شناسایی مدولاسیون‌های خانواده QAM از روی منظومه آن براساس انطباق الگو و بکارگیری الگوریتم خوشه‌بندی TTSAS

نگار احمدی[۱]، رضا برنگی[۲]
۱- دانشگاه علم و صنعت ایران، Negar.ahmadi670@gmail.com
۲- دانشگاه علم و صنعت ایران، Rberangi@iust.ac.ir

چکیده

شناسایی نوع مدولاسیون، در سال‌های اخیر توجه فزاینده‌ای را چه در بخش‌های نظامی و چه در بخش‌های تجاری به خود جلب کرده است. در این راستا اکثر روش‌های تشخیص و طبقه‌بندی مدولاسیون برمبنای استفاده از مولفه‌های سیگنال مدوله شده استوار بوده است. در این مقاله با استفاده از منظومه علائم سیگنال مدوله شده، بکارگیری الگوریتم خوشه‌بندی *TTSAS* و انطباق آن با الگوی استاندارد، موفق به تفکیک سطوح و شناسایی مدولاسیون‌های خانواده *QAM* شدیم. نتایج بدست آمده حکایت از توانایی این روش در شناسایی مدولاسیون با دقت بالا و سرعت همگرایی مناسب، در حضور نویز دارد.

واژه‌های کلیدی

الگوریتم خوشه‌بندی *TTSAS*، انطباق الگو، شبکه عصبی مصنوعی همینگ، شناسایی خودکار مدولاسیون.

۱– مقدمه

اگر یکی از اهداف پایه ای علم مخابرات را ایجاد ارتباطی مناسب بین دور از هم بدانیم، مدولاسیون به‌عنوان بخشی جدانشدنی از این روند محسوب می‌گردد. مدولاسیون فرآیند تغییر یک یا بیش از یکی از مشخصه‌های سیگنال حامل متناسب با تغییرات سیگنال پیام است [1]. مشخصه‌های قابل تغییر یک سیگنال عبارتند از دامنه و فاز وفرکانس. بدین ترتیب مکانیزم کدبندی داده‌های دیجیتال به سیگنال آنالوگ یا مدولاسیون دیجیتال عبارتند از:

۱. شیفت گسسته در دامنه[۱]
۲. شیفت گسسته در فرکانس[۲]
۳. شیفت گسسته در فاز[۳]
۴. مدولاسیون دامنه با حالت تربیعی[۴]

این مکانیزم چهارم تغییراتی را هم در دامنه و هم در فاز ترکیب می‌کند که به نام مدولاسیون دامنه با حالت تربیعی شناخته شده است. این روش مدولاسیون از سه طرح قبلی کارآمدتر بوده و مکانیزمی است که تقریباً برای اکثر مودم‌های پیشرفته کاربرد دارد.

شناسایی مدولاسیون به‌علت مزایای بیشماری که به آن اشاره می‌شود توجه قابل ملاحظه‌ای را به خود جلب کرده است که از جمله آنها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

با شناسایی صحیح مدولاسیون می‌توان چندین گیرنده را در یک گیرنده جامع جای داد. یکی دیگر از کاربردها می‌تواند مسیردهی[۵] در یک محیط شبکه‌ای باشد که توسط آن هر سیگنال به گیرنده مناسب ارجاع گردد.

در بخش نظامی سیستم‌های جنگ الکترونیکی از طبقه‌بندی مدولاسیون به‌عنوان یک منبع اطلاعاتی برای هدایت روش‌های (ECM)[۶] استفاده می‌کنند. علاوه بر این از طبقه‌بندی نوع مدولاسیون به‌عنوان هشدار دهنده (به عنوان مثال تشخیص سیگنال رادار موشک دشمن)، تشخیص هدف و ... استفاده می‌گردد [2,3,4,5,6].

در کاربردهای غیرنظامی می‌توان به مدیریت فرکانس، مونیتورینگ فرستنده ها و تشخیص فرستنده‌های غیرمجاز اشاره کرد [3,4,5]. همانطور که مشاهده می‌شود در کلی‌ترین حالت می‌توان کاربردهای تشخیص نوع مدولاسیون را به دو گروه کاربردهای شهری و کاربردهای نظامی تقسیم کرد. مهم‌ترین کاربردهای شهری نظارت و مدیریت بر طیف فرکانسی و هویت‌یابی امواج ایجادکننده اختلال می‌باشد. انواع کاربردهای نظامی نیز عمدتاً شامل عملیات تجسسی و جنگ الکترونیک می‌باشد. البته کاربرد دیگری که در هر دو گروه کاربردهای شهری و نظامی قرار می‌گیرد و اخیراً مورد توجه بسیار زیاد قرار گرفته است، امکان ساخت گیرنده‌های هوشمندی است که بدون داشتن اطلاعات پیشینی از سیگنال ارسالی، نوع مدولاسیون را تشخیص و اطلاعات را استخراج کنند. بدین ترتیب فرستنده / گیرنده‌های هوشمندی امکان ظهور می‌یابند که با توجه به شرایط محیط و کانال ارتباطی مناسب‌ترین نوع مدولاسیون را جهت ارسال اطلاعات انتخاب می‌کنند و گیرنده نیز به‌صورت بلا درنگ امکان تشخیص تغییرات نوع مدولاسیون را دارد [7]. بنابراین شفافیت[۷] در بحث ارتباطات از نظر نوع مدولاسیون ایجاد می‌گردد.

