

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

به نام خدا



دانشگاه علم و صنعت ایران

دانشکده مهندسی برق

گروه مخابرات

پایان نامه کارشناسی ارشد

تخمین کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM سیار

دانشجو: ریحانه لوافی

استاد راهنما: دکتر ابوالحسنی

تقدیم

به

پدر و مادر عزیزم

به پاس مهر و دلگرمیشان

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانم از زحمات استاد گرانقدر جناب آقای دکتر ابوالحسینی به خاطر سعه صدر و راهنمایی‌های بی‌دریغ ایشان در مدت انجام این پروژه تشکر نمایم. همچنین از حمایت‌های مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران به عنوان حامی پروژه و نیز در اختیار گذاشتن امکانات اطلاع‌رسانی و کتابخانه آن مرکز که در راستای انجام هر چه بهتر این پروژه انجام یافت، تشکر و قدردانی می‌نمایم.

چکیده

در این رساله الگوریتمی بدون تکرار و با حفظ عملکرد نسبت به الگوریتم‌های تکراری مبتنی بر DFT، برای تخمین کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM سیار پیشنهاد شده است. نیاز اساسی در مخابرات بی‌سیم باند وسیع، نرخ داده بالا و استفاده بهینه از پهنای باند در دسترس است. سیستم‌های MIMO-OFDM با توجه به ویژگی‌های خود گزینه‌ای مناسب برای نسل جدید مخابرات سیار محسوب می‌شوند. یکی از اساسی‌ترین موارد در سیستم‌های سیار که نقش تعیین‌کننده‌ای در عملکرد سیستم دارد، مسأله تخمین کانال است. در سیستم MIMO-OFDM، تخمین کانال به معنای تعیین وضعیت زیرکانال‌های فضایی مستقل از هم بین هر زوج آنتن فرستنده و گیرنده که هر یک به نوبه خود یک کانال گزینشگر فرکانس و متغیر با زمان است، می‌باشد. در این پروژه ابتدا با بررسی روش‌های مختلف تخمین کانال در یک سیستم OFDM، تخمین کانال به کمک سیگنال راهنما به عنوان روشی مناسب برای کانال‌های سیار گزینشگر فرکانس در سرعت‌های معمول، معرفی شده است. پس از بررسی روش‌های مختلف تخمین در محل سمبول‌های راهنما، انواع روش‌های درونیابی کانال بررسی شده و عملکرد و پیچیدگی آنها مقایسه گردیده است. در میان تخمین‌گرهای خطی روش MMSE، در هر دو راستای زمان و فرکانس جواب بهینه را بدست می‌دهد، اما، پیچیدگی بالایی دارد. از این رو در راستای فرکانس، از درونیابی مبتنی بر DFT به دلیل کارایی مطلوب (نزدیک به معیار بهینه MMSE) و همچنین امکان کاهش قابل ملاحظه پیچیدگی با بکارگیری الگوریتم‌های مختلف FFT، استفاده می‌شود. برای تخمین کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM باید روش‌های تخمین کانال در OFDM را با شیوه‌ای مناسب به سیستم‌های MIMO بسط داد. در این راستا طبیعتاً مهمترین مسأله، افزایش پیچیدگی این روش‌هاست. یک روش متداول برای کاهش این پیچیدگی آنست که در هر زیرحامل به طور همزمان تنها یک آنتن فرستنده اقدام به ارسال راهنما کند و بقیه آنتن‌ها مسکوت باشند. بدین ترتیب علاوه بر حفظ تعادل دنباله راهنمای آنتن‌های مختلف، نیاز به محاسبه معکوس ماتریس برای تخمین کانال در محل سمبول‌های راهنما نیز از بین می‌رود. روش‌های تخمین کانال در راستای فرکانس مبتنی بر DFT که از ساختار راهنمای مذکور استفاده می‌کنند، تاکنون بیشتر در قالب الگوریتم‌های تکراری ارائه شده‌اند. بخش اصلی این پروژه به پیشنهاد و شرح روشی غیر تکراری مبتنی بر DFT برای تخمین کانال در راستای فرکانس اختصاص دارد. این روش با جبران شیفت فرکانسی ناشی از دنباله‌های راهنمای مربوط به آنتن‌های فرستنده دوم به بعد (در ساختارهای شانه‌ای و مستطیلی) با حذف تکرار از الگوریتم تکراری تخمین کانال، ضمن حفظ عملکرد، پیچیدگی را به میزان قابل توجهی کاهش می‌دهد.

