



دانشگاه شاهرود

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

پایان نامه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی برق،
مخابرات سیستم

بررسی و استخراج روش‌های تشخیص کور نوع
مدولاسیون در یک سیستم چندحاملی متعامد و فقی

توسط:

سیما بحرانی

اساتید راهنما:

دکتر مصطفی درختیان

دکتر علیرضا ذوالقدر اصلی

اسفند ماه 1390



اظہارنامہ

اینجانب سیما بحرانی (880653) دانشجوی رشته ی مهندسی برق گرایش مخابرات سیستم دانشکده ی مهندسی برق و کامپیوتر اظہار می کنم کہ این پایان نامہ حاصل پژوهش خودم بوده و در جاهایی کہ از منابع دیگران استفادہ کردہ ام، نشانی دقیق و مشخصات کامل آن را نوشتہ ام. همچنین اظہار می کنم کہ تحقیق و موضوع پایان نامہ ام تکراری نیست و تعہد می نمایم کہ بدون مجوز دانشگاه دستاوردهای آن را منتشر ننمودہ و یا در اختیار غیر قرار ندهم. کلیہ حقوق این اثر مطابق با آیین نامہ مالکیت فکری و معنوی متعلق بہ دانشگاه شیراز است.

سیما بحرانی



به نام خدا

بررسی و استخراج روشهای تشخیص کور نوع مدولاسیون در یک سیستم چندحاملی متعامد و فقی

به کوشش
سیما بحرانی

پایان نامه

ارائه شده به دانشکده تحصیلات تکمیلی دانشگاه شیراز به عنوان بخشی
از فعالیت های تحصیلی لازم برای اخذ درجه کارشناسی ارشد

در رشته‌ی:

مهندسی برق - مخابرات سیستم

از دانشگاه شیراز

شیراز

جمهوری اسلامی ایران

ارزیابی کمیته‌ی پایان‌نامه، با درجه‌ی عالی

دکتر مصطفی درختیان، استادیار بخش مخابرات و الکترونیک (رییس کمیته)

دکتر علیرضا ذوالقدر اصلی، دانشیار بخش مخابرات و الکترونیک (رییس کمیته)

دکتر عباس شیخی، دانشیار بخش مخابرات و الکترونیک

دکتر محمدعلی مسندی شیرازی، استاد بخش مخابرات و الکترونیک

اسفندماه ۱۳۹۰

تقدیم

به پدر و مادر عزیزم

به پاس محبت‌های بی‌دریغشان

و خواهر خوبم

به خاطر مهربانی‌هایش

سپاسگزاری

در اینجا بر خود لازم می دانم که از کلیه افرادی که به نحوی مرا در انجام این پایان نامه یاری رساندند، تشکر و قدردانی نمایم. به خصوص از اساتید گرامی، جناب آقای دکتر مصطفی درختیان که در تمامی مراحل انجام این پروژه به اینجانب یاری رساندند و جناب آقای دکتر علیرضا ذوالقدر اصلی که همانند پدری دلسوز با کمکها و راهنمایی های بی دریغ خود، مرا در انجام این پایان نامه همراهی کردند؛ و همچنین آقایان دکتر محمدعلی مسندی شیرازی و دکتر عباس شیخی که همواره راهنما و مشوق من بوده اند سپاسگزاری می نمایم.

در پایان از همه دوستان عزیزم به خصوص خانمها مرضیه آذرنگ، سعیده مولودی و هدی شاعری که در طول این دوره مرا یاری دادند، خالصانه قدردانی می کنم و از خدای مهربان توفیق روزافزون برای همه آنها خواستارم.

این پایان نامه از حمایت مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران (ITRC) بهره مند گردیده است، که از این مرکز مهم علمی نهایت تشکر را داریم.

