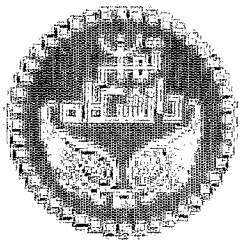
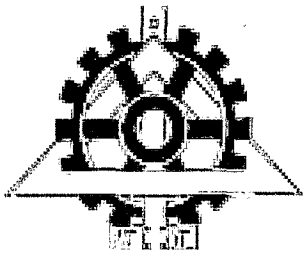
٩٤٠٥٤





دانشگاه تهران

پردیس دانشکده های فنی
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

تخمین آفست زمانی و فرکانسی در سیستم های OFDM

نگارش:

فرزاد مقیمی

استاد راهنما: دکتر سعید نادر اصفهانی

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد

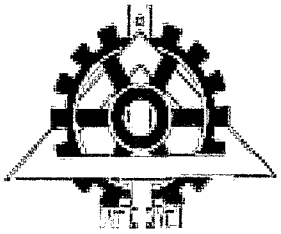
در

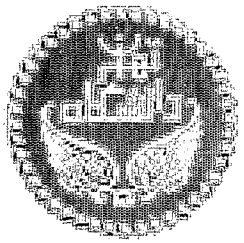
رشتهٔ مهندسی برق-گرایش مخابرات سیستم

۱۳۸۷ /۲/ ۲۵

تیر ماه ۱۳۸۷

۹۴۰۳۴





دانشگاه تهران

پردیس دانشکده‌های فنی

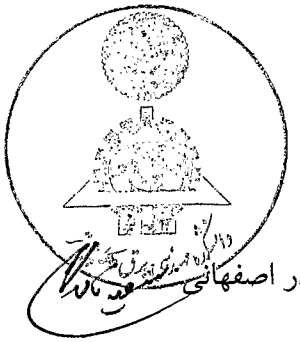
دانشکدهٔ مهندسی برق و کامپیوتر

پایان‌نامه برای دریافت درجهٔ کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق گرایش مخابرات-سیستم

عنوان: تخمین آفست زمانی و فرکانسی در سیستم های OFDM

نگارش: فرزاد مقیمی

این پایان‌نامه در تاریخ ۱۳۸۷/۴/۹ در مقابل هیأت داوران دفاع گردید و مورد تصویب قرار گرفت.



معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی پردیس دانشکده های فنی: دکتر جواد فیض

رئیس دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر پرویز جبه‌دار مارالانی

معاون پژوهشی و تحصیلات تکمیلی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر: دکتر سعید نادر اصفهانی

استاد راهنما: دکتر سعید نادر اصفهانی

عضو هیأت داوران: دکتر محسن شیوا

عضو هیأت داوران: دکتر معصومه نصیری کناری

عضو هیأت داوران: دکتر علی الفت

تعهدنامه اصالت اثر

اینجانب فرزاد مقیمی تائید می‌کنم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و به دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این نوشته از آنها استفاده شده‌است، طبق مقررات ارجاع گردیده است. این پایان‌نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده‌است.

کلیه حقوق مادی ومعنوی این اثر متعلق به دانشکده فنی دانشگاه تهران می‌باشد.

نام و نام خانوادگی دانشجو: فرزاد مقیمی

امضای دانشجو:

تقدیم به پدر و مادر مهربانم که مهرشان در قلبم جاودانه است
به امید آنکه گوشه‌ای از الطاف بی‌دریغشان را جبران کنم.

سپاسگزاری

از جناب آقای دکتر نادر اصفهانی، که شاگردی ایشان برای من افتخار بزرگی بود و بخاطر تمام زحمات و راهنمایی‌ها و قرار دادن بنده در این مسیر، تشکر و قدردانی می‌کنم.

از مادر و پدر عزیزم که فداکاری، صبر و همراهی مشفقانه‌شان از ابتدای عمر همراه من بوده است و در مشکلات گوناگون در هر حالت و به هر شکل پشتیبان من بوده‌اند سپاسگزارم.

