

Detection and Separation of Analog and Digital Modulation with SCF function, high-Order moments and dimension reduction of modulation

S.N. Hosseini¹, F. Samsami Khodadad², M. Nazari³, F. Samsami Khodadad^{4*}
1- Nasr research center, 2- Sharif Univ. of Tech,
3- Amol University of Special Technologies 4- Ferdowsi University of Mashhad
(Reccive: 2013/09/03, Accept: 2014/03/09)

Abstract

In this paper, two different methods for identification and separation of analog and digital modulation, is presented. One of these methods is based on spectral correlation function and the other is based on high order moment and dimension reduction of modulation; for detection and recognition of digital and analog modulation. After a careful survey on these two methods, a synthetic method with high detection resolution and usable in COMINT systems is presented. Simulation result shows that the proposed method outperforms traditional methods in low SNR for detection of the type of the modulation. Moreover, the proposed method is efficient for detecting the type of high order QAM, phase and frequency modulation. In addition, numerical results show that the proposed method has acceptable complexity performance, compared to other methods.

Keywords:

spectral correlation function, high order moments, dimension reduction of modulation, detection of type of modulation, phase Histogram, wavelet Transfer

*Corresponding Author Email: samsami.farid@stu.um.ac.ir

تفکیک و جداسازی مدولاسیون‌های آنالوگ و دیجیتال با استفاده از ترکیب تابع SCF، ممان‌های مرتبه بالا و روش کاهش بعد مدولاسیون

سید نصراله حسینی^۱، فرشید صمصامی خداداد^۲، محمد نظری^۳، فرید صمصامی خداداد^{۴*}

۱- کارشناس ارشد مخابرات، پژوهشگاه مخابرات و الکترونیک نصر ۲- کارشناسی ارشد، الکترونیک، دانشگاه صنعتی شریف

۳- کارشناسی ارشد، مخابرات، دانشگاه تخصصی فناوری‌های نوین آمل ۴- دکترا تخصصی، مخابرات سیستم، دانشگاه فردوسی مشهد

(دریافت: ۹۲/۶/۱۲، پذیرش: ۹۲/۱۲/۱۸)

چکیده

در این مقاله دو روش مختلف تشخیص و تفکیک مدولاسیون‌های آنالوگ و دیجیتال، یکی بر مبنای تابع همبستگی طیفی و دیگری براساس ممان‌های مرتبه بالا و همچنین روش کاهش بعد مدولاسیون، پیشنهاد می‌شود. پس از بررسی این دو روش، رهیافت ترکیبی، با دقت بالای تشخیص و قابل استفاده در سیستم‌های مراقبت مخابراتی ارائه می‌گردد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهند که روش ترکیبی ارائه‌شده، در مقایسه با الگوریتم‌های تشخیص مدولاسیون در سیگنال‌هایی با SNR پایین، دارای نتایج قابل قبول در شناسایی صحیح نوع مدولاسیون می‌باشد. علاوه بر اینکه روش فوق برای شناسایی QAM‌های مرتبه بالا و مدولاسیون‌های فازی و فرکانس کارایی دارد، محاسبات و پیچیدگی آن نیز نسبت به روش‌های دیگر کمتر است.

واژه‌های کلیدی: تابع همبستگی طیفی، ممان‌های مرتبه بالا، کاهش بعد مدولاسیون، تشخیص مدولاسیون، هیستوگرام فاز، تبدیل موجک

۱. مقدمه

سیگنال که می‌توان از آنها در شناسایی مدولاسیون‌ها استفاده کرد، استخراج می‌شود.

از جمله این ویژگی‌ها می‌توان به ویژگی‌های موجود در دامنه، فاز و فرکانس سیگنال اشاره کرد. مرحله پایانی، استفاده از ویژگی‌های به‌دست‌آمده برای شناسایی نوع مدولاسیون می‌باشد. در این مرحله، فرآیند تطبیق ویژگی‌های به‌دست‌آمده از سیگنال، با نمونه‌های گذشته، یا با استفاده از روش‌های آماری انجام می‌شود و سعی در به‌دست آوردن روشی بر پایه محاسبه احتمال می‌باشد.

یکی دیگر از ویژگی‌های شناسایی نوع مدولاسیون، حفاظت و ایمن کردن سیگنال‌های ارسالی از طرف ایستگاه‌های خودی می‌باشد. در کاربردهای مخابراتی نیز، روش‌های گوناگون شناسایی مدولاسیون استفاده می‌شود که از آن جمله می‌توان به رادیو نرم‌افزار، شناسایی تداخل و مشاهده طیف اشاره کرد. به‌طور کلی،

تشخیص مدولاسیون علاوه بر کاربردهای تجاری، یکی از زمینه‌های بسیار مهم در کاربردهای نظامی نیز می‌باشد. با شناسایی نوع مدولاسیون در کاربردهای نظامی، می‌توان با اطمینان بیشتری منبع سیگنال ارسالی را شناسایی کرد. همچنین، این امکان فراهم می‌شود که جرم^۱ استفاده‌شده برای این کاربردها، متناسب با نوع سیگنال ارسالی از طرف دشمن باشد. توجه به این زمینه از حدود دو دهه قبل آغاز و روش‌های متعددی برای شناسایی و تشخیص مدولاسیون‌ها ارائه‌شده است. مرحله شناسایی مدولاسیون را می‌توان مرحله میانی بین مراحل جداسازی سیگنال و استخراج اطلاعات دانست.