همان‌گونه که گفته شد می‌توان طبقه‌بندی مدولاسیون را قدم مهمی بین آشکارسازی حضور یک سیگنال مخابراتی و دمدولاسیون آن تلقی کرد. در شرایط واقعی، باید ابتدا از وجود یک سیگنال مخابراتی در باند مورد نظرمطلع شد و با فرض مطمئن شدن از حضور یک سیگنال می‌توان به بازشناخت نوع مدولاسیون آن پرداخت.

دو رهیافت عمده به مسأله طبقه‌بندی نوع مدولاسیون وجود دارد که عبارتند از :

۱. روش مبتنی بر تئوری تصمیم آماری[۸]
۲. روش طبقه بندی الگوی مبتنی بر ویژگیها[۹]

رهیافت اول یعنی روش تصمیم‌گیری بر مبنای تئوری‌های تصمیم‌گیری و آشکارسازی ایجاد شده است، در این رهیافت با استفاده از معلومات موجود درباره آشکارساز بهینه، یک متغیر تصمیم‌گیری طرح می‌گردد. برای تشخیص نوع مدولاسیون کافی است این متغیر را با یک سطح آستانه مناسب مقایسه کنیم. هر مدولاسیون یک متغیر تصمیم‌گیری بهینه دارد که باعث کمینه شدن احتمال خطای تشخیص نوع مدولاسیون می‌شود. این روش کارآیی بسیار خوبی داشته و در واقع روش کلاسیک حل مسأله شناسائی خودکار مدولاسیون[۱۰] است. ولی در اغلب موارد متغیر تصمیم‌گیری بهینه بسیار پیچیده بوده و قابل پیاده‌سازی به‌صورت عملی نیست. علاوه بر آن به اطلاعات اضافی مثل فرکانس حامل، نرخ سمبول، مقدار سیگنال به نویز[۱۱] و غیره نیاز دارد. به همین دلیل معمولاً از تقریب آن که متغیر تصمیم‌گیری شبه بهینه نامیده می‌شود استفاده می‌گردد. از کارهای پیشینی که براین‌اساس صورت گرفته است می‌توان به روش **کیم – پلیدورس** [8] اشاره کرد که در آن مولفین با استفاده از Ln متغیر تصمیم‌گیری بهینه و همچنین استفاده از جمله اول بسط مک لورن تابع کسینوس هایپربولیک اقدام به ساده‌سازی آن و تولید متغیری تحت عنوان QLLR[12] نموده‌اند. روش دیگری که از این رهیافت استفاده شده است روش **سیلز** [9] است که جهت تفکیک مدولاسیون‌های خانواده QAM و PSK براساس تخمین حداکثر شباهت ML[13] ارائه گردیده است.

رهیافت دوم استفاده از تئوری شناسایی الگو می‌باشد. اساس این روش بر استخراج ویژگی از سیگنال مورد نظر استوار است. در این رهیافت به جای محاسبه متغیر تصمیم‌گیری، ویژگی یا ویژگی-های مورد نیاز محاسبه شده و با سطوح آستانه مقایسه می‌گردد. در واقع یک نگاشت از فضای سیگنال به فضای ویژگی‌های استخراجی انجام می‌شود و عمل تصمیم‌گیری در این فضا صورت می‌پذیرد که بسیار ساده‌تر است. این رهیافت در مقایسه با قبلی پیچیدگی کمتری داشته و معمولاً به اطلاعات اضافی چندانی نیاز ندارد. در گذشته کارآیی این روش کمتر از روش تصمیم‌گیری بوده است ولی امروزه با پیدایش شبکه‌های عصبی مصنوعی به‌عنوان کلاسیفایرهای مطمئن و توانا، روش شناسایی الگو به رهیافت غالب تشخیص نوع مدولاسیون بدل شده است و روش‌های متفاوت از نظر ویژگی‌های انتخاب شده و ساختار شبکه عصبی مصنوعی و نحوه آموزش آن پدید آمده است. از جمله روش‌هایی که با رهیافت ذکر شده ارائه شده‌اند می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

روش **نندی – آزوز** [10, 11, 12] روش نسبتاً جامعی است که با استخراج ۹ ویژگی دست به تفکیک مدولاسیون زده و نسبت به سایر روش‌های مشابه از کارآیی بهتری برخوردار است. از رهیافت دوم همچنین می توان به روش **قانی – لامونتاگنه** [13] اشاره کرد که در این روش که از شناسایی الگوی مبتنی بر ویژگی‌ها به شمار می‌آید، از ویژگی‌های طیفی سیگنال مدوله شده جهت شناسایی و طبقه‌بندی مدولاسیون استفاده شده است. کلاسیفایر به

کار رفته در این روش یک شبکه عصبی مصنوعی با الگوریتم آموزش انتشار خطای معکوس[14] است.

