

مانیتورینگ خودکار و هوشمند اغتشاشات کیفیت توان بر اساس سیستم‌های چند عاملی

مهدی حاجیان^۱ و اصغر اکبری فرود^۲

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سمنان

mehdi.hajian.sem@gmail.com

۲- دانشیار - عضو هیات علمی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سمنان

aakbari@semnan.ac.ir

چکیده: مانیتورینگ کیفیت توان، قدم اول در شناسایی اغتشاشات کیفیت توان و کاهش آنها و در نتیجه بهبود عملکرد سیستم قدرت است. هدف از این مقاله، معماری استراتژی جدید و هوشمند مانیتورینگ آنالاین و آفلاین کیفیت توان بر مبنای سیستم‌های چند عاملی است. در این پژوهش، سیستم چند عاملی برای حل برخی از مشکلات مانیتورینگ کیفیت توان، از جمله پیچیدگی محاسباتی، دقت نامطلوب، تغییر الگوی داده‌ها و عدم تطبیق ساختار سیستم تشخیص با تغییر شرایط، پیشنهاد می‌شود. در استراتژی پیشنهادی، از خصوصیات عامل، همانند عملکرد خودکار و متحرک، هوشمندی، یادگیری، قابلیت استدلال، هدفمندی و قابلیت همکاری عامل‌ها، استفاده شده است. این مقاله، در دو فاز بیان شده است: در یکی از فازها، برای نشان دادن مشکلات مانیتورینگ، روش‌های مختلفی برای استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی برای شناسایی خودکار اغتشاشات کیفیت توان ارزیابی شده است. در این بخش، با استفاده از داده‌های آموزشی به روش‌های مختلف، انتخاب بهینه بردار ویژگی ورودی سیستم تشخیص، انجام شده است. همچنین، ساختار سه طبقه‌بندی کننده مشهور، بررسی شده است. در فاز دیگر مقاله، برای حل چالش‌های موجود، طراحی ساختارهای بررسی شده در قالب سیستم‌های چند عاملی بیان می‌شود. نتایج حاصل از آزمایش‌های انجام شده در این مقاله نشان‌دهنده برتری استفاده از عامل‌ها و سیستم‌های چند عاملی برای مانیتورینگ آنالاین و آفلاین کیفیت توان است.

واژه‌های کلیدی: سیستم‌های چند عاملی، مانیتورینگ کیفیت توان، داده‌های آموزشی، یادگیری ماشین.

۱- مقدمه

تکنیک‌های پردازش سیگنال و ابزارهای یادگیری ماشین

(ابزارهای هوشمند) است [۱].

تحقیقات بسیاری برای طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان به چاپ رسیده است [۱]. هریک از مقالات با استفاده از ساختار تشخیص بخصوصی، به دقت‌های متفاوتی دست یافته‌اند. واقعیت این است که هر ساختار تشخیص، ممکن است برای شرایط و داده‌های خاصی پاسخ مطلوب را دارا باشد. بنابراین، مانیتورینگ جامع و کارآمد، به یک چارچوب خودکار و هوشمند نیازمند است که بتواند در مواقع لزوم از بین ساختارهای کاندید، با توجه به هدف تعیین شده، بهترین تصمیم را اتخاذ نماید. مشکل اصلی این حوزه، عدم

با فرآیندی شامل مانیتورینگ اغتشاشات کیفیت توان، بررسی جزئیات مشخصات اغتشاشات و تعیین راه کارهایی به منظور غلبه بر مشکلات کیفیت توان سیستم، ممکن است. اصلی‌ترین بخش مانیتورینگ کیفیت توان، شناسایی و طبقه‌بندی سیگنال‌های اغتشاش است، که این مهم، نیازمند

تاریخ ارسال مقاله : ۱۳۹۱/۷/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله : ۱۳۹۱/۱۰/۱۳

نام نویسنده مسئول : اصغر اکبری فرود

نشانی نویسنده مسئول : ایران - سمنان - دانشگاه سمنان -

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - گروه قدرت.

جامع بودن سیستم تشخیص و عدم تصمیم‌گیری مناسب و بموقع در تعیین ساختار تشخیص بهینه است.

