



تشخیص اتوماتیک نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی با استفاده از توابع زمان-فرکانس

سید محمد رضا موسوی، امیر جعفرقلی

دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

چکیده - الگوریتمی جدید برای طبقه بندی سیگنال های مدوله شده مختلف و بر اساس تحلیل زمان-فرکانسی سیگنال بنا نهاده شده است. در این روش از توزیع های زمان-فرکانس Wigner و Choi-william استفاده شده و نتایج حاصل از این دو توزیع با هم مقایسه شده اند.

کلید واژه- توزیع های زمان-فرکانس، تشخیص اتوماتیک مدولاسیون.

۱- مقدمه

مدولاسیون به صورت اتوماتیک ارائه کرده است که در آن مدولاسیون های M تایی PSK را طبقه بندی می کند. Callagan در [۴] از تکنیک های عبور از صفر برای جداسازی سیگنال هایی با انواع مختلف FSK, SSB, FM, AM, CW و ASK استفاده کرده است. Hsue و Soliman از تکنیک های عبور از صفر برای طبقه بندی PSK و FSK نیز استفاده کرده اند. Assaleh روشی جدید از طبقه بندی مدولاسیون های دیجیتال در [۵] ارائه کرده است.

استفاده از تکنیک های زمان-فرکانس برای تشخیص اتوماتیک مدولاسیون از جمله مباحثی است که جای کار بسیاری داشته و تا کنون چندان مورد توجه نبوده است. در این مقاله سعی می شود تا الگوریتمی بر این اساس ارائه شود.

در بخش دوم این مقاله، خلاصه ای در مورد توزیع های زمان فرکانس بیان شده است و توزیع های زمان-فرکانس Wigner و Chio-William تشریح شده اند. در بخش سوم الگوریتم تشخیص اتوماتیک بر پایه استفاده از این دو توزیع بیان خواهد شد و در نهایت نتایج شبیه سازی ها و درصد موفقیت تعمیم این روش بر حسب SNR محیط برای شناسایی نوع مدولاسیون ارائه می شوند.

۲- توزیع های زمان-فرکانس

طیف چگالی توان بیان می کند که سیگنال حاوی چه مولفه هایی از فرکانس است. زمانی که طیف فرکانسی

تشخیص مدولاسیون دارای کاربردهای زیادی است، که از جمله این کاربردها کنترل نحوه استفاده از طیف الکترومغناطیسی، تأیید سیگنال، تشخیص تداخل و مدیریت طیف در کاربردهای غیر نظامی و کاربردهای نظامی نظیر جنگ الکترونیک، تحلیل و مراقبت تهدید است.

بطور کلی، دو رهیافت کلی برای مسأله تشخیص مدولاسیون موجود است: (الف) رهیافت آزمون فرضیه (ب) رهیافت شناسایی آماری الگو. در رهیافت آزمون فرضیه، از شناسه های آماری و آزمون فرضیه برای فرمول بندی مسأله تشخیص مدولاسیون استفاده می شود. در رهیافت آزمون فرضیه، با تشکیل نسبت همانندی (Likelihood Ratio) با در نظر گرفتن پارامترهای نامعلوم و مقایسه آن با یک آستانه، مدولاسیون تشخیص داده میشود. در رهیافت شناسایی آماری الگو، مشخصاتی از سیگنال شامل ممانها، کامیولنتها، عبور از صفرها، مقادیر لحظه ای اندازه فاز و فرکانس، خواص زمانی و فرکانسی و .. استخراج می شود، سپس با استفاده از یک روش کلاس بندی و جداسازی، بر اساس این مشخصات، سیگنال دسته بندی میشود [۱].

در مقالات ارائه شده توسط Huang و Polydoros [۲] روش کلی برای جدا سازی سیگنال های MPSK از هم را ارائه کرده اند. Soliman در [۳] با استفاده از خصوصیات آماری ممان های فاز سیگنال، الگوریتمی کلی برای شناسایی



$$S(t) = \sum_{K=1}^N S_K(t) \quad (5)$$

با بازنویسی این سیگنال بر اساس جملات خودی و متداخل داریم:

$$p(t, \omega) = \sum_{K=1}^N P_{KK}(t, \omega) + \sum_{\substack{k, l=1 \\ l \neq k}}^N P_{kl}(t, \omega) \quad (6)$$