چکیده

بررسی و استخراج روش‌های تشخیص کور نوع مدولاسیون در سیستم چندحاملی

متعامد وقتی

توسط

سیما بحرانی

یکی از اهداف سیستم‌های مخابراتی بی‌سیم نسل جدید، دستیابی به نرخ ارسال داده بالا و هم‌چنین بازده طیفی مناسب در طیف وسیعی از محیط‌های انتشار می‌باشد. رشد سریع ارتباطات بی‌سیم در دهه‌های اخیر، یافتن راه‌های جدید برای بهبود بازده طیفی سیستم را اجتناب‌ناپذیر نموده است. یکی از راه‌حل‌های مناسب در سیستم‌های چندحاملی مانند OFDM استفاده از مدولاسیون وقتی می‌باشد. در سیستم OFDM وقتی نوع مدولاسیون برای هر یک از زیرحامل‌ها بر اساس وضعیت کانال انتخاب می‌شود. با به‌کارگیری مدولاسیون وقتی بازده طیفی سیستم به مقدار قابل توجهی بهبود می‌یابد، اما چالش‌های جدیدی ایجاد می‌شود که یکی از مهم‌ترین آنها عدم آگاهی گیرنده از نوع مدولاسیون به کار رفته است. روش مرسوم این است که اطلاعات مربوط به نوع مدولاسیون در خود سمبل‌های ارسالی قرار داده شود، که در این صورت بازده داده به مقدار قابل توجهی کاهش می‌یابد. برای اجتناب از کاهش بازده داده، روش دیگر این است که گیرنده تلاش کند از تکنیک‌های تشخیص کور نوع مدولاسیون استفاده نماید. استفاده از تشخیص کور نوع مدولاسیون به جای علامت‌دهی، باعث افزایش بازده طیفی و بهبود بازده کلی سیستم می‌گردد.

در این پایان‌نامه، به مسأله تشخیص کور نوع مدولاسیون در سیستم OFDM وقتی پرداخته شده است. برای انجام این کار، ابتدا روش‌های موجود بررسی شده و سپس برای بهبود عملکرد تشخیص کور نوع مدولاسیون روشی ارایه شده است که از پیش‌بینی کانال و هم‌چنین از یک روش مؤثر کاهش نویز مشاهدات کانال بهره می‌برد. هم‌چنین برای مقایسه روش‌های مطرح شده، شبیه‌سازی‌های مختلفی انجام شده است. در بخش بعدی پایان‌نامه، به محاسبه تقریبی احتمال خطا در تشخیص نوع مدولاسیون در یک زیرحامل برای یکی از روش‌های مطرح شده پرداخته شده است.

فهرست مطالب

| | |
|----|---|
| 1 | فصل 1 مقدمه |
| 2 | 1-1- سیستم OFDM |
| 5 | 1-1-1- باند زمانی محافظ |
| 7 | 2-1- کانال بیسیم |
| 8 | 1-2-1- فیدینگ چندمسیره |
| 10 | 2-2-1- مدل کانال |
| 12 | 3-1- ارتباطات دوطرفه |
| 15 | فصل 2 سیستم OFDM افقی |
| 16 | 1-2- مدولاسیون چندحاملی متعامد افقی |
| 18 | 2-2- سیستم AOFDM |
| 19 | 1-2-2- تخمین وضعیت کانال |
| 21 | 2-2-2- انتخاب پارامترهای مناسب برای ارسال بعدی |
| 27 | 3-2-2- علامت دهی یا تشخیص کور پارامترهای به کار رفته |
| 29 | 3-2- شیب‌سازی و نتایج |
| 31 | فصل 3 تشخیص کور نوع مدولاسیون در سیستم AOFDM |
| 32 | 1-3- مقدمه |
| 32 | 2-3- مدل سیستم |
| 34 | 3-3- دسته بندی خودکار انواع مدولاسیون |
| 35 | 1-3-3- روش بیشینه کننده نسبت درست‌نمایی (ML) |
| 35 | 2-3-3- الگوریتم های MAP با استفاده از متقابل بودن کانال |
| 37 | 3-3-3- الگوریتم‌های MAP با استفاده از متقابل بودن کانال و آگاهی از نرخ ارسال داده |
| 39 | 4-3-3- الگوریتم‌های MinML و MinMap |
| 42 | 4-3- ارزیابی روش پیشنهادی |
| 43 | 1-4-3- پیش‌بینی کانال |
| 45 | 2-4-3- پیش‌بینی کانال با استفاده از روش مبتنی بر مدل AR در سیستم OFDM |
| 51 | 3-4-3- تأثیر روش پیشنهادی در تشخیص کور نوع مدولاسیون در سیستم AOFDM |
| 52 | 5-3- شیب‌سازی و نتایج |
| 57 | فصل 4 احتمال خطای دسته‌بندی در یک زیرحامل |
| 58 | 1-4- مقدمه |
| 58 | 2-4- محاسبه تقریبی احتمال خطا در یک زیرحامل |

