بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه شاهد

دانشکده فنی و مهندسی

پایان نامه کارشناسی ارشد
رشته مخابرات گرایش سیستم

عنوان پایان نامه :

مدولاسیون و کدینگ تطبیقی در سیستمهای مبتنی بر OFDM

استاد راهنما:

دکتر غلامرضا دادش زاده

نگارش:

یعقوب تقی نیا حاجیکلایی

دی - ۱۳۸۸

تقدیم به همسر عزیزم که همواره حامی من بود.

تقدیم به پدر و مادر گرامی ام که همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده اند.

از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر داداش زاده، در راستای انجام این پروژه کمال تشکر را دارم.

هم چنین از زحمات جناب مهندس اسرافیل جداری و مهندس علیرضا عنایتی که در مراحل مختلف پروژه با اینجانب همفکری و همیاری نموده اند، تشکر و قدردانی می نمایم.

تقدیم به همسر عزیزم که همواره حامی من بود.

تقدیم به پدر و مادر گرامی ام که همواره مشوق و پشتیبان اینجانب بوده اند.

از زحمات بی‌دریغ، تلاش‌های بی‌وقفه و راهنمایی‌های ارزشمند استاد گرامی جناب آقای دکتر داداش زاده، در راستای انجام این پروژه کمال تشکر را دارم.

کلیه حقوق این پایان نامه متعلق به دانشگاه شاهد می باشد.

دانشگاه شاهد

دانشکده فنی و مهندسی

صورت جلسه هیئت داوران رساله کارشناسی ارشد

جلسه دفاعیه پروژه کارشناسی ارشد مربوط به آقای **یعقوب تقی نیا حاجی کلائی** به شماره دانشجویی**۸۵۷۵۱۵۰۰۲** در رشته **مخابرات** با عنوان "**مدولاسیون و کدینگ تطبیقی در سیستمهای مبتنی بر OFDM**" به ارزش **۶ واحد** در روز ۸۸/۱۰/۳۰ ، در دانشکده فنی و مهندسی با حضور افراد ذیل تشکیل شد، نتیجه به قرار زیر است :

☑ پروژه نامبرده با نمره ۱۷ قابل قبول می‌باشد.

☐ پروژه نامبرده مردود می‌باشد.

☐ پروژه نامبرده به شرط انجام اصلاحات جزیی قابل قبول می‌باشد. نمرهٔ دانشجو متعاقباً اعلام می‌شود.

☐ نام استاد راهنمای اول علیرضا دانش‌زاده دانشگاه : شاهد امضاء

☐ نام استاد راهنمای دوم — دانشگاه : — امضاء

☐ نام استاد مشاور اول — دانشگاه : — امضاء

☐ نام استاد مشاور دوم — دانشگاه : — امضاء

☐ نام داور اول فرید آشتیانی دانشگاه : صنعتی شریف امضاء

☐ نام داور دوم سروش اخلاقی دانشگاه : شاهد امضاء

☐ نام داور سوم — دانشگاه : — امضاء

☐ نام داور چهارم — دانشگاه : — امضاء

☐ نام نماینده معاونت پژوهشی حمیدرضا بخشی امضاء

چکیده

مهمترین محدودیت برای سیستم‌های بی‌سیم خاصیت محوشدگی کانال در حوزه زمان و فرکانس می‌باشد. در اینگونه کانال‌ها بدلیل نوسانات شدید در نسبت سیگنال به نویز، در حوزه زمان و فرکانس، ارسال و دریافت در مد ثابت دارای عملکرد مطلوبی نمی باشد. بدلیل مشکلات بیان شده در بالا باید به دنبال راه حلی برای ارسال و دریافت سیگنال با مد متغیر با زمان باشیم.

جهت رفع مشکل تغییرات شدید کانال در حوزه زمان و فرکانس می توانیم از سیستم OFDM استفاده کنیم چرا که در این سیستم کانالی با تغییرات شدید به چندین زیرکانال هموار که عمود بر یکدیگر می باشند، تقسیم می‌شود. ضمناً در هر یک از این زیرکانال‌ها ما می‌توانیم از نرخ‌های سیگنال متفاوتی استفاده کنیم. سیستم OFDM دارای تداخل بین‌سمبلی برابر با صفر است که می‌توان در زیرحامل‌های آن از کدینگ و مدولاسیون به صورت تطبیقی استفاده کرد.

