهش PAPR ٤۲

۳-۸- انتخاب پارامترهای اساسی در OFDM ٤٦

۳-۹- مقایسه OFDM با سیستم های تک حاملی ٤۷

۳-۱۰- برخی از استانداردهای موجود در OFDM ۵۰
۳-۱۰-۱- پخش رادیویی دیجیتال DAB ۵۰
۳-۱۰-۲- پخش تلویزیونی دیجیتال زمینیDVB-T ۵۲
۳-۱۰-۳- WATM در پروژه MAGIC WAND ۵۳
۳-۱۰-۳-شبکه WLAN در استاندارد IEEE 802.11a ٥٤
۳-۱۱ نتیجه گیری ۵۵

فصل چهارم : کدینگ کانال در OFDM

۴-۱- مقدمه ٥٦
۴-۲-کلیات کدینگ کانال ۵۷
۴-۳- کدهای بلوکی ۵۸
۴-۴-کدهای کانولوشن ۵۹
۴-۴-۱ الگوریتم ویتربی ٦١
۴-۴-۲ الگوریتم ویتربی با خروجی نرم SOVA ٦٤
۴-۵- درهم نهی ٦٧
۴-۶- کدهای بهم پیوسته ٦٨
۴-۷- توربوکد ٦٩
۴-۷-۱- ختم داربست ۷۲
۴-۷-۲- کدبرداری در توربوکد ۷۳
۴-۸- اثرکدینگ کانال در سیستم OFDM ۷۵
۴-۸-۱- بکارگیری دایورسیتی فرکانس بوسیله کدینگ کانال ۷٦
۴-۸-۲- استفاده از اطلاعات کانالCSI در کدبرداری نرم ۷۸
۴-۸-۳- اثر کدینگ کانال در کاهش نسبت ماکزیمم به متوسط توان ۸۱
۴-۹- تاثیر نرخ کد و درجه دایورسیتی کانال بر بازدهی سیستم ۸۲
۴-۱۰- تاثیر گستره تاخیر کانال بر بهره دایورسیتی کدینگ ۸۳
٤-۱۱- تاثیر نرخ کد و درجه مدولاسیون بر بازدهی سیستم ۸۵
۴-۱۲- اثر نرخ کد و درجه مدولاسیون بر میزان گستره تاخیر قابل تحمل ۸۷
۴-۱۳- کدینگ کانال در استانداردهای مختلف ۸۹
۴-۱٤- نتیجه گیری ۸۹

فصل پنجم : شبیه سازی اثر کدینگ کانال در بازدهی سیستم OFDM

۵-۱-مقدمه ۹۰

۵-۲-مدل سیستم ۹۰

۵-۳-مقایسه OFDM با روش تک حاملی بدون کدینگ کانال ۹۳

۵-۴-نقش فاصله زمانی محافظ ۹٤

۵-۵-اثر گسترش گسترهٔ تاخیر کانال در بازدهی OFDMکد نشده با فاصله زمانی محافظ ۹۵

۵-۶-مقایسه بهره کدینگ در OFDM و روش تک حاملی ۹٦

۵-۷-اثر گستره تأخیر کانال بر احتمال خطای سیستم OFDMکدشده ۹۷

۵-۸-کدبرداری نرم ۹۸

۵-۹-اثر درهم نهی ۹۹

۵-۱۰-اثر اطلاعات کانال ۱۰۰

۵-۱۱-کدهای بهم پیوسته سری ۱۰۱

۵-۱۲-استفاده از توربوکد در سیستم OFDM ۱۰٤

۵-۱۳-نتیجه گیری ۱۰۷

فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

۶-۱-نتیجه گیری ۱۰۹

۶-۲-پیشنهادات ۱۱۱

مراجع ۱۱۲

چکیده انگلیسی ۱۱۸

سازمان اطلاعات و ارتباطات شهرداری تهران

چکیده

انتشار چند مسیره از مهمترین عوامل محدود کنندهٔ ارسال اطلاعات با نرخ بیت بالا می باشد. ارسال نرخ بیت بالا در فرکانسهای محدودهٔ گیگاهرتز مقدور می‌باشد که بزرگترین مشکل در این باند فرکانسی انتشار چند مسیره است. تکنیک OFDM با تقسیم سمبلهای ارسالی بین چندین زیر حامل و ارسال همزمان آنها ، در مقابله با اثرات نامطلوب انتشار چند مسیره بسیار مقاوم و کارا می باشد. با رشد روز افزون سیستمهای پرظرفیت، کاربردهای این تکنیک روزبه روز افزایش می‌یابد.

