

تکنیک موثر و جدید مدولاسیون دیجیتال

امیر جعفرقلی، نبی اسمی، محمدرضا موسوی، احمد حسین بیگ

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

ajafargholi@ee.kntu.ac.ir, n_esmi@kntu.ac.ir, mousavi_smr@kntu.ac.ir, hesseinbeig@ee.kntu.ac.ir

چکیده-در این مقاله روش جدیدی برای مدولاسیون دیجیتال سیستم های مخابراتی ارائه شده است که احتمال خطا را به شدت کاهش داده و پهنای باند فرکانسی آن متناسب با پهنای باند فرکانسی مدولاسیون M -PSK است.

کلید واژه- مدولاسیون دیجیتال.

$$A_i = A_0 e^{a\theta_i}, \quad i = 0, 1, 2, 3, \dots, M-1 \quad (2)$$

و

$$\theta_i = i\pi/2 \quad (3)$$

که A_i دامنه سیگنال و θ_i فاز i امین سیگنال از یک مجموعه M -ary است در این مدولاسیون فاز و دامنه به صورت آنچه در روابط (۲) و (۳) آمده است تغییر می کنند. a در این رابطه ضریب افزایش شعاع دایره منظومه سیگنال است که فاکتور اصلی شکل حلزونی منظومه می باشد. در ابتدا فرض می شود که $a = 0.221$ باشد تا شعاع دایره بعد از 2π رادیان چرخش فاز 4 برابر شود (هر چه مقدار a کوچکتر باشد حلزون افزایش شعاع کمتری دارد و در حالت حدی به دایره نزدیک می شود).

۳- منظومه سیگنال

در این روش منظومه مدولاسیون به شکل حلزون بوده و با افزایش تعداد سیگنال M ، فاصله نقاط منظومه افزایش می یابد، لذا با افزایش تعداد M نمی بایست خطا افزایش یابد. با زیاد کردن a این فواصل بیشتر می شود ولی با در نظر گرفتن انرژی متوسط و توان یکسان برای مقایسه دو

۱- مقدمه

در مدولاسیون های دامنه M -ary سیگنال های مورد استفاده فاز یکسان و دامنه های متفاوتی دارد. به طور طبیعی در صورتی که فرض کنیم هم دامنه و هم فاز سیگنال همزمان دچار تغییرات شوند مدولاسیون به شکلی انواع QAM در خواهد آمد. در مدولاسیون جدید ارائه شده SCSK دامنه و فاز هم زمان تغییر می کنند. در این مقاله به ارائه روشی جدید در مدولاسیون دیجیتال می پردازیم و به محاسبه پارامترهای آن پرداخته و در نهایت با مدولاسیون های QAM و M -PSK مقایسه می نماییم.

۲- توصیف سیگنال

در مدولاسیون های دامنه M -ary سیگنال های مورد استفاده فاز یکسان و دامنه های متفاوتی دارد. به طور طبیعی در صورتی که فرض کنیم هم دامنه و هم فاز سیگنال همزمان دچار تغییرات شوند مدولاسیون به شکلی انواع QAM در خواهد آمد. در مدولاسیون جدید ارائه شده SCSK دامنه و فاز هم زمان تغییر می کنند و داریم:

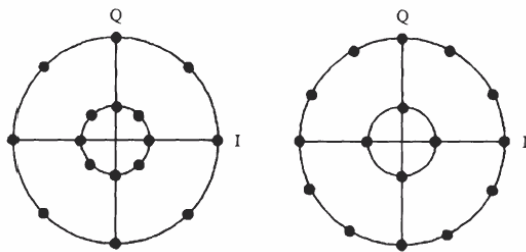
$$S(t) = A_i P(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_i) \quad (1)$$

که

$$\Psi_i(f) = \frac{\sigma_i^2 |P(f)|^2}{T} + \frac{m_i}{T} \cdot P^2(0) \Rightarrow$$

$$= (nT_b)^2 \left[\frac{A_0^2}{M} \cdot \frac{1 - e^{(j+a)M\pi}}{1 + e^{a\pi}} \right] \cdot \left[\frac{\sin \pi f n T_b}{\pi f n T_b} \right]^2 + \frac{m_i}{T} \cdot P^2(0) \quad (8)$$

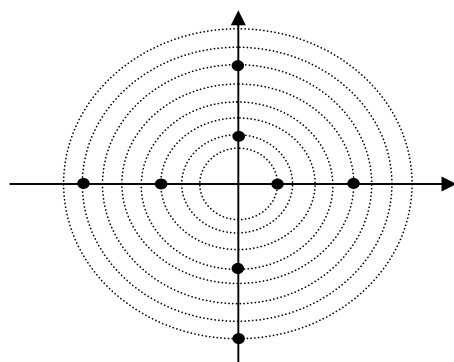
در شکل (۳) پهنای باند فرکانسی M-SCSK با افزایش M کاهش یافته و انرژی متوسط آن به شدت افزایش می‌یابد.