که در آن:

$$P_{kl}(t, \omega) = \frac{1}{4\pi^2} \iiint \left(e^{-j\theta t - j\tau\omega + j\theta\tau} \phi(\theta, \tau) \cdot S_k^*\left(u - \frac{1}{2}\tau\right) S_l\left(u + \frac{1}{2}\tau\right) du d\tau d\theta \right) \quad (7)$$

و $\phi(\theta, \tau)$ تابع هسته است. Choi و William با بررسی تابع هسته به گزینه بسیار مناسبی برای تابع هسته برخورد کردند که عبارتست از:

$$\phi(\theta, \tau) = e^{-\theta^2 \tau^2 / \sigma} \quad (8)$$

در این رابطه σ مقدار ثابتی است. با جایگزینی این هسته در رابطه (8) و انتگرال گیری روی θ خواهیم داشت:

$$P_{CW}(t, \omega) = \frac{1}{4\pi^{3/2}} \iint \left(\frac{1}{\sqrt{\tau^2 / \sigma}} e^{-[(u-t)^2 / (4\tau^2 / \sigma)] - j\tau\omega} \cdot S_k^*\left(u - \frac{1}{2}\tau\right) S_l\left(u + \frac{1}{2}\tau\right) du d\tau \right) \quad (9)$$

با تغییر مقدار σ می توان جملات متداخل را کاهش داد یا اضافه کرد. با توجه به بحث های انجام شده می دانیم که پیک زمانی رخ می دهد که $u = t$ باشد و از σ برای کنترل مقدار τ استفاده می شود.

۳- ارائه الگوریتم تشخیص مدولاسیون

در این بخش الگوریتم تشخیص مدولاسیون ارائه می گردد. این روش بر پایه استفاده از یکی از توزیع های Wigner یا Choi-William در یک پروسه پردازشی بازگشت پذیر بنا شده است.

شکل (۱) بلوک دیاگرام انجام این روش را نشان می دهد. برای اعمال این الگوریتم خروجی اعمال توزیع ها بر

سیگنال به آرامی با زمان تغییر می کند و بازه های زمانی تغییر طولانی است. برای مطالعه این سیگنالها می توان لز تبدیل فوریه زمان کوتاه STFT، یا اسپکتروگرام استفاده کرد. اما در مورد سیگنالهایی که طیف آنها با سرعت زیادتری با زمان تغییر می کند؛ پیدا کردن پنجره ای با زمان کوتاه که سیگنال در آن ایستاد باشد مشکل است. در این حالت مجبوریم تا برای مطالعه دقیقتر سیگنال در حوزه فرکانسی طول پنجره زمانی بررسی را کاهش دهیم که این امر موجب کاهش قدرت تفکیک پذیری فرکانسی می شود؛ [6].

در اینگونه موارد برای تحلیل خواص سیگنال به بررسی سیگنال در حوزه زمان-فرکانس می پردازیم. مزیت بزرگی که توزیع های زمان-فرکانس معمولا دارا هستند بالا نبودن میزان حساسیت این توزیع ها به نویز و به خصوص نویز گوسی است؛ [7]. در ادامه مباحث این قسمت به معرفی دو توزیع زمان-فرکانس مورد استفاده در این مقاله می پردازیم:

۲-۱- توزیع Wigner

از اولین توزیع های ارائه شده است که به طور وسیعی مورد استفاده و مطالعه قرار گرفته است [8] و [9]:

$$W(t, \omega) = \frac{1}{2\tau} \int S^*\left(t - \frac{1}{2}\tau\right) e^{-j\tau\omega} S\left(t + \frac{1}{2}\tau\right) d\tau \quad (3)$$

و از اینرو این توزیع برحسب فرکانس به صورت زیر بیان می شود:

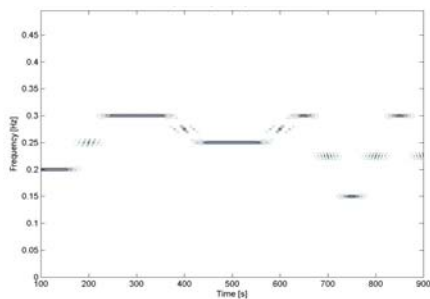
$$W(t, \omega) = \frac{1}{2\pi} \int S^*\left(\omega + \frac{1}{2}\theta\right) e^{-j\theta t} S\left(\omega - \frac{1}{2}\theta\right) d\theta \quad (4)$$

۲-۲- توزیع Choi-William

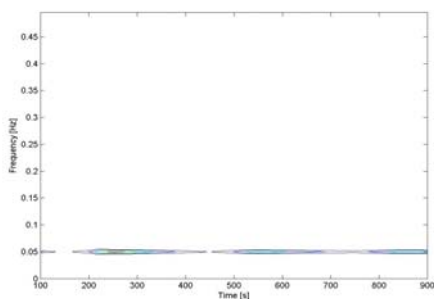
توزیع Wigner در نواحی با مقادیر صفر به دلیل وجود جملات کاذب مخصوصا برای سیگنالهایی که از چند بخش تشکیل شده اند موجب ایجاد جملات متداخل می شود و مقدار غیر صفر را نشان می دهد. این خصوصیت از غیر خطی بودن توزیع ناشی می شود.