کدینگ کانال نقش بسیار مهمی در بهبود بازدهیOFDM ایفا می‌کند. به علت ساختار خاص OFDM بکارگیری کدینگ کانال درآن، نسبت به سیستمهای تک حاملی ویژگیهای خاصی دارد که باعث افزایش بازدهی سیستم می شود. از این رو به این سیستم، OFDMکدشده یا COFDM نیز اطلاق می‌شود. کدینگ کانال با استفاده از صحت اطلاعات مربوط به زیر حاملهای قوی، اطلاعات مربوط به زیر حاملهای ضعیف را در صورتی که با خطا دریافت شده باشند، تصحیح می‌کند. به این ترتیب فیدینگ فرکانس گزین را که به عنوان یک مشکل برای سیستم مطرح است، تبدیل به یک مزیت می‌کند و باعث می‌شود سیستم بتواند از دایورسیتی فرکانسی کانال استفاده کند. همچنین بکارگیری ویژگیهایی مانند استفاده از اطلاعات حالت کانال در کدبرداری نرم می‌تواند احتمال خطای سیستم را بهبود بخشد. منظور ازاطلاعات حالت کانال نسبت سیگنال به نویز و یا مجذور پاسخ فرکانس کانال در حاملهای مختلف می‌باشد که بوسیله سمبلهای آموزش، قابل حصول می‌باشد. در این پایان‌نامه ضمن مطالعه و شبیه‌سازی تکنیک OFDM ، به بررسی اثرات کدینگ کانال در کاهش احتمال خطای بیت و کاهش نسبت ماکزیمم به متوسط توان در سیگنالOFDM پرداخته می‌شود و تکنیکهایی مانند کدبرداری نرم و بکار گیری اطلاعات کانال در کدبرداری مورد بررسی قرار خواهد گرفت. همچنین بازدهی کدهای کانولوشن و توربوکد با یکدیگر مقایسه خواهد شد.

فصل اول
مقدمه

۱-۱ مقدمه

در سالهای اخیر با رشد روز افزون ارتباطات چند رسانه‌ای[1] شامل صوت، تصویر و دیتا در شبکه‌های کامپیوتری مانند اینترنت و افزایش تقاضا برای استفاده از سرویسهای موبایل، سعی می‌شود سیستمهایی طراحی شود که برای ارسال نرخ بیت بالا بر روی کانالهای همراه با فیدینگ، بازدهی مناسبی داشته باشند. یک گزینه بسیار مناسب برای شبکه های بی سیم پرظرفیت، مدولاسیون چند حاملی[2] و بویژه تکنیک تقسیم فرکانسی متعامد[3] OFDM می‌باشد[۱]. از این رو استانداردهایی مانند پخش رادیویی دیجیتال[4] DAB و استاندارد IEEE۸۰۲/۱۱a برای شبکهٔ WLAN[5] و موارد دیگر، OFDM را به عنوان راه حلی مناسب بکار می‌گیرند.

۱-۲ تاریخچه OFDM

در سیستمهای پر ظرفیت با افزایش نرخ بیت ارسالی، دوره زمانی سمبل کاهش می یابد. در نتیجه تداخل

---

1 – Multimedia Communication
2 – Multicarrier Modulation
3 - Orthogonal Frequency Division Multiplexing
4- Digital Audio Broadcasting
5- Wireless LAN

