مجله "پدافند الکترونیکی و سایبری"، سال اول، شماره ۱، بهار ۱۳۹۲، ص ۱۵-۲۱

تشخیص نوع مدولاسیون در استاندارد DVB-S2 با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو

محسن فرهنگ*[۱]، علی قلعه[۲]، حمید دهقانی[۳]

۱- کارشناس ارشد مهندسی مخابرات، دانشگاه صنعتی مالک اشتر ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد قزوین
۳- استادیار دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(دریافت: ۹۱/۹/۱۱ ، پذیرش: ۹۱/۱۲/۱۵)

چکیده

در فرآیند شنود سیگنال‌های مخابراتی دشمن، شناسایی نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی از اهمیت بالایی برخوردار است. با توجه به رشد روزافزون کاربردهای ماهواره در مخابرات نظامی، در این مقاله روشی نوین برای شناسایی نوع مدولاسیون‌های به کار رفته در یکی از استانداردهای مهم مخابرات ماهواره‌ای یعنی DVB-S2 ارائه شده است. روش پیشنهاد شده در این مقاله، کامولنت‌های مراتب چهارم و ششم را به‌عنوان ویژگی‌ها از سیگنال دریافتی استخراج می‌کند. این ویژگی‌ها به یک الگوریتم اتصال ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو داده می‌شوند که در آن برای هر جفت از مدولاسیون‌های کاندید، یک ماشین بردار پشتیبان باینری (دو کلاسی) در نظر گرفته شده است. در این الگوریتم نوع مدولاسیون انتخاب شده توسط بیشترین تعداد ماشین‌های بردار پشتیبان، به عنوان تصمیم نهایی تشخیص مدولاسیون برگزیده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان می‌دهد که این روش پیشنهادی در مقایسه با برخی از روش‌های پیشین نرخ تشخیص صحیح بالاتری، به ویژه در SNRهای پایین ارائه می‌دهد.

واژه‌های کلیدی:

استخراج ویژگی، استاندارد DVB-S2، شناسایی الگو، شناسایی مدولاسیون، شنود سیگنال، ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو

Modulation Recognition for DVB-S2 Standard Using Pairwise Support Vector Machines

Mohsen Farhang*[1], Ali Ghaleh[2] , Hamid Dehghani[3]

1-Malek-Ashtar University of Technology,2-azvin Azad University, 3- Malek-Ashtar University of Technology

Abstract

Recognition of modulation type of hostile signals is an important task in electronic war measures. Regarding the growth of satellite applications in military communications, in this paper a novel modulation recognition method is developed. The method is applicable for classification of satellite communications signals used in 2nd generation of Digital Video Broadcasting via Satellite (DVB-S2) standard. Also our proposed method extracts fourth and sixth order cumulates from the received signal as its features. The features are given to a SVM pairwise coupling algorithm in which there is one binary SVM for each pair of modulation types. Finally the algorithm selects the modulation type chosen by the maximal number of pairwise SVMs as final decision. The simulation results show that the proposed method provides higher recognition rates in comparison with some previous methods, especially at low SNRs.

Keywords: **automatic modulation classification, feature extraction, pattern recognition, cumulant, pairwise support vector machines, DVB-S2**