۲– مسیر سیگنال و منظومه علائم

یکی از روش‌های رایج آنالیز سیگنال مدوله شده استخراج مؤلفه های هم فاز (In-Phase(I و متعامد (Quadrature(Q می‌باشد، استخراج این مؤلفه‌ها این اجازه را به ما می‌دهد که سیگنال را به‌صورت یک بردار در صفحهٔ I/Q ببینیم لذا مسیر سیگنال در یک دیاگرام دوبعدی قابل نمایش خواهد بود. مؤلفه‌های I وQ را با ضرب سیگنال در$\cos\ \omega t$ و $\sin\ \omega t$ و عبور دادن آن از یک فیلتر پایین‌گذر با پهنای باند هم‌اندازه یا بزرگتر از پهنای باند سیگنال استخراج می‌کنند. مسیرهای سیگنال از بین نقاط مشخصی موسوم به منظومه عبور می‌کنند، منظومه در واقع نشان‌دهندهٔ نمونه‌هایی از مولفه‌های I وQ سیگنال می‌باشد که به کمک معکوس سیگنال ساعت از سیگنال‌های I وQ نمونه برداری شده است. با استفاده از منظومه علائم سیگنال مدوله شده، مساله طبقه‌بندی مدولاسیون تبدیل به یک مساله شناسایی الگو خواهد شد که برای حل آن می‌توان از الگوریتم‌های کارآمد شناسایی الگو استفاده نمود. یکی از بهترین روش‌های تشخیص نوع مدولاسیون استفاده از مسیر سیگنال و منظومهٔ علائم آن می‌باشد، منحصربه‌فرد بودن مسیر سیگنال برای مدولاسیون‌های مختلف از جمله مدولاسیون‌های خانواده‌ی QAM این امکان را فراهم آورده است که شناسایی مدولاسیون با دقت بالایی صورت پذیرد [14]. به این ترتیب با بدست آوردن تعداد کلاسترهای تشکیل شده در صفحه I/Q، سطوح مدولاسیون مشخص می‌گردد.

۳– استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی TTSAS و پیاده‌سازی آن به‌وسیله شبکه عصبی همینگ

در این مقاله جهت کلاسترینگ داده‌های ورودی سیگنال مدوله شده در صفحه I/Q از الگوریتم خوشه‌بندی TTSAS[15] استفاده گردیده است [15]. برای پیاده‌سازی الگوریتم از یک شبکه عصبی مصنوعی همینگ استفاده شده است[16].

شبکه عصبی همینگ یک شبکه دو لایه است که لایه نخست آن برای محاسبه یک امتیاز به کار برده می‌شود و لایه دوم آن برای انتخاب بهترین امتیاز بکار گرفته می‌شود اوزان این شبکه در لایه اول در واقع مقادیر مولفه های I و Q مراکز کلاسترهای تشکیل شده است. این اوزان درمراحل مختلف آموزش شبکه، متناسب با به روز شدن مراکز کلاسترهای تشکیل شده از نمونه‌های ورودی در هر مرحله آموزش، به‌روز می‌شوند. مراکز کلاسترها با استفاده از میانگین‌گیری بین مولفه‌های I/Q نمونه‌های متعلق به کلاسترهای مربوطه بدست می‌آیند و جایگزین اوزان شبکه در هر مرحله آموزش می‌شوند تا سرانجام پس از اتمام آموزش شبکه، به وزن‌های ایده‌آل و بهینه یا به عبارتی به مراکز بهینه کلاسترها دست یابیم.

با استفاده از الگوریتم TTSAS، در شروع الگوریتم نیاز به دانستن تعداد کلاسترها نمی‌باشد تنها کافی است که حداکثر تعداد کلاسترهای ممکن و دو حد آستانه را تعیین کنیم که حداکثر تعداد کلاسترها بسته به اینکه کدام مدولاسیون در برنامه اصلی پردازش می‌شود متغیر است و برابر با تعداد کلاسترهای ایده آل هر مدولاسیون در یک ربع در نظر گرفته و پس از آن به کل صفحه تعمیم داده می‌شود و حدود آستانه ای که در روند اجرای الگوریتم TTSAS مورد استفاده قرار می‌گیرد به‌صورت $T_i = 1/2\left(Q - \|w_i\|^2\right)$ تعریف می‌شود که در آن T حد آستانه و Q مقدار ثابت مثبتی است که تضمین می‌کند حداقل یکی از گره‌های لایه اول شبکه عصبی امتیاز خروجی مثبتی خواهد داشت و سرانجام w معرف وزن هر گره در لایه اول شبکه عصبی است.