تغییر الگوی داده‌ها (تغییر رفتار و مدل سیگنال‌های نمونه برداری شده از یک اغتشاش، به عبارت دیگر، تغییر تدریجی یا ناگهانی در مقادیر ویژگی‌های یک اغتشاش) در طول زمان نتایج سیستم تشخیص را تغییر می‌دهد که این موضوع به علت وقوع تغییرات در مفهوم و الگوی داده‌هاست. بر اثر این تغییر الگو، سیستم تشخیص ایجاد شده تناسب خود را با داده‌ها از دست خواهد داد و دقت آن کم خواهد شد. استفاده از یک ساختار تشخیص بروز رسانی نشده، دقت طبقه‌بندی را بسیار کاهش می‌دهد. این مهم، نیازمند سیستم خودکار و هوشمندی است که بتواند با مدیریت و تصمیم‌گیری مناسب، کارآمدی سیستم تشخیص را بهبود بخشد.

با نگرشی جدید به ساختار سیستم‌های مانیتورینگ کیفیت توان، برای بهبود عملکرد و حل مشکلات، می‌توان آن را با سیستم چند عاملی پیاده سازی نمود. یکی از مزیت‌های مهم سیستم‌های چند عاملی، افزایش توانایی در رسیدن به هدف مطلوب سیستم و بهبود استراتژی کلی مورد نظر به دلیل همکاری گروهی عامل‌هاست [۲]. استفاده از سیستم چند عاملی امکان استفاده مؤثرتر از ابزارهای دیگری مانند الگوریتم‌های یادگیری ماشین را فراهم می‌کند. این سیستم‌ها، به علت عملکرد خودکار و هوشمند عامل‌ها و هزینه کم ارتباط محلی بین آنها، بسیار مناسب هستند [۳]. عامل‌ها می‌توانند به صورت خودکار و هوشمند، رفتار و واکنش‌های خود را تغییر دهند و بدین صورت می‌توانند رفتار مناسب را برای انجام کار خود در وضعیت کنونی برگزینند [۲، ۴].

یک موضوع تحقیقاتی بسیار مهم برای تحقیقات در آینده، مجتمع‌سازی الگوریتم‌های داده کاوی داده‌ها با سیستم‌های مدیریت جریان داده‌ها شناخته شده است تا بتوان، سیستم‌های کاملی برای پردازش داده‌ها ایجاد کرد [۳]. داده‌کاوی به معنای یافتن نیمه خودکار الگوهای پنهان موجود در مجموعه داده‌های^۱ موجود است [۵]. آنالیز اختلالات مختلف، معمولاً توسط الگوریتم‌های مختلف پردازش صورت می‌گیرد. بنابراین، سیستم باید قادر باشد،

الگوریتم‌های مختلف را برای انواع مختلف مانیتورینگ استفاده کند. گاهی اوقات لازم است، الگوریتم‌های مختلفی در سیستم پردازش، به صورت مشترک، مورد استفاده قرار گیرند [۱]. سیستم‌های چند عاملی بستری مناسب برای اهداف فوق ایجاد می‌کنند.

دستاوردهای اصلی این تحقیق عبارتند از (۱) ارائه یک رویکرد مبتنی بر سیستم‌های چندعاملی برای حل مشکلات مانیتورینگ و تعیین ساختار بهینه هوشمند برای مانیتورینگ آنلایین و آفلاین اغتشاشات کیفیت توان؛ (۲) ارائه ساختارهای مناسب برای مساله طبقه‌بندی آنلایین و آفلاین اغتشاشات کیفیت توان با استفاده از قابلیت‌های ابزارهای قوی پردازش سیگنال و یادگیری ماشین.

این مقاله، با توجه به مشکلات مانیتورینگ کیفیت توان بخصوص در حوزه آنلایین، طرحی جدید برای حل این مشکلات با استفاده از ابزار عامل‌ها، ارائه می‌دهد. در این پژوهش، پس از مروری بر مقالات گذشته در این حوزه، بیان استراتژی پیشنهادی در این مقاله ارائه شده است. در ادامه، ابتدا تشریح ساختار داخلی و خصوصیات سیستم چند عاملی بیان شده است. سپس، انواع روش‌های داده‌کاوی^۱، همراه با سه طبقه‌بند معروف، برای طبقه‌بندی دقیق‌تر، سریع‌تر و کم هزینه‌تر اغتشاشات کیفیت توان، بررسی شده و مشکلات سیستم‌های مانیتورینگ مطرح می‌شود. در انتها، برای حل این مشکلات، طراحی سیستم مانیتورینگ آفلاین و آنلایین کیفیت توان با استراتژی سیستم‌های چند عاملی بیان می‌شود.