* Corresponding Author Email:farhang.mohsen@gmail.com

۱. مقدمه

شنود سیگنال‌های مخابراتی دشمن یکی از ارکان مهم عملیات‌های جنگ الکترونیک است. استخراج اطلاعات نهفته در هر سیگنال مخابراتی نیازمند آگاهی از پارامترهای مختلف سیگنال نظیر: فرکانس حامل، نوع مدولاسیون، نرخ سمبل، نوع کدینگ و ... می‌باشد. یکی از مهمترین این پارامترها نوع مدولاسیون استفاده شده در سیگنال مخابراتی است که تحقیقات و مقالات متعددی به ارائه روش‌هایی برای شناسایی آن ز روی بازهٔ زمانی محدودی از سیگنال دریافتی پرداخته‌اند. در این مقالات، فرآیند شناسایی کور نوع مدولاسیون یک سیگنال دریافتی را، طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون[1] یا تشخیص خودکار مدولاسیون[2] می‌نامند. در قالب گیرنده‌های هوشمند، طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون به‌عنوان مرحله میانی، بین زیرسیستم‌های کشف سیگنال و مدولاسیون قرار دارد. کاربردهای تشخیص مدولاسیون به دو دسته نظامی و تجاری تقسیم می‌شوند. بیش از دو دهه، طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون، یک موضوع مهم در کاربردهای نظامی مانند شنود سیگنال، جنگ الکترونیک و نظارت[3] بوده است. در سال‌های اخیر، با رشد محبوبیت رادیو نرم‌افزاری و رادیو شناختگر[4]، طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون در حال تبدیل شدن به یک فناوری مهم برای کاربردهای تجاری نظیر مدیریت طیف پویا و شناسایی تداخل می‌باشد [۱و۲] در مخابرات نظامی برای شنود سیگنال‌های دشمن نیاز به آگاهی از نوع مدولاسیون سیگنال دریافتی می‌باشد. اگرچه DVB-S2 یک استاندارد تجاری بوده، اما مدولاسیون‌های به‌کار رفته در آن از رایج‌ترین مدولاسیون-های مخابرات ماهواره‌ای می‌باشند. از این جهت تحقیق بر روی ویژگی‌های این مدولاسیون‌ها و همچنین روش‌های شناسایی آنها از اهمیت بالایی در شنود سیگنال‌های مخابرات ماهواره‌ای دشمن برخوردار است و می‌توان در آینده از نتایج این تحقیقات برای سیستم‌های نظامی مشابه استفاده کرد.

در دنیای مخابرات تجاری نیز اهمیت روزافزون رادیو نرم‌افزاری باعث رشد و توسعه الگوریتم‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون شده است. امروزه در بسیاری از سیستم‌های مخابراتی از تکنیک مدولاسیون وفقی[5] استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها فرستنده بر اساس وضعیت کانال و کیفیت خدمات مورد نظر، نوع مدولاسیون مناسب را انتخاب می‌کند. برای مثال در استاندارد IEEE 802.11 از مدولاسیون‌های BPSK، QPSK، 16QAM و 64QAM استفاده می‌شود. استاندارد DVB-S2 نیز در ارتباطات دو طرفه، بنابر شرایط کانال از یکی از مدولاسیون-های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK استفاده می‌کند [۳]. در این سیستم‌ها فرستنده با ارسال یک پایلوت[6]، نوع مدولاسیون به کار رفته در فریم ارسالی را به اطلاع گیرنده می‌رساند و گیرنده نیز با استفاده از دمدولاتور متناسب دادهٔ موجود در آن، فریم را استخراج می‌کند. ارسال پایلوت برای هر فریم باعث کاهش گذردهی[7] می‌شود. اگر گیرنده بتواند به نحوی از روی سیگنال دریافتی، نوع مدولاسیون را تشخیص دهد، دیگر نیازی به ارسال پایلوت نبوده و گذردهی افزایش می‌یابد. برای داشتن چنین گیرندهٔ هوشمندی، به یک الگوریتم سریع و دقیق برای تشخیص مدولاسیون سیگنال دریافتی نیاز داریم.

تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه تشخیص مدولاسیون صورت گرفته است که در آنها روش‌های گوناگونی برای حل این مسأله ارائه شده است. مروری بر تکنیک‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون موجود را می‌توان درمقاله مروری [۴] یافت. در حالت کلی دو رویکرد اصلی به مسأله طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون وجود دارد: رویکرد مبتنی بر احتمال[8] و رویکرد مبتنی بر ویژگی[9]. رویکرد مبتنی بر احتمال، مسأله طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون را به‌صورت یک مسأله آزمون فرضیه‌های مرکب چندگانه فرمول‌بندی می‌کند که حل آن به نحوهٔ مدل کردن کمیت‌های مجهول بستگی دارد [۵]. این رویکرد بهینه است اما معایبی نظیر پیچیدگی محاسباتی و حساسیت به جابجایی فاز و فرکانس دارد. در مقابل، روش‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون با رویکرد مبتنی بر ویژگی، که در ادامه تشریح می‌شوند، زیر بهینه[10] اما ساده و مقاوم می‌باشند [۶].