هر مدولاسیون در یک الگوریتم با یک کلاستر شروع به کار می‌کند و در پیاده‌سازی آن به‌وسیله شبکه همینگ نیز در ابتدا همان یک کلاستر به‌عنوان یک گره از شبکه لحاظ می‌شود سپس اولین نمونه به شبکه اعمال می‌شود اوزان مربوط به گره برابر مولفه‌های I و Q همین نمونه در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین اولین نمونه ما به‌عنوان مرکز کلاستر اول شناخته خواهد شد. هرنمونه که کلاسه‌بندی می‌شود برچسب کلاس آن برابر یک می‌گردد و در صورتی‌که در مرحله‌ای از اجرای الگوریتم نتواند به هیچ یک از کلاسترهای موجود بپیوندد و یا خود تشکیل کلاستری جدید بدهد این برچسب همچنان صفر باقی می‌ماند تا در تکرارهای بعدی الگوریتم کلاسه‌بندی شود، الگوریتم مادامی‌که نمونه‌ای کلاس‌بندی نشده وجود داشته باشد ادامه می‌یابد. درصورتی‌که هیچ نمونه کلاسه‌بندی نشده‌ای وجود نداشته باشد و یا در تکرار قبلی الگوریتم، هیچ نمونه‌ای به هیچ کلاسی تعلق نپذیرفته باشد الگوریتم خاتمه می‌یابد.

فاصله اقلیدسی هرنمونه که به شبکه ارائه می‌شود، با مراکز کلیه کلاسترهایی که تا کنون به‌وجود آمده‌اند محاسبه می‌شود و کمترین فاصله اقلیدسی که مربوط به نزدیکترین کلاستر به داده مربوطه است بدست می‌آید، در ابتدا این فاصله با حد آستانه اول مورد مقایسه قرار می‌گیرد، در صورتی‌که از آن کمتر باشد، به این معنی است که نمونه فاصله اندکی با مرکز کلاستر دارد بنابراین به کلاستر مربوطه می‌پیوندد و مرکز کلاستر با میانگین گیری به‌روز می‌شود ، اما اگر این شرط برقرار نباشد، فاصله اقلیدسی بدست آمده با حد

آستانه دوم مقایسه می‌گردد، اگر این مقدار از حد آستانه دوم بیشتر باشد به این معنی است که فاصله نسبتاً زیادی با نزدیکترین کلاستر دارد و بنابراین درصورتی‌که تعداد کلاسترهای موجود از حداکثر تعداد کلاسترهای ممکن کمتر باشد، خود کلاستر جدیدی تشکیل می‌دهد. اما اگر مقدار فاصله بین دو حد آستانه قرار داشته باشد در حالت تعلیق باقی می‌ماند تا کلاستر مربوط به آن در تکرارهای بعدی الگوریتم مشخص گردد. به همین ترتیب نمونه های بعدی به شبکه معرفی می‌گردند.

پس از برآورده شدن شرط خاتمه الگوریتم، یک مرحله پردازش جهت بهبود عملکرد الگوریتم اجرا می‌شود. برای این منظور در ابتدا کلاسترهایی با تعداد اعضای کم، حذف شده و پس از آن نوبت به ادغام کلاسترهای نزدیک به هم می‌رسد، در مرحله ادغام، فاصله دو به دو مراکز کلاسترها محاسبه شده و در هر مرحله تکرار نزدیکترین دو کلاستر، ادغام و مرکز کلاستر جدید با میانگین‌گیری به روز می‌شود، این عمل تا زمانی که تعداد کلاسترهای موجود برابر تعداد کلاسترهای مدولاسیونی پردازشی برنامه اصلی باشد، ادامه می‌یابد. شبه کد مربوط به الگوریتم TTSAS در شکل (۱) آورده شده است. همچنین معماری شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله در شکل (۲) نشان داده شده است.

۴– شناسایی مدولاسیونهای خانواده QAM با استفاده از نتایج به دست آمده از الگوریتم TTSAS و انطباق الگو

در ابتدا برای هریک از انواع مدولاسیون‌های خانواده QAM، مراکز ایده‌آل تعریف می‌شود تا در ادامه قادر به مقایسه آنها با مراکز بدست آمده از سیگنال باشیم. برای مدولاسیون 4-QAM یک مرکز کلاستر ایده‌آل در ربع صفحه، برای مدولاسیون 16-QAM، ۴ مرکز کلاستر ایده‌آل، برای مدولاسیون 64-QAM، ۱۶ مرکز کلاستر ایده‌آل و برای مدولاسیون 256-QAM، ۶۴ مرکز کلاستر ایده‌آل قابل تعریف خواهد بود. تمامی مراکز در ربع اول صفحه I/Q و در بازه [0,1] تعریف می‌شوند. بنابراین برای اینکه امکان مقایسه مراکز بدست آمده ازسیگنال ورودی با مراکز ایده‌آل وجود داشته باشد، قدرمطلق نمونه‌های دریافتی از ورودی محاسبه شده و پس از آن به دو برابر میانگین مقادیر مولفه‌های I و Q نمونه‌های دریافتی نرمالیزه می‌شوند. ارزیابی از سطوح بالای مدولاسیون (256-QAM) شروع و به سطح پایین مدولاسیون (4-QAM) ختم می‌شود.

