



دانشگاه زنجان

دانشکده ی فنی

گروه مهندسی برق

پایان نامه کارشناسی

عنوان :

بررسی نحوه ی عملکرد و شبیه سازی نتایج مربوط به مالتی پلکس

تقسیم فرکانسی متعامد (OFDM) و کاربرد آن در مخابرات بی سیم

استاد راهنما :

دکتر مهدی قمری ادیان

نگارش :

محمد علی خدایی

تیرماه ۱۳۹۷

مقدمه

مدولاسیون در مهندسی عبارت است از سوار کردن سیگنال اطلاعات (سیگنال باند پایه یا پیام) بر روی

سیگنال معمولاً فرکانس بالاتری به منظور افزایش برد سیگنال و بهره‌وری انتقال و استفاده بهتر از پهنای

باند کانال. در مدولاسیون یکی از خواص سیگنال حامل (مثلاً دامنه، فرکانس، فاز یا ...) با توجه به تغییرات

سیگنال پیام تغییر داده می‌شوند. به طور کلی فرایند گنجاندن سیگنال حاوی اطلاعات در سیگنالی دیگر

را مدولاسیون می‌نامند. همچنین اخذ سیگنال حاوی اطلاعات دمدولاسیون نام دارد. از پهنای باند استفاده‌ای

بهبهینه می‌شود و هر پیام در کانال خاصی قرار می‌گیرد. مسافت انتقال پیام (که در فرکانس‌های پایین کم

است) افزوده می‌شود. اگر کانال مخابراتی شامل فضای آزاد باشد در این صورت برای انتشار و دریافت سیگنال

آنتن‌هایی مورد نیاز است طول این آنتن‌ها متناسب با طول موج سیگنال فرستاده شده است. بسیاری از

سیگنال‌های صوتی دارای مولفه فرکانسی ۱۰۰ هرتز یا پایین‌تر هستند. برای ارسال این سیگنال‌ها اگر

سیگنال مستقیماً انتشار یابد به آنتن‌هایی با طول حدود ۳۰۰ کیلومتر نیاز است. اما اگر از مدولاسیون برای

سوار کردن سیگنال بر روی یک فرکانس حامل صد مگاهرتز استفاده کنیم در این صورت طول آنتن‌ها

حدود یک متر خواهد بود.

تسهیم فرکانسی متعامد (OFDM) یک روش موثر برای انتقال اطلاعات بصورت موازی می‌باشد بدین

صورت که سرعت‌های بالا با ارسال تعدادی از زیرحامل‌های متعامد می‌تواند بدست آید. تداخل بین سمبلی

(ISI) و تداخل درون کانالی (inter channel interference) در سیستم‌های OFDM با وارد کردن

شیار حفاظتی کمتر شده است. با اینحال همزمان سازی کد با استفاده از افزایش تناوب سمبل‌های مدم‌های

سریالی رایج توسط فاکتور وابسته به تعداد زیرحامل‌ها راحت‌تر شده است.

ابتدا در مورد مدولاسیون QAM یا Quadrature Amplitude Modulation می‌پردازیم و سپس

مدولاسیون OFDM را تعریف می‌کنیم.

فهرست مطالب

فصل اول: مدولاسیون QAM	۱
۱-۱ انواع مدولاسیون	۲
۱-۲ شکل کلی یک سیستم مخابراتی دیجیتال	۲
۱-۲-۱ بخش فرستنده	۳
۱-۲-۲ کانال	۳
۱-۲-۳ بخش گیرنده	۳
۱-۳ مدولاسیون های دیجیتال	۳
۱-۳-۱ مدولاسیون دامنه (ASK)	۳
۱-۳-۲ مدولاسیون MASK	۴
۱-۳-۳ مدولاسیون FSK	۴
۱-۳-۴ مدولاسیون فرکانس MFSK	۵
۱-۳-۵ مدولاسیون فاز PSK	۶
۱-۳-۶ مدولاسیون DPSK	۶
۱-۳-۷ مدولاسیون فاز MPSK	۷
۱-۴ مقدمه ای بر مدولاسیون QAM	۸
۱-۵ مدولاتور و دموولاتور QAM	۹
۱-۵-۱ بخش فرستنده	۱۰
۱-۵-۲ بخش MAPPING	۱۱
۱-۵-۳ بخش Modulation	۱۱
۱-۵-۴ بخش گیرنده	۱۱
۱-۵-۵ بخش demodulation	۱۲
۱-۶ مدولاسیون QAM	۱۲
۱-۷ محاسبه BER در مدولاسیون QAM (bit error rate)	۱۶
۱-۸ بررسی مکانیسم QAM	۱۹
۱-۹ مکانیسم qam در حوزه ی فرکانس	۲۱
۱-۱۰ مکانیسم qam در حوزه ی زمان	۲۶

