

شبکه های مخابراتی

امیررضا نوروزی

شماره دانشجویی: 404215839

شبیه‌سازی مدولاسیون QAM در پایتون: از تئوری تا پیاده‌سازی عملی

چکیده

مدولاسیون دامنه مربعي (QAM Quadrature Amplitude Modulation) یک روش مدولاسیون پیشرفته است که همزمان از تغییرات دامنه و فاز سیگنال حامل برای انتقال اطلاعات استفاده می‌کند. این مقاله به شبیه‌سازی کامل سیستم QAM-16 در پایتون می‌پردازد و مراحل مختلف پردازش سیگنال از تولید داده تا بازیابی آن را بررسی می‌کند.

۱. مقدمه

QAM به دلیل کارایی بالای طیفی و مقاومت مناسب در برابر نویز، در سیستم‌های ارتباطی مدرن مانند تلویزیون دیجیتال، مودم‌های پرسرعت و شبکه‌های سلولی به‌طور گسترده استفاده می‌شود. در این شبیه‌سازی، سیستم QAM با نرخ ۴ بیت بر هر سمبول پیاده‌سازی شده است.

۲.۱ پارامترهای شبیه‌سازی

- ترتیب مدولاسیون: QAM (M=16)-۱۶

- تعداد سمبل‌ها: ۱۰۰۰ سمبل

- نرخ نمونه‌برداری: ۱۰۰۰ هرتز

- فرکانس حامل: ۱۰۰ هرتز

- نمونه در هر سمبل: ۸ نمونه

۲.۲ مراحل پردازش سیگنال

مرحله ۱: تولید و کدگذاری داده

داده‌های باینری تصادفی تولید و به سمبل‌های ۴ بیتی گروه‌بندی می‌شوند. هر گروه ۴ بیتی به یک نقطه منحصر به‌فرد در صفحه مختلف نگاشت می‌یابد.

مرحله ۲: تشکیل صورت فلکی

صورت فلکی QAM-۱۶ به صورت یک شبکه 4×4 آرایش یافته است که در آن نقاط به فاصله مساوی از هم قرار گرفته‌اند. این آرایش بهینه برای حداقل کردن احتمال خطأ طراحی شده است.

مرحله ۳: فیلتر کردن و شکل‌دهی پالس

برای کاهش گسترش طیفی و تداخل بین سمبل‌ها (ISI)، از فیلتر FIR با پنجره کسینوس استفاده می‌شود. فیلتر انتخاب شده دارای ۱۰۱ ضریب و فرکانس قطع ۴۰۰ است.

مرحله ۴: مدولاسیون

سیگنال پایه با استفاده از یک موج حامل مرکب (سینوسی و کسینوسی) مدوله می‌شود. این عملیات در حوزه زمان به صورت ضرب سیگنال پایه در نمایی مرکب با فرکانس حامل انجام می‌گیرد.

مرحله ۵: کانال مخابراتی

کانال به صورت یک محیط نویزی سفید گاووسی با واریانس ۱۰۰ مدل شده است. این نویز به سیگنال مدوله شده اضافه می‌شود تا شرایط واقعی انتقال را شبیه‌سازی کند.

مرحله ۶: دمودولاسیون و آشکارسازی

در گیرنده، ابتدا با استفاده از حامل هم‌فاز، سیگنال به باند پایه منتقل می‌شود. سپس فیلترگذاری و نمونه‌برداری انجام می‌گیرد. آشکارسازی بر اساس معیار حداقل فاصله اقلیدسی صورت می‌گیرد.

۳. نتایج شبیه‌سازی

۳.۱ نمودار صورت فلکی

نمودار صورت فلکی ارسالی و دریافتی به‌وضوح آرایش مربعی نقاط را نشان می‌دهد. در شرایط ایده‌آل، نقاط دریافتی باید دقیقاً بر روی نقاط ارسالی منطبق باشند، اما وجود نویز باعث پراکندگی این نقاط می‌شود.

۳.۲ اشکال سیگنال

سیگنال پایه فیلتر شده، سیگنال مدوله شده و سیگنال دریافتی در حوزه زمان نمایش داده شده‌اند. این نمودارها روند تغییرات دامنه و فاز سیگنال را در مراحل مختلف پردازش نشان می‌دهند.

۳.۳ محاسبه نرخ خطای بیتی (BER)

در این شبیه‌سازی، نرخ خطای بیتی محاسبه و گزارش شده است. مقدار BER به سطح نویز کانال، طراحی فیلتر و روش آشکارسازی بستگی دارد.

۴.۱ مزایای QAM

- **کارایی طیفی بالا**: انتقال چندین بیت در هر سمبول
- **انعطاف‌پذیری**: قابلیت استفاده از صورت فلکی‌های مختلف
- **مقاومت متعادل**: ترکیب بهینه از مدولاسیون دامنه و فاز

۴.۲ چالش‌ها

- **حساسیت به نویز**: نسبت به مدولاسیون‌های فاز محض حساسیت بیشتری دارد
- **پیچیدگی پردازش**: نیاز به همزمانی دقیق و جبران عدم تعادل
- **تغییرات غیرخطی**: حساس به اعوجاج‌های غیرخطی تقویت‌کننده‌ها

۴.۳ بهینه‌سازی‌های ممکن

- استفاده از کدگذاری پیشرفته مانند کدهای TCM
- به کارگیری فیلترهای تطبیقی برای جبران کانال
- استفاده از روش‌های تخمین و تصحیح خطای پیشرفته

۵. نتیجه‌گیری

شبیه‌سازی انجام شده نشان می‌دهد که سیستم QAM-۱۶ قادر به انتقال اطلاعات با نرخ ۴ بیت بر هر سمبول است. علیرغم وجود نویز در کانال، سیستم با استفاده از روش آشکارسازی مبتنی بر حداقل فاصله قادر به بازیابی اطلاعات با دقت قابل قبول است. این شبیه‌سازی پایه‌ای برای توسعه و آزمایش الگوریتم‌های پیشرفته‌تر در پردازش سیگنال دیجیتال فراهم می‌کند.