فهرست مطالب

1	..... فصل اول- مقدمه
1	..... 1-1- مخابرات بی سیم باند وسیع
3	..... 2-1- سیستم MIMO-OFDM
4	..... 3-1- تخمین کانال
5	..... 4-1- ساختار رساله
7	..... فصل دوم- سیستم‌های مخابراتی MIMO-OFDM
7	..... 1-2- مقدمه
8	..... 2-2- کانال انتشاری مخابرات سیار
10	..... 1-2-2- انتشار چند مسیره
13	..... 2-2-2- شیف‌ت داپلر
14	..... 3-2- مقدمه‌ای بر سیستم‌های MIMO
16	..... 1-3-2- بهره آرایه
16	..... 2-3-2- بهره گوناگونی
17	..... 3-3-2- بهره ادغام فضائی
18	..... 4-2- نظریه اطلاعات برای سیستم‌های MIMO
24	..... 5-2- مدل‌سازی کانال گزینشگر فرکانس
25	..... 1-5-2- تولید ضرایب کانال
32	..... 2-5-2- محاسبه توان متوسط مسیرها
34	..... 6-2- مروری بر مدولاسیون OFDM
34	..... 1-6-2- ساختار سیگنال OFDM
39	..... 2-6-2- استفاده از پیشوند چرخشی

43	..... ICI ناشی از شیفت داپلر
44	..... OFDM مزایا و معایب
45	..... سیستم MIMO-OFDM
47	..... فصل سوم - تخمین کانال در سیستم‌های OFDM
47	..... 1-3-1 مقدمه
48	..... 2-3-2 تخمین کور کانال در OFDM
50	..... 3-3-3 تخمین نیمه کور کانال در سیستم‌های OFDM
51	..... 4-3-4 تخمین با کمک راهنمای کانال در سیستم‌های OFDM
51	..... 1-4-3-1 آرایش‌های مختلف سمبول‌های راهنما
55	..... 2-4-3-2 تخمین کانال در محل سمبول‌های راهنما
58	..... 3-4-3-3 درون‌یابی کانال
58	..... 1-3-4-3-1 درون‌یابی دو بعدی
59	..... 2-3-4-3-2 درون‌یابی کانال در راستای فرکانس
62	..... 3-3-4-3-3 روش‌های تخمین مبتنی بر DFT
64	..... 5-3-5 شبیه‌سازی و تحلیل نتایج
64	..... 1-5-3-1 پارامترهای شبیه‌سازی
65	..... 2-5-3-2 مقایسه روش‌های تخمین در محل سمبول‌های راهنما
66	..... 3-5-3-3 روش‌های درون‌یابی در راستای زمان
70	..... 4-5-3-4 روش‌های درون‌یابی در راستای فرکانس
75	..... فصل چهارم - تخمین کانال در سیستم‌های MIMO-OFDM
75	..... 1-4-1 مقدمه
76	..... 2-4-2 مدل سیستم

78	..... 3-4- ساختار سمبول‌های راهنما
81	..... 4-4- تخمین کانال
81	..... 1-4-4- تخمین LS کانال در محل زیر حامل‌های راهنما
82	..... 2-4-4- تخمین MMSE کانال در راستای زمان
83	..... 3-4-4- تخمین کانال در راستای فرکانس
85	..... 5-4- تخمین کانال در سیستم‌های MISO
87	..... 6-4- روش پیشنهادی برای بهبود الگوریتم تکراری
91	..... 7-4- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در سیستم MIMO-OFDM
95	..... 8-4- ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در سیستم MISO-OFDM
97	..... فصل پنجم - نتیجه‌گیری و پیشنهادات
97	..... 1-5- جمع‌بندی و نتیجه‌گیری
100	..... 2-5- پیشنهادات
101	..... مراجع