به بیان دیگر، فرآیند شناسایی نوع مدولاسیون از مرحله‌های پردازش سیگنال برای حذف سیگنال مرکزی، نمونه‌برداری دوباره از سیگنال به‌دست‌آمده و استفاده از جبران‌ساز برای حذف اعوجاج کانال تشکیل شده است. در مرحله بعد، ویژگی‌های به‌دست‌آمده از

* رایانامه نویسنده مسئول: samsami.farid@ieee.org

$$y(n) = \sum_{\ell=-\infty}^{\infty} \alpha e^{j2\pi \Delta f nT + j\theta(n) + j\varphi} x^{(i)}(\ell) h(nT - \ell T + \varepsilon_T T) + g(n) \quad (1)$$

که در آن: $x^{(i)}(n)$ سمبل‌های فرستنده در امین بازه زمانی و $i=1, \dots, Q$ ، نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی است. $h(\cdot)$ اثر کانال است که در اینجا، به خاطر خطای هم‌زمانی در مدل سیگنال، وارد شده است. $\theta(n)$ لغزش فاز، Δf انحراف فرکانسی، α دامنه نامعلوم سیگنال دریافتی و φ فاز کانال است. T بیانگر دوره تناوب سمبل‌ها، ε_T خطای هم‌زمانی گیرنده با فرستنده، $(0 \leq \varepsilon_T < 1)$ ، $\{y(n)\}_{n=1}^N$ سیگنال دریافتی در گیرنده به طول N سمبل و $g(n)$ نویز گوسی سفید جمع‌شونده با میانگین صفر و واریانس σ_g^2 است. تعداد سمبل‌های مختلف موجود در بعد هر مدولاسیون برابر است با N_i که $i=1, \dots, Q$. فرض می‌کنیم سمبل‌های هر فرستنده مستقل از یکدیگرند و توزیع یکسانی دارند (iid^d هستند). همچنین بدون از دست دادن کلیت مسئله، فرض می‌کنیم واریانس بعد هر مدولاسیون برابر یک است.

۱.۲. روش جداسازی مدولاسیون‌های آنالوگ از دیجیتال

جداسازی مدولاسیون‌های آنالوگ از دیجیتال به صورت کاملاً کور، از اهداف این بخش می‌باشد. بدین منظور از تابع همبستگی طیفی^۵ (SCF) استفاده می‌شود. اسپکتروم حدی $y(t)$ شامل خطوط طیفی در $f = \alpha$ و $f = -\alpha$ می‌باشد. به عبارت دیگر، در این حالت می‌گوییم که سری زمانی، تناوب مرتبه اول با فرکانس α دارد.

در اینجا با سری‌های زمانی‌ای مواجه هستیم که دارای نوع دیگری از تناوب پنهان هستند؛ به طوری که این تناوب در خطوط طیفی نمایان نمی‌شود و در خطوط طیفی تبدیل یافته تغییرناپذیر با زمان نمایان می‌شود. به عبارت دیگر، ما بر روی نوعی از تناوب پنهان متمرکز می‌شویم که با یک تبدیل^۶ QTI در خطوط طیفی نمایان شوند.

بنابراین، ما توجه خود را به سری‌های زمانی‌ای متمرکز می‌کنیم که در آن‌ها \hat{R}_x^α وجود داشته باشد و برای برخی از مقادیر غیرصفر، مخالف صفر باشد. برای $\alpha = 0$ ، \hat{R}_x^α برابر تابع خودهمبستگی حدی است که با \hat{R}_x نمایش می‌دهیم.

برای $\alpha \neq 0$ ، \hat{R}_x^α برابر تابع خودهمبستگی، حدی است که از یک ضریب وزن دهی دوری استفاده می‌کند. بنابراین در این حالت، \hat{R}_x^α با

تلاش‌های وسیعی در زمینه تشخیص مدولاسیون صورت گرفته است. در مرجع [۱] تحقیقات گسترده‌ای در زمینه تشخیص مدولاسیون سیگنال انجام شده است.

در روش‌های ارائه شده توسط نگارنده، توجه عمده بر روی محاسبه ویژگی‌هایی است که از سیگنال به دست می‌آید. به دلیل تغییر شرایط کانال، این ویژگی‌ها برای همه حالات ثابت نبوده و نتایج ایشان فقط برای سیگنال‌های شبیه‌سازی معتبر می‌باشد. در مرجع [۲] روشی ارائه شده است که پارامترهای استخراج شده برای شناسایی مدولاسیون‌ها، پارامترهای آماری هستند که وابستگی زمانی بین آنها به چشم نمی‌خورد و برای آشکارسازی، دو مدولاسیون MFSK و MPSK از دقت بهتری برخوردار است. در مرجع [۳]، روشی برای شناسایی مدولاسیون‌های PSK ابداع شده است که این روش بر مبنای محاسبه ضرایب تبدیل فوریه به دست آمده از هیستوگرام فاز سیگنال می‌باشد.