تحقیقات زیادی برای رفع مشکل توزیع Wigner انجام شده است. Choi و William توزیعی ارائه کردند که این مقادیر کاذب در آنها مینیمم باشد. فرض می کنیم سیگنال از بخش های $S_K(t)$ تشکیل شده باشد:

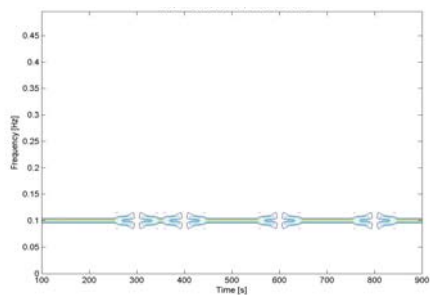
های مختلف وجود دارد از این قرار خواهد بود.



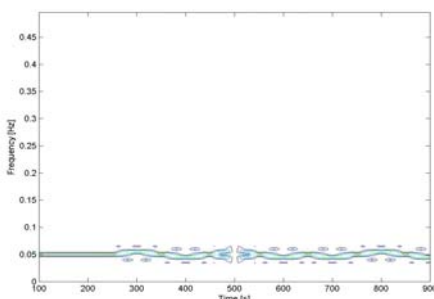
الف) سیگنال FSK



ب) سیگنال ASK



ج) سیگنال BPSK



د) سیگنال QPSK

شکل ۲- توزیع Wigner برای سیگنال های دیجیتال FSK ، ASK ، BPSK و QPSK

خروجی همبسته یابی سیگنال های متعلق به مدولاسیون

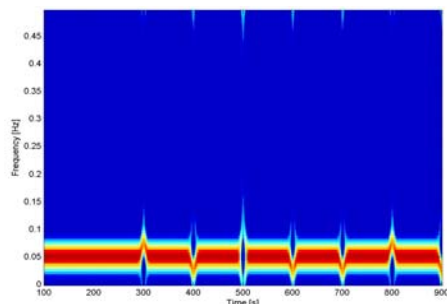
مدولاسیون های آنالوگ و دیجیتال در یک بانک اطلاعاتی جهت مقایسه با سیگنال مورد آزمایش و تشخیص آنالوگ و یا دیجیتال بودن سیگنال و همچنین نوع مدولاسیون آن نگهداری می شود. سیگنال دریافتی ابتدا در پیش پردازشگر برای نمونه برداری و تعیین میزان تحلیل پذیری نمونه ها مورد بررسی قرار می گیرد.

پردازش سیگنال آلوده به نویز در توزیع Choi-william ابتدا با دو روش کنترل سطح آستانه و ایجاد هسته بهینه [۱۱] و در توزیع Wigner فقط با کنترل سطح آستانه اعمالی به سیگنال از نویز و یا تداخلات احتمالی تا اندازه ای که همبسته یابی ایجاد شده با مدولاسیون های پیش فرض موجود در بانک دارای همبستگی نرمالیزه بیش از ۰.۵ باشد ادامه پیدا می کند.

پردازش حلقه بسته ای بین بلوک های سطح آستانه (ایجاد هسته بهینه) و بلوک همبسته یابی وفقی انجام می شود. اگر خروجی بلوک همبسته یابی وفقی حاکی از شناسایی سیگنال نباشد سطح آستانه بیشتری جهت رسیدن به نمونه هایی که قابل همبسته یابی باشند اعمال می شود. البته این بازگشت با توجه به تکرار آزمایش در مورد صد سیگنال به صورت تصادفی، فقط تا مرحله ای که سطح آستانه ۷۰ درصد اندازه بزرگترین نمونه باشد تکرار خواهد شد. در شبیه سازیهای انجام شده تعداد یک هزار نمونه از سیگنال انتخاب شده است.