| | | |
|---------|---------------------|------------------------------|
| 61..... | P_{10} و P_{01} | 1-2-4- محاسبه احتمالهای |
| 63..... | P_{02} و P_{20} | 2-2-4- محاسبه احتمالهای |
| 66..... | P_{12} و P_{21} | 3-2-4- محاسبه احتمالهای |
| 69..... | P_{24} و P_{42} | 4-2-4- محاسبه احتمالهای |
| 75..... | P_{04} و P_{40} | 5-2-4- محاسبه احتمالهای |
| 80..... | P_{14} و P_{41} | 6-2-4- محاسبه احتمالهای |
| 97..... | | فصل 5 نتیجه گیری و پیشنهادات |
| 98..... | | 1-5- نتیجه گیری |
| 98..... | | 2-5- پیشنهادات |

فهرست جدول‌ها

- جدول (1-1) مقدار rms گستره تأخیر کانال برای چندین محیط انتشار.....9
- جدول (1-2) الگوریتم EF26
- جدول (2-2) الگوریتم‌های BT و ET.....27
- جدول (3-2) الگوریتم Levin-Campello برای معیارهای MA و RA.....27
- جدول (4-2) پارامترهای سیستم OFDM.....29

فهرست شکل‌ها

- شکل (1-1) چگونگی هم‌پوشانی طیف فرکانسی زیرحامل‌ها در تکنیک OFDM [1].....3
- شکل (2-1) باند زمانی محافظ [2].....5
- شکل (3-1) چگونگی حذف ISI با قرار دادن باند زمانی محافظ [2].....5
- شکل (4-1) ساختار سیستم OFDM.....7
- شکل (5-1) انتشار چندمسیره [4].....9
- شکل (6-1) انواع ارتباط دوطرفه. شکل سمت راست ارتباط کاملاً دوطرفه و شکل سمت چپ ارتباط نیمه دوطرفه را نشان می‌دهد [7].....12
- شکل (7-1) روش FDD [8].....13
- شکل (8-1) روش TDD [8].....13
- شکل (1-2) تغییرات SNR برای تمام 512 زیرحامل بر حسب زمان، در SNR متوسط 16 dB برای کانال مشخص شده در شکل (2-2) [9].....17
- شکل (2-2) پاسخ ضربه کانال بی‌سیم داخلی سه‌مسیره WATM [9].....17
- شکل (3-2) تخصیص بیت در یک مودم AOFDM برای تابع تبدیل کانال شکل (1-2) [9].....18
- شکل (4-2) دو روش اصلی قرار دادن پایلوت‌ها برای تخمین کانال در سیستم OFDM [19].....20
- شکل (5-2) علامت‌دهی و یا تشخیص کور نوع مدولاسیون در سیستم AOFDM.....28
- شکل (6-2) مقایسه احتمال خطای سمبل برای دو سیستم AOFDM و OFDM.....30
- شکل (1-3) یک سیستم AOFDM حلقه‌باز در مد TDD [34].....34
- شکل (2-3) فاصله $\frac{Y_n[k]}{H_n}$ از سمبل i ام از مدولاسیون 4-QAM.....40
- شکل (3-3) یک سیستم AOFDM حلقه‌باز در مد TDD که از پیش‌بینی کانال استفاده می‌کند.....51
- شکل (4-3) احتمال خطای دسته‌بندی برای 4 روش ML، AMAP-R، AMAP-RD1 و AMAP- RD2.....53
- شکل (5-3) احتمال خطای دسته‌بندی برای 4 روش ML، MinML، AMAP-R و MinMAP.....54
- شکل (6-3) مقایسه احتمال خطای دسته‌بندی برای روش‌های AMAP-R و AMAP-RD2 بدون پیش‌بینی و همراه با آن.....55
- شکل (7-3) احتمال خطای دسته‌بندی برای در روش AMAP-R بدون پیش‌بینی و همراه با آن، در حالت‌های $f_{dm} = 100Hz$ و $f_{dm} = 20Hz$56
- شکل (1-4) منظومه‌های مربوط به BPSK و عدم ارسال و تقسیم صفحه به 2 ناحیه.....61
- شکل (2-4) منظومه‌های مربوط به 4-QAM و عدم ارسال و تقسیم صفحه به 4 ناحیه.....64
- شکل (3-4) منظومه‌های 4-QAM و BPSK و تقسیم صفحه به 4 ناحیه.....67
- شکل (4-4) منظومه‌های 16-QAM و 4-QAM و تقسیم صفحه به 16 ناحیه.....69