1. Automatic Modulation Classification (AMC)
2. Automatic Modulation Recognition (AMR)
3. Surveillance
4. Cognitive Radio
5. Adaptive Modulation
6. Pilot
7. Throughput
8. Likelihood-Based Approach
9. Feature-Based Approach
10. Suboptimum

روش‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون مبتنی بر ویژگی، شامل دو مرحله استخراج ویژگی و طبقه‌بندی می‌باشند. در مرحله استخراج ویژگی، یک یا چند ویژگی مانند کامولنت‌های دوری[۱] [۷]، همبستگی طیفی [۸] و تبدیل ویولت [۹] از سیگنال دریافتی استخراج می‌شوند. طبقه‌بندی‌کننده ویژگی‌های استخراج شده را به‌عنوان ورودی دریافت کرده و نوع مدولاسیون را با استفاده از الگوریتم‌های شناسایی الگو تخمین می‌زند. در مقالات با موضوع طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون مبتنی بر ویژگی، روش‌های طبقه‌بندی متعددی پیشنهاد شده‌اند؛ مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی[۱۰]، ماشین بردار پشتیبان[۲] [۸] و طبقه‌بندی‌کننده‌های فازی[۱۱].

در این مقاله یک روش طبقه‌بندی مدولاسیون مبتنی بر ویژگی پیشنهاد شده است که در آن کامولنت‌های مراتب چهارم و ششم سیگنال دریافتی، به عنوان ویژگی‌ها استخراج می‌شوند. این ویژگی‌ها به یک طبقه‌بندی‌کننده الگو داده می‌شوند که بر پایه اتصال دو به دوی ماشین‌های بردار پشتیبان کار می‌کند. کامولنت‌ها ویژگی‌هایی هستند که محاسبه آنها ساده است و عملکرد نسبتا قابل اعتمادی در طبقه‌بندی ارائه می‌کنند. از این جهت در مسأله طبقه‌بندی مدولاسیون توجه ویژه‌ای به کامولنت‌ها شده است [۱۲]. ماشین بردار پشتیبان[۳] نیز یک ابزار قدرتمند برای طبقه‌بندی باینری است. رویکردهای متعددی برای تطبیق ماشین‌های بردار پشتیبان با مسأله طبقه‌بندی با بیش از دو کلاس وجود دارند [۱۳]. مسأله طبقه‌بندی مورد نظر این مقاله نیز یک مسأله طبقه‌بندی چندکلاسی است که برای حل آن، روش اتصال دو به دوی ماشین‌های بردار پشتیبان پیشنهاد شده است.

عملکرد روش پیشنهادی در شناسایی مدولاسیون‌های به کار رفته در مخابرات ماهواره‌ای و به طور خاص در استاندارد نسل دوم، همه پخشی ماهواره‌ای ویدئوی دیجیتال[۴] DVB-S2 بررسی شده است. استاندارد DVB-S2 نسل دوم استاندارد مشخصات فنی برای کاربردهای پهن‌باند ماهواره‌ای است. سیستم DVB-S2 ابزاری برای پیاده‌سازی کاربردهای ماهواره‌ای نظیر همه پخشی صدا و تصویر و دسترسی اینترنتی را فراهم می‌کند. استاندارد DVB-S2 به صورت وقفی از ترکیب کدهای آزمون توازن با چگالی پایین[۵] و مدولاسیون‌های QPSK، PSK۸، APSK ۱۶ و APSK ۳۲ استفاده می‌کند[۳].

ادامه این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است: در قسمت ۲ به تشریح مدل سیگنال و مدولاسیون‌های کاندید پرداخته شده است. ویژگی‌ها و طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی در قسمت ۳ معرفی شده‌اند. در قسمت ۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها ارائه و تحلیل شده‌اند و در قسمت ۵ به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مقاله پرداخته شده است.

۲. مدل سیگنال

در این قسمت به معرفی مدل ریاضی سیگنال دریافتی باندپایه[۶] و همچنین مدولاسیون‌های مورد نظر این مقاله پرداخته شده است. دنباله سیگنال دریافتی باندپایه r(k) را