بدین وسیله وظیفه خود می‌دانم از استاد محترم، آقای دکتر الفت به دلیل راهنمایی‌هایشان درانجام بخش‌هایی از پایان‌نامه تشکر کنم.

در ادامه از مرکز تحقیقات مخابرات ایران به دلیل حمایت ایشان از این پایان‌نامه سپاسگزارم.

چکیده

در این پایان نامه هدف بررسی مسئله همزمانی در سیستم های OFDM می باشد. سیستم های OFDM به خاطر توانایی آن ها در مقابله با کانال های چند مسیره و حذف تداخل بین سمبلی دارای اهمیت بسیار زیادی می باشند. سیستم های OFDM مانند اکثر سیستم های دارای چند زیرحامل، به خطای همزمانی بسیار حساس می باشند. خطای همزمانی عمدتاً به دو دسته خطای تخمین فریم و خطای تخمین آفست فرکانسی تقسیم می شود. خطای فریم ناشی از این واقعیت است که به علت ارسال پشت سر هم سیگنال های OFDM لحظه شروع سیگنال در گیرنده قابل تشخیص نیست. خطای آفست فرکانسی به خاطر غیر ایده آل بودن اسیلاتورهای فرستنده و گیرنده، شیفت داپلر و یا نویز فاز می تواند به وجود آید. ترکیب OFDM با سیستم های چند آنتنه (MIMO)[1] موجب دستیابی به نرخ های انتقال اطلاعات بسیار بالا می شود، که کاندیدای اصلی استاندارد های مخابراتی امروزیست، بنابراین نگاهی نیز به این سیستم ها خواهیم داشت.

سیستم های OFDM برای کاهش تشعشات خارج از باند خود معمولاً نیاز به استفاده از پنجره[2] برای شکل دادن به طیف توان خود می باشند، اما اکثر تخمین‌گرهای موجود برای سیستم های بدون پنجره طراحی شده اند و در صورت بکارگیری برای این سیستم ها منجر به سطح خطای ثابتی در راندمان تخمین‌گر خواهند شد. در این پایان نامه دو تخمین‌گر جهت تخمین توام آفست فرکانسی و زمانی برای سیستم های OFDM پنجره شده[3] ارائه خواهیم کرد، یکی تخمین‌گر بهینه ML[4] که دارای راندمان بسیار بالایی است ولی با پیچیدگی محاسبات نسبتاً بالا، و دیگری تخمین‌گر زیربهینه که با هدف کاهش حجم محاسبات طراحی شده و دارای راندمان بالایی نیز می باشد.

همچنین در ادامه پایان نامه روش کوری مبتنی بر پایلوت جهت همزمانی این سیستم ها ارائه خواهیم کرد، این روش بدون بایاس است و با بدست آوردن میانگین مربع خطای آن، نشان خواهیم داد که نسبت به روش های موجود به نتایج بهتری منجر می شود. همچنین این روش را به سیستم های OFDM-ST[5] که اخیراً مطرح شده اند تعمیم داده ایم و این سیستم ها را از حیث همزمانی بررسی کرده ایم. سیستم های OFDM-ST سیستم هایی هستند که انرژی پایلوت ها در تمامی زیرحامل ها پخش شده اند و در واقع هر زیرحامل هم شامل دیتا و هم پایلوت می باشد.

