مجله علمی ـ پژوهشی «پدافند الکترونیکی و سایبری»
سال اول، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۲، ص ۶- ۱

تشخیص نوع مدولاسیون در استاندارد DVB-S2 با استفاده از ماشین‌های بردارپشتیبان دوبه‌دو

محسن فرهنگ[1*]، علی قلعه[2]، حمید دهقانی[3]
۱ – کارشناس ارشد مهندسی مخابرات، ۲– دانشجوی کارشناسی ارشد هوش مصنوعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین
۳– استادیار، دانشگاه صنعتی مالک اشتر
(دریافت: ۹۱/۰۹/۱۱، 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 به‌کار 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 دوبه‌دو 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، به‌عنوان 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: شنود سیگنال، شناسایی مدولاسیون،استخراج ویژگی، شناسایی الگو، ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو، استاندارد DVB-S2.

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 غیره است. یکی از مهم‌ترین این پارامترها، نوع مدولاسیون استفاده شده در سیگنال مخابراتی است که تحقیقات و مقالات متعددی به ارائه روش‌هایی برای شناسایی آن از روی بازه 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 است. اگرچه DVB-S2 یک استاندارد تجاری بوده، اما مدولاسیون‌های به‌کار رفته در آن از رایج‌ترین مدولاسیون‌های 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 فنون 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

*ایمیل نویسنده پاسخگو: farhang.mohsen@gmail.com

[1] Automatic Modulation Classification (Amc)
[2] Automatic Modulation Recognition (Amr)
[3] Surveillance
[4] Cognitive Radio
[5] Adaptive Modulation

Archive of SID
www.SID.ir

64QAM استفاده می‌شود. استاندارد DVB-S2 نیز در ارتباطات دو طرفه، بنا بر شرایط کانال از یکی از مدولاسیون‌های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK استفاده می‌کند [۳]. در این سیستم‌ها فرستنده با ارسال یک پایلوت[1]، نوع مدولاسیون به‌کار رفته در فریم ارسالی را به‌اطلاع گیرنده می‌رساند و گیرنده نیز با استفاده از دمدولاتور متناسب داده موجود در آن، فریم را استخراج می‌کند. ارسال پایلوت برای هر فریم باعث کاهش گذردهی[2] می‌شود. اگر گیرنده بتواند به‌نحوی از روی سیگنال دریافتی، نوع مدولاسیون را تشخیص دهد، دیگر نیازی به ارسال پایلوت نبوده و گذردهی افزایش می‌یابد. برای داشتن چنین گیرنده هوشمندی، به یک الگوریتم سریع و دقیق برای تشخیص مدولاسیون سیگنال دریافتی نیاز است. تاکنون تحقیقات متعددی در زمینه تشخیص مدولاسیون صورت گرفته که در آنها روش‌های گوناگونی برای حل این مسئله ارائه شده است. مروری بر فنون‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون موجود را می‌توان در مقاله مروری یافت [۴]. در حالت کلی دو رویکرد اصلی به مسئله طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون وجود دارد: رویکرد مبتنی بر احتمال[3] و رویکرد مبتنی بر ویژگی[4]. رویکرد مبتنی بر احتمال، مسئله طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون را به‌صورت یک مسئله آزمون فرضیه‌های مرکب چندگانه فرمول‌بندی می‌کند که حل آن به نحوه مدل کردن کمیت‌های مجهول بستگی دارد [۵]. این رویکرد بهینه است اما معایبی نظیر پیچیدگی محاسباتی و حساسیت به جابه‌جایی فاز و فرکانس دارد. در مقابل، روش‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون با رویکرد مبتنی بر ویژگی، که در ادامه تشریح می‌شوند، زیربهینه[5] اما ساده و مقاوم می‌باشند [۶]

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[6] [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 مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی [۱۰]، ماشین بردار پشتیبان[7] [۱۲] و طبقه‌بندی‌کننده‌های فازی پیشنهاد شده‌اند [۱۱].