فهرست اشکال و جداول

8	شکل 1-2- برخی از مکانیزم‌های انتشار
9	شکل 2-2- (الف) اثرات تضعیف و محوشدگی مقیاس وسیع (ب) اثرات محوشدگی مقیاس کوچک
11	شکل 3-2- پدیده چند مسیری
11	شکل 4-2- گسترش سیگنال در حوزه زمان (الف) پالس ارسالی (ب) سیگنال دریافتی
13	شکل 5-2- پروفایل تأخیر توان یک کانال نوعی
14	شکل 6-2- پدیده شیفت داپلر
15	شکل 7-2- پیکربندی های متفاوت یک سیستم چند ورودی-چند خروجی
18	شکل 8-2- بهره‌گیری از ادغام فضائی در یک سیستم (2,2)
20	شکل 9-2- ظرفیت متوسط کانال‌های MIMO ناهمبسته فضائی با محوشدگی رایلی بر حسب SNR
21	شکل 10-2- احتمال وقفه در کانال‌های MIMO ناهمبسته فضائی با محوشدگی رایلی بر حسب SNR
22	شکل 11-2- مرتبه مالتی‌پلکس فضائی در کانال MIMO با محوشدگی رایلی
25	شکل 12-2- مدل گسسته کانال گزینشگر فرکانس
26	شکل 13-2- روش‌های مختلف تولید فرآیند رنگی (الف) روش فیلترینگ (ب) روش رایس
28	شکل 14-2- بلوک دیاگرام تولید کننده نویز گوسی رنگی با روش فیلترینگ در حوزه فرکانس
29	شکل 15-2- نحوه ضرب طیف داپلر کلاسیک در نویز سفید در حوزه فرکانس
30	شکل 16-2- (الف) تابع همبستگی جیکز (ب) طیف داپلر کلاسیک
31	شکل 17-2- (الف) پاسخ ضربه کانال برای یک مسیر دلخواه (ب) چگالی طیفی توان آن
31	شکل 18-2- (الف) بهره‌های مسیر برای یک کانال 6 میسره ($t_{max} = 10\text{ ms}$) (ب) قدر مطلق تابع همبستگی فرکانس (روش فواصل یکسان)
33	.....
36	شکل 19-2- (الف) مدولاتور OFDM (ب) دمدولاتور OFDM
38	شکل 20-2- مقایسه چگالی طیف توان OFDM و FDM
38	شکل 21-2- طیف توان نوعی یک سیگنال OFDM
39	شکل 22-2- تداخل زیرحامل‌ها
40	شکل 23-2- استفاده از CP برای حذف ICI
41	شکل 24-2- بلوک دیاگرام یک سیستم مخابراتی OFDM ساده شده
46	شکل 25-2- بلوک دیاگرام یک سیستم MIMO-OFDM
49	جدول 1-3- مقایسه برخی از روش‌های کور تخمین کانال در OFDM
53	شکل 1-3- انواع آرایش سمبول‌های راهنما
54	شکل 2-3- ساختار یک فریم OFDM
63	شکل 3-3- روش برش مستقیم در تخمین کانال بر اساس DFT
63	شکل 4-3- بلوک دیاگرام تخمین کانال مبتنی بر DFT در کانال‌های NSS
64	جدول 2-3- پارامترهای شبیه‌سازی
65	شکل 5-3- مقایسه خطای تخمین‌های مختلف در محل سمبول‌های راهنما ($v = 5\text{km/h}$)
66	شکل 6-3- مقایسه خطای تخمین‌های مختلف در محل سمبول‌های راهنما ($v = 150\text{km/h}$)
68	شکل 7-3- مقایسه MSE تخمین و درون‌یابی تک بعدی و دو بعدی در راستای زمان ($N_r = 2$) و $(v = 5\text{km/h})$