- شکل (5-4) منظومه‌های مربوط به 16-QAM و عدم ارسال و تقسیم صفحه به 16 ناحیه.....75
- شکل (6-4) منظومه‌های 16-QAM و BPSK تقسیم صفحه به 16 ناحیه.....80
- شکل (7-4) P_{10} بر حسب SNR در زیرحامل.....86
- شکل (8-4) P_{01} بر حسب SNR در زیرحامل.....86
- شکل (9-4) P_{20} بر حسب SNR در زیرحامل.....87
- شکل (10-4) P_{02} بر حسب SNR در زیرحامل.....87
- شکل (11-4) P_{21} بر حسب SNR در زیرحامل.....88
- شکل (12-4) P_{12} بر حسب SNR در زیرحامل.....88
- شکل (13-4) P_{40} بر حسب SNR در زیرحامل.....89
- شکل (14-4) P_{04} بر حسب SNR در زیرحامل.....89
- شکل (15-4) P_{42} بر حسب SNR در زیرحامل.....90
- شکل (16-4) P_{24} بر حسب SNR در زیرحامل.....90
- شکل (17-4) P_{41} بر حسب SNR در زیرحامل.....91
- شکل (18-4) P_{14} بر حسب SNR در زیرحامل.....91
- شکل (19-4) احتمال تقریبی خطای دسته‌بندی در یک زیرحامل.....92
- شکل (20-4) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تئوری برای احتمال خطا تحت فرض 16-QAM.....93
- شکل (21-4) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تئوری برای احتمال خطا تحت فرض 4-QAM.....93
- شکل (22-4) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تئوری برای احتمال خطا تحت فرض BPSK.....94
- شکل (23-4) مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تئوری برای احتمال خطا تحت فرض عدم ارسال.....94

فصل اول

مقدمه

1-1- سیستم OFDM

ارتباطات با نرخ ارسال داده بالا، نه تنها توسط نویز بلکه به وسیله تداخل درون سمبلی¹ (ISI) نیز محدود می‌شوند. در یک کانال چندمسیره، سمبل ارسالی از چندین مسیر انتشار مختلف توسط گیرنده دریافت می‌شود. چنین کانالی باعث ایجاد پراکندگی زمانی شده و طول زمانی سمبل دریافتی را بسط می‌دهد. این امر باعث می‌شود سمبل دریافتی با سمبل‌های دریافتی قبلی هم‌پوشانی پیدا کند، که در نتیجه آن ISI رخ می‌دهد.

به عنوان یک قانون کلی، اگر گستره تأخیر² کانال (τ_{ds}) خیلی کمتر از طول سمبل ارسالی (T_s) باشد، میزان تأثیر ISI ناچیز است. این امر نشان می‌دهد که نرخ ارسال سمبل توسط طول کانال محدود می‌شود. اگر بخواهیم با نرخی بیش از این حد سمبل‌ها را ارسال نماییم باید از روش‌های مقابله با تأثیر ISI مانند جبران‌سازی کانال استفاده کنیم. هرچه نرخ ارسال داده افزایش یابد میزان ISI نیز بیشتر شده و در نتیجه جبران‌سازی کانال پیچیده‌تری مورد نیاز است.

اما روش دیگری برای ارسال داده در کانال چندمسیره وجود دارد که همان استفاده از تکنیک مدولاسیون چندحاملی³ (MCM) می‌باشد. در این روش، سمبل‌های ارسالی با استفاده از چندین فرکانس حامل که به طور همزمان مدوله می‌شوند ارسال می‌گردد. در مدولاسیون چندحاملی، رشته داده با نرخ ارسال بالا به N تا رشته داده با نرخ ارسال پایین‌تر تقسیم می‌شود به گونه‌ای که $NT_s \gg \tau_{ds}$ باشد. سپس، این رشته‌های داده در N تا زیرکانال موازی ارسال می‌گردد. مدولاسیون چندحاملی متعامد⁴ (OFDM) نوع خاصی از مدولاسیون چندحاملی می‌-