۱۱-۱	فیلتر پایین گذر (LOW PASS FILTER)	۳۱
۱۲-۱	شبیه سازی QAM در متلب	۳۴
	فصل دوم: OFDM	۳۹
۱-۲	مقدمه	۴۰
۲-۲	پارامتر های مدولاسیون :	۴۳
۳-۲	دمدولاتور :	۴۴
۴-۲	پیاده سازی مدولاسیون / دمدولاتیون چند حاملی :	۴۷
۵-۲	پیاده سازی سیستم OFDM :	۵۴
۶-۲	زمان محافظ و مقادیر چرخشی :	۵۶
۷-۲	پنجره بندی (windowing) :	۵۷
۸-۲	اینتر لیونینگ :	۵۹
۹-۲	اینتر لیونینگ مرحله ی دوم :	۶۱
۱۰-۲	مقدمه ای در مورد نحوه ی انجام پروژه و روش های استفاده شده :	۶۲
۱۱-۲	سیگنال های OFDM ارسالی شبیه سازی شده با simulink :	۶۵
۱-۱۱-۲	قسمت حقیقی سیگنال ارسالی	۶۵
۲-۱۱-۲	قسمت موهومی سیگنال ارسالی	۶۶
۱۲-۲	نمودار و شماتیک پیاده سازی سیستم OFDM در SIMULIN بصورت خیلی ساده :	۶۷
۱۳-۲	اندازه ی سیگنال OFDM ارسالی را در شکل زیر می بینیم :	۶۸
۱۴-۲	قسمت حقیقی سیگنال OFDM :	۶۸
۱۵-۲	قسمت موهومی سیگنال OFDM :	۶۹
۱۶-۲	مشخصات کلی سیگنال ارسالی :	۷۰
	منابع	۸۰

فهرست اشکال

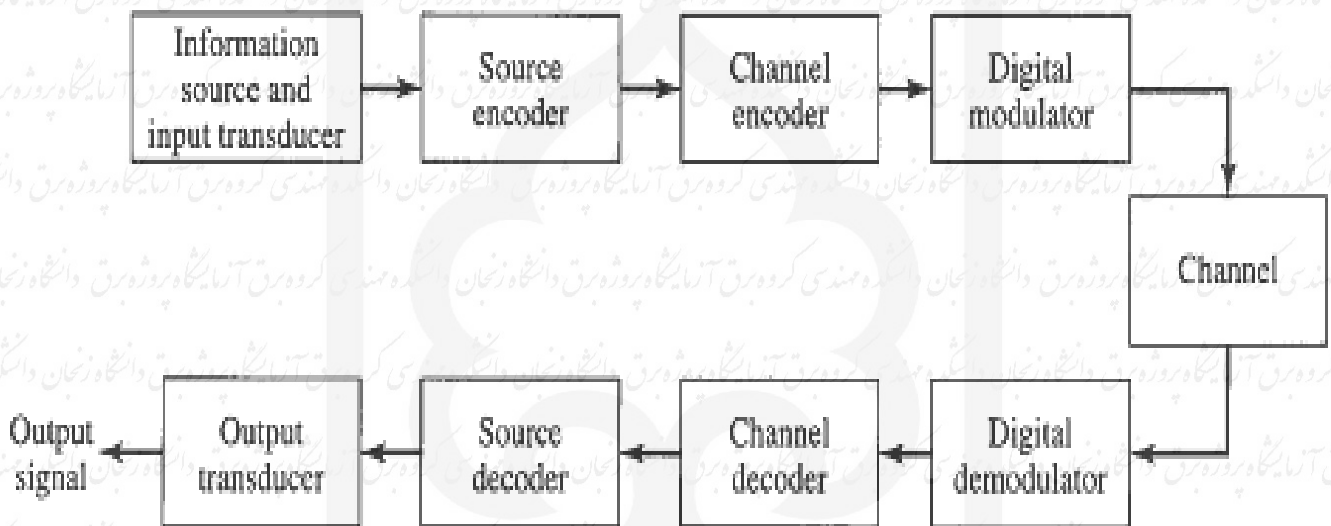
- شکل ۱-۱ کلی یک سیستم مخابراتی ۲
- شکل ۱-۲ کلی مدولاتور و دی مدولاتور QAM ۱۰
- شکل ۱-۳ امواج ورودی و خروجی ADC ۱۰
- ۱-۶ مدولاسیون QAM ۱۲
- شکل ۱-۴ سیمبلی با فرکانس ۷۰ ۱۳
- شکل ۱-۵ سیمبلی با فرکانس مرکزی ۵۲,۵ ۱۳
- شکل ۱-۶ ساده مدولاسیون QAM ۱۵
- شکل ۱-۷ شمای کلی ارسال با QAM ۱۶
- شکل ۱-۸ مقدار snr برای QAM4 ۱۷
- ۱-۸ بررسی مکانیسم QAM ۱۹
- شکل ۱-۹ QAM64 ۲۰
- شکل ۱-۱۰ دیتای مفروض X در حوزه ی فرکانس ۲۱
- شکل ۱-۱۱ دیتای مفروض Y در حوزه ی فرکانس ۲۱
- شکل ۱-۱۲ کریر کسینوسی در حوزه ی فرکانس (ولتاژها نرمالیزه) ۲۲
- شکل ۱-۱۳ کریر سینوسی در حوزه ی فرکانس (ولتاژها نرمالیزه) ۲۲
- شکل ۱-۱۴ دیتای X مدوله شده با کریر کسینوس ۲۳
- شکل ۱-۱۵ دیتای Y مدوله شده با کریر سینوس ۲۳
- شکل ۱-۱۶ سیگنال QAM بدست آمده از جمع سیگنال های مدوله شده X و Y ۲۴
- شکل ۱-۱۷ سیگنال QAM کانالو شده با کسینوس در حوزه فرکانس ۲۵
- شکل ۱-۱۸ سیگنال QAM کانالو شده با سینوس در حوزه فرکانس ۲۵
- شکل ۱-۱۹ دیتای X در حوزه ی زمان ۲۶
- شکل ۱-۲۰ دیتای Y در حوزه ی زمان ۲۷
- شکل ۱-۲۱ سیگنال های X و Y مدوله شده با کریر هی کسینوسی و سینوسی روی یک نمودار در حوزه ی زمان ۲۷
- شکل ۱-۲۲ جمع سیگنال مدوله شده ی X و Y ۲۸
- شکل ۱-۲۳ سیگنال QAM ضرب شده در کریر کسینوسی برای بدست آوردن دیتای X ۲۹
- شکل ۱-۲۵ فیلتر پایین گذر ایده آل sinc ۳۰