$$r(k) = r_I(k) + jr_Q(k) = s(k) + n(k); \quad k = 1, \dots, N. \quad (۱)$$

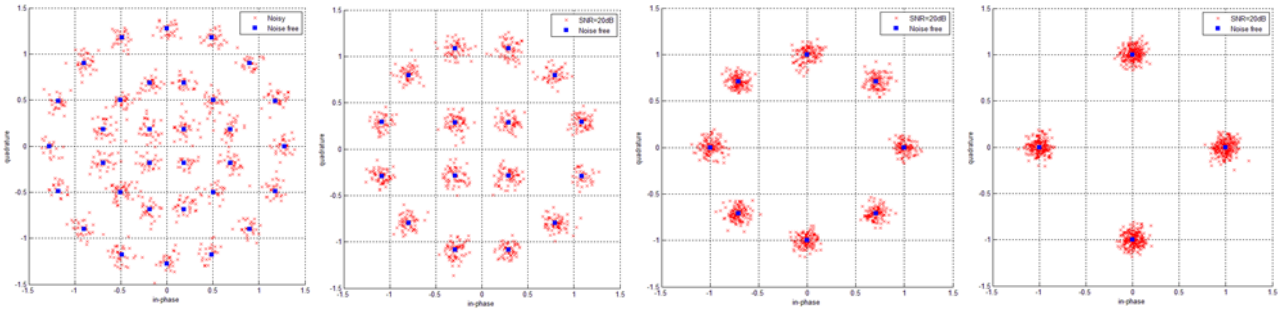
می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

که در آن s(k) معادل پایین‌گذر[۷] سمبل ارسالی k اُم، n(k) نویز سفید گاوسی جمع‌شونده[۸] مختلط با متوسط صفر و N تعداد سمبل‌های دریافتی است. اندیس‌های I و Q بخش‌های هم‌فاز[۹] (حقیقی) و متعامد[۱۰] (موهومی) سیگنال دریافتی را مشخص می‌کنند. در ادامه مقاله با استفاده از نرمالیزه کردن، منظومه‌های سیگنال[۱۱] با واریانس واحد در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین برای مثال، مدولاسیون‌های MPSK سمبل‌های ارسالی بدون نویز، به‌صورت زیر نشان داده می‌شوند:

$$s(k) = e^{j\theta_m};\ \theta_m \in \{2\pi m/M, m = 0, \dots, M-1\} \quad (۲)$$

در این مقاله مدولاسیون‌های استاندارد DVB-S2 به‌عنوان مدولاسیون‌های کاندید در نظر گرفته شده‌اند. استاندارد

1. Cyclic Cumulants
2. Support Vector Machine (SVM)
3. SVM Pairwise Coupling
4. Second Generation of Digital Video Broadcasting via Satellite (DVB-S2)
5. Low-Density Parity-check Code (LDPC)
6. Baseband
7. Low Pass Equivalent
8. Additive White Gaussian Noise (AWGN)
9. In-Phase
10. Quadrature
11. Signal Constellations



الف. QPSK ب. 8QPSK ج. 16QPSK د. 32QPSK

شکل (۱) نمودار پراکندگی سیگنال‌های DVB-S2، نقاط پررنگ: سمبل‌های بدون نویز، نقاط کم‌رنگ: سمبل‌های نویزی در SNR=20 dB

DVB-S2 به‌صورت وفقی از ترکیب کدهای آزمون توازن با چگالی پایین و مدولاسیون‌های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK استفاده می‌کند. برای منظومه 16APSK نسبت حلقه[1] درونی به بیرونی برابر β=۲.۷۵ و برای 32APSK برابر β_1=۲.۷۲ و β_2=۴.۸۷ داده شده است[۶]. شکل (۱) نمودار پراکندگی سیگنال‌های باندپایه DVB-S2 آغشته به نویز با نسبت سیگنال به نویز SNR[2] برابر با ۲۰ dB را نشان می‌دهد.

۳. ویژگی کامولنت

روش‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون مبتنی بر ویژگی از دو مرحله تشکیل می‌شوند: استخراج ویژگی و طبقه‌بندی. آن دسته از روش‌های مبتنی بر ویژگی که ویژگی کامولنت را از سیگنال دریافتی استخراج می‌کنند پیش از این در تشخیص انواع مدولاسیون‌های خطی با موفقیت آزموده شده‌اند [۱۲]. در ادامه معرفی کوتاهی از کامولنت‌ها ارائه شده است.

کامولنت‌های یک توزیع احتمال، مجموعه‌ای از کمیت‌ها هستند که می‌توانند به‌عنوان جایگزینی برای ممان‌های آماری آن توزیع استفاده شوند. از آنجا که محاسبه کامولنت‌ها نسبتا ساده است، استفاده از آنها باعث کاهش پیچیدگی محاسباتی می‌شود. علاوه بر این تمام کامولنت‌های مرتبه ۳ و بالاتر یک متغیر تصادفی گوسی، برابر صفر هستند، که مشخصهٔ پرکاربردی برای کاهش اثرات نویز AWGN وکشف مؤلفه‌های غیرگاوسی در یک فرآیند تصادفی می‌باشد [۱۲].