پس از اینکه تعداد کلاسترها با استفاده از الگوریتم TTSAS مشخص گردید، نوبت به انطباق الگو می‌رسد تا به‌وسیله آن تعداد سطوح مدولاسیون‌های خانواده QAM شناسایی شود. مراکزی که ازالگوریتم TTSAS بدست می‌آید با مراکز ایده‌آل 256-QAM مقایسه می‌گردد. این مقایسه از طریق محاسبه فاصله اقلیدسی مراکز متناظر صورت می‌گیرد. مقدار فاصله بدست آمده با حد آستانه‌ای که برای 256-QAM تعریف شده است، مقایسه می‌شود و در صورتی که فاصله بدست آمده از مقدار آستانه کمتر باشد این نوع مدولاسیون به‌عنوان مدولاسیون آشکارسازی شده اعلام می‌شود وبرنامه خاتمه می‌یابد، اما اگر این شرط برآورده نشود نوع بعدی مدولاسیون یعنی 64-QAM به طریق مشابه ارزیابی می‌شود و درصورت برآورده شدن شرط شباهت این مدولاسیون به‌عنوان مدولاسیون سیگنال ورودی اعلام شده درغیراین صورت ارزیابی برای نوع بعدی مدولاسیون یعنی 16-QAM انجام می‌شود.

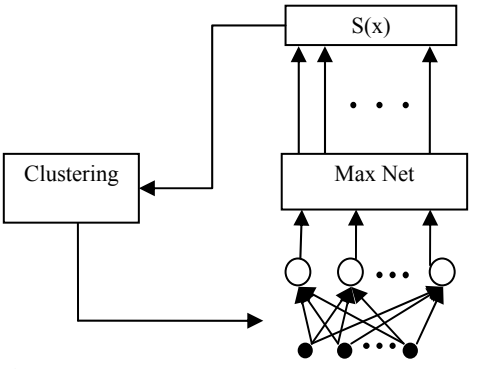
The Two-Threshold Sequential Algorithmic Scheme (TTSAS)

M=0
Class(x)=0 , $\forall x \in X$
Prev_change=0
Cur_change=0
Exists_change=0

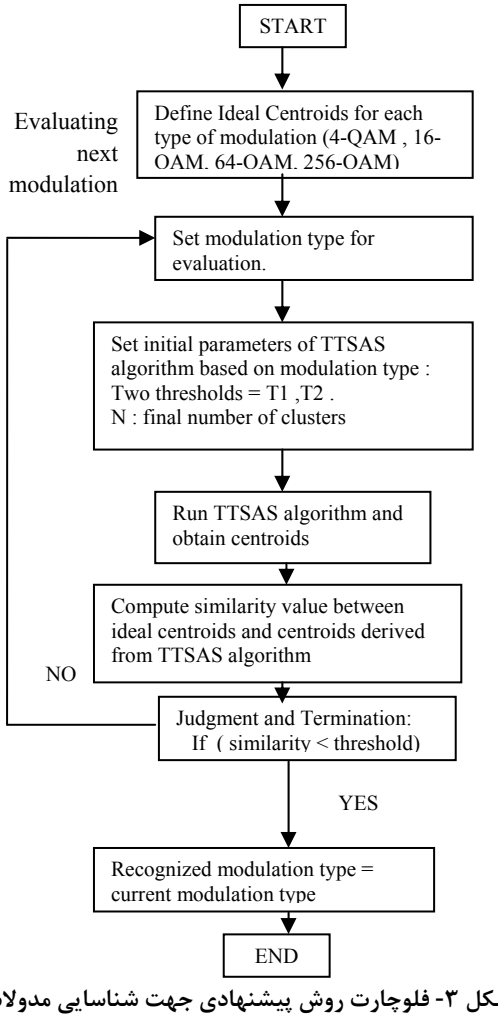
While (there exists at least one feature vector x with class(x)=0) do
  For i=1 to N
    If class(xi) = 0 AND it is the first in the new
    while loop AND exists_change=0 then
      m=m+1
      Cm={xi}
      Class(xi) = 1
      cur_change = cur_change + 1
    Else if class(xi) = 0 then
      Find d(xi , Ck) = Min $_{1\le j\le m}$ d(xi, Cj)
      If d(xi , Ck) < θ_1 then
        Ck = Ck $\cup$ { xi }
        class(xi) = 1
        cur_change = cur_change + 1
      Else if d(xi, Ck) > θ_2 then
        m=m+1
        Cm= { xi }
        Class(xi) =1
        cur_change = cur_change + 1
      End {if}
    Else if class (xi) =1 then
      cur_change = cur_change + 1
    End {if}
  End {for}
  exists_change = |cur_change – prev_change|
  prev_change = cur_ change
  cur_change = 0
End {While}

شکل ۱– الگوریتم TTSAS.

اگر هیچ‌کدام از نوع مدولاسیون‌ها شرط شباهت را برآورده نکنند در نهایت مدولاسیون 4-QAM به‌عنوان نوع مدولاسیون سیگنال ورودی فرض شده و در خروجی اعلام می‌گردد. به‌طور کلی روند اجرای برنامه مطابق شکل (۳) انجام می‌پذیرد.



شکل ۲- معماری شبکه عصبی جهت پیاده‌سازی الگوریتم TTSAS.

