بسم الله الرحمن الرحيم

دانشکده: برق و رباتیک

گروه: الکترونیک

# بررسی و مقایسه شبیه سازی روشهای تخمین کانال در سیستم های "ادغام فرکانسی متعامد"

دانشجو:

سارا اسدالهی بابلی

استاد راهنما :

آقای دکتر امید رضا معروضی

استاد مشاور :

آقای دکتر علی رضا احمدی فر

پایان نامه کارشناسی ارشد

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد مهندسی برق- گرایش الکترونیک

بهمن ۱۳۸۹

بسم الله الرحمن الرحیم

الحمدالله رب العالمین

بنام خداوند جان آفرین　　حکیم سخن در زبان آفرین

خداوند بخشنده دستگیر　　کریم خطابخش پوزش پذیر

عزیزی که هرکه زدرش سر بتافت　　بهر در که شد هیچ عزت نیافت

**تقدیم**

این پایان نامه را با تمام وجودم پیشکش می کنم

به پدرم به واسطه زحماتی که برای رسیدن من به این جایگاه از زندگی کشید،

و به مادرم که آموختن را از او آموختم.

و به همسرم که با بردباریش مرا در پیودن این راه سخت همراهی کرد.

گرامی می دارم وجودشان را که مایه فخر و مباهات من هستند.

**تشکر و قدردانی**

بدینوسیله از کلیه کسانی که اینجانب را در تمام مراحل تحقیق کمک و یاری نموده اند صمیمانه سپاسگزاری می‌نمایم، بویژه از استاد گرامی جناب آقای دکتر معروضی که با راهنمایی‌های مدبرانه و سودمندشان هدایت این پایان نامه را بر عهده داشته و از خداوند متعال توفیق و بهروزی را در تمام طول زندگی برای این استاد گرانقدر را آرزومندم.

## چکیده

با رشد روز افزون تقاضا برای برقراری ارتباط مطمئن و پرسرعت به منظور انتقال داده‌های صوتی و تصویری با حجم بالا بین کاربران مختلف و بصورت بی‌سیم، مطالعات گسترده‌ای روی سیستمهای ادغام تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) در حال انجام می‌باشد. در سیستمهای ادغام تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) تحت کانال‌های محوشونده، تخمین کانال با ارسال سمبول‌های راهنما با الگوهای متفاوت انجام می‌پذیرد. تخمین کانال مدل شانه‌ای با داده‌های راهنما شامل دو مرحله است. ابتدا، کانال در فرکانس‌های داده‌های راهنما با استفاده از روش کمترین مربعات (LS) تخمین زده می‌شود و سپس درون‌یابی ضرایب کانال در زیرحامل‌های داده‌های راهنما برای به‌دست-آوردن پاسخ کانال در زیرحامل‌های داده با استفاده از روشهای مختلف انجام می‌گیرد. در این پایانامه می‌خواهیم روش متفاوتی را در تخمین کانال سیستمهای OFDM مبتنی بر داده‌های راهنما نشان می‌دهیم.

در این پایان نامه از یک تخمین‌گر دو بعدی که مبتنی بر ارسال نمادهای راهنما است استفاده می‌شود که هدف از این کار کاهش احتمال خطا در شرایط محوشدگی با ارسال الگوهای مختلف داده‌های راهنما می‌باشد و در نهایت هدف اصلی آن تخمین کانال در دو حوزه زمان و فرکانس می-باشد. بنابراین ابتدا پاسخ فرکانسی کانال در تعدادی از زیر حاملها با درون‌یابی در حوزه زمان تخمین زده می‌شود و سپس با استفاده از این تخمین‌ها و پاسخ فرکانسی کانال در تمام فرکانس‌ها بدست خواهد آمد.

بدین ترتیب با ارسال تعداد داده‌های راهنمای کمتر تخمین کانال دقیق‌تری بدست خواهد آمد همچنین مقایسه‌ای بین این روش با روش درون‌یابی فیلتر وینر و روش تخمین با داده‌های متغیر با درون‌یابی خطی و Splin انجام گرفته است که نتایج آن در این پایان نامه آمده است.