همان‌طورکه برای مجموعه‌های متغیرهای تصادفی، ممان‌های مشترک[3] تعریف می‌شوند، می‌توان کامولنت‌های مشترک[4] نیز تعریف نمود. کامولنت‌های مشترک سیگنال دریافتی X(t) را می‌توان از روی ممان ترکیبی[5] مرتبه p که به‌صورت زیر بیان می‌شود، به‌دست آورد.

$$M_{pq} = E[X(t)^{p-q}X^*(t)^q] \qquad (۳)$$

که در آن * مزدوج مختلط را نشان می‌دهد. توصیف برخی کامولنت‌های مشترک به‌صورت زیر است [۱۴]:

$$C_{20} = M_{20} \qquad (۴)$$

$$C_{21} = M_{21} \qquad (۵)$$

$$C_{40} = M_{40} - 3{M_{20}}^2 \qquad (۶)$$

$$C_{42} = M_{42} - |M_{20}|^2 - 2{M_{21}}^2 \qquad (۷)$$

$$C_{60} = M_{60} - 15M_{20}M_{40} + 30M_{20} \qquad (۸)$$

$$C_{63} = M_{63} - 6M_{20}M_{41} - 9M_{42}M_{21} + 18{M_{20}}^2M_{21} + 12{M_{21}}^3 \qquad (۹)$$

باید از بین کامولنت‌های معرفی شده در روابط (۴) تا (۹) یک یا چند ویژگی که بین مدولاسیون‌های استاندارد DVB-S2 یعنی QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK تمایز ایجاد می‌کنند را انتخاب کرد. مقدار این ویژگی‌ها برای مدولاسیون‌های مورد نظر در جدول (۱) نشان داده شده است. برای محاسبه این مقادیر از سیگنال‌های باند پایه نرمالیزه با انرژی واحد در شرایط بدون نویز استفاده شده است.

1. Ring Ratio
2. Signal to Noise Ratio (SNR)

3. Joint Moments
4. Joint Cumulants
5. Hybrid Moments

جدول (۱) کامولنت‌های مراتب مختلف برای مدولاسیون‌های کاندید

	C_{20}	C_{21}	C_{40}	C_{42}	C_{60}	C_{63}
QPSK	۰	۱	۱	-۱	۰	۴
8PSK	۰	۱	۰	-۱	۰	۴
16APSK	۰	۱	۰	-۰.۷۷	۰	۲.۴۹
32APSK	۰	۱	۰	-۰.۶۱	۰	۱.۶۵

همان‌طور که در جدول (۱) مشخص است، ویژگی‌های C_{40}، C_{42} و C_{63} برای تشخیص مدولاسیون‌های فوق تفکیک‌پذیری لازم را دارا می‌باشند. بنابراین بردار ویژگی‌های ورودی طبقه‌بندی کننده به‌صورت زیر انتخاب می‌شود:

$$\text{بردار ویژگی} = \begin{bmatrix} C_{40} \\ C_{42} \\ C_{63} \end{bmatrix} \qquad (۱۰)$$

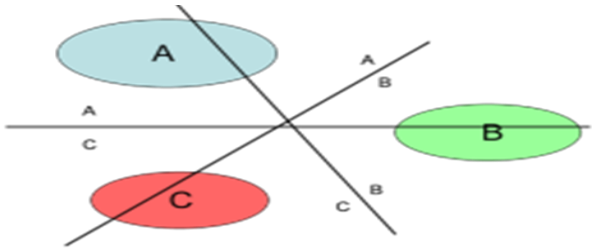
۴. ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو

ماشین بردار پشتیبان یک ابزار قدرتمند برای طبقه‌بندی باینری است که توانایی طبقه‌بندی بسیار سریع پس از یک دوره آموزشی را دارد. برای تطبیق ماشین‌های بردار پشتیبان با مسائل طبقه‌بندی چند کلاسی، روش‌های متعددی پیشنهاد شده‌اند که مهمترین آنها عبارت‌اند از :

- **ماشین بردار پشتیبان چندکلاسی**[1]؛ که در آن ماشین بردار پشتیبان اقدام به طبقه‌بندی همهٔ کلاس‌ها می‌کند.
- **طبقه‌بندی یک کلاس در برابر بقیه**[2]؛ که در آن برای جداسازی هر کلاس از بقیه، یک ماشین بردار پشتیبان باینری استفاده می‌شود.
- **طبقه‌بندی دو به دو؛** که در آن برای جداسازی هر جفت کلاس از یکدیگر، یک ماشین بردار پشتیبان باینری در نظر گرفته می‌شود.

در ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو، برای هر جفت از کلاس‌ها یک ماشین بردار پشتیبان وجود دارد که برای تشخیص بین آن دو کلاس آموزش داده شده است. بنابراین برای یک مسأله طبقه‌بندی N کلاسی، به تعداد N(N-1) ماشین بردار پشتیبان باینری نیاز است. ساده‌ترین شکل ماشین‌های

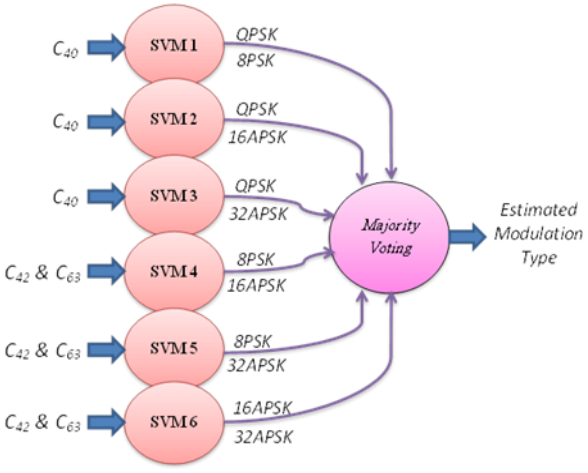
1. Multi-Class SVM
2. One-Against-All



شکل (۲) مرزهای تصمیم ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو

بردار پشتیبان دو به دو در فرآیندی مشابه رأی‌گیری، کلاس انتخاب شده توسط بیشترین تعداد ماشین‌های بردار پشتیبان را به عنوان تصمیم نهایی برمی‌گزینند. روش‌های پیشرفته‌تر شامل استفاده از گراف‌های تصمیم مشابه تورنمنت‌های حذفی برای تعیین کلاس نهایی می‌باشند [۱۴]. شکل (۲) مثالی از مرزهای تصمیم برای طبقه‌بندی ۳ کلاسی با ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو با رأی‌گیری را نشان می‌دهد. در این مقاله نیز از ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو با تصمیم‌گیری بر اساس رأی اکثریت استفاده شده است.

شناسایی سیگنال‌های به‌کار رفته در DVB-S2 یعنی مدولاسیون‌های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK یک مسأله طبقه‌بندی ۴ کلاسی است و برای استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو، به ۶ عدد ماشین بردار پشتیبان باینری نیاز دارد. بلوک دیاگرام طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی این مقاله در شکل (۳) نشان داده شده است. در این روش هر ماشین بردار پشتیبان بین یکی از دو جفت مشخص از کلاس‌ها شناسایی را انجام می‌دهد و تصمیم نهایی بر اساس



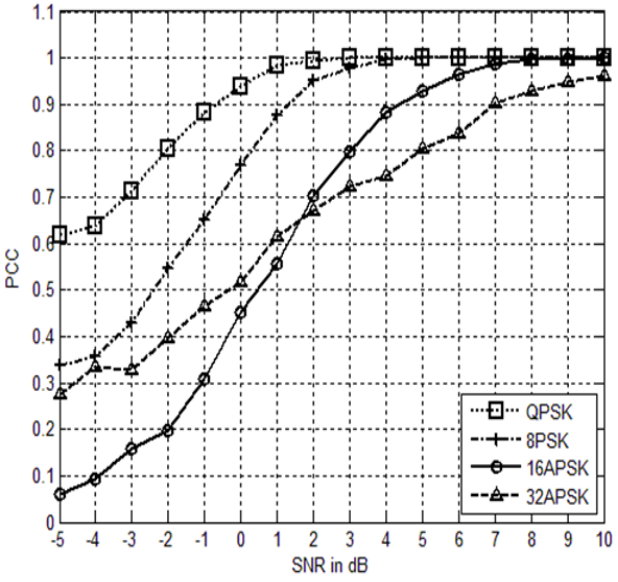
شکل (۳) مرزهای تصمیم ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو

رأی اکثریت ماشین‌های بردار پشتیبان اتخاذ می‌شود. بر اساس مقادیر جدول (۱)، همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است، ویژگی C_{40} برای ماشین‌های بردار پشتیبان شماره ۱ تا ۳ و ویژگی‌های C_{42} و C_{63} برای ماشین‌های بردار پشتیبان شماره ۴ تا ۶ انتخاب شده‌اند.