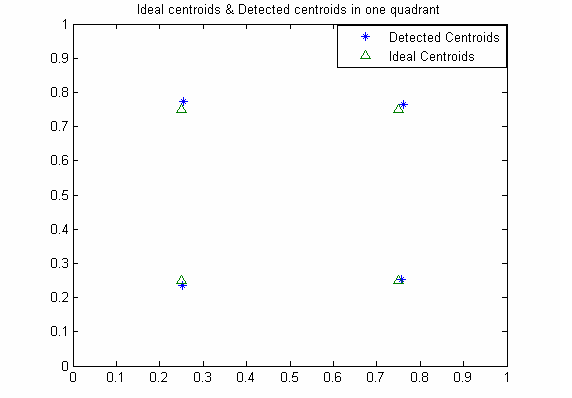


شکل ۳- فلوچارت روش پیشنهادی جهت شناسایی مدولاسیون.

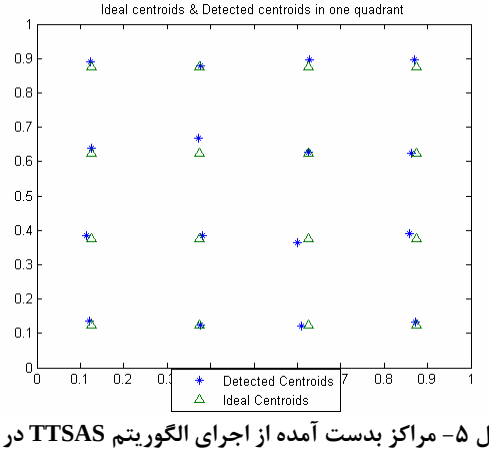
۵– ارزیابی کارآیی وتحلیل نتایج حاصل از این روش

جهت بررسی عملکرد روش پیشنهادی، این روش را با مقادیر متفاوت نویز و مقادیر متغیر نمونه ورودی برای کلیه مدولاسیون‌های خانواده QAM ، مورد آزمایش قرار دادیم. نتایج بدست آمده حاکی از کارآیی مطلوب، دقت بالا و سرعت قابل قبول این روش در شناسایی مدولاسیون می باشد.

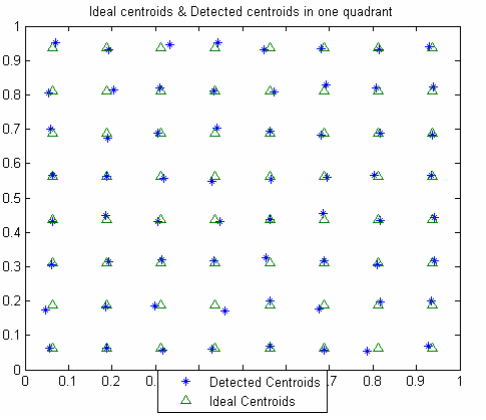
اشکال (۴) و (۵) و (۶) مراکز کلاسترهای بدست آمده از الگوریتم TTSAS را در مقایسه با الگوی استاندارد شکل منظومه مدولاسیون‌های 16-QAM، 64-QAM و 256-QAM نشان می‌دهد. این اشکال خروجی برنامه پس از تشخیص مدولاسیون است.



شکل ۴- مراکز بدست آمده از اجرای الگوریتم TTSAS در ربع صفحه (مدولاسیون 16-QAM, SNR= 3dB) و مقایسه آن با شبیه‌ترین الگوی منظومه علائم موجود.

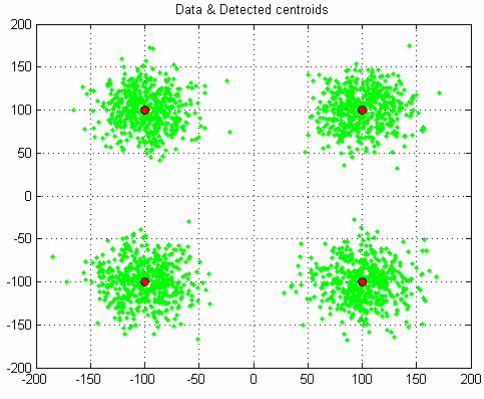


شکل ۵- مراکز بدست آمده از اجرای الگوریتم TTSAS در ربع صفحه (مدولاسیون 64-QAM، SNR= 9dB) و مقایسه آن با شبیه ترین الگوی منظومه علائم موجود.



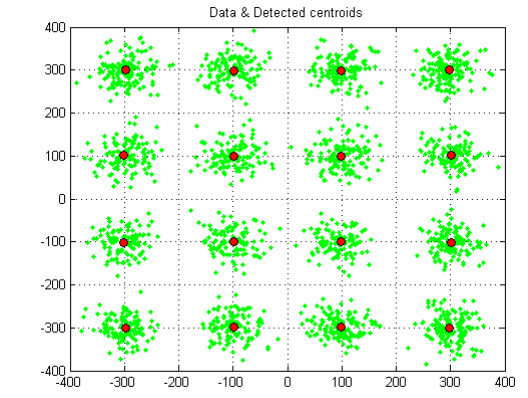
شکل ۶- مراکز بدست آمده از اجرای الگوریتم TTSAS در ربع صفحه (مدولاسیون 256-QAM، SNR=20dB) و مقایسه آن با شبیه‌ترین الگوی منظومه علائم موجود.