**فهرست مطالب**


**فصل اول- مقدمه** **۱**

۱- تخمین کانال در سیستم های OFDM ۲
۲-۲- ساختار پایانامه ۳

**فصل دوم- کانالهای انتقالی در سیستم سیار** **۴**

۲-۱- آشنایی با سیستم‌های بی‌سیم ۵
۲-۲- سیستم‌های مخابراتی دیجیتال ۶
۲-۲-۱- زمان همدوسی ۹
۲-۲-۲- پهنای باند همدوسی ۹
۲-۳- کانال رادیویی ۱۰
۲-۳-۱-تضعیف ۱۱
۲-۳-۲-بررسی مساله فیدینگ (محو شدگی) ۱۳
۲-۳-۳- گسترش تاخیر ۱۴
۲-۳-۴- گسترش داپلر ۱۶
۲-۴- مدل کانال ۱۸
۲-۴-۱- مدل کانال با توزیع رایلی ۱۸
۲-۴-۲- مدل کانال با توزیع رایسین ۲۰
۲-۵- مدل کردن کانال رادیویی موبایل ۲۱
۲-۶- خواص آماری محو شدگی ۲۳

**فصل سوم- بررسی سیستم OFDM** **۲۶**

۳-۱- معرفی OFDM ۲۷
۳-۲- تاریخچه OFDM ۲۹
۳-۳- مفاهیم OFDM ۳۲
۳-۴- توصیف ریاضی OFDM ۳۶
۳-۵- استفاده از باند محافظ و گسترش دوری ۳۸
۳-۶ همسان سازی کانال ۳۹
۳-۷- تخمین کانال ۴۰

۳-۸- مزایای تکنیک OFDM ۴۱
۳-۹- معایب تکنیک OFDM ۴۲

**فصل چهارم- بررسی روشهای تخمین کانال در سیستم‌های OFDM ۴۵**

۴-۱-مقدمه ۴۶
۴-۲- تخمین کانال برای سیستمهای OFDM ۴۶
۴-۲-۱- تکنیکهای تخمین کانال در سیستم OFDM ۴۹
۴-۲-۲- تخمین به کمک داده های راهنما ۴۹
۴-۲-۲-۱- تخصیص داده های راهنما در تخمین با استفاده از داده های راهنما ۵۰
۴-۲-۳- تخمین گر LS ۵۲
۴-۲-۴- تخمین گرMMSE ۵۴
۴-۲-۵- تخمین گر MMSE بهبود یافته ۵۵
۴-۳- تخمین با تصمیم معکوس ۵۷
۴-۴- تخمین کانال توسط داده های راهنما- مدل شانه‌ای ۵۸
۴-۴-۱- تخمین گرLS با درونیابی یک بعدی ۵۹
۴-۴-۲- درونیابی خطی(LI) ۵۹
۴-۴-۳- درونیابی مرتبه دوم ۶۰
۴-۴-۴- درونیابی پایین گذر(LPI) ۶۰
۴-۴-۵- درونیابی Spline Cubic (SCI) ۶۱
۴-۴-۶- درونیابی حوزه زمان(TDI) ۶۲
۴-۵-تخمین گر ML ۶۴
۴-۶- تخمین گر PCMB ۶۴
۴-۷- روش تخمین کانال دوبعدی ۶۶
۴-۸- بررسی عملکرد روش‌های تخمین کانال OFDM ۶۶

**فصل پنجم- عملکرد مدولاسیون OFDM ۶۸**

**۵**-۱- مقدمه ۶۹
۵-۲- مدولاسیون دیجیتال OFDM ۶۹
۵-۳- تولید نمادهای OFDM ۷۰
۵-۴-استفاده از فواصل محافظ زمانی ۷۴
۵-۵-سیگنال مکمل در طیف فرکانسی OFDM ۷۸

**فصل ششم- شبیه سازی و بررسی روشهای تخمین کانال** **۸۴**

۶-۱-مقدمه ۸۴
۶-۲- تخمین کانال پیشنهادی برای سیستم OFDM ۸۴
۶-۲-۱- مدل سیستم OFDM ۸۵
۶-۳- پارامترهای سیستم ۸۷
۶-۴- مدل کانال ۸۹
۶-۵- فیلتر وینر ۹۰
۶-۶- تخمین کانال در ارسال نماد های راهنما به روش شانه‌ای ۹۲
۶-۷- نتایج شبیه‌سازی ۹۵
۶-۸- تاثیر تغییرات تعداد داده‌های راهنما بر احتمال خطای بیت ۹۸
۶-۹-نتایج شبیه روش فیلتر وینر ۱۰۱
۶-۱۰- روش پیشنهادی برای تخمین کانال ۱۰۳