۲- مروری بر مقالات پیشین

در این بخش، ضعف‌های روش‌های مطرح شده در مقالات گذشته تشریح می‌شود. هوش مصنوعی کلاسیک در مقالات قبلی در این حوزه، به جنبه‌های توسعه سیستم، اهمیتی نمی‌دهد (چگونگی به وجود آمدن ساختارهای دانش و تغییر آنها در طول زمان). در سیستم‌های ارائه شده در مقالات مرجع [۱]، نیاز به تطبیق پذیری و منعطف بودن نسبت به تغییر شرایط محیطی و تغییر در ویژگی داده‌های موجود در پایگاه داده، در نظر گرفته نشده است.

جامعیت سیستم تشخیص، پیچیدگی محاسباتی و دقت نامناسب در شرایط نویزی، توجه بیشتری شده است.

یکی از مشکلات پیش روی مانیتورینگ کیفیت توان (به طور کلی مانیتورینگ هوشمند)، بالا بودن ابعاد ویژگی و تعداد داده‌های موجود است. ابعاد بالای بردار ویژگی در مسائل عملی تشخیص الگو یک مشکل اصلی به حساب می‌آید. برای داشتن ویژگی‌های مناسب که بتوانند خصوصیات مهم شکل موج اغتشاش را به خوبی بیان کنند، باید انواع مختلفی از ویژگی‌های استخراج شده را آزمود. در سیستم آنلاین باید ویژگی‌ها دائما بروز شوند. اکثر مقالاتی که بحث مانیتورینگ آنلاین کیفیت توان را مطرح ساخته و سعی کرده‌اند تا راه‌حلی برای عملکرد بهینه مربوط به آن ارائه دهند، همواره این فرض را داشته‌اند که الگوی داده‌های درون پایگاه داده، همیشه به فرم اولیه باقی می‌ماند و با ورود داده‌های جدید در طول زمان و با بروز حوادث مختلف در شبکه، این الگو تغییر چندانی نخواهد کرد. بنابراین، ترکیب ویژگی‌های اولیه انتخابی، برای همیشه مناسب است، در حالی که این فرض در دنیای واقعی فرض صحیحی نیست. لذا، در این مقاله، رویکرد پیشنهادی مانیتورینگ به‌وسیله سیستم‌های چند عاملی مطرح شده، و گامی در راه حل این مشکل است. برای داشتن یک فضای ویژگی جامع، باید ویژگی‌های مهم در حوزه کیفیت توان و ترکیب‌های مختلفی از آنها بررسی شوند. با ورود اطلاعات جدید به سیستم تشخیص، ممکن است الگوی داده‌های موجود تغییر کند. به همین علت، سیستم تشخیص باید پیوسته ویژگی‌های آموزش دهنده خود را بروز کند. این طرح، به ساختار تشخیص، با ابعاد ویژگی کوچک نیاز دارد.

رویکردها و روش‌های بسیار متنوعی در داده‌کاوی وجود داشته و هر روشی برای کاربرد و شرایط خاصی مناسب است. این تعدد و تکرر روش‌ها، اگرچه به کاربرد بیشتر داده‌کاوی در مسائل عملی منجر گردیده، اما از سوی دیگر، موجب ایجاد مشکلی به نام انتخاب روش یا سیستم داده‌کاوی مناسب یک کاربرد یا مسئله خاص، برای کاربران گردیده است. رویکرد پیشنهادی مانیتورینگ به‌وسیله سیستم‌های چند عاملی، قدمی در راه حل این مشکل است.