۱-۱ انواع مدولاسیون

مدولاسیون انواع مختلفی دارد. همچنین مدولاسیون به انواع آنالوگ و دیجیتال هم تقسیم می‌شود. برای اشاره به مدولاسیون‌های دیجیتال بیشتر از اصطلاح کلیدزنی (Keying) استفاده

می‌شود. مدولاسیون qam می‌پردازیم. در صورت تخصصی‌تر به

۱-۲ شکل کلی یک سیستم مخابراتی دیجیتال



شکل ۱-۱ کلی یک سیستم مخابراتی [1]

دقت شود که در قسمت information source and input transducer دیتا‌های

دیجیتال وارد این سیستم مخابراتی میشوند و اگر دیتا‌ها پیوسته باشند یک مبدل آنالوگ به

دیجیتال قرار داده میشود

حال به اختصار وظایف هر کدام از بلوک‌ها را بیان میکنیم:

$$s_s(f) = \frac{A^2}{2} [\delta(f - f_c) + \delta(f + f_c) + T_b \text{sinc}^2(f - f_c) T_b + T_b \text{sinc}^2(f + f_c) T_b] \quad (1-3-1-5)$$

پهنای باند برابر است با:

$$B = 2r_b$$

دو نوع آشکار ساز برای این مدولاسیون داریم: ۱. آشکار ساز همزمانی ۲. آشکار ساز پوش احتمال خطا در ASK :

$$p_e = Q\left(\sqrt{\frac{p_R \cdot T_b}{N_0}}\right) \quad (1-3-1-6)$$

یکی از عیب های مهم این مدولاسیون این است که مرز تصمیم در آشکار ساز به دامنه سیگنال دریافتی وابسته است. و این موضوع مدولاسیون را به مسیر وابسته میکند.