[1] Multiple-Input Multiple-Output
[2] Window
[3] Windowed OFDM
[4] Maximum likelihood
[5] OFDM Superimposed Training

فهرست مطالب

عنوان ..... صفحه

۱ مقدمه ۱

۲ مروری بر سیستم های OFDM و MIMO-OFDM ۵

۲-۱ مقدمه ۶

۲-۲ معرفی سیستم های با چند زیرحامل ۸

۲-۳ سیستم های OFDM ۹

۲-۳-۱ مروری اجمالی ۹

۲-۳-۲ لزوم استفاده از پیشوند چرخشی ۱۱

۲-۴ معرفی سیستم های MIMO ۱۳

۲-۵ سیستم های MIMO-OFDM ۱۶

۲-۶ مدل سیگنالینگ MIMO-OFDM ۱۷

۲-۶-۱ مدل اول ۱۸

۲-۶-۱-۱ در حوزه زمان ۱۸

۲-۶-۱-۲ در حوزه فرکانس ۱۸

۲-۶-۲ مدل دوم ۲۰

۳ اثرات خطاهای همزمانی ۲۲

۳-۱ اثر خطای همزمانی بر SNR دریافتی ۲۴

۳-۲ اثرات ICI و ISI خطاهای همزمانی ۲۵

۳-۲-۱ خطای همزمانی در سیستمهای OFDM ۲۵

۳-۲-۱-۱ اثر آفست زمانی ۲۵

۳-۲-۱-۲ اثر آفست فرکانسی ۲۹

۳-۲-۱-۳ اثر توام آفست زمانی و فرکانسی ۳۲

۳-۲-۲ تعمیم به سیستمهای MIMO-OFDM ۳۲

۳-۲-۲-۱ اثر آفست زمانی ۳۳
۳-۲-۲-۲ اثر آفست فرکانسی ۳٤
۳-۲-۳ مقایسه اثرات خطای همزمانی در OFDM و MIMO-OFDM ۳۵

٤ تخمین گر های آفست زمانی و فرکانسی ۳٦

۴-۱ تخمین گرهای سیستم های OFDM ۳۹
۴-۱-۱ تخمین گر بر اساس CP ۳۹
۴-۱-۱-۱ روش بر مبنای همبستگی ٤۰
۴-۱-۱-۲ روش ML ٤۱
۴-۱-۱-۳ مقایسه و شبیه سازی ٤۳
۴-۱-۱-۴ مزایا و معایب ٤٤
۴-۱-۱-۵ تعمیم به کانال های فیدینگ ٤۵
۴-۱-۱-۶ تصحیح روش بر اساس همبستگی ٤٦
۴-۱-۱-۷ تصحیح روش ML ٤۸
۴-۱-۱-۸ روش های بهبود تخمین گرهای بر مبنای CP ٤۹
۴-۱-۱-۹ تخمین گر بر اساس ایستان چرخشی مرتبه دوم سیگنال ۵۰
۴-۱-۲ تخمین گر بر اساس فریم های تکرار شونده ۵۱
۴-۱-۲-۱ روش Moose ۵۱
۴-۱-۲-۲ روش SCA ۵۳
۴-۱-۲-۳ روش M&M ۵۵
۴-۱-۲-۴ مقایسه و شبیه سازی ۵٦
۴-۱-۳ روش های بر اساس زیر حامل های صفر ٦۰
۴-۱-۳-۱ روش بر مبنای زیر حامل های مجازی ٦۱
۴-۲ تخمین گرهای سیستم های MIMO-OFDM ٦۱
۴-۲-۱ استفاده از دایورسیتی فضایی در سیستم های MIMO-OFDM ٦۱
۴-۲-۲ تخمین گرهای خاص سیستم های MIMO-OFDM ٦٤
۴-۲-۲-۱ تخمین آفست زمانی ٦۵
۴-۲-۲-۲ تخمین گر ML بر مبنای پایلوت ٦۵

۴-۲-۲-۳ تخمین گر توام آفست فرکانسی و فرکانس نمونه برداری ٦٦
۴-۲-۲-۴ طراحی پایلوت برای تخمین گرهای MIMO-OFDM ٦٧
۴-۲-۴ تخمین گرهای توام کانال و همزمانی ٦٨

۵ همزمانی سیستم های OFDM پنجره شده با استفاده از CP ۷۲
۵-۱ مدل سیگنال ٧٤
۵-۲ الگوریتم تخمین گر بهینه ML ٧٤
۵-۳ شبیه سازی الگوریتم ML بهینه ٧٦
۵-۴ الگوریتم زیر بهینه ٧٨
۵-۵ نتایج شبیه سازی ٨١