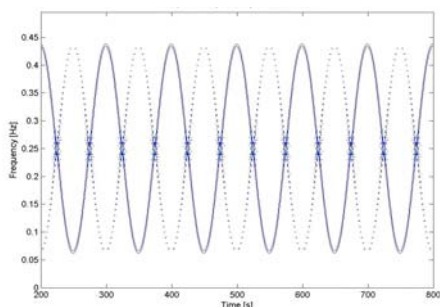
در توزیع Choi-william به علت وجود هسته ای که به صورت بهینه از آن استفاده شده است اثر تداخل از سیگنال حذف می شود و پردازش قوی تری بر سیگنال اعمال می شود. به همین علت دست یابی به همبسته یابی صحیحی از سیگنال با احتمال بیشتری میسر می شود. در واقع در مقایسه این دو توزیع برای تشخیص مدولاسیون باید گفت که توزیع Choi-william با خطای کمتری کار می کند.

اگر نمونه های حاصل به صورت متناوب و یا به صورت متمرکز در یک نقطه باشند سیگنال آنالوگ و به ترتیب FM و یا AM خواهد بود. و اگر تغییرات پله ای و یا مسطح در ماتریس خروجی وجود داشته باشد سیگنال از جنس دیجیتال است. با انجام آزمایش های مختلف آنچه در بانک اطلاعاتی به عنوان پیش فرض جهت تشخیص مدولاسیون

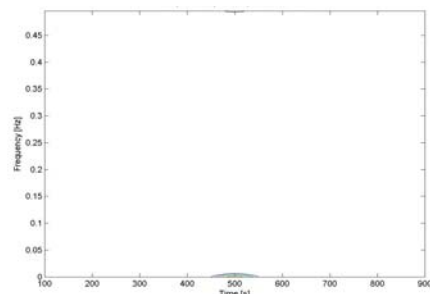


(د) سیگنال QPSK

شکل ۳- توزیع Chio-William برای سیگنال های دیجیتال FSK ،ASK ، BPSK و QPSK

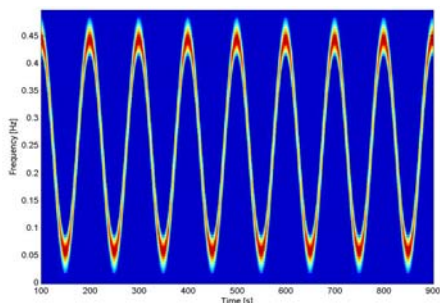


(الف) سیگنال FM



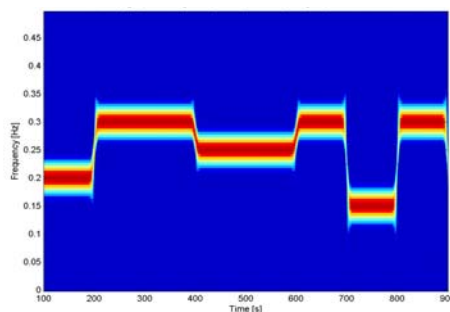
(ب) سیگنال AM

شکل ۴- توزیع Wigner برای سیگنال های آنالوگ FM و AM

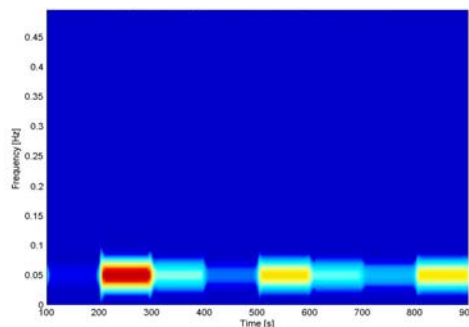


(الف) سیگنال FM

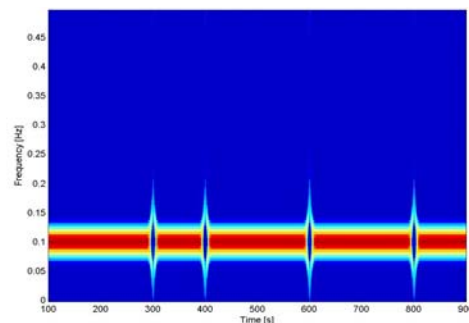
آنالوگ FM با توجه به ماهیت متغیر بودن با فرکانس دارای خروجی متناوبی خواهند بود که میزان تناوب ارتباط مستقیم با فرکانس سیگنال دارد. سیگنال های AM از آنجایی که مدولاسیون دامنه دارند در فرکانس صفر دارای پیک در صفحه زمان- فرکانس هستند. توزیع های Wigner و Choi-William سیگنال های دیجیتال در شکل های (۲)، (۳)، دیده می شوند. در شکل های (۲) الف، و (۳) الف، در مورد مدولاسیون FSK شاهد تناسب میزان تغییر فرکانس در زمان های مختلف، با تغییرات فرکانسی در حوزه زمان- فرکانس سیگنال هستیم.