۵. نتایج شبیه‌سازی

در این قسمت عملکرد روش پیشنهادی با شبیه‌سازی‌های متعدد ارزیابی شده است. تمام ماشین‌های بردار پشتیبان در این شبیه‌سازی‌ها از هسته خطی[1] استفاده می‌کنند و نمونه‌های آموزشی آنها از سیگنال‌های DVB-S2 شبیه‌سازی شده در نسبت سیگنال به نویز ۱۱ تا ۲۰ دسیبل استخراج شده‌اند. بدین ترتیب برای هر نوع مدولاسیون از ۱۰ نمونهٔ آموزشی استفاده شده است. احتمال طبقه‌بندی صحیح[2] به عنوان معیار عملکرد طبقه‌بندی‌کننده در نظر گرفته شده است. با فرض تعداد سمبل‌های مشاهده شده و شرایط SNR یکسان، نتایج به دست آمده با روش‌های پیشین مقایسه شده‌اند. نمودار احتمال طبقه‌بندی صحیح برای هر کلاس در شکل (۴) رسم شده است.

علاوه بر نمودار احتمال طبقه‌بندی صحیح، ماتریس تداخل نیز یک ابزار مفید برای ارزیابی عملکرد یک طبقه‌بندی‌کننده



شکل (۴) نمودار احتمال طبقه‌بندی صحیح برای هر یک از کلاس‌ها

1. Linear Kernel
2. Probability of Correct Classification (PCC)

جدول (۲) ماتریس تداخل در نسبت سیگنال به نویز صفر دسیبل

	QPSK	8PSK	16APSK	32APSK	Accuracy
QPSK	۹۴۷	۴۴	۸	۱	۹۵٪
۸PSK	۶۵	۷۶۷	۱۵۹	۹	۷۷٪
۱۶APSK	۷۱	۲۶۴	۴۴۲	۲۲۳	۴۴٪
۳۲APSK	۸۱	۹۱	۲۹۵	۵۳۳	۵۳٪
Reliability	۸۱٪	۶۶٪	۴۹٪	۷۰٪	

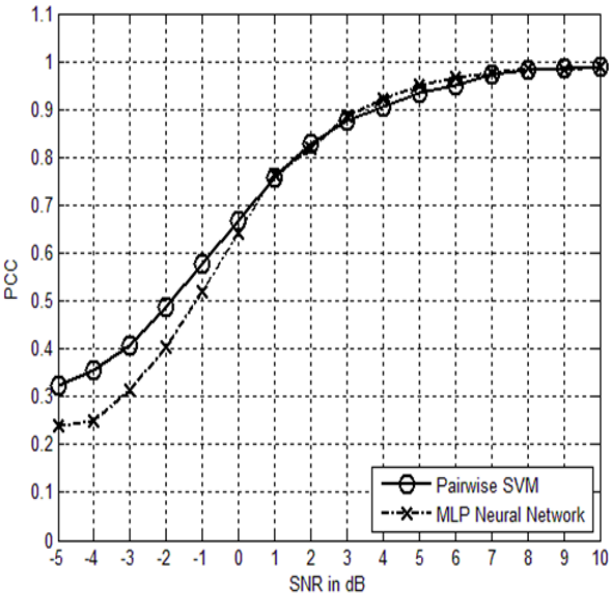
جدول (۳) ماتریس تداخل در نسبت سیگنال به نویز ۵ دسیبل

	QPSK	8PSK	16APSK	32APSK	Accuracy
QPSK	۱۰۰۰	۰	۰	۰	۱۰۰٪
۸PSK	۰	۱۰۰۰	۰	۰	۱۰۰٪
۱۶APSK	۰	۳۹	۹۳۹	۲۲	۹۴٪
۳۲APSK	۰	۰	۱۷۴	۸۲۶	۸۳٪
Reliability	۱۰۰٪	۹۶٪	۸۴٪	۹۷٪	

است. جدول‌های (۲) و (۳) ماتریس تداخل طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی را در نسبت سیگنال به نویز صفر و ۵ دسیبل نشان می‌دهند. این ماتریس‌های تداخل نشان می‌دهند که بیشتر خطاهای طبقه‌بندی در تشخیص بین مدولاسیون‌های 16APSK و 32APSK از یکدیگر اتفاق می‌افتند.