در مقاله حاضر یک روش طبقه‌بندی مدولاسیون مبتنی بر ویژگی پیشنهاد شده که در آن کامولنت‌های مراتب چهارم و ششم سیگنال دریافتی، به‌عنوان ویژگی‌ها استخراج می‌شوند. این ویژگی‌ها به یک طبقه‌بندی‌کننده الگو داده می‌شوند که بر پایه اتصال دوبه‌دوی ماشین‌های بردار پشتیبان[8] کار می‌کند. کامولنت‌ها ویژگی‌هایی هستند که محاسبه آنها ساده است و عملکرد به‌نسبت قابل اعتمادی در طبقه‌بندی ارائه می‌کنند. از این جهت در مسئله طبقه‌بندی مدولاسیون، توجه ویژه‌ای به کامولنت‌ها شده است [۱۲]. ماشین بردار پشتیبان نیز یک ابزار قدرتمند برای طبقه‌بندی باینری است. رویکردهای متعددی برای تطبیق ماشین‌های بردار پشتیبان با مسئله طبقه‌بندی با بیش از دو کلاس وجود دارند [۱۳]. مسئله طبقه‌بندی مورد نظر این مقاله نیز یک مسئله طبقه‌بندی چندکلاسی است که برای حل آن، روش اتصال دوبه‌دوی ماشین‌های بردار پشتیبان پیشنهاد شده است. عملکرد روش پیشنهادی در شناسایی مدولاسیون‌های به‌کار رفته در مخابرات ماهواره‌ای و به‌طور خاص در استاندارد نسل دوم، همه‌پخشی ماهواره‌ای ویدئوی دیجیتال DVB-S2[9] 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 همه‌پخشی صدا و تصویر و دسترسی اینترنتی را فراهم می‌کند. استاندارد DVB-S2 به‌صورت وفقی از ترکیب کدهای آزمون توازن با چگالی پایین[10] و مدولاسیون‌های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK استفاده می‌کند [۳].

ادامه این مقاله بدین صورت سازماندهی شده است: در قسمت ۲ به تشریح مدل سیگنال و مدولاسیون‌های کاندید پرداخته شده است. در قسمت ۳ ویژگی‌ها و طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی معرفی شده‌اند. در قسمت ۴ نتایج شبیه‌سازی‌ها ارائه و تحلیل 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[11] و همچنین مدولاسیون‌های مورد نظر این مقاله پرداخته شده است. دنباله سیگنال دریافتی باند پایه $r(k)$ را می‌توان به صورت زیر نمایش داد:

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

که در آن $s(k)$، معادل پایین‌گذر[12] سمبل ارسالی k اُم، $n(k)$ نویز سفید گاوسی جمع‌شونده[13] مختلط با متوسط صفر و N تعداد سمبل‌های دریافتی است. اندیس‌های I و Q بخش‌های هم‌فاز[14] (حقیقی) و متعامد[15] (موهومی) سیگنال دریافتی را مشخص

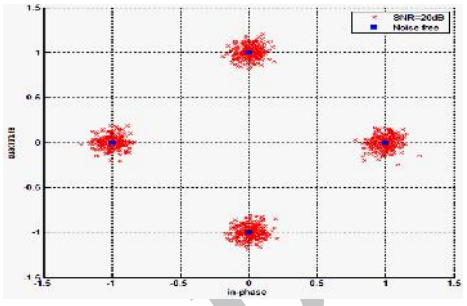
[1] Pilot
[2] Throughput
[3] Likelihood-Based Approach
[4] Feature-Based Approach
[5] Suboptimum
[6] Cyclic Cumulants
[7] Support Vector Machine (Svm)
[8] Svm Pairwise Coupling
[9] Second Generation Of Digital Video Broadcasting Via Satellite (Dvb-S2)
[10] Low-Density Parity-Check Code (Ld pc)
[11] Baseband
[12] Low Pass Equivalent
[13] Additive White Gaussian Noise (Awgn)
[14] In-Phase
[15] Quadrature