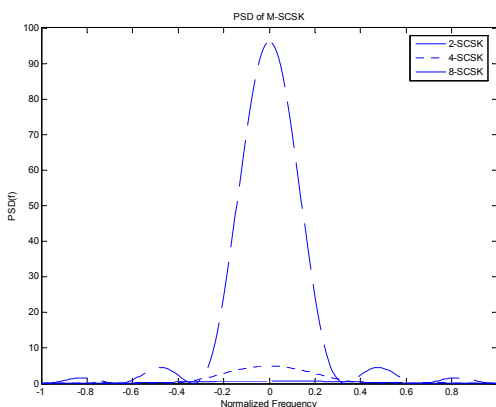
Type I QAM constellation

Type II QAM constellation

شکل (۱) منظومه QAM



شکل (۲) منظومه SCSK



(الف)

مدولاسیون مختلف به دلیل اینکه در شرایط توان برابر نقاط ابتدایی منظومه به هم فشرده تر می‌گردند. خطا افزایش می‌یابد. با کاهش $a = 0.221 \times 3.5/M$ تا حد احتمال خطای مدولاسیون به دلیل ساختار حلزونی کاهش می‌یابد. و با کاهش بیشتر a به دلیل نزدیک شدن به ساختار دایره-ای در QAM با افزایش مجدد خطا روبه رو هستیم. در شکل (۱) منظومه QAM و در شکل (۲) منظومه SCSK دیده می‌شود.

۴- پهنای باند

برای بیان کلی سیگنال SCSK از یک سیگنال شکل دهی پالس $P(t)$ نیز استفاده می‌شود و بنابراین داریم:

$$s_i(t) = A_{p_i} P(t) \cos(2\pi f_c t + \theta_i) \quad (4)$$

برای سیگنال مدوله شده عبارت فوق، بدون در نظر گرفتن شکل دهی پالس مقدار میانگین سیگنال عبارتست از:

$$m_i = \frac{A_0}{M} \cdot \frac{1 - e^{(j+a)\frac{\pi}{2}M}}{1 - e^{(j+a)\frac{\pi}{2}}} = \frac{A_0}{M} \cdot \frac{1 - e^{\frac{a\pi}{2}M} \cdot e^{j\frac{\pi}{2}M}}{1 - j e^{\frac{a\pi}{2}}} \quad (5)$$

بنابراین همانطور که مشاهده می‌شود، مدولاسیون SCSK فرآیندی با میانگین صفر نیست. مقدار واریانس این فرآیند به شکل منظومه سیگنال بستگی دارد و به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_i^2 = \frac{A_0^2}{M} \cdot \frac{1 - e^{(j+a)M\pi}}{1 - e^{(j+a)\pi}} - \frac{A_0^2}{M^2} \cdot \left(\frac{1 - e^{(j+a)M\pi/2}}{1 - e^{(j+a)\pi/2}} \right)^2 \quad (6)$$

با استفاده از رابطه [1] برای SCSK می‌توان رابطه PSD را به فرم زیر نوشت:

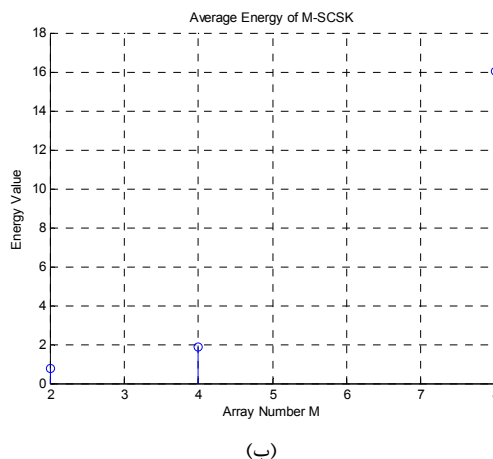
$$\Psi_s(f) = \frac{\sigma_i^2 |P(f)|^2}{T} + \left(\frac{m_i}{T} \right)^2 \sum_{k=-\infty}^{\infty} \left| P^2\left(\frac{k}{T}\right) \delta\left(f - \frac{k}{T}\right) \right| \quad (7)$$

که با نظر گرفتن حالت خاص پالس مستطیلی و سیگنال M-ary خواهیم داشت:

داد. در شکل (۴) احتمال خطای 4-SCSK و QPSK و 4-QAM مقایسه شده‌اند. همانطور که در شکل دیده می‌شود با فرض خطای ایجاد شده 10^{-6} و با فرض $E_b/N_0 = 0.221$ مورد نیاز 3.5 dB بیشتر از دو روش قبلی است.

در شکل (۵) برای بهبود این موضوع مقدار a را 0.0221 فرض کرده ایم و بنابراین مشاهده می‌شود که خطای مدولاسیون ارائه شده تقریباً معادل خطا در دو روش دیگر است.