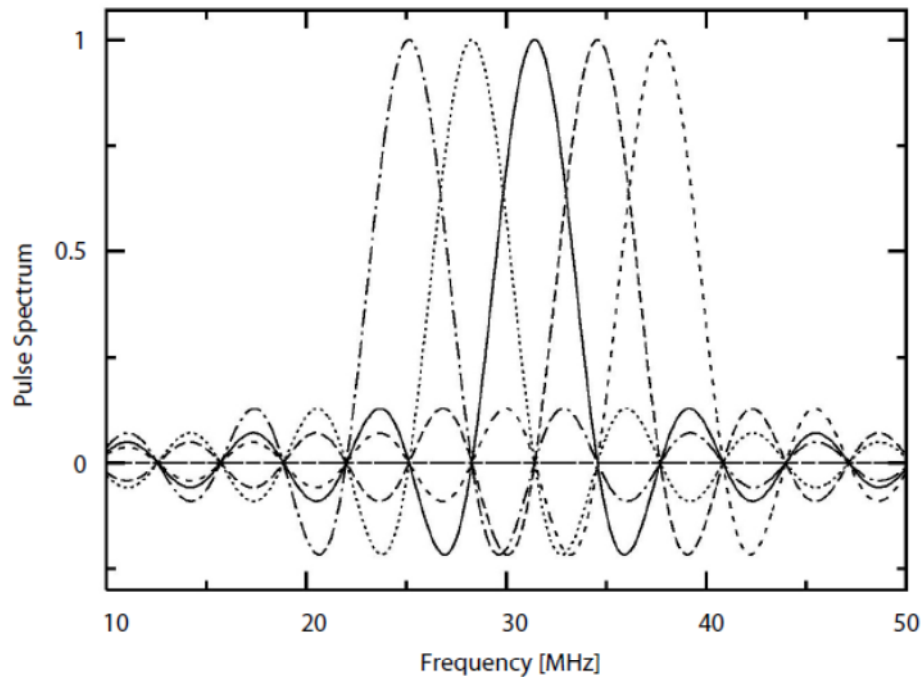
¹ Inter-symbol interference

² Delay spread

³ Multicarrier modulation

⁴ Orthogonal frequency division multiplexing

باشد که در آن زیرحامل‌ها در عین هم‌پوشانی طیف فرکانسی‌شان با یکدیگر، بر یکدیگر عمود هستند. شکل (1-1) چگونگی هم‌پوشانی طیف فرکانسی زیرحامل‌ها را نشان می‌دهد. تعداد زیرحامل‌ها، N ، به گونه‌ای انتخاب می‌شود که پهنای باند هر زیرکانال کوچکتر از پهنای باند هم‌دوسی⁵ (B_c) کانال باشد. در این صورت می‌توان کانال فرکانس‌گزین را به مجموعه‌ای از زیرکانال‌های دارای فیدینگ تخت تبدیل کرد.



شکل (1-1) چگونگی هم‌پوشانی طیف فرکانسی زیرحامل‌ها در تکنیک OFDM [1].

فرض کنید مجموعه $\{S_k\}_{k=0}^{N-1}$ ، سمبل‌های ارسالی باشند که قرار است با استفاده از تکنیک

OFDM ارسال شوند. سیگنال OFDM را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} S_k e^{j2\pi f_k t} = \sum_{k=0}^{N-1} S_k \varphi_k(t) \quad , 0 \leq t \leq T_s \quad (1-1)$$

که $f_k = f_0 + k\Delta f$ و

$$\varphi_k(t) = \begin{cases} e^{j2\pi f_k t} & 0 \leq t \leq T_s \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-1)$$

⁵ Coherence bandwidth

T_s و Δf به ترتیب طول سمبل و فاصله زیرکانال می‌باشند. برای آن که گیرنده بتواند دمدولاسیون را صورت دهد باید $T_s \Delta f = 1$ باشد که این شرط، شرط تعامد نامیده می‌شود. تحت این شرط می‌توان نتیجه گرفت که مجموعه $\{\varphi_k(t)\}_{k=0}^{N-1}$ مجموعه‌ای از توابع متعامد می‌باشد. با استفاده از این خاصیت، می‌توان دمدولاسیون را برای سیگنال OFDM به صورت زیر انجام داد:

$$\frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} s(t) e^{-j2\pi f_k t} dt = \frac{1}{T_s} \int_0^{T_s} \left(\sum_{k=0}^{N-1} S_k \varphi_k(t) \right) \varphi_k^*(t) dt = S_k \quad (3-1)$$

