

شبکه های مخابراتی

امیررضا نوروزی

شماره دانشجویی: 404215839

شبیه سازی مدولاسیون QAM در پایتون: از تئوری تا پیاده سازی عملی

چکیده

مدولاسیون دامنه مربعی (QAM یا Quadrature Amplitude Modulation) یک روش مدولاسیون پیشرفته است که همزمان از تغییرات دامنه و فاز سیگنال حامل برای انتقال اطلاعات استفاده می کند. این مقاله به شبیه سازی کامل سیستم ۱۶-QAM در پایتون می پردازد و مراحل مختلف پردازش سیگنال از تولید داده تا بازیابی آن را بررسی می کند.

۱. مقدمه

QAM به دلیل کارایی بالای طیفی و مقاومت مناسب در برابر نویز، در سیستم های ارتباطی مدرن مانند تلویزیون دیجیتال، مودم های پرسرعت و شبکه های سلولی به طور گسترده استفاده می شود. در این شبیه سازی، سیستم ۱۶-QAM با نرخ ۴ بیت بر هر سمبل پیاده سازی شده است.

۲.۱ پارامترهای شبیه‌سازی

- **ترتیب مدولاسیون** ۱۶-QAM (M=16)

- **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 به فرد در صفحه مختلط نگاشت می‌یابد.

مرحله ۲: تشکیل صورت فلکی

صورت فلکی ۱۶-QAM به صورت یک شبکه ۴×۴ آرایش یافته است که در آن نقاط به فاصله مساوی از هم قرار گرفته‌اند. این آرایش بهینه برای حداقل کردن احتمال خطا 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 ۰.۴ 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 گاوسی با واریانس 0.01 مدل شده است. این نویز به سیگنال مدوله شده اضافه می شود تا شرایط واقعی انتقال را شبیه سازی کند.

مرحله ۶: دمودولاسیون و آشکارسازی

در گیرنده، ابتدا با استفاده از حامل هم فاز، سیگنال به باند پایه منتقل می شود. سپس فیلترگذاری و نمونه برداری انجام می گیرد. آشکارسازی بر اساس معیار حداقل فاصله اقلیدسی صورت می گیرد.

۳. نتایج شبیه سازی

۳.۱ نمودار صورت فلکی

نمودار صورت فلکی ارسالی و دریافتی به وضوح آرایش مربعی نقاط را نشان می دهد. در شرایط ایده آل، نقاط دریافتی باید دقیقاً بر روی نقاط ارسالی منطبق باشند، اما وجود نویز باعث پراکندگی این نقاط می شود.

۳.۲ اشکال سیگنال

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

۳.۳ محاسبه نرخ خطای بیتی (BER)

در این شبیه سازی، 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 سمبل
- **انعطاف پذیری**:: قابلیت استفاده از صورت فلکی های مختلف
- **مقاومت متعادل**:: ترکیب بهینه از مدولاسیون دامنه و فاز

۴.۲ چالش ها

- **حساسیت به نویز**:: نسبت به مدولاسیون های فاز محض حساسیت بیشتری دارد
- **پیچیدگی پردازش**:: نیاز به همزمانی دقیق و جبران عدم تعادل
- **تغییرات غیرخطی**:: حساس به اعوجاج های غیرخطی تقویت کننده ها

۴.۳ بهینه سازی های ممکن

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

۵. نتیجه گیری

شبیه سازی انجام شده نشان می دهد که سیستم ۱۶-QAM قادر به انتقال اطلاعات با نرخ ۴ بیت بر هر سمبل 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 شبیه سازی پایه ای برای توسعه و آزمایش الگوریتم های پیشرفته تر در پردازش سیگنال دیجیتال فراهم می کند.