Archive of SID

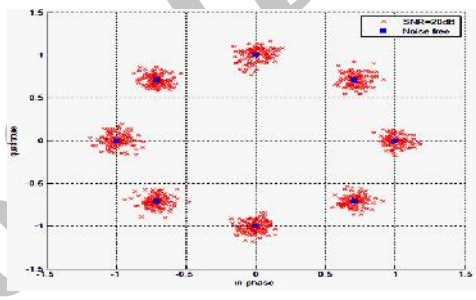
www.SID.ir

می‌کنند. در ادامه مقاله با استفاده از نرمالیزه کردن، منظومه‌های سیگنال[1] با واریانس واحد در نظر گرفته می‌شوند. بنابراین برای مثال، مدولاسیون‌های MPSK سمبل‌های ارسالی بدون نویز، به صورت زیر نشان داده می‌شوند:

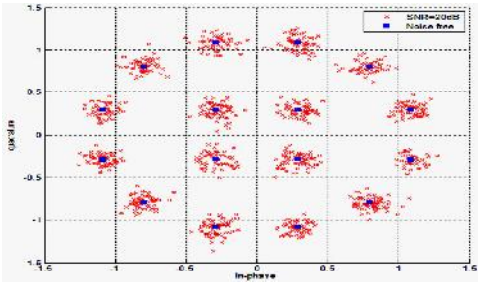
$$s(k) = e^{j\theta_m};\ \theta_m \in \{2\pi m/M, m = 0, \dots, M-1\} \quad (۲)$$



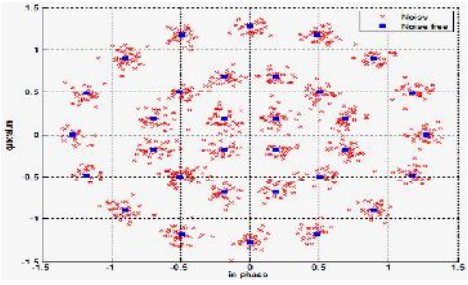
الف: QPSK



ب: 8PSK



ج): 16APSK



د: 32APSK

شکل ۱: نمودار پراکندگی سیگنال‌های DVB-S2، آبی: سمبل‌های بدون نویز، قرمز: سمبل‌های نویزی در SNR=20 dB

[1] Signal Constellations

همان‌طور که ملاحظه شد، شکل **۱** نمودار پراکندگی سیگنال‌های باند پایه DVB-S2 آغشته به نویز با نسبت سیگنال به نویز[2] SNR برابر با ۲۰ دسیبل را نشان می‌دهد. در مقاله حاضر مدولاسیون‌های استاندارد DVB-S2 به‌عنوان مدولاسیون‌های کاندید در نظر گرفته شده‌اند. استاندارد DVB-S2 به‌صورت وقفی از ترکیب کدهای آزمون توازن با چگالی پایین و مدولاسیون‌های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK استفاده می‌کند. برای منظومه 16APSK نسبت حلقه ۳ درونی به بیرونی برابر β=۲/۷۵ و برای 32APSK برابر β۱=۲/۷۲ و β۲=۴/۸۷ داده شده است [۶].

۳. ویژگی کامولنت

روش‌های طبقه‌بندی خودکار مدولاسیون مبتنی بر ویژگی، از دو مرحله استخراج ویژگی و طبقه‌بندی تشکیل می‌شوند. 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 به‌نسبت 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 مشخصه پرکاربردی برای کاهش اثرات نویز AWGN و کشف مؤلفه‌های غیرگاوسی در یک فرآیند تصادفی است [۱۲].

همان‌طور که برای مجموعه‌های متغیرهای تصادفی، ممان‌های مشترک[4] تعریف می‌شوند، می‌توان کامولنت‌های مشترک[5] را نیز تعریف نمود. کامولنت‌های مشترک سیگنال دریافتی $X(t)$ را می‌توان از روی ممان ترکیبی[6] مرتبه p که به صورت زیر بیان می‌شود، به‌دست آورد:

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

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

$$C_{20} = M_{20} \quad (۴)$$

$$C_{21} = M_{21} \quad (۵)$$

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

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

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

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

[2] Signal To Noise Ratio
[3] Ring Ratio
[4] Joint Moments
[5] Joint Cumulants
[6] Hybrid Moments

Archive of SID

www.SID.ir

باید از بین کامولنت‌های معرفی شده در روابط (۹-۴) 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 باندپایه نرمالیزه با انرژی واحد در شرایط بدون نویز استفاده شده است.