برای پیاده سازی مناسب سیستم OFDM از عکس تبدیل فوریه گسسته (IDFT) و تبدیل فوریه گسسته (DFT) استفاده می‌شود. در قسمت قبل گفته شد که سیگنال OFDM را می‌توان به صورت رابطه (1-1) بیان کرد. اگر از $s(t)$ با بازه نمونه برداری $T_{sa} = \frac{T_s}{N}$ نمونه برداری شود داریم:

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} S_k e^{j2\pi f_k \frac{nT_s}{N}} \quad (4-1)$$

بدون از دست دادن کلیت مسأله، $f_0 = 0$ در نظر می‌گیریم. در این صورت $f_k T_s = k$ شده و رابطه (4-1) به صورت زیر در می‌آید:

$$s_n = \sum_{k=0}^{N-1} S_k e^{j\frac{2\pi kn}{N}} = IDFT\{S_k\} \quad (5-1)$$

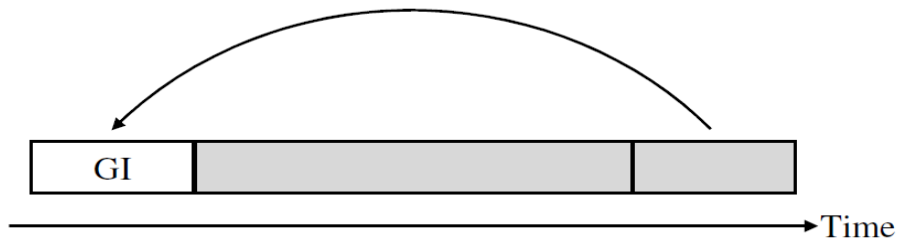
در نتیجه، فرستنده سیستم OFDM را می‌توان با استفاده از IDFT پیاده سازی کرد. به همین صورت، گیرنده را هم می‌توان با استفاده از DFT پیاده سازی نمود. همچنین می‌توان از الگوریتم‌های FFT و IFFT برای پیاده سازی مناسب و با پیچیدگی کم IDFT و DFT استفاده نمود.

در نتیجه، برای تولید سمبل OFDM، روی N تا سمبل ارسالی که از یک منظومه سیگنال مناسب مانند QAM یا PSK انتخاب شده‌اند N -نقطه‌ای صورت می‌گیرد. برای حذف ISI، یک باند زمانی محافظ⁶ نیز به ابتدای هر سمبل OFDM افزوده می‌شود که در قسمت بعد بیش تر توضیح می‌دهیم.

⁶ Guard interval

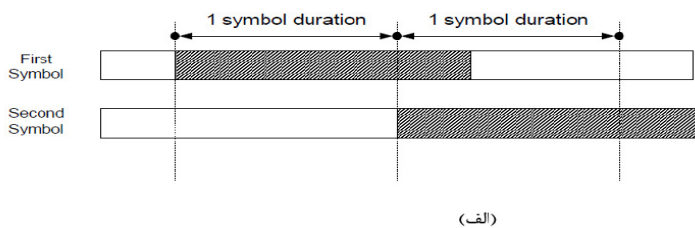
1-1-1- باندهای زمانی محافظ

همان‌طور که در قسمت قبل گفته شد، مزیت مهم OFDM این است که طول سمبل OFDM در مقایسه با سمبل‌های داده بیشتر است. اگر مدت زمان داده نمونه‌برداری شده T و تعداد زیرحامل‌ها N باشد، طول سمبل OFDM برابر $T_s = NT$ خواهد بود. در نتیجه میزان تأثیر ISI کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، برای کاهش بیش‌تر ISI به ابتدای هر سمبل OFDM یک باندهای زمانی محافظ (2-1) اضافه می‌شود. این باندهای زمانی در گیرنده و قبل از اعمال FFT حذف می‌گردد.

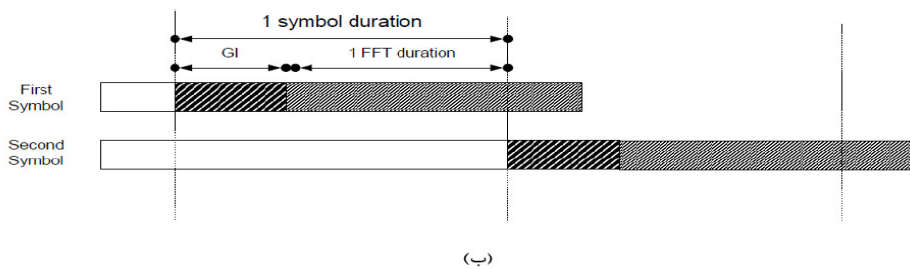


شکل (2-1) باندهای زمانی محافظ [2].