همانطور که در شکل‌ها مشخص است، برنامه شبیه‌ترین الگو به مراکز بدست آمده را به عنوان نوع مدولاسیون انتخاب می‌کند و این قضاوت را برحسب حدود آستانه‌ای که برای هر یک از مدولاسیون‌ها در نظر گرفته است، انجام می‌دهد سپس کلاسترهای تشکیل شده از نمونه‌های ورودی در صفحه I/Q و مراکز آنها به همراه نوع مدولاسیون و میزان شباهت آن به الگو، به‌عنوان خروجی اعلام می‌گردد. اشکال (۷)، (۸)، (۹) و (۱۰) کلاسترهای تشکیل شده از داده‌های ورودی و مراکز آنها را برای مدولاسیون‌های 4-QAM ، 16-QAM، 64-QAM و 256-QAM در کل صفحه I/Q نشان می‌دهند.

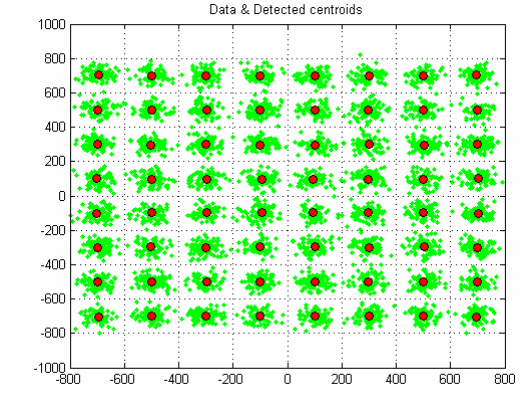


شکل ۷- خروجی برنامه پس از شناسایی مدولاسیون 4-QAM .

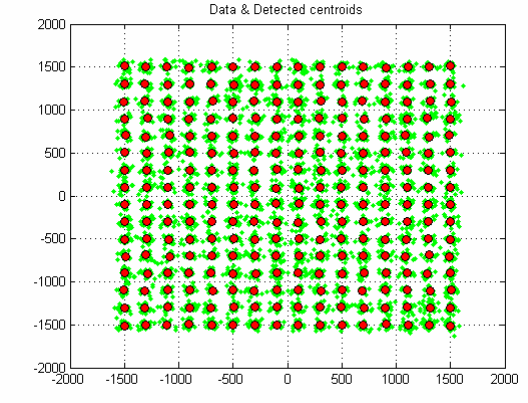
جدول (۱) دقت این روش را در شناسایی مدولاسیون‌های خانواده QAM بر حسب سیگنال به نویز مشخص می‌کند. درصد تشخیص صحیح انواع مدولاسیون با اجرای دفعات مناسب الگوریتم و محاسبه نسبت شناسایی صحیح به کل دفعات اجرا، بدست آمده است. نمودار (۱۱) نیز بر اساس دقت روش در شناسایی مدولاسیون‌ها برحسب نسبت سیگنال به نویز (SNR)رسم شده است.



شکل ۸- خروجی برنامه پس از شناسایی مدولاسیون 16-QAM.



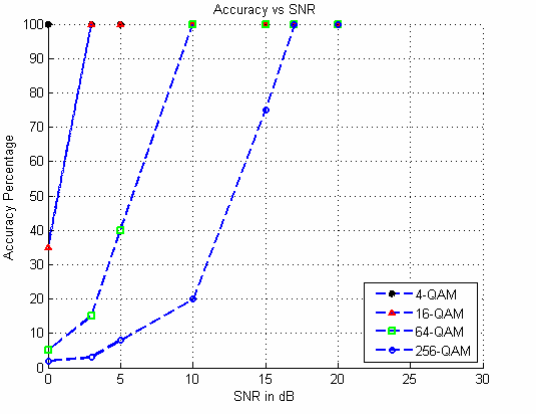
شکل ۹: خروجی برنامه پس از شناسایی مدولاسیون 64-QAM .



شکل ۱۰- خروجی برنامه پس از شناسایی مدولاسیون 256-QAM

جدول ۱- دقت شناسایی مدولاسیون‌های خانواده **QAM** برحسب **SNR**.