سیستم‌های بی‌سیم جهت تطبیق با شرایط کانال و فراهم کردن سرویس‌هایی با نرخ ارسال متفاوت نیاز به نرخ ارسال تطبیقی دارند که می توان بوسیله مدولاسیون تطبیقی این نیازها را برآورده کرد، بدین صورت که زمانی که شرایط کانال مساعد است از مدولاسیون‌های مرتبه بالاتر و با نرخ کد کمتر استفاده کرد و در شرایط بد کانال از مدولاسیون‌های مرتبه پایین و نرخ کد بالاتر برای مقابله با خطا استفاده کرد.

در این سمینار به بررسی تکنیک OFDM و معایب و مزایای آن می‌پردازیم. سپس به بررسی استانداردهای مختلفی که از این تکنیک استفاده می‌کنند، می‌پردازیم. همانطور که در بالا ذکر شد، ما می‌توانیم در زیرحامل‌های یک سیستم OFDM پارامترهای سیگنال ارسالی را به صورت تطبیقی تغییر دهیم. بنابراین در فصل دوم ما به بررسی انواع مختلف کدینگ و مدولاسیون که می‌توان در زیرحامل‌های یک سیستم OFDM به صورت تطبیقی استفاده کرد، می‌پردازیم.

فهرست مطالب

فصل اول مقدمه و ساختار پایان نامه

۱-۱ مقدمه ۲
۱-۲ ساختار پایان نامه ۹

فصل دوم بررسی تکنیک OFDM به همراه نحوه بکارگیری کدینگ توربو

۲-۱ بررسی تکنیک OFDM ۱۵
۲-۲ مزایای سیستم OFDM ۱۶
۲-۲-۱ مقایسه سیستم OFDM با سیستم دارای یک حامل ۱۶
۲-۲-۲ ارسال داده بدون تداخل بین سمبل و تداخل بین حاملی ۱۸
۲-۳ استاندارد IEEE۸۰۲-۱۱a ۲۱
۲-۴ مروری بر کدینگ‌های مختلف کانال ۲۴
۲-۵ بررسی کدینگ توربو ۲۶
۲-۵-۱ کدنگاری و کدگشایی توربو........ ۲۶
۲-۵-۲ الگوریتم‌های کدگشایی کد توربو........ ۲۸

فصل سوم تکنیک‌های مدولاسیون و کدینگ وفقی و توصیف روش پیشنهادی

۳-۱مقدمه ای بر استفاده از مدولاسیون وفقی ۳۴
۳-۲ توصیف سیستم دارای مدولاسیون وفقی ۳۶
۳-۳ مدولاسیون و کدینگ وفقی ۳۸
۳-۴ پارامترهای موثر در انجام ارسال وفقی ۴۰
۳-۵ مدولاسیون وفقی زیرحامل‌ها ۴۳
۳-۶ استانداردهای OFDM مبتنی بر مدولاسیون وفقی........ ۴۵
۳-۷ بررسی کدینگ در سیستم مبتنی بر OFDM ۴۶
۳-۸ تصحیح خطای وفقی همراه با مدولاسیون وفقی و کاربرد آن در سیستم‌های مبتنی بر OFDM ۴۹
۳-۹ رابطه پیشنهادی برای خطای سیستم OFDM/SDMA با کدینگ توربو ۵۱

۳-۱۰ مدل سیستم ۵۲
۳-۱۰-۱ الگوریتم‌های آشکارسازی چند کاربره ۵۴
۳-۱۰-۲ روش حذف سری تداخل در سیستم OFDM/SDMA ۵۴
۳-۱۱ نتایج شبیه‌سازی ۵۵

فصل چهارم بهبود عملکرد سیستم OFDM/SDMA با استفاده از روش تخمین کانال پیشنهادی

۴-۱ بررسی روش‌های تخمین کانال و بیان روش تخمین کانال پیشنهادی ۵۸
۴-۱-۱ مشخصه‌های تاخیر زمانی کانال گسسته زمان ۵۸
۴-۱-۲ بررسی روش‌های مختلف تخمین کانال ۵۹
۴-۱-۳ تخمین کانال پیشنهاد شده برای سیستم OFDM در حالت فراسو ۶۰
۴-۱-۳-۱ تخمین کانال بوسیله درونیابی و برونیابی ۶۱
۴-۱-۳-۲ تخمین کانال به روش سهیم کردن سیگنال‌های راهنما ۶۲
۴-۲ نتایج شبیه‌سازی ۶۳
۴-۲-۱ بررسی عملکرد سیستم در حالت تخمین کانال بوسیله درونیابی و برونیابی ۶۴
۴-۲-۲ بررسی عملکرد سیستم در حالت تخمین کانال بوسیله سهیم کردن زیرحامل‌ها........................ ۶۸