با توجه به شکل زیر می‌توان گفت اگر طول باندهای زمانی محافظ از گستره تأخیر کانال بیش‌تر باشد ISI به طور کامل حذف می‌گردد.



(الف)



(ب)

شکل (3-1) چگونگی حذف ISI با قرار دادن باندهای زمانی محافظ [2].

مؤثرترین روش اضافه کردن باند زمانی محافظ این است که بخشی از انتهای سمبل OFDM به ابتدای همان سمبل اضافه شود. به این روش گسترش تناوبی⁷ و به باند زمانی محافظ در این حالت پیشوند تناوبی⁸ (CP) گویند. استفاده از پیشوند تناوبی با طول مناسب، علاوه بر حذف ISI باعث تبدیل کانولوشن خطی به کانولوشن چرخشی در رابطه بین ورودی و خروجی می-شود [2].

این به آن معنی است که با اضافه کردن پیشوند تناوبی با طول مناسب در فرستنده و حذف آن در گیرنده، رابطه بین سمبل ارسالی قبل از اضافه کردن پیشوند (s) و سمبل دریافتی پس از حذف پیشوند (y) به صورت کانولوشن چرخشی خواهد بود. به عبارت دیگر می توان گفت:

$$y[n] = s[n] \otimes h[n] \quad (6-1)$$

که \otimes نشان دهنده عملگر کانولوشن چرخشی می باشد. اهمیت این مسأله از آنجا ناشی می-شود که اگر از طرفین رابطه بالا DFT بگیریم، در حوزه فرکانس یک ضرب ساده خواهیم داشت:

$$DFT\{y[n]\} = DFT\{s[n]\}.DFT\{h[n]\} \quad (7-1)$$

و یا به طور ساده تر

$$Y[m] = S[m].H[m] \quad m = 0, \dots, N-1 \quad (8-1)$$

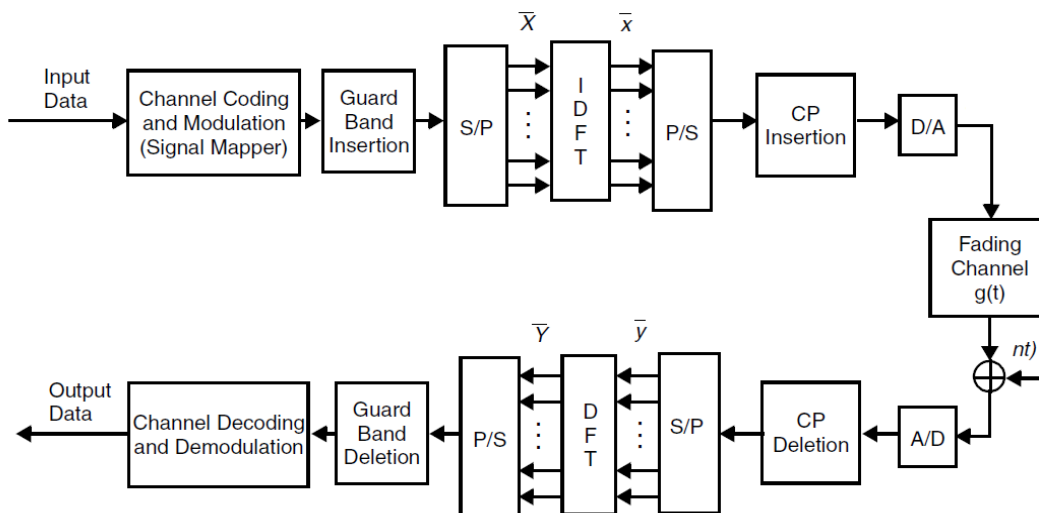
که $H[m]$ پاسخ فرکانسی کانال می باشد. این رابطه نشان می دهد که هر سمبل ورودی $S[m]$ تنها در یک مقدار مختلط $H[m]$ ضرب شده است. پس بازیابی سمبل های ورودی به سادگی و با استفاده از رابطه زیر صورت می گیرد:

$$\hat{S}[m] = \frac{Y[m]}{H[m]} \quad (9-1)$$

شکل (4-1) ساختار سیستم OFDM را نشان می دهد.