این روش، برای SNR^1 ‌های پایین، دارای نتیجه قابل قبولی است. از دیگر مزیت‌های این روش، می‌توان به سادگی پیاده‌سازی و عدم نیاز به دانستن SNR اشاره کرد. در مرجع [۴]، روشی ارائه شده است که مبتنی بر تبدیل موجک^۲ می‌باشد. از ویژگی‌های این روش، قابلیت استفاده در تشخیص دامنه وسیعی از مدولاسیون‌ها می‌باشد که آن را از دیگر روش‌های موجود متمایز می‌کند. در مرجع [۵] روشی معرفی شده که مکمل روش‌هایی است که از ممان‌های مرتبه بالا استفاده می‌کنند. در واقع ویژگی‌های به دست آمده از ممان‌های مرتبه بالا دارای خاصیت تفکیک‌کنندگی بهتری برای شناسایی مدولاسیون‌ها می‌باشند. با وجود این، هنوز روشی به دست نیامده است که برای تمامی مدولاسیون‌های موجود، اعم از خانواده QAM^۳، PSK، CQPSK، FSK و مدولاسیون‌های آنالوگ، پاسخ خوبی داشته باشد. در این مقاله روشی ارائه می‌شود که با دقت بسیار بالایی برای سیگنال‌های عملی، کار تشخیص مدولاسیون را انجام می‌دهد. در بخش‌های بعد، ابتدا عمل جداسازی مدولاسیون آنالوگ از دیجیتال و سپس، عمل تشخیص نوع مدولاسیون برای مدولاسیون‌های دیجیتال بیان می‌شود [۶].

۲. مدل سیستم و تشخیص نوع مدولاسیون

مدل سیگنال دریافتی در حضور نویز گوسی سفید جمع‌شونده را می‌توان به صورت رابطه (۱) نوشت:

4. Independent Identically Distributed (IID)

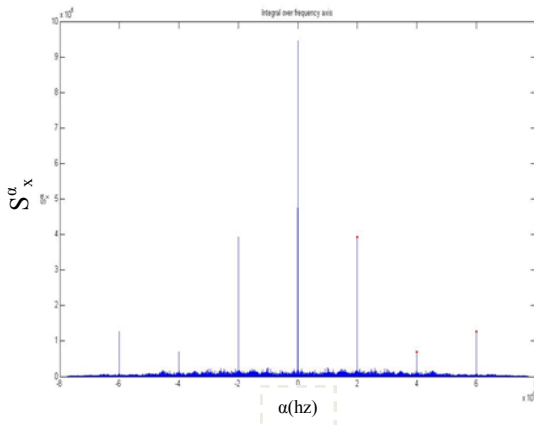
5. Spectral Correlation Function (SCF)

6. Quadratic Time Invariant (QTI)

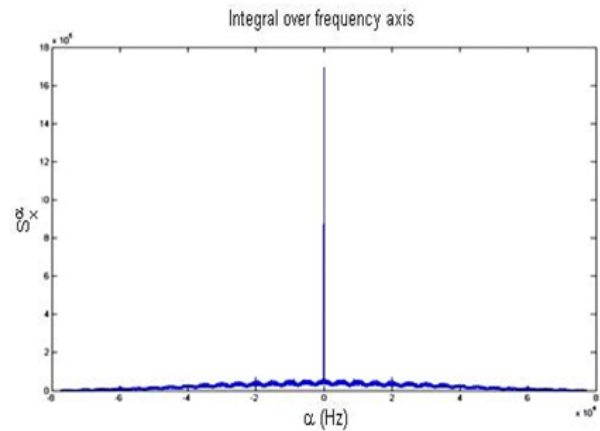
1. Signal to Noise Ratio (SNR)

2. Wavelet

3. Quadratic Amplitude Modulation (QAM)



شکل ۲. انتگرال گرفته شده رویه SCF، در راستای t و برای سیگنال دیجیتال



شکل ۱. انتگرال گرفته شده رویه SCF، در راستای t و برای سیگنال آنالوگ

۲.۲. تشخیص خودکار مدولاسیون دیجیتال

مدولاسیون‌های M-QAM، M-PSK و M-FSK دارای ویژگی‌هایی هستند که از آنها برای تشخیص مدولاسیون بهره می‌گیریم. ممان‌های مرتبه بالا ویژگی‌های خاصی از مدولاسیون‌های مختلف را نشان می‌دهند که ما را در تشخیص صحیح مدولاسیون یاری می‌کند. به دلیل اثرات غیرخطی کانال، توان سیگنال دریافتی ثابت نمی‌باشد و منظومه سیگنال دریافتی به طرف مرکز ثقل کشیده می‌شود. عملیات سنکرونیزاسیون، به منظور استخراج بی‌خطای منظومه ارسالی، در گیرنده انجام می‌گیرد که شامل مراحل زیر می‌باشد.

- کنترل اتوماتیک بهره سیگنال (AGC)^۱
- تصحیح خطاهای ۰.۰۰۰۱ در آفست فرکانسی و تصحیح زمانی^۲
- اعمال جبران‌ساز کور (شامل جبران‌سازهایی که از مدولاسیون استفاده نمی‌کنند).
- تصحیح فاز

- تصحیح خطاهای ۰.۰۰۰۰۰۱ در آفست فرکانسی
- اگر $y(n)$ ، یک فرآیند تصادفی ایستا با میانگین صفر باشد، برای ممان‌های مرتبه دو، چهار و شش آن داریم:

$$C_{40}(y) = C(y(n), y(n), y(n), y(n)) = E[y(n)^4] - 3E^2[y(n)^2] \quad (3)$$

$$C_{42}(y) = C(y(n), y(n), y^*(n), y^*(n)) \\ = E[y(n)^4] - 2E^2[y(n)^2] - |E[y(n)^2]|^2 \quad (4)$$

$$C_{61}(y) = C(y(n), y(n), y(n), y(n), y(n), y^*(n)) \\ = E[y(n)^4 |y(n)^2] - 10E[y(n)^2] E[y(n)^2 |y(n)^2] \\ - 5E[|y(n)^2] E[y(n)^4] + 30E^2[y(n)^2] E[|y(n)^2] \quad (5)$$

عنوان تابع خودهمبستگی دوری نامگذاری می‌شود. درحقیقت، \hat{R}_x^α برای یک τ مشخص، بیانگر مؤلفه DC از حاصل ضرب تأخیریافته سری زمانی است:

$$z(t, \tau) = y(t + \tau/2) * y(t - \tau/2) \quad (2)$$

درحالی‌که \hat{R}_x^α بیانگر قدرت مؤلفه سینوسی با فرکانس α ، در سری زمانی $Z(t, \tau)$ است.