فصل پنجم نتایج و پیشنهادات

۵-۱ نتایج ۷۱
۵-۲ پیشنهادات ۷۲

فهرست اشکال

شکل ۲-۱ ساختار فرستنده و گیرنده در سیستم OFDM ۱۶
شکل۲-۲ مقایسه بین سیگنال ارسالی و دریافتی در حالت OFDM و تک‌حامل ۱۷
شکل ۲-۳ تداخل بین حاملی در صورت داشتن آفست فرکانسی در دمدولاسیون داده‌ها ۱۹
شکل۲-۴ فرمت فریم PLCP ۲۱
شکل ۲-۵ ترتیب قرار گرفتن زیرحامل‌های راهنما در کنار داده‌ها ۲۳
شکل ۲-۶ بلوک کدنگار توربو در دو حالت سریال و موازی ۲۶
شکل ۲-۷ بلوک کدگشای توربو در دو حالت سریال و موازی ۲۸
شکل ۲-۸ بلوک کدگشای SISO ۳۰
شکل ۲-۹ بلوک عملکرد کدگشای توربو ۳۰
شکل ۳-۱ مدل سیستمی دارای مدولاسیون وفقی.. ۳۷
شکل ۳-۲ انتخاب نوع مدولاسیون در AQAM برای سیگنال QAM با چهار نوع مختلف منظومه....................۳۸
شکل ۳-۳ مدولاسیون وفقی برای مقدار نرخ خطای بیت معین ۳۹
شکل ۳-۴ مراحل مختلف انجام ارسال تطبیقی ۴۱
شکل ۳-۵ روش‌های مختلف سیگنالینگ در سیستم‌های با مدولاسیون وفقی ۴۲
شکل ۳-۶ حالت‌های مختلف استفاده از بلوک FEC در سیستم مبتنی بر OFDM ۵۰
شکل ۳-۷ بلوک دیاگرام مربوط به یک سیستم OFDM/SDMA ۵۳
شکل ۳-۸ نمودارهای بدست آمده از راه شبیه سازی و از روش فرمول تقریبی برای BER در حالت دو کاربره در کانال LOS برای سیستم OFDM/SDMA با چهار تکرار در کدگشا ۵۵
شکل ۴-۱ تخمین کانال توسط سیگنال‌های راهنما ۶۲
شکل ۴-۲ مقادیر BER برای حالت تک کاربره در کانال NLOS برای مدولاسیون‌های مختلف ۶۶
شکل ۴-۳ BER در حالت تک کاربره و در حالت NLOS، برای تخمین‌های مختلف کانال بوسیله درونیابی و برونیابی ..۶۷
شکل ۴-۴ نمودار BER, تخمین کانال در حالت دو کاربره و آشکارساز MMSE-SIC, مدولاسیون QPSK برای ۴= M_t.....۶۸
شکل ۴-۵ نمودار BER, تخمین کانال در حالت دو کاربره و آشکارساز MMSE-SIC, مدولاسیون QPSK برای ۵= M_t.....۶۹

فهرست جداول

جدول ۲-۱ مشخصات زمانی سمبل OFDM ۲۲
جدول۲-۲ پارامترهای مؤثر در نرخ داده، استاندارد IEEE۸۰۲-۱۱a ۲۴
جدول ۳-۱ اندازه ضرایب (A_i , a_i) برای رابطه احتمال خطای لحظه‌ای در حالت خاص ۳۵
جدول ۳- ۲ کدهای مورد استفاده در سیستم‌های مبتنی بر OFDM به صورت اجباری و اختیاری ۴۸
جدول ۳-۳ ضرایب a, b بدست آمده برای BER در حالت دو کاربره، در حالت LOS و چهار تکرار در کدگشا و سطوح آستانه بدست آمده برای BER=$۱۰^{-۵}$ ۵۶
جدول ۴-۱ ضرایب a و b برای حالت تک کاربره در کانال NLOS برای مدولاسیون‌های مختلف ۶۷