۶ روشی جدید برای همزمانی کور در سیستم های حاوی پایلوت ۸۳
۶-۱ تخمین گر سیستم های OFDM ٨٤
۶-۱-۱ مدل سیگنال ٨٤
۶-۱-۲ الگوریتم تخمین آفست فرکانسی ٨٥
۶-۱-۳ تجزیه و تحلیل خطای تخمین ٨٧
۶-۱-۴ نتایج شبیه سازی ٩٠
۶-۲ تخمین گر سیستم های OFDM-ST ٩٤
۶-۲-۱ مدل سیگنال ٩٥
۶-۲-۲ مروری بر سیستم های OFDM-ST ٩٥
۶-۲-۳ الگوریتم تخمین ٩٦
۶-۲-۴ تجزیه و تحلیل خطای تخمین ٩٧
۶-۳ ضمیمه الف ١٠٠

۷ نتیجه گیری و پیشنهادها ۱۰۱

فهرست منابع ۱۰۶

فهرست شکل‌ها

عنوان ..... صفحه

شکل ۲-۱:روند تکاملی سیستم های بی سیم [۸] ۷
شکل ۲-۲ :لایه فیزیکی برای نسل چهارم [۸] ۸
شکل ۲-۳: (الف) تعامد زیر حامل ها (ب) زیرحامل ها در حوزه زمان [۹] ۱۰
شکل ۲-۴: سمبل با پیشوند چرخشی ۱۲
شکل ۲-۵: بلوک دیاگرام فرستنده و گیرنده OFDM [۹] ۱۳
شکل ۲-۶: نمایی از یک سیستم MIMO ۱۴
شکل ۲-۷: شماتیک یک سیستم MIMO [۸] ۱۴
شکل ۲-۸: اثر رنک ماتریس کانال بر ظرفیت ۱۵
شکل ۲-۹: مقایسه ظرفیت سیستم ها به ازای تعداد آنتن های مختلف ۱۶
شکل ۲-۱۰: شماتیک یک سیستم MIMO-OFDM [۱۰] ۱۷
شکل ۳-۱: اثر غیر ایده آل بودن سیستم بر روی SNR [۹] ۲۵
شکل ۳-۲: از بین رفتن قسمتی از پیشوند چرخشی به دلیل اثر کانال [۹] ۲۶
شکل ۳-۳: اثر آفست زمانی بر روی نقاط منظومه سیگنال [۷] ۲۸
شکل ۳-۴: مقایسه دو حالت ممکن برای بازه تخمین آفست زمانی برای یک سیستم 16-QAM [۹] ۲۹
شکل ۳-۵: اثر شیفت آفست فرکانسی بر توابع Sinc [۹] ۳۰
شکل ۳-۶: اثر آفست فرکانسی بر روی نقاط منظومه سیگنال [۷] ۳۱
شکل ۳-۷: اثر آفست فرکانسی برابر ۳٪ برای ارسال ۴۸ بایت داده بر روی سیستم های مختلف [۵۷] ۳۵
شکل ۴-۱: روش های پایه برای دسته های مختلف تخمین گر ۳۸
شکل ۴-۲: بازه مشاهده تخمین گر ML [۱۹] ۴۱
شکل ۴-۳: پیاده سازی الگوریتم CP-based ML [۹] ۴۲
شکل ۴-۴: مقایسه روش ML با روش بر مبنای همبستگی ۴۳
شکل ۴-۵ :حساسیت نسبت به سایز مدولاسیون و میزان آفست فرکانسی [۲۱] ۴۴
شکل ۴-۶: حساسیت نسبت به خطای آفست زمانی [۲۱] ۴۵