پیش از این در [۱۰] یک الگوریتم تشخیص مدولاسیون مبتنی بر کامولنت ارائه شده است که در آن از ویژگی‌های C40، C42 و C63 به همراه شبکه عصبی پرسپترون چندلایه[3] برای طبقه‌بندی مدولاسیون‌های DVB-S2 استفاده شده است. در اینجا احتمال طبقه‌بندی صحیح متوسط الگوریتم پیشنهادی مبتنی بر ویژگی‌های مشابه و با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو ارزیابی شده است و در شکل (۵) با نتایج طبقه‌بندی کننده شبکه عصبی مقایسه شده است. از این نمودار می‌توان مشاهده کرد که استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو به جای شبکه عصبی باعث بهبود عملکرد سیستم در SNRهای پایین می‌شود.

3. Multi-Layer Perceptron (MLP)



شکل (۵) مقایسه عملکرد ماشین بردار پشتیبان دو به دو و شبکه عصبی

۶. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش طبقه‌بندی مدولاسیون مبتنی بر ویژگی برای جداسازی مدولاسیون‌های به کار رفته در استاندارد DVB-S2 یعنی QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK پیشنهاد و بررسی شد. روش پیشنهادی از ویژگی‌های کامولنت‌های مراتب چهارم و ششم به‌عنوان ویژگی و از ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو برای شناسایی الگو استفاده می‌کند. نتایج شبیه‌سازی‌ها نشان داد که روش پیشنهادی، در SNRهای پایین باعث بهبود قابل توجه عملکرد نسبت به برخی روش‌های پیشین می‌شود. درنظر گرفتن کانال محوشدگی چندمسیری، آفست فاز و فرکانس و استفاده از دیگر روش‌های شناسایی الگو به عنوان موضوعاتی برای ادامهٔ این تحقیق پیشنهاد می‌شوند.

مراجع

[1] B. Ramkumar, "Automatic modulation classification for cognitive radios using cyclic feature detection," IEEE Circuits and Systems Magazine, vol. 9, no. 2, pp. 27-45, 2009.

[2] K. M. Ho, C. Vaz and D. Daut, "A wavelet-based method for classification of binary digitally modulated signals," in IEEE Sarnoff Symposium, 2009.

[3] A. Morello and V. Mignone, "DVB-S2: The Second Generation Standard for Satellite Broad-Band Services," Proceedings of the IEEE, vol. 94, no. 1, pp. 210-227, 2006.

[4] O. A. Dobre, A. Abdi, Y. Bar-Ness and W. Su, "A survey of automatic modulation classification techniques: classical approaches and new trends," IET Communications, vol. 1, pp. 137-156, 2007.

[5] F. Hameed, O. A. Dobre and D. C. Popescu, "On the Likelihood-Based Approach to Modulation Classification," IEEE TRANSACTIONS ON WIRELESS COMMUNICATIONS, vol. 8, no. 12 , pp. 5884-5892, 2009.

[6] M. Flohberger, W. Gappmair and O. Koudelka, "Modulation classifier for signals used in satellite communications," in Advanced satellite multimedia systems, 2010.

[7] O. A Dobre, M. Oner, S. Rajan and R. Inkol, "Cyclostationarity-Based Robust Algorithms for QAM Signal Identification," IEEE Communications Letters, vol. 16, no. 1, pp. 12-15, 2012.

[8] X. Teng, P.Tian and H.Yu, "Modulation Classification Based on Spectral Correlation and SVM," in Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing WiCOM , 2008.

[9] K. Hassan, I.Dayoub, W.Hamouda and M.Berbineau, "Automatic modulation recognition using wavelet transform and neural network," in Intelligent Transport systems telecommunications, 2009.

[10] M. Farhang, H. Dehghani and H.Bahramgiri, "Multi-Receiver Modulation Classification for Satellite Communications signals," in International Conference on Signal and Image Processing Applications, 2011.

[11] J. Lopatka and M. Pedzisz, "Automatic modulation classification using statistical moments and a fuzzy classifier," in Conference on Signal Processing WCCC-ICSP, 2000.

[12] P. Forero, A. Cano and G. Giannakis, "Distributed feature-based modulation classification using wireless sensor networks," in IEEE Military Communications Conference MILCOM , 2008.

[13] C. W. Hsu and C. J. Lin, "A Comparison of Methods for Multiclass Support Vector Machines," IEEE Transactions of Neural Networks, vol. 13, no. 2, pp. 415-425, 2002.

[14] B. Aisen, "A Comparison of Multiclass SVM Methods," MIT Media Lab, 2006.