فهرست مطالب

۱-بررسی تکنیک OFDM و سیستم های مبتنی بر آن ۱
۱-۱ بررسی تکنیک OFDM ۳
۲-۱ مزایای سیستم OFDM ۵
۱-۲-۱ مقایسه سیستم OFDM با سیستم دارای یک حامل ۵
۲-۲-۱ ارسال داده بدون تداخل بین سمبل و تداخل بین حاملی ۷
۳-۱ استاندارد IEEE ۸۰۲-۱۱-۱۹۹۷ .... ۹
۱-۳-۱ استاندارد IEEE ۸۰۲-۱۱a ۱۱
۲-۳-۱ استاندارد IEEE ۸۰۲-۱۱b ۱۴
۳-۳-۱ استاندارد IEEE ۸۰۲-۱۱j ۱۴
۴-۳-۱ استاندارد IEEE ۸۰۲-۱۱n ۱۵
۲- مفهوم نرخ ارسال تطبیقی و روش های مختلف رسیدن به آن ۱۶
۱-۲ بررسی انواع کدینگ کانال ۱۹
۱-۱-۲ بررسی عملکرد TCM ۲۱
۲-۱-۲ مدولاسیون کدشده همراه با درهم نهی بیت (BICM) ۲۸
۳-۱-۲ مدولاسیون کدشده همراه با درهم نهی و کدگشایی تکراری (BICM-ID) ۲۶
۴-۱-۲ مروری بر کدهای LDPC ۲۹
۵-۱-۲ بررسی کدینگ توربو ۳۰
۱-۵-۱-۲ کدنگاری و کدگشایی توربو ۳۰
۲-۵-۱-۲ الگوریتم کدگشایی کد توربو ۳۲
۲-۲ مفهوم ارسال تطبیقی و خلاصه‌ای از مقالات ارائه شده راجع به این موضوع ۳۵
۱-۲-۲ مقدمه ای بر استفاده از مدولاسیون وفقی ۳۹
۱-۱-۲-۲ توصیف سیستم دارای مدولاسیون وفقی ۴۲
۲-۱-۲-۲ مدولاسیون تطبیقی زیرحامل‌ها ۴۳
۳-۱-۲-۲ استانداردهای OFDM مبتنی بر مدولاسیون وفقی ۴۶
۲-۲-۲ بررسی کدینگ در سیستم مبتنی بر OFDM ۴۷
۳-۲-۲ کدنگاری تصحیح خطای وفقی همراه با مدولاسیون وفقی و کاربرد آن در سیستم‌های مبتنی بر OFDM ۵۱
۳- نتایج و پیشنهادات ۵۲

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ ساختار فرستنده و گیرنده در سیستم OFDM ۵
شکل ۱-۲ مقایسه بین سیگنال ارسالی و دریافتی در حالت OFDM و تک‌حامل ۶
شکل ۱-۳ تداخل بین حاملی در صورت داشتن آفست فرکانسی در دمدولاسیون داده‌ها ۸
شکل ۱-۴ فرمت PPDU برای حالت FHHS ۱۰
شکل ۱-۵ فرمت PPDU برای حالت DSSS ۱۰
شکل ۱-۶ فرمت فریم PLCP. ۱۱
شکل ۱-۷ ترتیب قرار گرفتن زیرحامل‌های راهنما در کنار داده‌ها ۱۲
شکل ۲-۱ شبکه یک بعدی ۲۱
شکل ۲-۲ شبکه دو بعدی ۲۱
شکل ۲-۳ شبکه دو بعدی Rz^2 ..... ۲۲
شکل ۲-۴ هم مجموعه Rz^2 ..... ۲۲
شکل ۲-۵ مجزا سازی هم مجموعه‌های مدولاسیون 8PSK ۲۳
شکل ۲-۶ کد کننده TCM در حالت کلی ۲۴
شکل ۲-۷ انواع مختلف TCM با کدینگ‌ها و مدولاسیون‌های متفاوت ۲۵
شکل ۲-۸ بلوک فرستنده و گیرنده برای کد BICM ۲۶
شکل ۲-۹ بلوک کد کانولوشن Paaske همراه با درهم نهی بیت و مدوله کننده به عنوان اجزای BICM ۲۷
شکل ۲-۱۰ بلوک کدنگار توربو در دو حالت سریال و موازی ۳۰
شکل ۲-۱۱ بلوک کدگشای توربو در دو حالت سریال و موازی ۳۲
شکل ۲-۱۲ بلوک کدگشای SISO ۳۴
شکل ۲-۱۳ بلوک عملکرد کدگشای توربو ۳۴
شکل ۲-۱۴ انتخاب نوع مدولاسیون در AQAM برای سیگنال QAM با چهار نوع مختلف منظومه ۳۶
شکل ۲-۱۵ مراحل مختلف انجام ارسال وفقی ۳۷
شکل ۲-۱۶ مدل سیستم دارای مدولاسیون وفقی ۴۲
شکل ۲-۱۷ روش‌های مختلف سیگنالینگ در سیستم‌های با مدولاسیون وفقی ۴۴
شکل ۲-۱۸ حالت‌های مختلف استفاده از بلوک FEC در سیستم مبتنی بر OFDM ۴۹