بین سمبلی[۱] ISI ناشی از کانال چند مسیره[۲] سمبلهای بیشتری را تحت تاثیر قرار می دهد که باعث می‌شود بازدهی سیستم بسیار کاهش یابد. OFDM حالت خاصی از سیستمهای چند حاملی است که در آن اطلاعات با نرخ بیت بالا به چند دستهٔ موازی با نرخ بیتهای پایین‌تر تفکیک می شوند و هرکدام به وسیله زیر حاملهای مختلف مدوله می‌شوند. OFDM را می توان به عنوان یک تکنیک مدولاسیون و یا یک تکنیک مالتی پلکس مورد بررسی قرار داد. انگیزهٔ اصلی استفاده از OFDM، مقاومت این سیستم در کانالهای چند مسیره می باشد[۲]. به علت کاهش نرخ بیت مربوط به هر زیرحامل نسبت به نرخ بیت اصلی، دورهٔ زمانی سمبل افزایش می یابد، در حالی که دورهٔ زمانی سیگنال تداخل ثابت است. بنابراین تداخل بین سمبلی یا ISI کاهش یافته و در نتیجه کارایی سیستم در کانالهای چند مسیره بهبود می‌یابد. ارسال موازی اطلاعات و تقسیم فرکانس یا FDM که ایدهٔ اولیهٔ آن به دههٔ ۱۹۵۰برمی‌گردد، بطور مشخص در دههٔ ۱۹۶۰مطرح شده و مورد توجه قرار گرفت[۴و۳]. این روش ارسال با نامهای مختلفی مانند ارسال تبدیل فوریه[۳]، مالتی پلکس با استفاده از تبدیل متعامدOFDM ، انتقال موازی داده[۴] ، مخابرات چند فرکانسی[۵] ، مدولاسیون چند حاملی وغیره مورد بحث قرار گرفته است. بر خلاف دیگر سیستمهای چند حاملی، در تکنیک OFDM حاملها برهم عمود می باشند. تعامد حاملها باعث می‌شود حاملهای مختلف علیرغم اینکه در حوزه فرکانس همپوشانی دارند ، درگیرنده از یکدیگر قابل تفکیک باشند[۵]. مزیت این روش بازدهی طیفی بیشتر بوده و به همین دلیل مورد توجه قرار گرفته است.

در سال ۱۹۷۱ وینستون[۶] و ابرت[۷] ایدهٔ استفاده از تبدیل فوریه گسسته[۸] رابرای پیاده‌سازیOFDM مطرح کردند که تحولی اساسی در کاهش پیچیدگی سیستم ایجاد کرد[۶]. در این روش به جای استفاده از ضرب کننده ها، بانک اسیلاتورها و فیلترهای متعدد، از تبدیل فوریه گسستهDFT و عکس آن IDFT استفاده می شودکه باعث کاهش پیچیدگی سیستم می‌گردد. در دههٔ ۱۹۶۰ تکنیک OFDM در چندین سیستم نظامی فرکانس بالا، مانند KINEPLEX و KATHRYN بکار گرفته شد. قدم مهم دیگر توسط پلد[۹] و رویز[۱۰] در سال ۱۹۸۰ برداشته شدکه استفاده از پسوند تکرار یا گسترش تکرار را جهت حل مشکل تعامد حاملها ارائه دادند[۷]. در این روش بجای ارسال صفر در فاصلهٔ زمانی محافظ، سیگنال اصلی، تکرار می‌شود. این عمل

---

1 - Inter Symbol Interference
2 - Multipath Channel
3 - Fourier Transform Transmission
4 - Parallel Data Transmission
5 - Multi Tone Communication
6 - Weinstein
7 - Ebert
8 - Discrete Fourier Transform (DFT)
9 - Peled
10- Ruiz

باعث می شود کانولوشن خطی به کانولوشن دایروی تبدیل شود و تعامد حاملها در کانال چند مسیره حفظ شود.

در دهۀ ۱۹۸۰ این تکنیک برای مدمهای پرسرعت، ارتباطات موبایل دیجیتال و سیستمهای پرظرفیت مورد مطالعه قرار گرفت. هر چند برای مدت زمان زیادی عملی کردن سیستم OFDM حتی با استفاده از DFT به لحاظ پیچیدگی سخت افزاری مشکل بود (چرا که به پردازشگرهای سریع جهت انجام تبدیل DFT ، اسیلاتورهای پایدار و تقویت کننده های توان RF خطی نیاز داشت) ، اما تحقیقات انجام شده در دهۀ هشتاد میلادی و پیشرفتهای بوجود آمده در عرصۀ پردازش سیگنال و میکروالکترونیک سبب شد، تا بسیاری از مشکلات اجرایی آن برطرف شود. در دهۀ ۱۹۹۰ سیستم OFDM برای ارتباطات طیف گسترده بر روی کانالهای FM رادیویی، خطوط تلفنی پرسرعت ADSL[1],HDSL[2],VDSL[3]پخش گروهی رادیوی دیجیتالی DAB ،[۹و۸] تلویزیون دیجیتال DVB-T[4] و کاربردهای دیگر بکار گرفته شد[۵]. در مجموع سیستم OFDM بعنوان یک تکنیک موثر در کاربردهای با نرخ بیت بالا شناخته شده و کاربردهای زیادی پیدا کرده است[۱۰].