شکل ۴-۷ :مقایسه روش های پیشوند چرخشی برای کانال فیدینگ..... ٤٦
شکل ۴-۸: تصحیح روش بر مبنای محاسبه همبستگی..... ٤٧
شکل ۴-۹: تصحیح روشML [۲۳] ٤٨
شکل ۴-۱۰: بهبود روش ML بوسیله شیفت چرخشی داده ها ٥٠
شکل ۴-۱۱: یک نمونه از سیگنال در روش Moose..... ٥٢
شکل ۴-۱۲: یک نمونه از سیگنال ارسالی برای روش SCA..... ٥٣
شکل ۴-۱۳: مقایسه روش SCA و M&M..... ٥٦
شکل ۴-۱۴: متریک آفست زمانی برای SCA..... ٥٧
شکل ۴-۱۵: مشکل روش های با فریم تکرار شونده در تخمین زمان ٥٧
شکل۴-۱۶: متریک آفست زمانی به ازای پترن های مختلف [۲۸] ٥٨
شکل ۴-۱۷: مقایسه میزان بهبود نسبت حالت قبل [۲۸]..... ٥٩
شکل ۴-۱۸: نحوه استفاده از دایورسیتی فضایی در همزمانی سیگنال..... ٦٢
شکل ۴-۱۹: میانگین مربع خطای تخمین گر به ازای تعداد آنتن های گیرنده متفاوت..... ٦٣
شکل ۴-۲۰: میانگین مربع خطای تخمین گر به ازای تعداد آنتن های فرستنده متفاوت ٦٤
شکل ۴-۲۱: تاثیر نحوه انتخاب پایلوت بر میانگین مربع خطای تخمین گر به ازای چرخش زاویه آنتن فرستنده [۴۱]..... ٦٨
شکل ۴-۲۲: تخمین کانال در حضور آفست فرکانسی برابر یک نمونه با مقدار واقعی کانال [۴۳]... ٧٠
شکل ۵-۱: شماتیکی از یک سیگنال قبل و بعد از اعمال پنجره RC..... ٧٤
شکل ۵-۲: مقایسه میانگین مربع خطای تخمین فریم برای سیگنال پنجره شده بین دو روش ML عادی و ML بدست آمده در بالا ٧٧
شکل ۵-۳: مقایسه میانگین مربع خطای تخمین آفست فرکانسی برای سیگنال پنجره شده..... ٧٨
شکل ۵-۴: دیاگرام بلوکی تخمین گر زیربهینه ٨١
شکل ۵-۵: نمونه ای از پنجره مورد استفاده در گیرنده برای تخمین زیربهینه ٨١
شکل ۵-۷: مقایسه الگوریتم زیر بهینه و بهینه با روش ML عادی ٨٢
شکل ۵-۶: مقایسه الگوریتم زیر بهینه و بهینه با روش ML عادی ٨٢
شکل ۶-۱: مقایسه آنالیز ریاضی با نتایج شبیه سازی ٩١
شکل ۶-۲: مقایسه روش های مختلف همزمانی ٩١
شکل ۶-۳: مقایسه روش ارائه شده و روش ML بر مبنای CP..... ٩٢

شکل ۶-۴: اثر نوع مدولاسیون بر متوسط مربع خطای تخمین گر ۹۳
شکل ۶-۵: شبیه سازی روش های مختلف تحت استاندارد DVB-T ۹٤
شکل ۶-۶: اثر نوع مدولاسیون بر متوسط مربع خطای تخمین گر ۹۹