68	شکل 3-8- مقایسه MSE تخمین و درونیابی تک بعدی و دو بعدی در راستای زمان ($N_r = 2$) و $(v = 150\text{km/h})$
69	شکل 3-9- مقایسه MSE تخمین و درونیابی تک بعدی و دو بعدی در راستای زمان ($N_r = 4$) و $(v = 5 \text{ km/h})$
69	شکل 3-10- مقایسه MSE تخمین و درونیابی تک بعدی و دو بعدی در راستای زمان ($N_r = 4$) و $(v = 150 \text{ km/h})$
71	شکل 3-11- مقایسه MSE روش‌های مختلف درونیابی در راستای فرکانس ($N_f = 2$ و $v = 5\text{km/h}$)
71	شکل 3-12- مقایسه MSE روش‌های مختلف درونیابی در راستای فرکانس ($N_f = 4$ و $v = 5\text{km/h}$)
73	شکل 3-13- مقایسه MSE روش‌های تخمین و درونیابی مبتنی بر DFT ($N_f = 2$ و $v = 5\text{km/h}$)
73	شکل 3-14- مقایسه MSE روش‌های تخمین و درونیابی مبتنی بر DFT ($N_f = 4$ و $v = 5\text{km/h}$)
74	شکل 3-15- مقایسه MSE روش‌های تخمین و درونیابی مبتنی بر DFT ($N_f = 2$ و $v = 150\text{km/h}$)
74	شکل 3-16- مقایسه MSE روش‌های تخمین و درونیابی مبتنی بر DFT ($N_f = 4$ و $v = 150\text{km/h}$)
80	شکل 4-1- ساختار مستطیلی سمبول‌های راهنما در یک سیستم با دو آنتن فرستنده
80	شکل 4-2- ساختار شانه‌ای سمبول‌های راهنما در یک سیستم با دو آنتن فرستنده
87	شکل 4-3- شمای ساده‌ای از مفهوم شیفت فرکانسی در DFT
89	شکل 4-4- مقایسه خطای تخمین کانال با الگوریتم‌های پیشنهادی و تکراری در یک سیستم نوعی با دو آنتن فرستنده (الف) کانال اول (ب) کانال دوم
93	شکل 4-5- متوسط مربع خطای تخمین الگوریتم تکراری و روش پیشنهادی ($N_r = 2$ و $v = 5\text{km/h}$)
93	شکل 4-6- متوسط مربع خطای تخمین الگوریتم تکراری و روش پیشنهادی ($N_r = 2$ و $v = 150\text{km/h}$)
94	شکل 4-7- متوسط مربع خطای تخمین الگوریتم تکراری و روش پیشنهادی ($N_r = 4$ و $v = 5\text{km/h}$)
94	شکل 4-8- متوسط مربع خطای تخمین الگوریتم تکراری و روش پیشنهادی ($N_r = 4$ و $v = 150\text{km/h}$)
95	جدول 4-2- پارامترهای شبیه‌سازی سیستم MISO-OFDM
96	شکل 4-9- میانگین مربع خطای تخمین برای سیستم 2×1 در سرعت 5km/h
96	شکل 4-10- میانگین مربع خطای تخمین برای سیستم 2×1 در سرعت 150km/h

اختصارات

1D	One Dimentional
1G	First Generation
2D	Second Dimentional
2G	Second Generation mobile phone system(GSM,IS-95)
3G	Third Generation mobile phone system
ADSL	Asymmetric Digital Subscriber Line
AMPS	Advanced Mobile Phone System
AWGN	Additive White Gaussian Noise
BER	Bit Error Rate
BLAST	Bell Laboratories Layered Space-Time
CP	Cyclic Prefix
CSI	Channel State Information
DD	Decision-Directed
DFT	Discrete Fourier Transform
DVB-T	Digital Video Broadcasting Terrestrial
EP	Equal Power
FDM	Frequency Division Multiplexing
FFT	Fast Fourier Transform
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile communication
HDR	High Data Rate
ICI	Inter-Carrier Interference
IDFT	Inverse Discrete Fourier Transform
i.i.d	Identical Independent Distribution
IIR	Infinite Impulse Response
IFFT	Inverse Fast Fourier Transform
IMT-2000	International Mobile Telecommunication in year 2000
IS	EIA Interim Standard for U.S. code division multiple access
ISI	Inter-Symbol Interference
LOS	Line-Of-Sight
LS	Least Square

MASCI	Mutiple Antenna Sub-Channel Interference
MC	Multi-Carrier
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output
MISO	Multiple-Input Single-Output
ML	Maximum Likelihood
MSE	Mean Square Error
MMSE	Minimum Mean Square Error
MUI	Multi-User Interference
NLOS	Non-Line-Of-Sight
NMT	Nordic Mobile Telephone
N.N.	Nearest Neighbor
NSS	Non-Sample-Spaced
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
PAPR	Peak to Average Power Ratio
P.C.	Piecewise-Constant
QPSK	Quadri-Phase Shift Keying
RCG	Relative Capacity Gain
RMS	Root-Mean Square
SFC	Space-Frequency Coding
SIMO	Single-Input Multiple-Output
SISO	Single-Input Single-Output
SNR	Signal to Noise Ratio
SS	Sample-Spaced
STC	Space-Time Coding
TACS	Total Access Communication System
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
WF	Water-Filling
WSS	Wide-Sense Statoinary
WSSUS	Wide-Sense Stationary Uncorrelated Scattering

فصل اول

مقدمه

1-1- مخابرات بی سیم باند وسیع

در دو دهه گذشته شاهد رشد چشمگیر ارتباطات بی سیم بوده ایم و هنوز نشانه ای از توقف این روند دیده نمی شود. می توان گفت که تمایل به ارتباط در حین حرکت و نیز رهایی از اتصال فیزیکی به تجهیزات ثابت از عمده ترین محرکهای مخابرات بی سیم بوده اند.