(الف) سیگنال FSK



(ب) سیگنال ASK

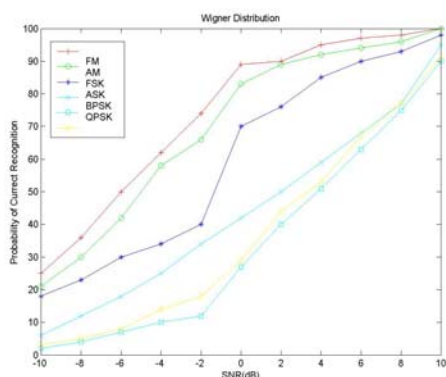


(ج) سیگنال BPSK

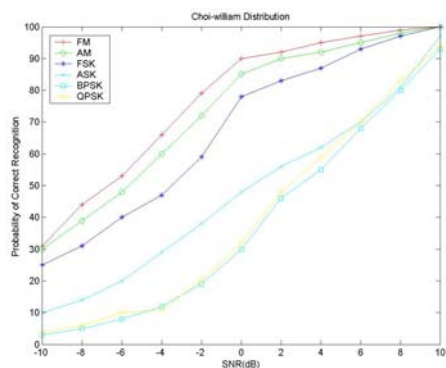
اطلاعات مربوطه پرداخت. سیگنال مدوله BPSK در نقاط تغییر بیت دچار یک شکستگی می شود که از این خاصیت می توان برای تعیین نرخ ارسال بیت این نوع مدولاسیون استفاده نمود. سیگنال مدوله ASK نیز به صورت یک توزیع زمان-فرکانس متناوب در حوزه زمان دیده می شود. احتمال کلاسه بندی صحیح سیگنال ها به وسیله الگوریتم ارائه شده در جداول (۱) و (۲) که در آن سیگنال های ورودی در ستون عمودی نشان داده شده است ارائه شده است.

۴- نتیجه گیری

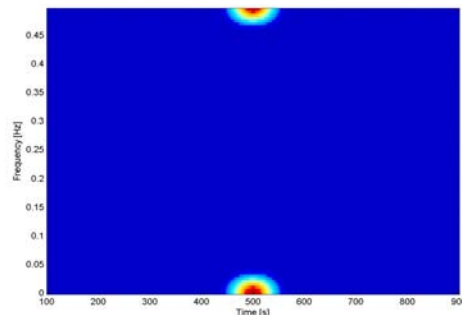
از توزیع های زمان-فرکانس Wigner و Chio-William در الگوریتم ارائه شده برای طبقه بندی سیگنال های مدوله شده مختلف استفاده گردید. نتایج شبیه سازی نشان می دهد که توزیع Choi-william 2 dB بهبود را نسبت به Wigner نشان می دهد. توزیع Choi-william را می توان به عنوان تعیین کننده نرخ بیت و تشخیص دهنده نوع مدولاسیون و همچنین به عنوان دمدولاتور سیگنال مدوله QPSK به کار برد.



شکل ۶- منحنی احتمال تشخیص نوع مدولاسیون در توزیع Wigner



شکل ۷- منحنی احتمال تشخیص نوع مدولاسیون در توزیع Choi-william



ب) سیگنال AM

شکل ۵- توزیع Chio-William برای سیگنال های آنالوگ FM و AM

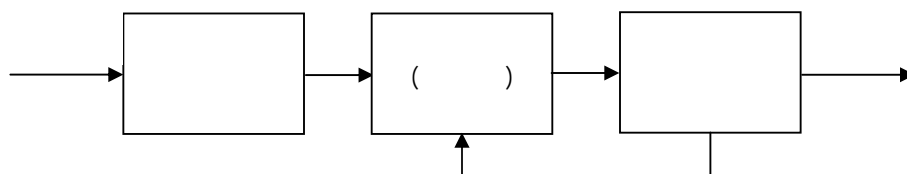
در شکل های (۲) ب، و (۳) ب، در مورد مدولاسیون ASK که دامنه سیگنال دارای جابجایی است متناسب با دامنه در فرکانس ثابت، اندازه پیک های توزیع زمان-فرکانس تغییر می نماید. در شکل های (۲) ج، و (۳) ج و در شکل های (۲) د، و (۳) د، در مورد مدولاسیون های QPSK و BPSK که در فرکانس ثابت دارای جابجایی فاز هستند زمان های تغییر فاز و میزان پایداری آن تناسب مستقیم با سیگنال دارد.