در بسیاری از تحقیقات پیشین، بخش انتخاب ویژگی (داده‌کاوی) برای بهبود عمل سیستم تشخیص وجود ندارد [۶]. اصولا عملکرد ابزارهای طبقه‌بندی به چند پارامتر داخلی وابسته است که این پارامترها در بسیاری از مقالات پیشین به وسیله سعی و خطا تنظیم شده است [۷]. در بسیاری از کاربردهای عملی در این حوزه، دقت و بازده روش‌های موجود در برابر شرایط مختلف نویزی مناسب نیست و باید بهبود یابد [۸]. در برخی از مقالات با به کارگیری روش‌های نوین‌دابی و اضافه کردن مرحله‌ای جدید در ساختار سیستم تشخیص، برای بهبود عملکرد این سیستم تلاش شده است، اما این روش‌ها زیاد استقبال نشده (به علت پیچیدگی و بار محاسباتی) و پژوهش‌ها به سوی الگوریتم‌های جدید و پیشرفته پردازش سیگنال که به طور ذاتی در برابر نویز مقاوم هستند، سوق یافته است. در بسیاری از تحقیقات پیشین، فقط عملکرد یک سیستم مانیتورینگ آنلاین بررسی شده است [۹، ۱]. علی‌رغم اینکه در مقالات چاپ شده در این حوزه، الگوریتم‌های زیادی به کار رفته است، ولی کمبود بررسی جامع و مقایسه عملکرد الگوریتم‌های مختلف، به وضوح مشهود است.

۳- استراتژی پیشنهادی

مقاله، با استفاده از ابزار پردازش سیگنال و یادگیری ماشین، از بعد جدیدی به بحث مانیتورینگ کیفیت توان می‌پردازد و آن، استفاده از ترکیب قابلیت‌های ابزارهای مختلف در قالب سیستم‌های چند عاملی برای بهبود عملکرد سیستم خودکار مانیتورینگ آنلاین و آنلاین کیفیت توان است. شایان ذکر است که هیچ الگوریتم یادگیری خاصی نیست که در تمام موارد بهتر از سایر الگوریتم‌ها عمل کند. در نتیجه، در رویارویی با یک مسئله، بهترین راه، انتخاب تعدادی از الگوریتم‌های پیشرفته قوی و مشهور، بسته به نوع مسئله، تخمین دقت آنها و در نهایت، انتخاب دقیقترین الگوریتم است. بنابراین، این مقاله، یک چارچوب آنالیز جدید، بر مبنای سیستم‌های چند عاملی پیشنهاد می‌دهد که در این ساختار به مشکلات اصلی مقالات پیشین، از جمله عملیاتی نبودن روش‌ها، عدم تطبیق پذیری با شرایط، عدم

یادگیری ماشین مورد نیاز است، که عامل‌ها با استفاده از آنها، فرآیند یادگیری را انجام دهند [۳]. بحث یادگیری ماشین در این سیستم‌ها، اخیراً توجه پژوهشگران زیادی را به خود معطوف کرده است.

عامل، یک سیستم (نرم‌افزار) رایانه‌ای است که خودکار بوده، دارای قابلیت‌های ارتباط مشترک، بهبود عملکرد، توانایی واکنش و هدفمندی است. هر عامل دارای یک موجودیت فعال و دارای رشته کنترلی مختص خود است. به عبارت دیگر، عامل، مستقل از دیگران و بدون نیاز به کنترل توسط عامل‌های دیگر و یا انسان قادر به حیات است. یکی از ویژگی‌های کلیدی عامل، هوشمندی است. ترکیب صفات خودکار بودن، قابلیت واکنش و برنامه‌ریزی برای آینده، همان مفهوم هوشمند بودن را بیان می‌کند. یک عامل می‌تواند این چند رفتار کلیدی را با یکدیگر ترکیب نموده، به یک حالت تعادل مناسب دست یابد که در آن، عامل به همراه واکنش مناسب به تغییرات محیط اطراف، هدف خود را نیز دنبال می‌نماید. یک عامل نیازمند یک نگرش کشف دانش برای پشتیبانی از فرآیند تصمیم‌گیری است. عامل‌ها قابلیت رفتار انعطاف پذیر دارند. یک عامل می‌تواند تصمیم‌گیری کند که چه عملی را اجرا نماید و چگونه به هدف دست یابد. در این راستا عامل سعی در فهم و یادگیری انتخاب‌های مختلف دارد و سپس یکی از آنها را انتخاب می‌کند. عامل‌ها برای رسیدن به اهداف خود به تعامل با یکدیگر نیاز خواهند داشت. این تعاملات در سطح دانش صورت می‌پذیرد. یک عامل از سیستم ورودی و خروجی و یک واحد تبادل اطلاعات برای تعامل با عامل‌های دیگر استفاده می‌کند [۲۱].