⁷ Cyclic extention

⁸ Cyclic prefix



شکل (4-1) ساختار سیستم OFDM.

یکی از خصوصیات مهم تکنیک OFDM انعطاف پذیری آن در تعیین پارامترهای ارسال هر یک از زیرحامل‌ها می‌باشد. در یک سیستم OFDM، لزومی ندارد نوع مدولاسیون تمام زیر-حامل‌ها یکسان باشد و می‌توان نوع مدولاسیون زیرحامل‌ها را بر اساس وضعیت کانال تعیین نمود. در فصل بعد در این باره بحث خواهیم کرد.

2-1- کانال بی‌سیم⁹

در کانال‌های بی‌سیم وضعیت کانال ممکن است در مدت زمان بسیار کوتاهی تغییر کند. این رفتار تصادفی و پیچیده کانال‌های بی‌سیم ارتباط روی چنین کانال‌هایی را سخت و محدودیت‌های اساسی را به سیستم‌های مخابرات سیار اعمال می‌کند. چندین دسته‌بندی متفاوت برای کانال‌های بی‌سیم وجود دارد که یکی از مهم‌ترین آنها بر اساس محیط انتشار می‌باشد. محیط‌های انتشار مختلفی مانند شهری¹⁰، حومه‌شهر¹¹، داخلی¹² و زیر آب¹³ شناسایی شده‌اند که با هم تفاوت‌های اساسی دارند.

⁹ Wireless channel

¹⁰ urban

¹¹ suburban

¹² indoor

¹³ underwater

یک مدل مناسب برای کانال رادیویی بستگی بسیار زیادی به کاربرد موردنظر و محیط انتشار دارد. برای کاربردهای مختلفی مانند سیستم مخابرات سیار سلولی، شبکه بی سیم شهری و شبکه بی سیم محلی مدل های متفاوتی ارائه شده است. اما به طور کلی می توان مشخصه های انتشار کانال رادیویی را به وسیله سه پدیده مستقل توصیف کرد: تضعیف مسیر¹⁴، سایه سازی¹⁵ و فیدینگ چندمسیره¹⁶ [3]. تضعیف مسیر پدیده ای غیر آماری بوده و به فاصله بین فرستنده و گیرنده بستگی دارد. اما سایه سازی و فیدینگ چندمسیره پدیده های تصادفی می باشند. در ادامه فیدینگ چندمسیره را توضیح می دهیم.

1-2-1- فیدینگ چندمسیره

در یک محیط انتشار رادیویی، امواجی که به آنتن گیرنده می رسند دارای دامنه و فاز تصادفی و همچنین جهت های مختلف می باشند. همچنین به علت تفاوت طول مسیرهای مختلف این امواج با تأخیرهای مختلفی نسبت به سیگنال اصلی به گیرنده می رسند. از آنجا که طول موج نسبتاً کوتاه است، تغییرات کمی در مکان فرستنده، گیرنده و اجسام موجود در محیط تغییرات زیادی را در فاز این امواج ایجاد می کند. در نتیجه، مجموع امواج صفحه ای که به آنتن گیرنده می رسند می توانند همدیگر را تقویت نموده و یا برعکس اثر یکدیگر را کم کنند. این امر موجب می شود دامنه سیگنال دریافتی تغییرات زیادی داشته باشد. شکل (1-1) انتشار چندمسیره را نشان می دهد.

فیدینگ چندمسیره کانالی را نتیجه می دهد که در هر دو حوزه زمان و فرکانس پراکندگی ایجاد می کند. پراکندگی در حوزه زمان به این علت ایجاد می شود که مؤلفه های چندمسیره به دلیل تفاوت در طول مسیرهای مختلف با تأخیرهای مختلفی به آنتن گیرنده می رسند. پراکندگی زمانی کانال توسط پارامتر گستره تأخیر که آن را با τ_{ds} نشان می دهیم توصیف می شود. از آنجا که پراکندگی زمانی کانال باعث ایجاد تداخل درون سمبلی (ISI) می گردد، گستره تأخیر کانال بی سیم از پارامترهای مهم در طراحی سیستم مخابرات سیار می باشد.

¹⁴ Path loss

¹⁵ shadowing

¹⁶ Multipath fading