فهرست جداول

جدول ۱-۱ مشخصات زمانی سمبل OFDM ۱۲
جدول ۱-۲ پارامترهای مؤثر در نرخ داده، استاندارد IEEE ۸۰۲-۱۱a ۱۳
جدول ۲-۱ اندازه ضرایب (A_i , a_i) برای رابطه احتمال خطای لحظه‌ای در حالت خاص ۴۰
جدول ۲-۲ کدهای مورد استفاده در سیستم‌های مبتنی بر OFDM به صورت اجباری و اختیاری ۴۸

فصل اول

مقدمه و ساختار پایان نامه

۱-۱ مقدمه

در سال‌های اخیر مفهوم فرستندگی و گیرندگی چند حالته در سیستم بی‌سیم مورد بررسی قرار گرفته است [۶-۱]. در مقاله [۷] به مرور کلی و خلاصه‌ای از راه حل‌های ممکن و دارای کاربرد برای سیستم‌های استاندارد پرداخته است. مهمترین محدودیت برای سیستم‌های بی‌سیم خاصیت محوشدگی کانال در حوزه زمان و فرکانس می‌باشد. در اینگونه کانال‌ها بدلیل نوسانات شدید SNR[۱] در حوزه زمان و فرکانس، ارسال و دریافت در مد ثابت دارای عملکرد مطلوبی نمی‌باشد. بدلیل مشکلات بیان شده در بالا باید به دنبال راه حلی برای ارسال و دریافت سیگنال با مد متغیر با زمان باشیم و به دنبال روشی برای غلبه بر مشکل محوشوندگی کانال باشیم.

یکی از روش‌ها برای حل مشکل محو شوندگی کانال، استفاده از تکنیک OFDM[۲] است، زیرا ما می‌توانیم به وسیله این سیستم بر شرایط محوشوندگی کانال غلبه کرده و همچنین به نرخ داده بالایی دست پیدا کنیم. تکنیک OFDM مدولاسیونی با چندین زیرحامل می‌باشد که در کانال مخابراتی بی‌سیم دارای نرخ ارسال داده بالایی می‌باشد. این نوع مدولاسیون کانال فرکانس انتخابی با پهنای باند وسیع را به چندین زیرکانال هموار و بدون تداخل دسته‌بندی می‌کند. هر کدام از زیر حامل‌ها بر روی زیر کانال مجزا ارسال می‌شوند. به گونه‌ای معادل در حوزه زمان یک داده با نرخ بالا به چندین زیر داده با نرخ پایین تبدیل می‌شود که به طور موازی ارسال می‌شوند.

---

[۱] Signal to Noise Ratio (SNR)

[۲] Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

دلیل اینکه مدولاسیون OFDM برای ارسال داده با نرخ بالا مناسب می‌باشد، این است که برای ارسال داده با نرخ بالا معمولاً پریود نمونه‌برداری خیلی کوچکتر از گسترش تاخیر کانال می‌باشد، که این موضوع باعث تداخل شدید در بین سمبل‌ها می‌گردد، در حالیکه در سیستم OFDM با ارسال همزمان چندین سمبل با نرخ کم، پریود نمونه برداری خیلی بزرگتر از گسترش تاخیر کانال می‌گردد. بنابراین این سیستم دارای تداخل بین‌سمبلی خیلی کمی می‌باشد. موارد استفاده پیشین OFDM در DAB[۱], DVB[۲] بوده است. امروزه بسیاری از استانداردهای بی‌سیم با نرخ ارسال داده بالا از OFDM استفاده می‌کنند. در اینجا به بعضی از این استانداردها اشاره می‌کنیم:

- WLAN[۳]: مانند IEEE ۸۰۲-۱۱a و ۸۰۲-۱۱n در آمریکا و HIPERLAN در اروپا
- IEEE ۸۰۲-۱۶ که در WIMAX ثابت و موبایل استفاده می‌شود.
- OFDM در سیستم‌های سیمی نیز کاربرد دارد که با عبارت DMT[۴] شناخته می‌شود. در سیستم‌های سیمی این تکنیک دارای نرخ ارسال داده بالایی می‌باشد به عنوان مثال ۱/۵۳۶ Mbps در ADSL[۵] و ۱/۶ Mbps در HDSL[۶] و ۱۰۰ Mbps در VDSL[۷] [۸-۹].