سری زمانی $y(t)$ دارای تناوب مرتبه دوم است؛ اگر و تنها اگر حاصل ضرب تأخیریافته $z(t, \tau)$ دارای تناوب مرتبه اول برای برخی از مقادیر τ باشد.

با توجه به روابط موجود در مرجع [۷] واضح است که برای سری‌های زمانی ایستان دوری، SCF در مدولاسیون‌های آنالوگ مطابق شکل ۱ به ازای $\alpha = 1/T_0$ پیک می‌زند که در آن، T_0 زمان ارسال یک سمبل می‌باشد.

تعداد سمبل‌های مورد نیاز برای عملکرد صحیح سیستم، بستگی به SNR و نوع مدولاسیون دارد. اما به‌طور کلی با بررسی شبیه‌سازی‌های مختلف بر روی مدولاسیون‌های گوناگون می‌توان گفت برای SNRهای بالای ۵ dB و داشتن ۶۰۰۰ سمبل، می‌توان از تابع SCF برای تشخیص نرخ سمبل و برای شناسایی مدولاسیون‌های آنالوگ از دیجیتال استفاده کرد. با توجه به اینکه سیگنال‌های آنالوگ خاصیت ایستان دوری ندارند، لذا $\hat{R}_x^\alpha(t, \tau)$ مطابق شکل ۱ بر حسب t پریودیک نبوده و انتظار داریم که SCF پریود محسوسی نداشته باشد. برعکس SCF در سیگنال‌های دیجیتال متناوب می‌باشد (به شکل ۲ توجه نمایید). بنابراین از این نکته می‌توان برای شناسایی سیگنال‌های آنالوگ و دیجیتال از SCF بهره گرفت.

است. این مقادیر با استفاده از روابط (۳) تا (۶)، به دست آمده است. پس از تخمین ویژگی مورد نظر، تصمیم‌گیری راجع به نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی، مطابق رابطه (۹) انجام می‌شود:

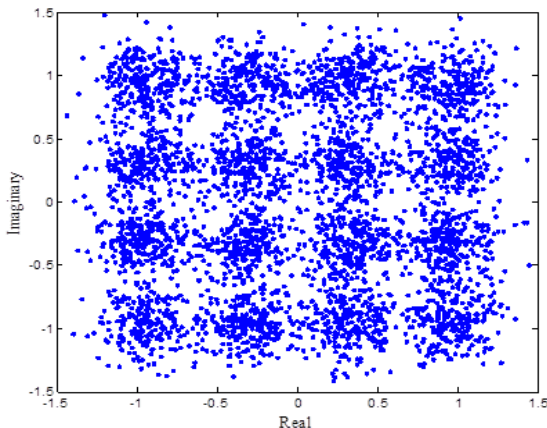
$$\hat{i} = \arg \min_{i=1, \dots, Q} \sum (|f_{ci} - \hat{f}_C(y)|) \quad (9)$$

که در آن: تخمین اولیه نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی و f_{ci} مقدار ایده‌آل بردار ویژگی آمین مدولاسیون و $\sum(\cdot)$ برابر مجموع مولفه‌های بردار است. با توجه به جدول ۱، می‌توان دریافت که مقدار ویژگی‌های مدولاسیون‌های ۱۶-QAM و ۶۴-QAM بسیار به یکدیگر نزدیک است و اگر فقط از رابطه بالا برای شناسایی این مدولاسیون‌ها استفاده شود، باعث خطای زیادی در تشخیص صحیح آنها خواهد شد. بنابراین در این مقاله از روشی به نام کاهش بعد، برای شناسایی این نوع مدولاسیون‌ها استفاده شده است. در روش کاهش بعد سیگنال از روابط زیر بهره می‌بریم:

$$W(n) = |\text{real}(y(n))| + j|\text{imag}(y(n))| \quad (10)$$

$$\hat{y}(n) = W(n) - \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N W(n) \quad (11)$$

در رابطه (۱۱) منظور از $\hat{y}(n)$ سیگنال کاهش بعد یافته در راستای محور حقیقی و موهومی است. در شکل ۳، برج مدولاسیون ۱۶-QAM و در شکل ۴، کاهش بعد یافته این مدولاسیون در راستای



شکل ۳. برج مدولاسیون ۱۶-QAM پس از گذر از یک کانال AWGN در $\text{dB SNR} = 10$

$$\begin{aligned} C_{63}(y) &= C(y(n), y(n), y(n), y^*(n), y^*(n), y^*(n)) \\ &= E[y(n)^6] - 9E[y(n)^4]E[y(n)^2] - 3E[y^*(n)^3 y(n)]E[y(n)^2] \\ &\quad - 3E[y^*(n)y(n)^3]E[y^*(n)^2] + 18E[y^*(n)^2]E[y(n)^2]E[y(n)^2] \\ &\quad + 12(E[y(n)^2])^3 \end{aligned} \quad (6)$$