فهرست جدول‌ها

عنوان ..... صفحه

جدول ۳-۱:میزان افت SNR بر حسب dB برای انواع مختلف خطاهای همزمانی [۹] ۲٤

جدول ۴-۱ :پترن های بهینه [۲۸] ۵۹

فصل اول

مقدمه

در سیستم های مخابرات امروزی، سیستم های OFDM مورد استقبال بسیار زیادی قرار گرفته اند. این امر بیشتر به خاطر توانایی های خاص این سیستم ها در مقابله با کانال های چند مسیره و تبدیل کردن کانال های انتخاب گر فرکانسی[1] به کانال های غیر انتخاب گر فرکانسی[2] می باشد. مشکل همزمانی به سه دسته عمده تقسیم می شود: ۱- خطای تخمین فریم که ناشی از نامعلوم بودن لحظه شروع سیگنال در گیرنده به دلیل ارسال پشت سر هم سمبل ها است. ۲- خطای تخمین آفست فرکانسی که ناشی از همزمان نبودن اسیلاتورهای فرستنده و گیرنده و همچنین وجود شیفت داپلر و نویز فاز است. ۳- خطای فرکانس نمونه برداری که ناشی از همزمان نبودن فرکانس نمونه برداری بین فرستنده و گیرنده است که موجب تغییر طول سیگنال دریافتی می شود. در این پایان نامه هدف بررسی دو خطای همزمانی اول است.

اثر آفست زمانی به دو صورت می تواند باشد، اگر آفست زمانی کمتر از طول پیشوند چرخشی (CP) [3] باشد با توجه به اینکه اطلاعات CP دقیقاً در انتهای سیگنال تکرار می شود، صرفاً موجب اعمال یک فاز خطی به سیگنال دریافتی می شود. اما اگر آفست زمانی بیشتر از طول CP باشد فاز غیرخطی زیادی به سیستم اعمال می شود، که موجب تداخل بین سمبلی (ISI) و بین زیرحامل ها (ICI) می شود. اثر آفست زمانی کمتر از طول CP توسط تخمین‌گر کانال قابل جبران است و اهمیت چندانی ندارد.

آفست فرکانسی باعث جابجایی محل نمونه برداری از توابع Sinc در طیف فرکانسی سیگنال می شود که سبب بر هم خوردن تعامد زیرحامل ها و ایجاد ICI می شود. آفست فرکانسی دارای چند اثر بر روی سیگنال دریافتی است. یکی کاهش توان سیگنال در لحظه نمونه برداری، دیگری ایجاد مولفه های تداخل و همچنین اضافه شدن فاز چرخشی به نمونه دریافتی. توجه شود که این فاز چرخشی برای تمامی زیرحامل های یک سمبل یکسان است و از سمبلی به سمبل دیگر افزایش می یابد.

برای رفع مشکل خطاهای همزمانی روش های گوناگونی وجود دارد. این روش ها را در حالت کلی می توان به دو دسته کور[4] و بر مبنای داده تقسیم بندی کرد. در روش های کور سعی در استفاده از خصوصیات ذاتی سیگنال دریافتی است. به عنوان مثال استفاده از اطلاعات اضافی قرار داده شده در پیشوند چرخشی که مشابه قسمت انتهایی سیگنال ارسالی است. اولین بار در [۱۹] روش

[1] Frequency-selective channels
[2] Frequency flat channels
[3] Cyclic Prefix
[4] Blind

تخمین ML توام آفست فرکانسی و زمانی بر مبنای پیشوند چرخشی ارائه شد. در [۲۰] بازه تخمین این تخمین‌گر بهبود یافت و در [۲۴] با استفاده از روش شیفت چرخشی داده ها میانگین مربع خطای تخمین‌گر (MSE) را بهبود بخشیدند. این تخمین‌گرها برای سیستم های OFDM معمولی بسیار مناسب هستند، اما در عمل برای کاهش تشعشعات خارج از باند سیگنال OFDM از یک پنجره برای شکل دادن به طیف توان سیگنال ارسالی کمک می گیرند. در صورتی که این تخمین‌گرها را برای سیستم های OFDM پنجره شده به کار ببرند موجب ایجاد یک سطح خطای ثابت در MSE تخمین‌گر خواهد شد به گونه ای که افزایش SNR تاثیری در کاهش این سطح خطا نخواهد داشت. در این پایان نامه دو روش برای تخمین سیگنال های OFDM پنجره شده ارائه کرده ایم که دارای راندمان بسیار مناسبی هستند و باعث حذف این سطح ثابت خطا می شوند. یکی روش ML بهینه، که دارای راندمان بسیار بالایی است ولی در عین حال دارای حجم محاسبات نسبتاً زیادی نیز هست و دیگری روشی زیربهینه است که با هدف کاهش حجم محاسبات ارائه شده است، که راندمان آن نیز همچنان بسیار خوب می باشد. همان طوری که در پایان نامه مشاهده خواهیم کرد این روش های پیشنهاد شده نیازمند به کارگیری تعدادی پنجره در گیرنده است که سعی در خنثی کردن اثر پنجره فرستنده را دارند.