در برخی از تحقیقات اخیر با توجه به قابلیت‌های عامل و سیستم‌های چندعامله و مناسب بودن آنها برای محیط‌های آنلاین و توزیع شده، از آنها برای داده‌کاوی در محیط‌های پویا و پراکنده استفاده شده است. سیستم‌های چند عاملی به صورت ذاتی با یک محیط داده کاوی توزیع شده تطبیق پذیرند و همین امر موجب گستردگی کاربرد آنها در این حوزه شده است. رویکردها و روش‌های بسیار متنوعی در داده‌کاوی وجود داشته و هر روشی برای کاربرد خاصی مناسب بوده، نوع مشخصی از دانش را از اطلاعات استخراج

مقالات اندکی در این حوزه، در باب مقایسه الگوریتم‌های مختلف و ترکیب آنها با هم وجود دارد. در این مقاله، برای نشان دادن و تأکیدی بر مشکلات کنونی مانیتورینگ کیفیت توان، شبیه سازی‌هایی به شرح زیر ارائه می‌شود. ساختارهای مختلفی برای شناسایی و طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان بیان شده است. ترکیب‌های مختلف ویژگی‌های اولیه استخراجی به کمک ابزارهای انتخاب ویژگی مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. سه نوع روش انتخاب ویژگی، فیلتری^۳، روکشی^۴ و ترکیبی (هایبرید)^۵ در نظر گرفته شده و در مورد پیچیدگی‌های محاسباتی آنها بحث شده است. همچنین، در خصوص طبقه‌بندی اغتشاشات مختلف کیفیت توان، از الگوریتم‌های هوشمند (مانند شبکه‌های عصبی احتمالی^۶ (PNN)، ماشین بردار پشتیبان چندکلاسه^۷ (MSVM) و الگوریتم K نزدیکترین همسایه^۸ (KNN))، استفاده شده است. سپس، این ابزار و تحلیل‌ها، در قالب استراتژی سیستم‌های چند عاملی برای حل چالش‌های مطرح در مانیتورینگ آنلاین و آفلاین کیفیت توان بیان می‌شود.

۴- سیستم‌های چند عاملی

سیستم‌های چند عاملی، زیر مجموعه‌ای در حال رشد از سیستم‌های هوشمند هستند که هدف اصلی آنها مهیا نمودن قواعد ساخت سیستم‌های پیچیده‌ای است که شامل چند عامل و رویکردهایی برای هماهنگ‌سازی رفتارهای این عامل‌هاست. سیستم‌های چند عاملی راه‌حل‌هایی را برای مسائل توزیع شده در محیط‌های آنلاین فراهم می‌آورند، راه حل چنین مسائلی می‌تواند بر مبنای چندین عامل برای توزیع‌شدگی مساله، وجود چندین نقطه کنترل، چندین دیدگاه در رقابت، ارائه گردد. سیستم‌های چند عاملی شامل تعدادی عامل هوشمند هستند که از طریق ارتباط با یکدیگر تعامل دارند. عامل‌ها ممکن است در راستای هدفی خاص و مشترک و یا جداگانه که در تعامل با یکدیگر هستند، عمل نمایند. در چنین سیستم‌هایی، رفتار عامل‌ها بر اساس فیدبک‌های حاصل از محیط اطرافشان (پیشامدهای سیستم قدرت) است. لذا لازم است عامل‌ها از محیط اطرافشان یاد بگیرند و خود را با آن سازگار کنند. بنابراین، الگوریتم‌های

ساختارهای اطلاعاتی موجود در پایگاه داده هر عامل شامل ساختار تشخیصی منتخب فعلی، نتایج آزمایش ساختارهای کاندید، پارامترهای طبقه‌بندی منتخب و کاندید، داده‌های ولتاژ نمونه برداری شده شبکه قدرت می‌باشد. وظیفه بخش ارزیابی محیط، بروزرسانی ساختارهای اطلاعاتی و دانش موجود در پایگاه دانش عامل با استفاده از اطلاعات دریافتی از حسگرهاست. این بخش طبق معیار تابع هدف (آنلاین یا آفلاین)، اطلاعات مربوط به مواردی، همچون وقوع تغییر الگوی داده‌ها، الگوی داده‌های جاری، دقت ساختار فعلی و ساختارهای کاندید، و ... را بروز رسانی می‌کند.