توزیع های Wigner و Choi-william سیگنال های آنالوگ FM و AM در شکل های (۴) و (۵)، دیده می شوند. احتمال تشخیص نوع مدولاسیون در الگوریتم مربوطه با شرایط مختلف SNR در شکل های (۶) و (۷) آمده است. بر اساس این دو منحنی، توزیع Choi-william 2 dB بهبود را نسبت به Wigner نشان می دهد. از طرفی با مشاهده خروجی الگوریتم به راحتی می توان نوع مدولاسیون را توسط توزیع Choi-william مشخص نمود. همانطور که در شکل های (۳) و (۵) مشاهده می شود؛ سیگنال FM منحنی سینوسی داشته و سیگنال AM، دو پیک متقارن نسبت به صفحه فرکانس می دهد.

سیگنال مدوله FSK به دلیل تغییرات فرکانسی با زمان در طول یک بازه مشخص، به راحتی قابل تشخیص خواهد بود. سیگنال های مدوله BPSK و QPSK که تک فرکانس هستند از روی نقاط مربوط به تغییر بیت ها که در حالت پیوستگی حفظ می شود می توان فهمید که با QPSK مواجهیم. نکته بسیار جالبی که در اینجا با دقت در شکل می توان دید قابلیت تعیین هویت بیت با استفاده از توزیع Choi-william است. بنابراین می توان به نوعی از این توزیع به عنوان دمدولاتور QPSK استفاده کرده و به استخراج

مراجع

- [6] Leon Cohen. Time-Frequency distributions-A review. Invited paper IEEE Proceedings of the IEEE, vol. 77, No. 7, July 1989
- [7] Shie Qian and Dapang Chen, Joint time-frequency analysis - methods and applications, Prentice Hall, 1996.
- [8] S. Bakamidis, "A New Frequency Domain Method for Amplitude and Frequency Demodulation," ICSPAT, Boston, MA (1996).
- [9] Linh-Trung Nguyen, Bouchra Senadji & Boualem Boashash, SCATTERING FUNCTION AND TIME-FREQUENCY SIGNAL PROCESSING, Queensland University of Technology, Australia, IEEE 2001.
- [10] Gilles Burel, André Quiquis, Stéphane Azou, INTERCEPTION AND FURTIVITY OF DIGITAL TRANSMISSIONS, IEEE-Communications' 2002.
- [1] E. E. Azouz, A. K. Nandi, *Automatic Modulation Recognition of Communication Signals*, Kluwer Academic Publishers, Norwell MA, 1996.
- [2] Chung-Yu Huang and Andreas Polydros. Likelihood methods for mpsk modulation classification. *IEEE Transactions on Communications*, 43(2/3/4):1493–1504, 1995.
- [3] Samir S. Soliman and Shue-Zen Hsue. Signal classification using statistical moments. *IEEE Transactions on Communications*, 40(5):908–916, 1992.
- [4] J. L. Perry T. G. Callaghan and J. K. Tjho. Sampling and algorithms aid modulation recognition. *Microwaves RF*, 24(9):117–119, 121, 1985.
- [5] K. Farrell K. Alssaleh and R. J. Mammone. A new method of modulation classification for digitally modulated signals. *MELCOM*, pages 30.5.1–30.5.5, 1992.



شکل ۱- بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی تشخیص مدولاسیون بر پایه توزیع های زمان- فرکانس Wigner و Choi-william

جدول ۱- احتمال کلاسه بندی صحیح سیگنال ها در توزیع Wigner

	FM	AM	FSK	ASK	BPSK	
FM	94	-	6	-	-	-
AM	-	95	-	5	-	-
FSK	5	-	93	-	-	2
ASK	-	4	-	92	2	2
BPSK	-	-	-	2	63	35
QPSK	-	-	-	1	25	74

جدول ۲- احتمال کلاسه بندی صحیح سیگنال ها در توزیع Choi-william

	FM	AM	FSK	ASK	BPSK	QPSK
FM	96	-	4	-	-	-
AM	-	97	-	3	-	-
FSK	2	-	97	-	-	1
ASK	-	3	-	95	1	1
BPSK	-	-	-	1	70	29
QPSK	-	-	-	1	20	79