همان طور که در بالا ذکر شد روش های کور نیازمند بکارگیری خصوصیات ذاتی سیگنال ارسالی هستند که معمولاً از قسمت CP جهت استخراج پارامترهای همزمانی بهره می گیرند. در روش ارائه شده در [۴۹] و [۵۰] علاوه بر نمونه های پیشوند چرخشی از دیگر نمونه ها نیز جهت تخمین زدن بهره می گیرند. این دو روش از خاصیت ایستان چرخشی مرتبه دوم بودن سیگنال دریافتی استفاده می کنند. در این پایان نامه نیز روشی دیگر جهت همزمانی کور در سیگنال های OFDM ارائه خواهیم کرد که از تمامی نمونه های سیگنال دریافتی جهت تخمین زدن بهره می برد. این روش بر مبنای محاسبه همبستگی بین نمونه های سیگنال در سمبل های مجاور OFDM می باشد. با تحلیل ریاضی نشان خواهیم داد که روش ارائه شده بدون بایاس است، همچنین با بدست آوردن MSE تخمین‌گر مشخص می شود که راندمان تخمین‌گر تابعی از میزان انرژی پایلوت های قرار گرفته در سیگنال ارسالی است. نکته جالب این است که خود تخمین‌گر نیازی به دانستن تعداد، مقدار و مکان پایلوت های ارسالی ندارد ولی راندمان تخمین‌گر به انرژی پایلوت ها وابسته است. روش ارائه شده نسبت به روش های همزمانی کور رایج به MSE کمتری منجر می شود. توجه شود که نیاز به حضور پایلوت در سیگنال ارسالی شرط محدود کننده ای نیست زیرا تمامی سیگنال های OFDM به خاطر تخمین کانال و یا دنبال کردن پارامترهای کانال نیاز به داشتن پایلوت می باشند.

در [۵۲]-[۵۵] روشی جدید جهت قرار دادن پایلوت در سیگنال برای سیستم های تک حامل ارائه شده است، در این روش نمونه های دیتا و پایلوت به صورت توام با هم ارسال می شوند یعنی اطلاعات دریافتی در هر لحظه هم شامل دیتاست و هم پایلوت. این روش در [۵۶] به سیستم های OFDM تعمیم داده شده است که به آن OFDM-ST گویند. در این حالت در هر زیرحامل هم پایلوت و هم دیتا به صورت توام حضور دارند و زیرحامل خاصی به پایلوت ها تعلق نمی گیرد. این گونه استفاده از پایلوت دارای مزایای بسیار زیادی است. به عنوان مثال نرخ انتقال اطلاعات در این سیستم افزایش می یابد و همچنین می توان به کاربردهای نظامی آن جهت مخفی سازی پایلوت ها اشاره کرد. از آن جایی که هدف استفاده از پایلوت برای مقاصد تخمین کانال و همزمانی است، نیاز است از این دو جنبه این سیستم ها بررسی شوند. در [۵۶] تخمین کانال برای این سیستم ها بررسی شده است و نشان داده شده است که از دید تخمین کانال این سیستم ها اندکی بهتر از سیستم های OFDM معمولی عمل می کنند ولی تا به حال هیچ گونه بحثی در خصوص همزمانی آن ها صورت نگرفته است. در این پایان نامه روش کور قبلی خود را به سیستم های OFDM-ST تعمیم داده ایم و این سیستم ها را از حیث همزمانی با سیستم های معمولی مقایسه کرده ایم که همان طوری که در فصل مربوطه خواهیم دید، سیستم های OFDM-ST از دید همزمانی نیز اندکی بهتر از سیستم های OFDM معمولی عمل می کند و در نتیجه با توجه به خواص زیادی که این سیستم ها دارند، در تمامی موارد استفاده از آن ها به نتایج بهتری منجر می شود.