همانطور که گفتیم، تکنیک OFDM در سیستم‌هایی با پهنای باند وسیع استفاده می‌شود. ظرفیت کانال برابر است با بیشینه نرخ ارسال اطلاعات برای حالتی که دارای خطای کمی باشیم [۱۰]. در حالت نویز AWGN[۸] اگر SNR نسبت سیگنال به نویز دریافتی باشد و W برابر با پهنای باند سیگنال ارسالی باشد از مقاله معروف شانون [۱۱] مقدار ظرفیت کانال برابر است با :

---

[۱] Digital Audio Broadcasting (DAB)
[۲] Digital Video Broadcasting (DVB)
[۳] Wireless Local Area Network (WLAN)
[۴] Discrete Multi Tone (DMT)
[۵] Asymmetric Digital Subcarrier Line (ADSL)
[۶] High-Speed DSL (HDSL)
[۷] Very High-speed DSL (VDSL)
[۸] Additive White Gaussian Noise (AWGN)

$$C_{AWGN} = W\, log_{۲}(۱ + SNR) \quad bits/s \tag{۱-۱}$$

بنابراین ظرفیت سیستم رابطه مستقیمی با پهنای باند دارد. علاوه براین با افزایش پهنای باند دایورسیتی فرکانسی نیز افزایش می‌یابد. در کانال با پهنای باند وسیع سیگنال ارسالی بدلیل اشیا و اجسام موجود در مسیر دچار پدیده‌های انعکاس انکسار و پراکندگی می‌شود. سیگنال ارسالی در طی چندین سمبل زمانی به گیرنده می‌رسد [۱۰]. در حوزه فرکانس، محوشونگی کانال هموار[۱] نمی‌باشد و کانال ما از نوع فرکانس انتخابی[۲] می‌باشد. در اینجا ما می‌توانیم با توجه به چندگانگی فرکانسی بزرگ کانال با پهنای باند وسیع و تکنیک OFDM نرخ داده را افزایش دهیم.

کانال‌های مخابراتی بی‌سیم به طور معمول متغیر با زمان می‌باشند، بنابراین سیستم‌هایی که دارای ارسال با مد ثابت می‌باشند دارای خطای پیوسته می‌باشند. زمانی که کانال دارای محوشوندگی بزرگی است، BER دارای مقداری بسیار بزرگ می‌باشد. حتی برای مدولاسیون‌های با اندازه منظومه کوچک مانند BPSK که در شرایط یکسان دارای نرخ خطای کمتری نسبت به QPSK و ۱۶QAM می‌باشند، ممکن است مقدار خطا بسیار بزرگ و غیر معقول باشد. برای رفع این مشکل راه‌حل‌های متفاوتی وجود دارد ما می‌توانیم مقدار توان فرستنده را تغییر دهیم تا شرایط بد کانال را جبران کند و یا اینکه با توجه به شرایط کانال در هر حالت یکی از انواع مدولاسیون‌ها را به صورت وفقی استفاده کنیم. ولی همانطور که مشخص است در یک سیستم ما نمی‌توانیم توان را از یک اندازه معین بالاتر ببریم، بنابراین ما به بررسی مدولاسیون وفقی برای بهبود عملکرد سیستم می‌پردازیم.

با توجه به مطالب گفته شده در بالا در مجموع ما سعی داریم، با توجه به شرایط کانال بهترین نوع مدولاسیون را انتخاب کنیم، بدین صورت که زمانی که شرایط کانال مساعد است، مدولاسیونی که بیشترین میزان بیت را در زمان یک سمبل دارد، استفاده می‌کنیم تا گذردهی کانال را افزایش دهیم و زمانی که شرایط کانال نامساعد است مدولاسیونی که کمترین میزان بیت را در یک سمبل دارد، ارسال می‌کنیم تا احتمال خطا را کاهش دهیم و به یک میزان BER معینی برسیم. بنابراین در

---

[۱] Flat Fading

[۲] Frequency selective fading channel