**فصل هفتم- نتایج و پیشنهادات** **۱۰۷**

۷-۱-نتیجه گیری ۱۰۸
۷-۲-پیشنهادات ۱۰۹

منابع و مراجع ۱۱۱

## فهرست شکل ها

### فصل دوم


شکل(۲-۱): بلوک دیاگرام کلی یک سیستم مخابراتی دیجیتال ۶

شکل(۲-۲) عوامل انتشار در کانال رادیویی ۱۱

شکل (۲-۳) چند مسیرگی در محیط انتقال بی‌سیم ۱۳

شکل(۲-۵) چگونگی اثر چند مسیرگی روی سیگنال‌های دریافتی و ایجاد عاملISI ۱۵

شکل(۲-۴) چگونگی اثر فیدینگ فرکانس گزین روی کانال ۱۶

شکل(۲-۶) تابع چگالی احتمال توزیع رایلی ۱۹

شکل (۲-۷) تابع چگالی احتمال توزیع رایسین به ازای $k$ های مختلف ۲۱

شکل(۲-۸) مدل خطی شیرهای تاخیر کانال محوشدگی با چهار شیر ۲۳

شکل (۲-۹) طیف داپلر ۲۵


### فصل سوم


شکل(۳-۱): بلوک دیاگرام کلی یک سیستم مخابراتی دیجیتال ۲۹

شکل(۳-۲) طیف سیگنال OFDM ۳۱

شکل (۳-۳): بلوک دیاگرام فرستنده OFDM ۳۳

شکل(۳-۴) بلوک دیاگرام گیرنده OFDM ۳۵

شکل(۳-۵) افزودن باند محافظ به سیگنال OFDM ۳۹

## فصل چهارم


شکل (۴-۱) نحوه تخصیص داده های راهنما در نماد OFDM ۴۸

شکل (۴-۲) رفتار دوره تناوب یک وابستگی زیر حامل‌ها برای K=۶۴ ۵۲

شکل (۴-۳) مقایسه نرخ خطای نماد در سیستم OFDM برای تخمین کانال به روشهای درونیابی ۶۲

شکل (۴-۴)بلوک دیاگرام درونیابی TDI ۶۳

شکل (۴-۵) عملیات Zero-Padding ۶۳

شکل (۴-۶) نمونه‌ای از شبکه دو بعدی داده‌های راهنمای مستطیلی شکل ۶۶


## فصل پنجم


شکل(۵-۱) تولید نماد OFDM ۷۲

شکل(۵-۲) تولید نماد OFDM برای سیگنال سینوسی ۷۲

شکل(۵-۳)تولیدنماد OFDM برای سیگنال با یک مولفه فرکانسی ۷۳

شکل(۵-۴)-طیف فرکانسی سیگنال OFDM در استاندارد DVB-T ۷۴

شکل(۵-۵) فاصله زمانی برای نماد OFDM ۷۴

شکل(۵-۶) سیگنال دریافتی OFDM ناشی از پدیده چند مسیره ۷۵

شکل(۵-۷) فاصله زمانی برای نماد OFDM ۷۶

شکل(۵-۸) تکرار انتهای نماد در ابتدای آن ۷۷

شکل(۵-۹) طیف سیگنال DVB-T واقعی ۸۰

شکل(۵-۱۰) نحوه قرار گرفتن حامل‌های پراکنده ۸۱

شکل(۵-۱۱) شکل واقعی سیستم DVB-T ۸۲

**فصل ششم**

شکل (۶-۱) بلوک دیاگرام فرستنده و گیرنده سیستم OFDM ۸۵

شکل(۶-۲). (شکل بالا) تابع همبستگی زمانی (شکل پایین) تابع تدیل فیلتر درونیاب در حوزه زمان ۹۱

شکل(۶-۳). (شکل بالا) تابع همبستگی فرکانس(شکل پایین) تابع تدیل فیلتر درونیاب در حوزه فرکانس ۹۲

شکل(۶-۴) الگوی ارسال داده های راهنما در مکان های ثابت برای نسبت راهنما به داده ۱/۸ ۹۳

شکل(۶-۵) الگوی ارسال داده‌های راهنما برای تغییر مکان داده‌های راهنما در هر نماد برای نسبت داده‌های راهنما به داده ۱/۶ ۹۴

شکل(۶-۶) الگوی ارسال داده‌های راهنما در نماد چهارم به بعد در هر بلوک با استفاده از تخمین‌های داده‌های راهنما با استفاده از تخمین‌های داده‌های راهنما در سه نماد قبلی در نسبت ارسال نماد راهنما به داده۱/۸ ۹۵