به طور خلاصه در این پایان‌نامه به ارائه روش های جدید زیر پرداخته ایم:

۱. روش بهینه ML برای تخمین توام آفست فرکانسی و زمانی در سیستم های OFDM پنجره شده (فصل ۵).
۲. روش زیربهینه برای تخمین توام آفست فرکانسی و زمانی در سیستم های OFDM پنجره شده (فصل ۵).
۳. روشی جدید برای همزمانی کور در سیستم های OFDM بر مبنای پایلوت (فصل ۶).
۴. ارائه روشی برای همزمانی کور در سیستم های OFDM-ST (فصل ۶).

فصل دوم

مروری بر سیستم های OFDM و MIMO-OFDM

۲-۱ مقدمه

انتقال اطلاعات با نرخ های بالا (نزدیک 1Gbps) در سیستم های بی سیم امروزی بسیار مورد نیاز می باشد. امروزه سیستم های موجود بی سیم با نرخ های ماکزیمم 10Mbps ارائه می شوند و نرخهای 50-100Mbps در آینده نزدیک در دسترس خواهند بود. با این وجود حتی نرخهای 50Mbps در مقابل نرخ انتقال اطلاعات 10Gbps در سیستمهای باسیم محلی[1] بسیار ناچیز به نظر می رسند. همچنین امروزه با ظهور HDTVها و وسایل دیگر نیاز به انتقال اطلاعات به صورت بی سیم و با نرخ های نزدیک به 1Gbps بسیار ضروری به نظر می رسد [۱].

برای طراحی سیستمهای با کیفیت سرویس[2] قابل قبول و نرخ انتقال اطلاعات بالا ما نیازمند افزایش بیش از حد پهنای باند یا افزایش بسیار زیاد توان ارسالی هستیم، اما با توجه به محدودیت های زیست محیطی و خطراتی که افزایش نا معقول توان فرستنده در محیطهای بی سیم دارند، مطابق استاندارد نمی توانیم در محیطهای داخلی توان فرستنده را از ۱ وات و درمحیط های خارجی از ۱۰ وات بیشتر کنیم. با توجه به این محدودیت ها سیستمهای موجود تک آنتنه (SISO) توانایی برآورده کردن نیازهای ما را ندارند.

از طرف دیگر استفاده از سیستم های چند آنتنه (MIMO) می تواند مشکلات موجود را تا حد زیادی مرتفع کند. در این سیستم ها به دلیل به کارگیری چندین آنتن فرستنده نیازی به افزایش بیش از حد توان در یک آنتن به خصوص نیست و توان ارسالی بین آنتن های مختلف فرستنده پخش می شود. همچنین بدین وسیله می توانیم با ثابت نگه داشتن پهنای باند مورد استفاده به نرخ انتقال اطلاعات بسیار بالاتری دست یابیم. از مزایای دیگر سیستم های MIMO دستیابی به دایورسیتی فضایی نیز هست که تمامی این مزیت ها در مقابل افزایش اندکی پیچیدگی در ساختار فرستنده و گیرنده قابل حصول است.

از طرف دیگر سیستم های OFDM به دلیل مزایای بسیار زیاد آن به وفور در استاندارد های مختلف به کار رفته است، به عنوان نمونه می توان به DAB [3]، DVB [4]و همچنین برخی از نسخه های IEEE 802.11 اشاره کرد [۲]- [۴]. علت این استقبال گسترده از سیستم های OFDM توانایی

[1] Wired LAN
[2] QoS
[3] Digital Audio Broadcasting
[4] Digital Video Broadcasting