مجموعه‌ای از اهداف کوتاه مدت برای دستیابی به هدف بلندمدت در عامل وجود دارند. هدف بلند مدت در این مطالعه، رسیدن به شرایط نرمال شبکه (شکل موج ولتاژ بدون اغتشاش) است. اهداف کوتاه مدت شامل اهدافی چون آموزش طبقه‌بندی‌های جدید یا آموزش دوباره طبقه‌بندی‌های موجود برای بالا بردن دقت طبقه‌بندی، یادگیری روابط و قواعد موجود بین الگوی داده‌ها برای انجام پیش‌بینی‌های دقیق‌تر و انجام عمل طبقه‌بندی بر روی داده‌های تست است. در واقع، وظیفه تابع سودمندی در عامل این است که جهت دستیابی به هدف بلندمدت با توجه به محیط، هدف کوتاه مدت مناسبی را انتخاب نماید. برای مثال، اگر هدف کوتاه مدت فعلی طبقه‌بندی داده‌هاست، اما میزان خطا از حد مشخصی بالاتر است، باید این هدف با هدف کوتاه مدت آموزش طبقه‌بندی‌های جدید یا آموزش مجدد طبقه‌بندی جاری تعویض گردد. پس از مشخص شدن هدف کوتاه مدت فعلی، بخش انتخاب عمل با توجه به وضعیت محیط و هدف فعلی (کوتاه مدت) مجموعه‌ای از اعمال قابل انجام را مشخص می‌سازد. پس از ایجاد این مجموعه اعمال، با توجه به سودمندی عمل‌های مختلف، تصمیم‌گیری برای انتخاب و پیشنهاد مناسبترین عمل انجام می‌گردد [۲۱].

هنگامی که یک تغییر الگو در جریان داده‌ها رخ می‌دهد، عامل باید بلافاصله ساختار متناسب با مفهوم جدید را جایگزین ساختار جاری نماید. عامل باید مشخص کند که

می‌نماید. این تعدد و تکثر روش‌ها، اگرچه به کاربرد بیشتر داده‌کاوی در مسائل عملی منجر گردیده، اما از سوی دیگر، موجب مشکلی به نام انتخاب روش یا سیستم داده‌کاوی مناسب یک کاربرد یا مسئله خاص، برای کاربران و سیستم‌ها گردیده است.

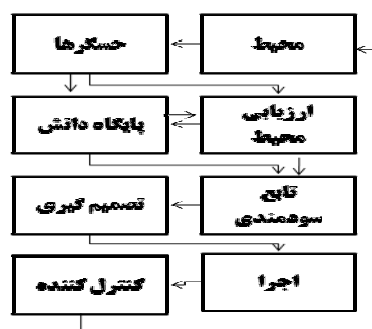
۴-۱- یادگیری در سیستم‌های چند عاملی

مسئله یادگیری ماشین به علت عدم قطعیت موجود در محیط و رفتار واکنشی در قبال آن بسیار مهم است. بنابراین، در طراحی سیستم‌های چند عاملی، پیش بینی همه حالات و برنامه ریزی رفتار مطلوب عامل ممکن نیست. لذا، عامل باید از طریق هوشمندانه‌ای فرآیند یادگیری را انجام دهد. به طور کلی، یادگیر می‌تواند در محیط مشارکتی باشد که در آن عامل‌ها دانش فراگیری شده خود را برای بهبود یادگیری به اشتراک می‌گذارند [۲۱،۴]. الگوریتم‌های آنلاین برای سیستم‌های چند عاملی که در آن عامل‌ها دائماً به بروزرسانی اطلاعاتشان نیاز دارند، مناسبتر است. با این حال توانایی استفاده از کلاس‌های داده قدرتمند و وسیع الگوریتم‌های یادگیری آفلاین نیز مطلوب است. عامل‌ها تأکید زیادی بر روی انعطاف و یادگیری دارند. این بدین معنی است که سیستم در طول زمان، ساختارهای درونی خود را با توجه به تجربیات کسب شده از محیط (سیستم قدرت)، بهبود می‌بخشد. عامل، به صورت مداوم ساختارهای خود را به کمک روش‌های یادگیری ماشین، بروز می‌کند. در ادامه، تشریح بخش‌های مختلف یک عامل بیان می‌شود.