شکل(۶-۷) نمودار روش متغییر با مدولاسیون 16 PSK ۹۸

شکل(۶-۸) نمودار روش متغییر با مدولاسیون 32 PSK ۹۹

شکل(۶-۹) نمودار روش متغیر با نرخ ۱/۴با مدولاسیون 32PSK ۱۰۰

شکل(۶-۱۰) نمودار روش متغیر با نرخ ۱/۸با مدولاسیون 32PSK ۱۰۰

شکل(۶-۱۱) نمودار روش متغیر با نرخ ۱/۱۶با مدولاسیون 32PSK ۱۰۱

شکل(۶-۱۲) نمودار روش وینر با مدولاسیون 16PSK ۱۰۲

شکل (۶-۱۳) نمودار روش وینر با مدولاسیون 16PSK ۱۰۳

شکل(۶-۱۴) نمودار روش فرکانسی- زمانی با مدولاسیون 16PSK ۱۰۴

شکل(۶-۱۵) نمودار روش فرکانسی- زمانی با مدولاسیون 32PSK ۱۰۵

شکل(۶-۱۶) نمودارمقایسه سه روش درونیابی در کانال محوشونده سریع با مدولاسیون 16PSK ۱۰۶

شکل(۶-۱۷) نمودارمقایسه سه روش درونیابی در کانال محوشونده آهسته با مدولاسیون 16PSK ۱۰۶
شکل(۶-۱۸) نمودارمقایسه سه روش درونیابی در کانال گوسین با مدولاسیون16PSK ۱۰۷

## فهرست جداول

### فصل دوم

جدول (۲-۱) : مقادیر تضعیف نوعی برای کانال رادیویی ۱۲

### فصل ششم

جدول(۶-۱) پارامترهای سیستم OFDM ۸۸

اصطلاحات انگلیسی

| | |
|---|---|
| LS | Least square |
| 4G | Forth Generation |
| BW | Bandwidth Transmitted Signa |
| ISI | Inter Symbol Interference |
| ICI | Inter Carrier Interference |
| QAM | Quadrature Amplitude Modulation |
| QPSK | Quadrature phase Shift Keying |
| SNR | Signal to Noise Ratio |
| LMS | Least Mean square |
| MSE | Mean square Error |
| FFT | Fast Fourier Transform |
| BER | Bit Error Rate |
| MCM | Multi Carrier Modulation |
| OFDM | Orthogonally Frequency Division Multiplexing |
| DAB | Digital Audio Broadcasting |
| DVB | Digital Video Broadcasting |
| IFFT | Inverse Fast Fourier Transform |
| TDMA | Time division multiple access |
| WSSUS | wide-sense stationary uncorrelated scattering |
| CIR | Channel Impulse Response |
| CFR | Channel Frequency Response |

| | |
|---|---|
| AWGN | Additive White Gaussian Noise |
| AFC | Amplitude Forward Correction |

# فصل اول

# مقدمه

## ۱-۱- تخمین کانال در سیستم های OFDM

از مهم ترین اهداف سیستم های مخابرات بی سیم آینده، می‌توان به افزایش هرچه بیشتر نرخ انتقال و بالا بردن کیفیت سرویس دهی اشاره کرد. مزایای فراوان ادغام با تقسیم فرکانسی متعامد[۱] (OFDM) مانند بهره وری طیفی بالا، پایداری نسبت به محوشدگی چند مسیری و تداخل بین نمادی[۲] (ISI)، سبب استفاده گسترده از این مدولاسیون در انواع سیستم های مخابراتی شده است. سیستم های انتشار همگانی صدای دیجیتال (DAB)[۳][۱]، انتشار همگانی تصویر دیجیتال (DVB)[۴][۲]، استانداردهای خطوط مشترک های دیجیتال (ADSL)[۵][۳] و استانداردهای بی سیم LAN [۴] مانند استاندارد آمریکایی (WiFi) IEEE 802.11 و معادل اروپایی آن HIPRLAN/2 همگی از OFDM استفاده می‌کنند.همچنین این سیستم برای استاندارد هایی مانند(WiMAX)IEEE[۶] 802.16 و نسل چهارم [۵] مخابرات سیار پیشنهاد شده است.

یکی از محاسن بزرگ OFDM که سبب کاهش پیچیدگی سیستم های مخابراتی نیز می شود، عدم نیاز به استفاده از همسانساز های تطبیقی[۷] است. در سیستم های OFDM برای بازیابی صحیح اطلاعات دریافتی بجای بکارگیری همسانسازهای متداول، مشخصات کانال در حوزه زمان یا فرکانسی استخراج می شود. این فرآیند که اصطلاحا تخمین کانال[۸] نامیده می شود از الزامات آشکارسازی همدوس[۹] است.