که در روابط فوق، علامت * مزدوج سیگنال است. با توجه به روابط بالا می‌توان دریافت که ممان‌های مجموع سیگنال‌های تصادفی مستقل، برابر مجموع ممان‌های آنهاست [۷]. از این رو با توجه به رابطه (۱)، می‌توان دریافت که ممان‌های مجموع سیگنال و نیز برابر است با ممان سیگنال به علاوه ممان نویز. همچنین ممان از مرتبه چهار به بالا برای نویز گوسی، برابر صفر است [۳]. پس با توجه به این دو خاصیت می‌توان به راحتی مشاهده کرد که ممان‌های مرتبه بالا (ممان از مرتبه چهار به بالا)، نسبت به اثر نویز گوسی سفید جمع‌شونده مقاوم‌تر هستند. این امر، یکی از انگیزه‌های مهم طراحان برای استفاده از ویژگی‌های ممان‌ها برای شناسایی مدولاسیون می‌باشد. در این مقاله از ترکیب روابط (۳) تا (۶) برای شناسایی مدولاسیون سیگنال دریافتی استفاده شده است. بردار ویژگی مورد نظر به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f_c(y) = \left[\frac{|C_{63}(y)|^2}{(|C_{40}(y)|^2 + 2|C_{42}(y)|^2)^{\frac{3}{2}}}, \frac{|C_{61}(y)|^2}{(|C_{40}(y)|^2 + 2|C_{42}(y)|^2)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (7)$$

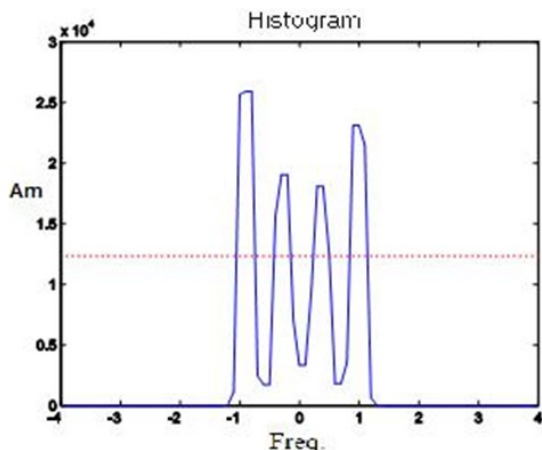
برای تخمین بردار ویژگی $f_c(y)$ و سیگنال دریافتی و به جای امید ریاضی از تخمین میانگین در روابط (۳) تا (۶) استفاده می‌کنیم و از ترکیب روابط به دست آمده، رابطه تخمینی $f_c(y)$ را به صورت زیر خواهیم داشت:

$$\hat{f}_c(y) = \left[\frac{|\hat{C}_{63}(y)|^2}{(|\hat{C}_{40}(y)|^2 + 2|\hat{C}_{42}(y)|^2)^{\frac{3}{2}}}, \frac{|\hat{C}_{61}(y)|^2}{(|\hat{C}_{40}(y)|^2 + 2|\hat{C}_{42}(y)|^2)^{\frac{3}{2}}} \right] \quad (8)$$

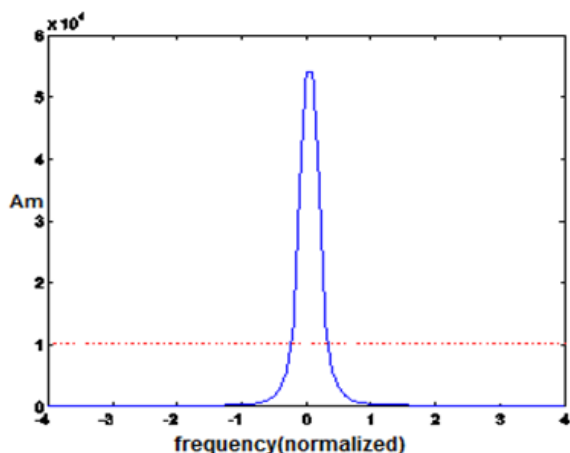
در تصمیم‌گیری، ویژگی تخمین زده شده با استفاده از رابطه (۸) را با ویژگی ایده‌آل تمام مدولاسیون‌های نامزد مقایسه می‌کنیم. مقدار ایده‌آل $f_c(y)$ برای چند نوع مدولاسیون در جدول ۱ آورده شده

جدول ۱. مقادیر ایده‌آل $f_c(y)$

نوع مدولاسیون ویژگی	۶۴-QAM	۳۲-QAM	۱۶-QAM	۸-QAM	QPSK	BPSK
$C_{40}(y)$	-۰.۶۱۹	-۰.۱۹	-۰.۶۸	۰	۱	-۲
$C_{42}(y)$	-۰.۶۱۹	-۰.۶۹	-۰.۶۸	-۱	-۱	-۲
$C_{61}(y)$	۱.۷۹۷۲	۰.۵۷	۲.۰۸	۰	-۴	۱۶
$C_{63}(y)$	۱.۷۹۷۲	۲.۱۱	۲.۰۸	۴	۴	۱۶
$f_c(y)$	[۲.۶۲ ۲.۶۲]	[۴.۵۳۱ ۰.۳۳]	[۲.۶۴ ۲.۶۴]	[۵.۶۵ ۰]	[۳.۰۷ ۳.۰۷]	[۶.۱۵ ۶.۱۵]



شکل ۶. هیستوگرام فرکانس لحظه‌ای سیگنال ۴-FSK بر حسب دامنه



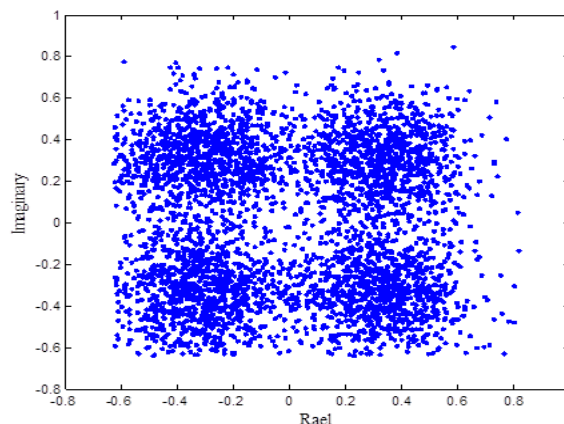
شکل ۷. هیستوگرام فرکانس لحظه‌ای سیگنال ۸-QAM بر حسب دامنه