با پیشرفت تکنولوژی و همچنین تغییر نیازها، مخابرات بی سیم نیز تکامل می یابد. از اوایل دهه 1980 تاکنون، دو نسل از استانداردهای مخابرات بی سیم پشت سر گذاشته شده است. در سیستم های نسل اول (1G)، نظیر AMPS²، TACS³ و NMT⁴، از ارسال آنالوگ استفاده می شد و تنها سرویس های صوتی ارائه می گردید. سیستم های نسل دوم (2G)⁵، نظیر GSM⁶ و IS-95⁷، با بکارگیری تکنیک های دیجیتال، علاوه بر صوت امکان انتقال نرخ پایین داده (تا 9/6 kbps) را نیز فراهم می آورند. نمونه های گسترش داده شده نسل دوم، نظیر GPRS⁸ و HDR⁹، که گاهی با عنوان نسل

¹ First Generation

² Advanced Mobile Phone System

³ Total Access Communication System

⁴ Nordic Mobile Telephone

⁵ Second Generation mobile phone system

⁶ Global System for Mobile communication

⁷ EIA Interim Standard for U.S. code division multiple access

⁸ General Packet Radio Service

⁹ High Data Rate

2/5 یاد می‌شوند، سرویس‌های پیشرفته‌تری نظیر انتقال داده با نرخ متوسط (تا 100 kbps)، را ارائه می‌کنند. امروزه در بیشتر کشورها از سیستم‌های 2G و 2.5G استفاده می‌شود.

با توجه به نیاز روز افزون به سرویس‌های باند وسیع (نظیر دسترسی به اینترنت با سرعت بالا و انتقال صوت و تصویر با کیفیت بالا)، مخابرات بی‌سیم در حال تکامل سومین نسل خود، استانداردهایی نظیر IMT-2000¹ و UMTS² و ارتقاء به نسل‌های بعدی، که ارتباط بی‌سیم باند وسیع را امکان‌پذیر می‌سازد، می‌باشد. اهداف متعددی برای این سیستم‌های جدید در نظر گرفته شده است که از میان آنها می‌توان به گوشی‌های کوچک و ارزان قیمت، استفاده از طیف فرکانسی با بازدهی بالا، ایجاد استاندارد پذیرفته شده در سطح جهانی و عدم محدودیت تحرک کاربرها اشاره کرد. در واقع هدف نهایی، ایجاد ارتباط باند وسیع، همیشه و همه‌جا است.

همانطور که ذکر شد، محرک اصلی مخابرات بی‌سیم باند وسیع، نیاز به سرویس‌هایی با نرخ بیت بالا بوده است. به عنوان مثال سیستم‌های 3G³ باید قادر به تأمین حداقل 144 kbps (و تا 384 kbps)، برای کاربرهایی با تحرک زیاد و در محدوده وسیع و 2 Mbps، برای کاربرهای نسبتاً ساکن و در محدوده کمتر باشند. سرویس‌های با نرخ بیت بالا از یک سو و ارزش فوق‌العاده طیف فرکانسی از سوی دیگر، تلاش‌های تحقیقاتی را به سمت یافتن روش‌های کدینگ و مدولاسیون مؤثر و در عین حال الگوریتم‌های پیچیده پردازش، سوق داد تا کیفیت و بازدهی طیفی⁴ ارتباط بی‌سیم بهبود یابد. اما این پیشرفت‌ها، باید با چالش‌های زیادی که عملکرد سیستم را محدود می‌کنند، مانند محوشدگی⁵ در کانال، تداخل ناشی از وجود چندین کاربر (MUI)⁶ و محدودیت توان به خصوص در پایانه‌های موبایل، به مقابله برخیزند. در میان این موارد، محوشدگی در کانال که از اثرات پدیده چند مسیری⁷ و شیفت

¹ International Mobile Telecommunication in year 2000

² Universal Mobile Telecommunication System

³ Third Generation mobile phone system

⁴ Spectral efficiency

⁵ Fading

⁶ Multi-User Interference

⁷ Multipath

داپلر است، بیش از همه بر عملکرد ارسال بی‌سیم تأثیر منفی دارد و مانع جدی در مقابل افزایش نرخ داده است.