تحقیقات زیادی به منظور اصلاح و افزایش کارایی OFDM در مباحث مختلف آن صورت گرفته است. از جملۀ این مباحث نقش کدینگ کانال در OFDM می باشد. مقالات متعددی بازدهی کدهای مختلف مانند کدهای ریدسلمون[5] ، TCM[6] و کد کانولوشن[7] را بر روی سیستم مورد بررسی قرار داده‌اند [۲۰-۱۱]. همچنین مطالعات زیادی در زمینۀ کاهش نسبت ماکزیمم به متوسط توان بوسیلۀ بکارگیری کدینگ کانال انجام شده است[۲۸-۲۱]. استفاده از اطلاعات حالت کانال[8] در افزایش بهره کدینگ از موضوعات دیگر مطرح در ارتباط کدینگ کانال و OFDM می باشد[۳۲-۲۹] در[۳۲] بکارگیری اطلاعات حالت کانال در کدبرداری نرم ویتربی مورد بررسی قرار گرفته است. در طول این پایان نامه علاوه بر بررسی سیستم OFDM ،مبحث کدینگ کانال در OFDM مورد تحقیق قرار خواهد گرفت و بازدهی کدهای مختلف مانند کد کانولوشن، توربوکد و ترکیب به هم پیوسته آنها با کد ریدسلمون و تکنیکهای افزایش بهره کدینگ مانند کد برداری نرم و استفاده از اطلاعات حالت کانال شبیه سازی و توجیه خواهد شد.

---

1 - Asymmetric Digital Subscriber line
2 - High Bit Rate Digital Subscriber line
3 - Very High Bit Rate Digital Subscriber line
4 - Digital Video Broadcasting – Terrestrial
5- Reed Solomon
6- Trellis Coded Modulation
7- Convolution Codes
8- Channel State Information

۱-۳ ساختار پایان نامه

فصل دوم اختصاص به بررسی اصول سیستمهای چند حاملی،OFDM و مشخصات کانالهای چند مسیره دارد. در فصل سوم تکنیکهای بهبود کارایی و پیاده‌سازیOFDM مانند استفاده از تبدیل فوریه گسسته و استفاده از فاصلهٔ زمانی محافظ و مباحث دیگر مطرح می‌شود. در فصل چهارم علاوه بر ذکر کلیاتی از کدینگ کانال و توربو کد، ارتباط کدینگ کانال و سیستم OFDM مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج شبیه‌سازی سیستمOFDM واثر کدینگ کانال بر روی آن در فصل پنجم ارائه می شود. در انتها نیز نتیجه‌گیری و پیشنهاداتی جهت ادامهٔ تحقیق در فصل ششم ذکر خواهد شد.

فصل دوم
اصول اساسی OFDM

۲-۱ مقدمه

در طول این فصل ساختار کلی سیستمهای چند حاملی و OFDM بررسی خواهد شد. همانطور که در فصل قبل ذکر شد انگیزهٔ اصلی استفاده از تکنیک OFDM مقاومت آن در برابر کانالهای چند مسیره می‌باشد. از این رو قبل از ورود به بحث اصلی مناسب است مبحث انتشار چند مسیره را بطور دقیق مورد بررسی قرار دهیم.

۲-۲ انتشار چند مسیره

مدل ریاضی انتشار امواج رادیویی در محیط واقعی پیچیده می باشد. به همین دلیل مدلهایی بر اساس مشاهدات تجربی ارائه شده است. رفتار موج الکترومغناطیس دربرخورد با موانع بر حسب جنس، ابعاد مانع و طول موج آن متفاوت می باشد. در حالت کلی بر حسب روش انتشار، امواج به سه گروه امواج زمینی، امواج آسمانی و امواج مسیر مستقیم دسته بندی می شوند[۳۳].

امواج زمینی شامل فرکانسهای کمتر از ۳MHZ می باشند و در مجاورت زمین منتشر می شوند. درحالی که فرکانسهای بالاتر تا حدود ۳۰MHZ امواج آسمانی می باشند و دربرخورد با لایه های جو منعکس می‌شوند. در فرکانسهای بالاتر از ۳۰MHZ تا حدود ۱۰GHZ روش غالب در انتشار موج انتشار مسیر