به هیستوگرام سیگنال ۸-QAM که در شکل ۷ ترسیم شده است، توجه نمایید. از این خاصیت می‌توان برای شناسایی سیگنال FSK و همچنین تعیین مرتبه آن استفاده کرد. در شکل زیر، هیستوگرام فرکانس لحظه‌ای برخی از مدولاسیون‌ها نشان داده شده است.

همان‌طور که از شکل‌های ۶ و ۷ مشخص است تنها در مدولاسیون FSK چندین قله در هیستوگرام فرکانس لحظه‌ای وجود دارد. لازم به ذکر است که در مدولاسیون M-FSK تعداد این قله‌ها بیانگر مرتبه مدولاسیون می‌باشد.

۳. شبیه‌سازی

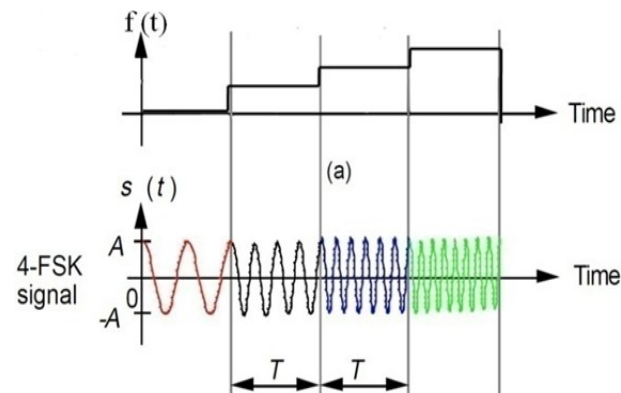
در شبیه‌سازی‌ها، از روش مونت کارلو با ۱۰۰۰ آزمایش استفاده شده است. در این روش، در هر بار آزمایش، پس از مشاهده N سمبل، f_c تخمین زده شده و سپس تصمیم‌گیری صورت گرفت. در شبیه‌سازی‌ها فرض بر این است که متدولاسیون فرستنده، یکی از مدولاسیون‌های BPSK، QPSK، ۸-PSK، ۱۶-QAM، ۳۲-QAM و



شکل ۴. برج مدولاسیون ۱۶-QAM بالا پس از کاهش بعد

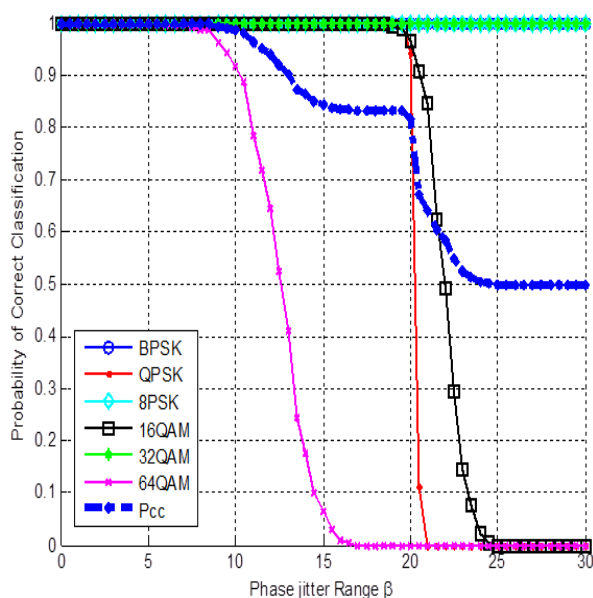
حقیقی و موهومی، که با استفاده از رابطه (۱۱) به دست آمده است، نشان داده می‌شود.

برای تشخیص مدولاسیون MFSK از سایر مدولاسیون‌ها، فرکانس لحظه‌ای سیگنال را محاسبه می‌کنیم. از آنجایی که مدولاسیون FSK در هر پرپود ارسال، دارای فرکانس متفاوتی است، فرکانس لحظه‌ای آن یک سیگنال PAM خواهد بود که سطوح این مدولاسیون، بیانگر فرکانس‌های ارسالی توسط مدولاسیون FSK است. شکل ۵ این مطلب را به درستی نشان می‌دهد.



شکل ۵. سطوح مدولاسیون PAM معادل فرکانس ارسالی مدولاسیون FSK

حال اگر از سیگنال PAM حاصل شده، هیستوگرام بگیریم و آن را رسم کنیم، به دلیل اینکه سیگنال حاصل شده تنها دارای تعداد محدودی سطوح است، هیستوگرام آن برجستگی‌هایی در تعداد محدودی از نقاط دارد. به عنوان مثال برای شکل ۵ که سیگنال ۴-FSK است، انتظار داریم که هیستوگرام آن تنها دارای ۴ برجستگی باشد. در شکل ۶ هیستوگرام سیگنال ۴-FSK نشان داده شده است. اما از آنجایی که سایر مدولاسیون‌ها (به جز مدولاسیون‌های فرکانس) جهش فرکانسی ندارند، هیستوگرام فرکانس لحظه‌ای آنها نیز تنها یک برجستگی دارد.