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
۱۶APSK	۰	۱	۰	-۰/۷۷	۰	۲/۴۹
۳۲APSK	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 طبقه‌بندی‌کننده به صورت زیر انتخاب می‌شود.

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

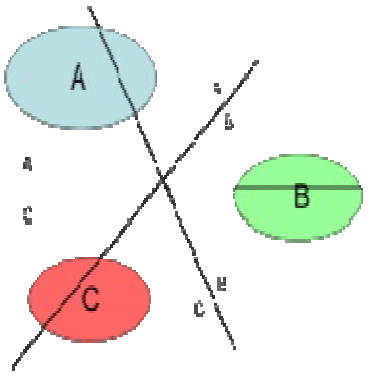
۴. ماشین‌های بردار پشتیبان دو به دو

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 عبارتند از:

- ماشین بردار پشتیبان چند کلاسی[1]: که در آن یک ماشین بردار پشتیبان اقدام به طبقه‌بندی همه 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 دوبه‌دو: که در آن برای جداسازی هر جفت کلاس از یکدیگر، یک ماشین بردار پشتیبان باینری در نظر گرفته می‌شود.

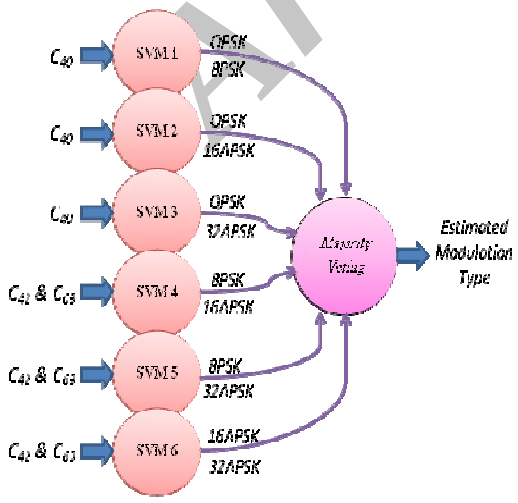
در ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو، برای هر جفت از کلاس‌ها یک ماشین بردار پشتیبان وجود دارد که برای تشخیص بین آن دو کلاس آموزش داده شده است. بنابراین برای یک مسئله طبقه‌بندی N کلاسی، به تعداد $N(N-1)/2$ ماشین بردار پشتیبان باینری نیاز است. ساده‌ترین شکل ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو در فرآیندی مشابه رأی‌گیری، کلاس انتخاب شده توسط بیشترین تعداد ماشین‌های بردار پشتیبان را به‌عنوان 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 دوبه‌دو با رأی‌گیری را نشان می‌دهد.



شکل ۲: مرزهای تصمیم ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو

در مقاله حاضر نیز از ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو با تصمیم‌گیری بر اساس رأی اکثریت استفاده شده است. شناسایی سیگنال‌های به‌کار رفته در DVB-S2، یعنی مدولاسیون‌های QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK یک مسئله طبقه‌بندی ۴ کلاسی است و برای استفاده از روش ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو، به ۶ عدد ماشین بردار پشتیبان باینری نیاز دارد. بلوک دیاگرام طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی این مقاله در شکل **۳** نشان داده شده است.