[1] Orthogonally Frequency Division Multiplexing
[2] Inter Symbol Interference
[3] Digital Audio Broadcasting
[4] Digital Video Broadcasting
[5] Digital Subscriber Line
[6] Worldwide Interoperability for Microwave Access
[7] Adaptive Equalizer
[8] Channel Estimation
[9] Coherent Detection

روش های تخمین کانال را می توان به سه گروه تخمین به کمک رشته های آموزشی[1] (TBCE)، تخمین کور[2] (BCE) و تخمین نیمه کور[3] (SBCE) دسته بندی کرد. در روش اول، برای تخمین کانال از رشته های آموزشی معلوم استفاده می شود. تخمین‌گرهای کور برای تخمین کانال، از اطلاعات نهفته در خواص آماری داده‌های دریافتی استفاده می‌کنند، در نتیجه بازدهی طیفی بهتر و البته پیچیدگی‌های سخت افزاری و نرم افزاری بیشتری دارند. دسته سوم، روش های تخمین نیمه کور می‌باشند که بر خلاف روش تخمین به کمک رشته آموزشی که تخمین کانال تنها بر اساس رشته آموزشی صورت می گیرد، از اطلاعات دریافتی مجاور رشته آموزشی نیز بهره برداری می‌کنند. در این پایانامه فقط روش تخمین غیر کور، تخمین به کمک داده‌های راهنما مورد بررسی قرار می‌گیرد.

## ۲-۲- ساختار پایانامه

ساختار پایانامه بدین‌گونه است که در فصل اول مقدمات را مطرح کرده و در فصل دوم کانالهای مخابرات بی‌سیم را بررسی کرده، در فصل سوم به بررسی سیستمهایOFDM می‌پردازیم. در فصل چهارم روشهای تخمین کانال بررسی شده و به نحوه تخصیص داده‌های راهنما در روشهای مختلف درونیابی برای سیستمهایOFDMپرداخته می‌شود. در فصل ششم عملکرد مدولاسیون OFDMرا در سیستمDVB-T نشان داده شده و در آخر نتایج شبیه‌سازی را برای سیستمهای OFDM نشان می‌دهیم.

[1] Training Based Channel Estimation
[2] Blind Channel Estimation
[3] Semi-Blind Channel Estimation

# فصل دوم

# کانالهای انتقال در سیستم های سیار

## ۲-۱- آشنایی با سیستم‌های بی‌سیم

بیش از صد سال است که سیستم‌های انتقال رادیویی به انسان‌ها امکان ارتباط بدون نیاز به اتصال فیزیکی را داده است. یک قرن پیش هنگامی که مارکونی سیستم‌های تلگراف بی‌سیم را طراحی کرد، گام بسیار بزرگی در صنعت مخابرات بی‌سیم برداشت. هر چند تکنیک او با سیستم‌های بی‌سیم امروز تفاوت دارد ولی در واقع او برای ایجاد ارتباط از هیچ اتصال فیزیکی استفاده نکرد. امروزه با پیشرفت در تکنولوژی نیمه هادی‌ها امکان ارتباط کاربران متحرک در سراسر دنیا برقرار شده است.

سیستم‌های مخابرات متحرک به چند نسل با توجه به نوع سرویس دهی و تکنولوژی مورد استفاده، تقسیم‌بندی می‌شود. نسل اول، سیستم‌های دسترسی چندگانه تقسیم فرکانس آنالوگ FDMA[1] را در بر می‌گرفت. نسل دوم، سیستم‌های مخابراتی متحرک دیجیتال مانند سیستم‌های دسترسی چندگانه تقسیم زمانی TDMA[2] در GSM[3] و سیستم‌های دسترسی چندگانه تقسیم کد در IS-۹۵ را در برداشت. این سیستم‌ها بیشتر برای انتقال صوت مناسب هستند در حالیکه انتقال داده در آنها به نرخ‌های نسبتا پائین محدود می‌شود. نسل سوم در اول اکتبر سال ۲۰۰۲ در ژاپن شروع به کار کرد.

در چند سال اخیر، انقلابی در سیستم‌های مخابرات بی‌سیم روی داد بطوریکه انتقال چند رسانه‌ای در سیستم‌های متحرک در نرخ‌های بالا امکان‌پذیر شد. بنابراین در نسل بعدی مخابرات بی-سیم امکان ارسال صوت، داده ، تصویر و ویدئو با کیفیت بالا و نرخ‌های در حدود مگابیت بر ثانیه در نظر گرفته شد. هنگامی که داده در نرخ‌های بالا ارسال می‌شود، پاسخ ضربه کانال، زمان نماد را

[1] Frequency division multiple access
[2] Time division multiple access
[3] Global system for mobile communication