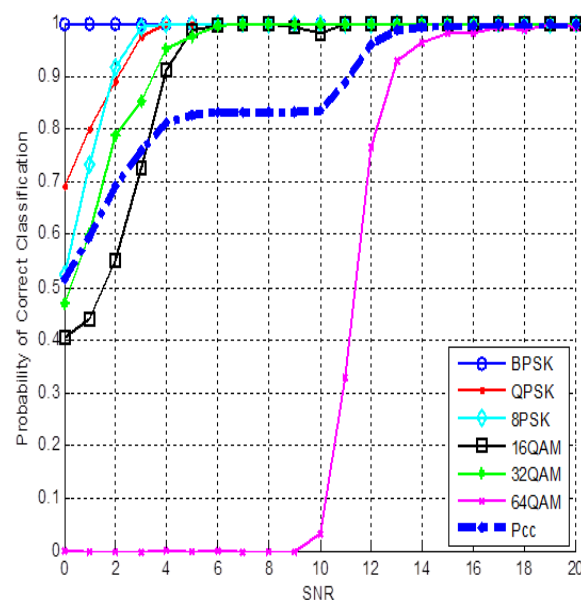
شکل ۱۰. احتمال شناسایی درست برای تک تک مدولاسیون‌ها و نیز متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون P_{cc} ، بر حسب محدوده لغزش فاز β ، بر حسب درجه

در این p_i ، ممکن است مدولاسیون سیگنال دریافتی، نوع i ام باشد. با فرض اینکه نوع مدولاسیون فرستنده با احتمال یکسان از بین Q مدولاسیون ممکن انتخاب می‌شود، p_i برابر $1/Q$ است. اگر $P(i|i)$ احتمال آن باشد که نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی، i تخمین زده شود به شرطی که مدولاسیون فرستنده مطلوب، نوع i -ام باشد، در نتیجه، $P(i|i)$ احتمال شناسایی درست مدولاسیون نوع i -ام است.

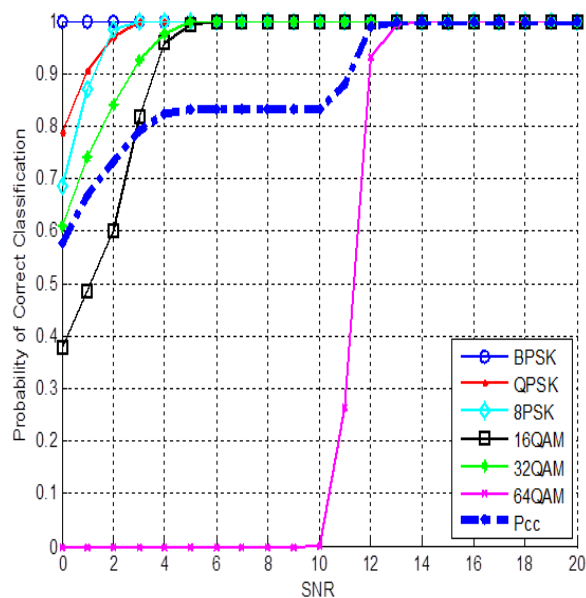
احتمال شناسایی درست برای تک تک مدولاسیون‌ها و نیز متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون، بر حسب SNR رسم شده است. در این شکل‌ها تعداد سمبل‌های مشاهده شده، برای تخمین مدولاسیون سیگنال دریافتی متفاوت می‌باشد. با توجه به این شکل‌ها می‌توان دریافت که، احتمال شناسایی درست P_{cc} در SNRهای بیش از ۱۳ db، بیشتر از ۰.۹۹ است که نشان‌دهنده کارایی بسیار خوب دسته‌بندی کننده است. همچنین با ملاحظه شکل ۸، می‌توان دریافت کمترین SNR برای شناسایی ۱۰۰٪ مدولاسیون‌های BPSK، QPSK، ۸-QAM، ۳۲-QAM و ۶۴-QAM، به ترتیب برابر است با: ۰ dB، ۳ dB، ۳ dB، ۵ dB، ۵ dB و ۱۴ dB. با توجه به شکل‌های ۸ و ۹ آشکار است که با افزایش N ، کارایی دسته‌بندی کننده بهبود می‌یابد. در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ اثر لغزش فاز و فرکانس بر روی احتمال صحیح آشکارسازی نشان داده شده است.

QAM-۶۴ است. در این بخش برای نشان دادن کارایی دسته‌بندی کننده مدولاسیون، از نتایج شبیه‌سازی‌های مختلف استفاده شده است. برای این کار از متوسط احتمال دسته‌بندی درست مدولاسیون P_{cc} بهره گرفته‌ایم که به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$P_{cc} = \sum_{i=1}^Q p_i p(i|i) \quad (12)$$



شکل ۸. احتمال شناسایی درست برای تک تک مدولاسیون‌ها و نیز متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون P_{cc} ، بر حسب SNR برای $N=2000$ ، در کانالی که فقط اثر AWGN دارد.



شکل ۹. احتمال شناسایی درست برای تک تک مدولاسیون‌ها و نیز متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون P_{cc} ، بر حسب SNR برای $N=5000$ ، در کانالی که فقط اثر AWGN دارد.