شکل ۳: بلوک دیاگرام طبقه‌بندی‌کننده پیشنهادی

[1] Multi-Class Svm
[2] One-Against-All

Archive of SID

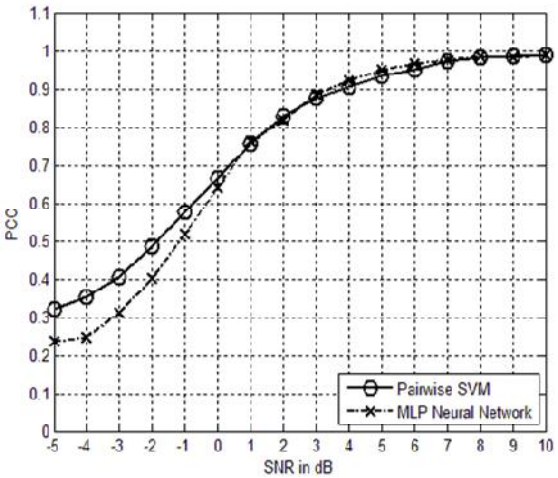
www.SID.ir

در این روش هر ماشین بردار پشتیبان بین یکی از دو جفت مشخص از کلاس‌ها شناسایی را انجام می‌دهد و تصمیم نهایی بر اساس 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 نمونه آموزشی استفاده شده است. احتمال طبقه‌بندی صحیح[2] به‌عنوان 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 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.



شکل ۴: نمودار احتمال طبقه‌بندی صحیح برای هر یک از کلاس‌ها

جدول ۲: ماتریس تداخل در نسبت سیگنال به نویز صفر دسیبل

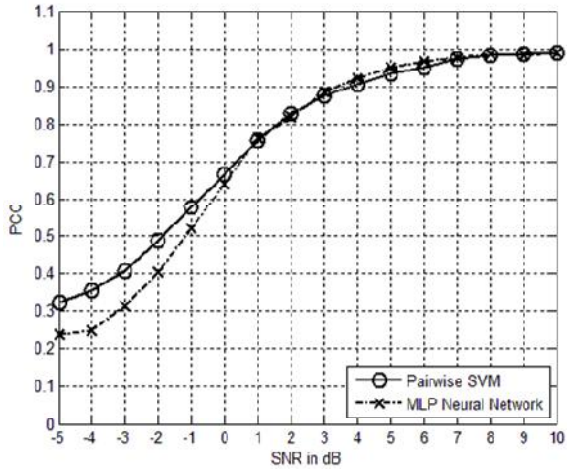
	QPSK	8PSK	16APSK	32APSK	Accuracy
QPSK	۹۴۷	۴۴	۸	۱	%۹۵
۸PSK	۶۵	۷۶۷	۱۵۹	۹	%۷۷
۱۶APSK	۷۱	۲۶۴	۴۴۲	۲۲۳	%۴۴
۳۲APSK	۸۱	۹۱	۲۹۵	۵۳۳	%۵۳
Reliability	%۸۱	%۶۶	%۴۹	%۷۰	

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	

پیش از این در مرجع [۱۰]، یک الگوریتم تشخیص مدولاسیون مبتنی بر کاملونت ارائه شده که در آن، از ویژگی‌های C_{40}، C_{42} و C_{63} به‌همراه 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 دوبه‌دو ارزیابی شده و در شکل **۵** با نتایج طبقه‌بندی‌کننده شبکه عصبی مقایسه شده است. از این نمودار می‌توان مشاهده کرد که استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو به‌جای شبکه عصبی باعث بهبود عملکرد سیستم در SNRهای پایین می‌شود.



شکل۵: مقایسه عملکرد ماشین بردار پشتیبان دوبه‌دو و شبکه عصبی

[1] Linear Kernel
[2] Probability Of Correct Classification (Pcc)
[3] Multi-Layer Perceptron (Mlp)

Archive of SID
www.SID.ir

۶. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر یک روش طبقه‌بندی مدولاسیون مبتنی بر ویژگی برای جداسازی مدولاسیون‌های به‌کار رفته در استاندارد DVB-S2 یعنی QPSK، 8PSK، 16APSK و 32APSK پیشنهاد و بررسی شده است. روش پیشنهادی از ویژگی‌های کامولنت‌های مراتب چهارم و ششم به‌عنوان ویژگی و از ماشین‌های بردار پشتیبان دوبه‌دو 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 ادامه این تحقیق پیشنهاد می‌شوند.

۷. 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"; Proc. 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 N 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 Conf. 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 Conf. on Signal and Image Proc. Applications, 2011.

[11] J. Lopatka and M. Pedzisz, "Automatic Modulation Classification Using Statistical Moments and a Fuzzy Classifier"; in Conf. on Signal Proc. 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.

Archive of SID

www.SID.ir