1-2- سیستم MIMO-OFDM

یکی از زمینه‌هایی که کمک چشمگیری در کاهش اثرات محوشدگی و افزایش ظرفیت کانال و نتیجتاً استفاده بهینه از پهنای باند و توان قابل دسترسی می‌کند، بکارگیری تکنیک گوناگونی¹ و ادغام فضائی² در فرستنده و گیرنده می‌باشد. این واقعیت که بازدهی طیفی تقریباً بدون پرداخت هیچ هزینه اضافی به صورت چشمگیری افزایش می‌یابد، باعث شد که مطالعات عمده‌ای در زمینه‌های تئوری و عملی مربوط به کانال‌های بی‌سیم سیستم‌های چند ورودی-چند خروجی (MIMO³) صورت گیرد و در مرحله بعد قابلیت این سیستم‌ها در محیط‌های چند کاربره⁴ مورد بررسی قرار گیرد.

بیشتر ساختارهای پیشنهادی در زمینه سیستم‌های MIMO با فرض کانال محوشدگی تخت⁵ طراحی شده‌اند [1-12]. همانطور که ذکر شد ویژگی مخابرات بی‌سیم باند وسیع، نرخ داده بالا است و با وجود تحرک زیاد نیز باید قابل بکارگیری باشد. از آنجا که در اینگونه موارد، محوشدگی دیگر از نوع تخت نیست، برای بکارگیری ساختارهای مذکور در مخابرات بی‌سیم باند وسیع، کانال‌های چند ورودی-چند خروجی را همراه با یکی از شیوه‌های مدولاسیون‌های چند حاملی (MC⁶) بکار می‌برند تا حتی اگر محوشدگی کانال از نوع گزینشگر فرکانس⁷ باشد، بتوان از این روش‌ها استفاده نمود. مدولاسیون تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM⁸) یکی از مهمترین مدولاسیون‌های MC است که در آن به جای ارسال یکپارچه اطلاعات توسط یک حامل، اطلاعات به طور موازی توسط مجموعه‌ای از

¹ Diversity

² Spatial Multiplexing

³ Multiple Input-Multiple Output

⁴ Multi-user

⁵ Flat-fading

⁶ Multi-Carrier

⁷ Frequency-selective

⁸ Orthogonal Frequency Division Multiplexing

زیرحامل‌های متعامد ارسال می‌گردد. بدین ترتیب، با فرض آنکه تعداد زیرحامل‌ها به اندازه کافی زیاد باشد، می‌توان کانال مخابراتی را در هر زیرکانال تقریباً تخت در نظر گرفت [10 و 11].

با توجه به مطالبی که گفته شد، در استانداردهای با نرخ داده بالا نظیر IEEE 802.16 و IEEE 802.11n ترکیبی از سیستم‌های MIMO و مدولاسیون OFDM تحت عنوان سیستم MIMO-OFDM استفاده می‌شود. در سیستم‌های MIMO-OFDM، برای دستیابی به کیفیت بالا، که با معیارهایی نظیر نرخ خطای بیت و/یا نرخ داده سنجیده می‌شود، به استخراج بهره گوناگونی و/یا بهره ادغام فضایی می‌پردازیم. تحقق چنین بهره‌هایی منوط به آگاهی از اطلاعات وضعیت کانال (CSI)¹ در گیرنده است که این اطلاعات از طریق تخمین کانال حاصل می‌شود.

3-1- تخمین کانال

بطور کلی سه روش تخمین کانال وجود دارد:

روش‌های کور: این روش‌ها با استفاده از خواص آماری و یا استفاده از اطلاعات یقینی سمبول‌های ارسالی از قبیل خاصیت ایستادن دوری، آمارگان‌های مرتبه بالا²، الفبای محدود و نظایر آن، تحقق می‌یابند. کاربرد این روش‌ها در مواردی است که کانال تغییرپذیری کمی دارد [12 و 13].