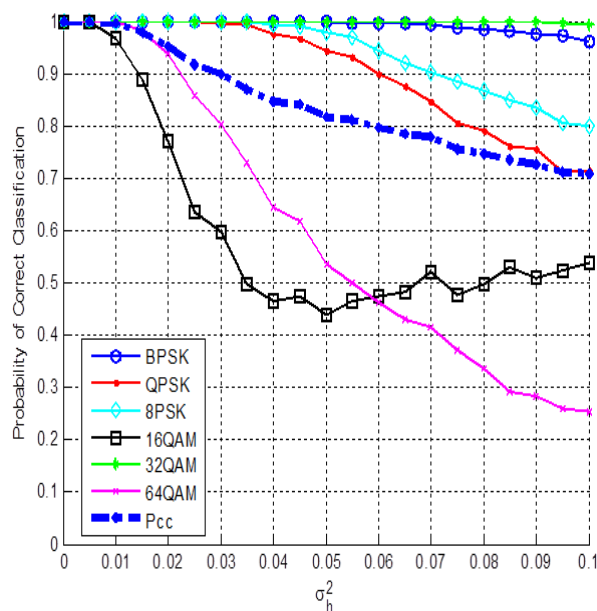
این بازه نشان می‌دهد و نیز با افزایش مشاهده و همچنین سمبل‌های استفاده شده N ، برای تخمین مدولاسیون، کارایی دسته‌بندی‌کننده افزایش می‌یابد. در شکل ۱۲ احتمال شناسایی درست، برای تک‌تک مدولاسیون‌ها و متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون p_{cc} ، بر حسب σ_h^2 برای حالتی که طول کانال $L=3$ باشد، ترسیم شده است.

۴. نتیجه

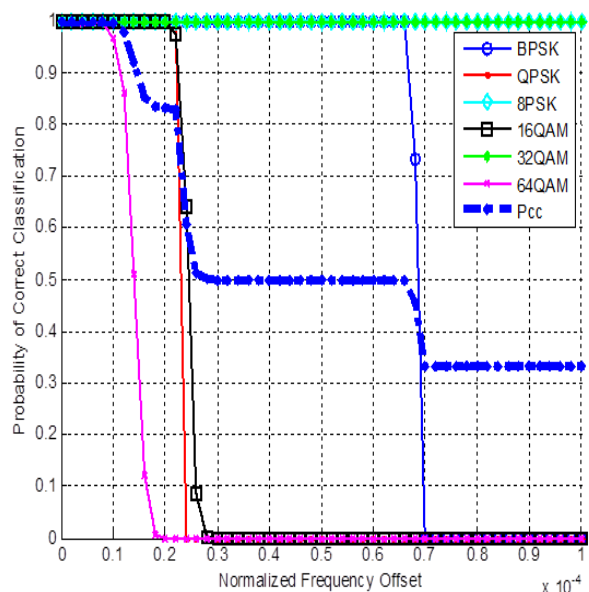
در این مقاله، برای شناسایی مدولاسیون‌های MQAM، MPSK و MFSK روشی براساس ترکیب تابع SCF و ممان‌های مرتبه بالا، با استفاده از روش کاهش بعد ارائه و برای نشان دادن کارایی این شناساگر، از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری استفاده شد. در ابتدا، فاز کانال تخمین زده شد و اثر آن به کمک این تخمین از بین رفت. همچنین با استفاده از شبیه‌سازی‌های متعدد نشان داده شد که این روش، نسبت به عوامل مخرب دیگر چون لغزش فاز، انحراف فرکانسی، خطای زمان‌بندی و کانال محوشدگی چندمسیری، مقاوم است. تمام شبیه‌سازی‌ها صحت ادعای ما را در بالا بودن کارایی روش پیشنهادشده تایید می‌کند.

۵. مراجع

- [1] E. E. Azzouz and A. K. Nandi, Automatic Modulation Recognition of Communication Signals. Kluwer Academic, 1996.
- [2] K.N. Haq, A. Mansour, S. Nordholm, "Recognition of digital modulated signals based on statistical parameters," Digital Ecosystems and Technologies (DEST), 2010 4th IEEE International Conference on, pp. 565 – 570, 2010.
- [3] P. C. Sapiro and J. D. Martin, "Maximum likelihood PSK classifier," in Proc. ICASSP, 1996, pp. 1010-1014.
- [4] P. Prakasam and M. Madheswaran, "Digital Modulation Identification Model Using Wavelet Transform and Statistical Parameters", EURASIP Journal of Computer Systems, Networks, and Communications, 2008.
- [5] H. Wijantoand, S. Tjondronegoro, "The Performance improvement of Automatic Modulation Recognition Using Simple Feature Manipulation, Analysis of the HOS, and Voted Decision", world academy of science engineering and technology, pp 763-768, 2009.
- [6] W. A. Gardner, "Statistical Spectral Analysis", Prentice-Hall publication, 1983.
- [7] A. Swami and B. M. Sadler, "Hierarchical digital modulation classification using cumulants," IEEE Trans. on Comm., vol. 48, no. 3, pp. 416-429, March 2000.



شکل ۱۱. احتمال شناسایی درست برای تک‌تک مدولاسیون‌ها و نیز متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون p_{cc} ، بر حسب σ_h^2 برای حالتی که طول کانال $L=3$ برای $N=5000$ و $SNR=15$ dB



شکل ۱۲. احتمال شناسایی درست برای تک‌تک مدولاسیون‌ها و نیز متوسط احتمال شناسایی درست مدولاسیون p_{cc} ، بر حسب انحراف فرکانسی نرمالیزه‌شده (به دوره تناوب سمبل) برای $N=5000$ و $SNR=15$ dB

همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود به ازای β کمتر از ۱۰ درجه شیب، کاهش بسیار کم است که نشان‌دهنده مقاومت دسته‌بندی‌کننده نسبت به لغزش فاز است. در این ناحیه، $p_{cc} \geq 0.95$ است که کارایی بسیار خوب دسته‌بندی‌کننده را در