SNR (dB)	0	3	5	10	15	17	20
4-QAM	100	100	100	100	100	100	100
16-QAM	35	100	100	100	100	100	100
64-QAM	5	15	40	100	100	100	100
256-QAM	2	3	8	20	75	100	100



شکل ۱۱- دقت تشخیص مدولاسیون‌های خانواده **QAM** برحسب **SNR**.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله با به کار گیری الگوریتم خوشه‌بندی TTSAS، و پیاده‌سازی آن به کمک شبکه عصبی همینگ، مراکز کلاسترهایی که به‌صورت طبیعی در صفحه I/Q تشکیل می‌شوند را بدست آورده و پس از آن به‌وسیله انطباق الگو و براساس معیار شباهت میان مراکز بدست آمده از الگوریتم TTSAS و الگوهای استاندارد مدولاسیون‌های خانواده QAM، با تعریف مقادیر آستانه برای هر یک از مدولاسیون‌ها، موفق به تشخیص مدولاسیون شدیم. ملاک شباهت در این روش فاصله اقلیدسی است نتایج پیاده‌سازی، حکایت از سرعت مناسب و دقت بالای این روش در شناسایی مدولاسیون‌های خانواده QAM دارد. همچنین به‌دلیل استفاده همزمان از الگوریتم خوشه‌بندی و انطباق الگو، حساسیت روش را نسبت به نویز کاهش دادیم و همان‌طور که در قسمت تحلیل نتایج آورده شده است، روش ارائه شده نسبت به مقدار سیگنال به نویز پایین نیز پاسخ‌های مطلوب و قابل قبولی ارائه می‌دهد البته لازم به ذکر است که هراندازه تعداد نمونه‌های ورودی بیشتر شود قابلیت پاسخگوئی صحیح این روش نسبت به مقادیر سیگنال به نویز پایین افزایش می‌یابد. مزیت دیگر این روش، محاسبه مراکز کلاسترهای نهایی و مشخص کردن مکان قرارگیری آنها در صفحه I/Q است که می‌توان به‌وسیله آن مرزهای تصمیم‌گیری را مشخص نمود. از این روش می‌توان در شناسایی سایر مدولاسیون‌های دیجیتال نیز بهره برد.

۷- مراجع

[1] A. B. Carlson, P. B. Crilly, J. C. Rutledge; **"Communication system"**, McGraw Hill, Fourth edition, 2001.

[2] Y. Yang, S. S. Soliman; **"An improved moment-based algorithm for signal classification"**, signal processing, Vol. 43, 1995, pp. 231-244 .

[3] B. Mobaseri; **" Digital modulation Classification using constellation shape"**, Signal Processing pp. 251-277, Jan 2000 .

[4] S. S. Soliman, S. Hsue; **"Signal classification using statistical moments"**, IEEE Trans. On Communication, Vol. COM 40, No. 5, pp. 908-916, May 1992.

[5] J. Lopatka and M. Pedzisz; **"Automatic modulation classification using statistical moments and a fuzzy classifier"**, Signal Processing Proceedings ,WCCC- ICSP 2000, 5th international conf. ' on, 21-25 Aug. 2000, Vol.3, pp. 1500-1506.

[6] M. L. D. Wong, A. K. Nandi; **"Automatic modulation recognition using spectral and statistical features with multi layer perceptrons"**, Sixth international symposium on Signal processing and its application,, Aug. 2001, Vol. 2, pp.390-393.

[7] Y. O. Al-Jalili; **" Identification algorithm of upper sideband and lower sideband SSB signals"**, Signal Processing, Vol. 42, 1995, pp. 207-213.

[8] Kim, Kiseon, Polydoros; **"Digital modulation recognition: the BPSK versus QPSK case"**, MILCOM '88, Oct. 1988, Vol. 2, pp.431-436 .

[9] J. A. Sills, Maximum-likelihood modulation classification for PSK/'OAM, MILCOM '99,

Conf. Proceedings, 31 Oct.-3 Nov. ,1999, Vol. 1, pp. 217-220.

[10] E. E. Azzouz, A. K. Nandi; **"Automatic modulation recognition of communication signals"**, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1996.

[11] A. K. Nandi, E. E. Azzouz; **"Algorithms for automatic modulation recognition of communication signals"**, IEEE Trans. On Communication, Vol. 46, No. 4, pp. 431-436, 1998.

[12] E. E. Azzouz, A. K. Nandi**; " Automatic identification of digital modulation types"** Signal Processing , Vol. 47, pp. 55-69, 1995.

[13] N. Ghani, R. Lamontagne; **" Neural networks applied to the classification of spectral features for automatic modulation recognition",** MILCOM, 1993, Vol. 1, pp. 111-115 .

[14] B. Mobaseri, **"Constellation shape as a robust signature for digital modulation recognition"**, Military Communications Conference Proceedings, MILCOM IEEE ,Volume 1, Issue ,pp. 442-446, 1999.

[15] Sergios Theodoridis, Konstantions Koutroumbas; **"Pattern Recognition"**, Second Edition , Elsevier Academic Press, 2003.

[16] Earl Gose, Richard Johnsonbaugh, Steve Jost; **"Pattern Recognition and Image Analysis"**, Prentice Hall PTR , 1996.

۸– پی‌نوشت‌ها

1- Amplitude Shift Keying (ASK)

2- Frequency Shift Keying (FSK)

3- Phase Shift Keying (PSK)

4- Quadrature – Amplitude Modulation (QAM)

5- Routing

6- Electronic Counter Measure

7- Transparency

8- Statistical Decision Theory

9- Feature Based Pattern Recognition

10- Automatic Modulation Recognition (AMR)

11- SNR

12- Quasi Log- Likelihood Ratio

13- Maximum Likelihood

14- Back Propagation

15- Two Threshold Sequential Algorithmic Scheme