روش‌های نیمه کور: روش‌های نیمه کور به صورت محدود از سمبول‌های آموزشی استفاده می‌کنند و قابلیت بهتری نسبت به روش‌های کور در دنبال کردن تغییرات کانال دارند [13].

روش‌های غیر کور (یا به کمک راهنما³): در این نوع تخمین بخشی از فریم ارسالی به سمبول‌های راهنما اختصاص می‌یابد [10 و 14-16]. سمبول‌های راهنما بر طبق یک الگوی از پیش مشخص در صفحه زمان-فرکانس قرار می‌گیرند. این عمل در حقیقت نوعی نمونه‌برداری از پاسخ فرکانسی کانال است. نرخ نمونه‌برداری به گونه‌ایست که با توجه به تغییرات کانال بازایی پاسخ فرکانسی امکان‌پذیر باشد. در این روش CSI، با بکارگیری تخمین بدست آمده در محل سمبول‌های راهنما و استفاده از

¹ Channel State Information

² High-order statistics

³ Pilot-assisted

روش‌های مختلف درون‌یابی، در طول زمان و فرکانس تخمین زده می‌شود. تخمین غیر کور عملکرد بهتری نسبت به دو روش پیشین در شرایط تغییرپذیری کانال دارد، اما سمبول‌های راهنما در سیگنالینگ، سربار¹ محسوب می‌شوند. هر چه میزان سمبول‌های راهنما بیشتر باشد، با وجود عملکرد بهتر، میزان سربار افزایش خواهد یافت. بنابراین باید مصالحه‌ای بین میزان سربار سیستم و عملکرد بهتر برقرار شود.

همانطور که ذکر شد، سمبول‌های راهنما را می‌توان به شکل‌های مختلف در صفحه‌ی زمان-فرکانس ارسال نمود. میزان گزینشگری کانال در راستای زمان و فرکانس تعیین‌کننده‌ی تعداد سمبول‌های راهنما در این دو راستا می‌باشد. بنابراین در کانال‌هایی که تغییرات سریع زمانی دارند، برای ردیابی کانال بهتر است ارسال راهنما در همه‌ی سمبول‌های OFDM صورت گیرد. آنچنانکه در فصل سوم خواهیم دید، ساختار شانه‌ای² معمول‌ترین آرایش با این ویژگیست. در مقابل در کانال‌هایی که میزان گزینشگری فرکانسی بالایی دارند، ارسال سمبول‌های راهنمای بیشتر در راستای فرکانس مطلوب است که حالت حدی آن یعنی ارسال راهنما در تمامی زیرحامل‌ها در ساختار بلوکی³ محقق می‌شود.

1-4- ساختار رساله

در این رساله، هدف ارائه‌ی الگوریتمی با پیچیدگی کم و با حفظ عملکرد نسبت به الگوریتم‌های پیشین جهت تخمین کانال در سیستم MIMO-OFDM سیار، می‌باشد. در این راستا، ابتدا در فصل دوم مقدمات لازم در بررسی سیستم‌های مبتنی بر MIMO-OFDM ارائه شده است. بدین منظور، پس از بررسی کانال انتشاری بی‌سیم و نحوه‌ی مدلسازی آن، مروری کوتاه بر مدولاسیون OFDM و سیستم MIMO خواهیم داشت و در نهایت ساختار سیستم MIMO-OFDM بررسی می‌شود.

در فصل سوم روش‌های مختلف تخمین کانال در سیستم OFDM مطالعه می‌شود و فواید و معایب هر روش بررسی می‌شود. در ادامه این فصل روش‌های مبتنی بر ارسال راهنما به عنوان روش انتخابی

¹ Overhead

² Comb type

³ Block type

در این پروژه به تفصیل مورد بررسی قرار می‌گیرد. الگوریتم‌های مختلف تخمین کانال در محل سمبول‌های راهنما و انواع روش‌های درون‌بایی کانال در محل سمبول‌های داده ارائه می‌گردد. با توجه به نتایج مطالعات و شبیه‌سازی‌های فصل سوم، الگوریتم مناسب جهت سیستم MIMO-OFDM سیار در فصل چهارم انتخاب شده و روش پیشنهادی جهت کاهش پیچیدگی این الگوریتم با حفظ عملکرد ارائه می‌شود. نهایتاً در فصل پنجم به جمع‌بندی موضوع پرداخته و پس از نتیجه‌گیری پیشنهاداتی جهت ادامه این پروژه ارائه خواهد شد.