در شکل (۶) مشاهده می‌شود که چگونه با استفاده از تنظیم a برای خطای 10^{-6} ، E_b/N_0 مورد نیاز را 3.2 dB بهبود دهیم و به 2.4 dB بهتر از مدولاسیون های QPSK و 4-QAM برسائیم.



شکل (۳) الف: پهنای باند مدولاسیون SCSK ب: انرژی متوسط مدولاسیون SCSK

۵- محاسبه خطا

آشکارساز بهینه در گیرنده هایی که از سیگنالهای M-ary استفاده می کنند عبارتست از آشکارساز تک بعدی کمترین فاصله. به عبارت بهتر در گیرنده نقطه ای که کمترین فاصله را با نقطه دریافتی دارد به عنوان خروجی گیرنده آشکارسازی می شود. در چنین حالتی فرض می کنیم داشته باشیم:

$$r(t) = s_i(t) + n(t) \quad (9)$$

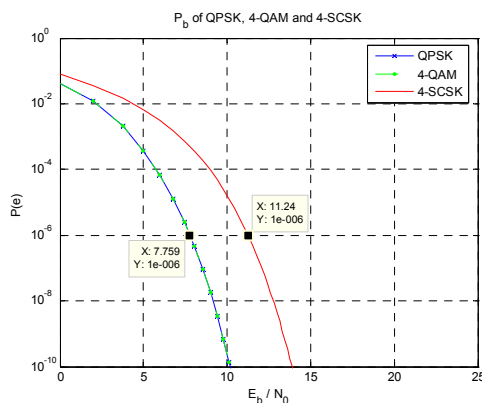
بنابراین احتمال متوسط خطای هر سمبول عبارتست از:

$$P_s = \frac{1}{K} \Pr \left(|r - s_i| > \frac{\Delta}{2} \right) \quad (10)$$

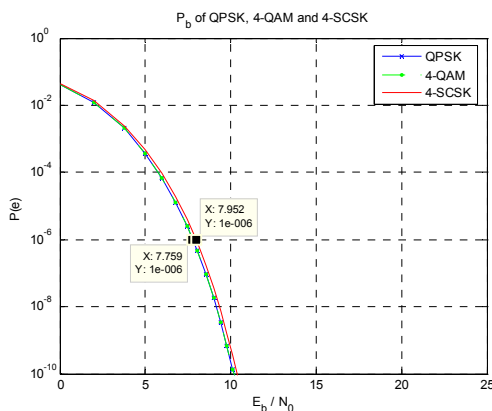
و در حالت کلی خطای بیت برای کل بیت ها عبارتست از:

$$P_s = \frac{2}{K} \cdot \sum_{k=0}^K Q \sqrt{\frac{M \log_2 M}{2}} \cdot \frac{1 - e^{-a\pi}}{1 - e^{aM\pi}} \cdot \Delta_{k,j}^2 \cdot \frac{E_{b,avg}}{N_0} \quad (11)$$

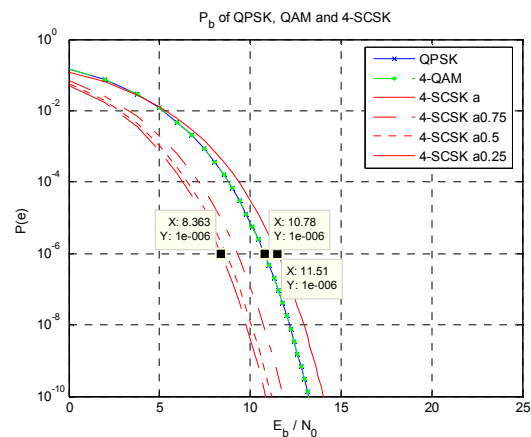
که در این رابطه K تعداد جملات موثر در محاسبه احتمال خطا $\Delta_{k,j}^2$ هستند. همانطور که پیشتر اشاره شد با تنظیم a می‌توان BER را تنظیم نمود و تا حد امکان کاهش داد. و از طرفی انرژی متوسط مدولاسیون را تا حد امکان کاهش



شکل (۴) احتمال خطای بیت برای 4-SCSK و QPSK و 4-QAM و $a = 0.221$



شکل (۵) احتمال خطای بیت برای 4-SCSK و QPSK و 4-QAM و $a = 0.0221$



شکل (۶) احتمال خطای بیت برای 4-QAM و QPSK و 4-SCSK و تغییرات α

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله روش جدیدی برای مدولاسیون دیجیتال سیستم‌های مخابراتی ارائه شد، که احتمال خطا را به شدت کاهش داده و پهنای باند فرکانسی آن متناسب با پهنای باند فرکانسی مدولاسیون M-PSK است.

مراجع

- [1] F. Xiong, "Digital Modulation Techniques", Artech House, 2000.