۱-۳-۲ مدولاسیون MASK

$$s_k(t) = A_k \cos(\omega_c t) \quad (1-3-2-1)$$

$$A_k = \{-(M-1)a, -(M-3)a, \dots, (M-3)a, (M-1)a\}$$

$$(1-3-2-2)$$

برق آزمایگاه پروژه بر احتمال خطا در مدولاسیون دامنه چند سطحی:

$$p_e = 2\left(1 - \frac{1}{M}\right) Q\left(\sqrt{\frac{6 \cdot p_R \cdot T_b \log_2 M}{N_0 \cdot (M^2 - 1)}}\right) \quad (1-3-2-3)$$

۱-۳-۳ مدولاسیون FSK

شکل سیگنال به صورت زیر است:

$$s(t) = \frac{A}{2} [1 + b(t)] \cos(\omega_1 t) + \frac{A}{2} [1 - b(t)] \cos(\omega_2 t) \quad (1-3-3-1)$$

$$b(t) = \sum a_k p(t - kT_b) \quad (1-3-3-2)$$

$$\text{if data} = 1 \rightarrow \rightarrow \rightarrow a_k = 1 \rightarrow \rightarrow s(t) = A \cos(\omega_1 t) \quad (1-3-3-3)$$

پس یعنی هر چه تعداد سطوح بیشتر شود پهنای باند هم بیشتر میشود

$$p_e = (M - 1)Q \left(\sqrt{\frac{p_{R.T_s}}{N_0}} \right) \quad (1-3-4-3)$$

۵-۳-۱ مدولاسیون فاز PSK

سیگنال ارسالی در این مدولاسیون به شرح زیر است:

$$s(t) = b(t) A \cos(\omega_c t) \quad (1-3-5-1)$$

$$b(t) = \sum a_k p(t - kT_b) \quad (1-3-5-2)$$

$$\text{if data} = 1 \rightarrow \rightarrow \rightarrow a_k = 1 \rightarrow \rightarrow s(t) = A \cos(\omega_c t) \quad (1-3-5-3)$$

$$\text{if data} = 0 \rightarrow \rightarrow \rightarrow a_k = -1 \rightarrow \rightarrow s(t) = -A \cos(\omega_c t) \quad (1-3-5-4)$$

طیف توان برابر است با:

$$s_s(f) = \frac{A^2}{4} [T_b \text{sinc}^2(f - f_c) T_b + T_b \text{sinc}^2(f + f_c) T_b] \quad (1-3-5-5)$$

احتمال خطای مدولاسیون برابر است با:

$$p_e = Q \left(\sqrt{\frac{2p_{R.T_b}}{N_0}} \right) \quad (1-3-5-6)$$

برای آشکار سازی این مدولاسیون تنها یک روش میتوان استفاده کرد و آن هم آشکار سازی

با روش همزمانی است. و یکی از عیب های مهم آن این است که با روش پوش نمیتوان آشکار

سازی را انجام داد. پس روش دیگری ارایه شد که در ادامه صحبت خواهیم کرد.

۶-۳-۱ مدولاسیون DPSK

در این روش دیتا را در اختلاف فاز دو سمبل قرار دادند. به شکل زیر:

$$S_{K-1}(t) = A \cos(\omega_c t + \varphi_{k-1}) \quad (1-3-6-1)$$

$$S_K(t) = A \cos(\omega_c t + \varphi_k) \quad (1-3-6-2)$$

$$\Delta\varphi = \varphi_k - \varphi_{k-1} \quad (1-3-6-3)$$

$$\text{If data} = 1 \rightarrow \rightarrow \rightarrow \Delta\varphi_k = 0 \quad (1-3-6-4)$$

$$\text{If data} = 0 \rightarrow \rightarrow \rightarrow \Delta\varphi_k = \pi \quad (1-3-6-5)$$

برای ارسال دیتا ابتدا دیتا را با d_k ایکسور میکنیم و سپس دیکا را به شکل PSK ارسال

میکنیم.

منابع

[1] communication system engineering, john G proakis, masoud salehi

[2] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by l. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[3] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by l. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[4] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[5] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[6] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by l. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[7] Samueli, Henry. "A Closer Look at QAM." Electronic Design. November 7, 1994.

[8] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by l. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[9] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by l. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[10] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[11] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[12] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[13] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[14] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[15] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[16] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[17] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[18] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[19] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[20] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[21] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[22] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[23] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[24] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[25] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[26] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[27] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[28] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[29] Simulation of Quadrature Amplitude Demodulation in a Digital Telemetry System by Heather A. Campbell

[30] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[31] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[32] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[33] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[34] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[35] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I. hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[36] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[37] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[38] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[39] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[40] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[41] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[42] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[43] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[44] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[45] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[46] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

[47] quadrature amplitude modulation: from basics to adaptive trellis-coded, turbo-equalised and space-time coded ofdm, cdma and mc-cdma systems by I.

hanzo, s.x. ng, t. keller, w.t. webb