فصل دوم

سیستم‌های مخابراتی MIMO-OFDM

2-1- مقدمه

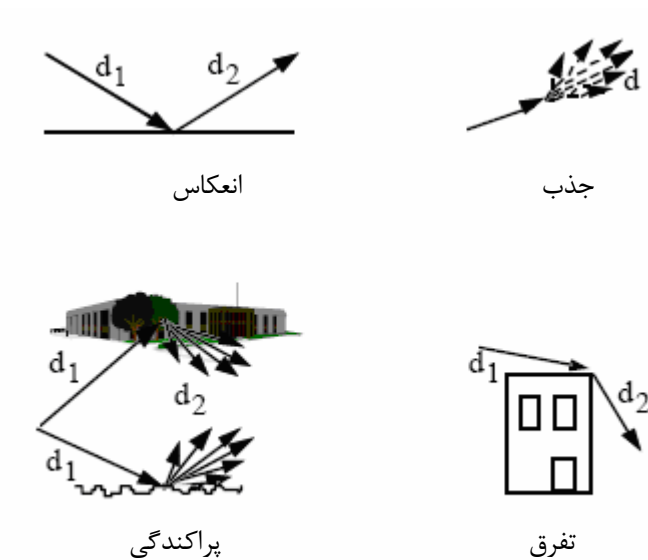
همانطور که ذکر شد، محرک اصلی مخابرات بی‌سیم باند وسیع، نیاز به سرویس‌هایی با نرخ بیت بالا بوده است. ترکیب سیستم‌های MIMO و مدولاسیون OFDM در قالب سیستم‌های MIMO-OFDM یک بستر مناسب را، جهت مخابرات بی‌سیم باند پهن، به وجود آورده است، به طوری که در استانداردهای با نرخ داده بالا نظیر IEEE 802.16 و IEEE 802.11n از سیستم‌های MIMO-OFDM استفاده می‌شود.

در این فصل ابتدا کانال انتشار در مخابرات سیار و دو پدیده انتشار چند مسیری و شیفت داپلر که از جمله ویژگی‌های اصلی محیط انتشار سیار می‌باشند، به عنوان عوامل محدودکننده در عملکرد سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم بررسی می‌شود. سیستم‌های MIMO با بهره‌گیری از گوناگونی و/یا ادغام فضائی می‌توانند موجب افزایش کیفیت و/یا افزایش نرخ ارسال شوند. به همین دلیل بکارگیری آنها در نسل جدید مخابرات سیار مورد توجه قرار گرفته است. از این رو در ادامه این فصل به بررسی این گونه سیستم‌ها پرداخته و نظریه اطلاعات در سیستم‌های MIMO ارائه می‌شود. سپس مدل‌سازی کانال‌گزینه‌گر فرکانس MIMO ارائه شده است. با توجه به ویژگی مدولاسیون OFDM در مقابله با پدیده چندمسیری و در عین حال بهره‌وری طیفی مناسب، این مدولاسیون به عنوان بهترین انتخاب

در کانال‌های گزینشگر فرکانس مورد بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت ترکیب این دو روش تحت عنوان سیستم‌های MIMO-OFDM جهت استفاده از محاسن هر دو روش به طور همزمان مطالعه می‌شود.

2-2- کانال انتشار در مخابرات سیار

سیگنال ارسالی در کانال‌های انتشار مخابرات سیار، به خاطر وجود موانع¹ و انعکاس دهنده‌ها²، در جهات مختلف و از طریق چندین مسیر، به گیرنده می‌رسد. درون کنش سیگنال ارسالی با اشیاء محیط انتشار می‌تواند به یکی از شکل‌های انعکاس³، جذب⁴، تفرق⁵، پراکندگی⁶ و انکسار⁷، باشد. شکل 1-2 برخی از این مکانیزم‌ها را نشان می‌دهد. به علاوه حرکت نسبی بین فرستنده و گیرنده باعث ایجاد شیفت فرکانسی⁸ در سیگنال دریافتی می‌شود که این پدیده تحت عنوان شیفت داپلر شناخته می‌شود.



شکل 1-2- برخی از مکانیزم‌های انتشار

¹ Obstacles
² Reflectors
³ Reflection
⁴ Absorption
⁵ Diffraction
⁶ Scattering
⁷ Refraction
⁸ Frequency offset