۴-۲- اجزای یک عامل

شکل (۱)، اجزای داخلی یک عامل و چگونگی ارتباط

آنها را با هم نشان می‌دهد.



شکل (۱). اجزای تشکیل دهنده یک عامل

روش طبقه‌بندی $MSVM$ ، KNN ، PNN به کار رفته است. در این بخش، تشریح این الگوریتم‌ها به صورت خلاصه، بیان شده است. برای مطالعه بیشتر می‌توان به مراجع بیان شده مراجعه کرد.

۵-۱-۱- تبدیل S هذلولی

تبدیل S یک بیان زمان - فرکانسی را از سری زمانی ایجاد می‌کند. در روش تبدیل S هذلولی (بهبود یافته) برای افزایش قدرت تفکیک زمان، از پنجره ای نامتقارن استفاده می‌شود [۱۰].

۵-۱-۲- آنالیز چند سطحی سیگنال به وسیله تبدیل

موجک

این ایده برای محاسبه تبدیل ویولت گسسته، به روش بانک فیلتر مشهور است. ضرایب خروجی فیلتر پایین گذر، که به آنها ضرایب، تقریب^{۱۵} گفته می‌شود، شکل اولیه سیگنال را دنبال می‌کنند. همچنین، ضرایب خروجی فیلتر بالاگذر، جزئیات فرکانس بالای سیگنال را دربردارند. به این ضرایب، جزئیات^{۱۶} گفته می‌شود [۱۱].

۵-۱-۳- روش اطلاعات متقابل (MI)

مقدار MI بیان می‌دارد که چه مقدار اطلاعات در مورد متغیر تصادفی X، می‌توان از متغیر تصادفی Y به دست آورد [۱۲]. در این مقاله، به اختصار نام این روش، M بیان می‌شود.

۵-۱-۴- الگوریتم Relief

روش Relief (R)، از یک راه حل آماری برای انتخاب ویژگی استفاده می‌کند. یک روش مبتنی بر وزن است که از الگوریتم‌های مبتنی بر نمونه الهام گرفته است [۱۳].

۵-۱-۵- روش ترتیبی رو به جلو (SFS)

این روش، کارش را با یک مجموعه خالی شروع می‌کند، سپس در هر تکرار یک ویژگی با استفاده از تابع ارزیابی مورد استفاده، به مجموعه جواب اضافه می‌کند، این کار را تکرار می‌کند تا زمانی که تعداد ویژگی لازم انتخاب شود [۱۴].

کدام ساختار را جایگزین نماید. وظیفه واحد تصمیم، تخصیص امتیاز به هر یک از اعمال انتخاب ساختار جدید است تا با استفاده از آن، عامل بهتر و دقیقتر بتواند در مورد عکس العمل خود تصمیم بگیرد [۲۱]. میزان تناسب هر عکس العمل به مناسب بودن آن برای دستیابی به هدف کوتاه مدت عامل بستگی دارد (هدف کوتاه مدت عامل، دقت طبقه‌بندی بیشتر، یا صرف حداقل زمان ممکن برای تطبیق دادن ساختار جاری با الگوی موجود در پس جریان داده‌هاست). در حالت مانیتورینگ آنلایین پیشنهادی، یک استراتژی افزایش دقت در مقابل حداقل هزینه محاسباتی (مصالحه‌ای بین کاهش بعد بردار ویژگی ورودی سیستم و دقت طبقه‌بندی) ارائه می‌شود. واحد تصمیم برای تعیین میزان برتری هر ساختار کاندید، از اطلاعات موجود در پایگاه دانش، که توسط حسگرها و بخش ارزیابی تهیه و بروز رسانی می‌شود، استفاده می‌کند.

تابع هدف سیستم تشخیص آنلایین = استفاده از کمترین تعداد بردار ویژگی سیستم + افزایش دقت شناسایی اغتشاشات + کاهش زمان اجرای عملیات تشخیص
تابع هدف سیستم تشخیص آفلایین = افزایش دقت طبقه‌بندی اغتشاشات

۵- ساختارهای مانیتورینگ کیفیت توان

۵-۱- الگوریتم‌ها

در این مقاله، با به کارگیری الگوریتم‌های مشهور در حوزه داده کاوی، به بررسی هر سه نوع روش انتخاب ویژگی پرداخته شده است. با ترکیب هر یک از این روش‌ها با سه طبقه‌بندی کننده معروف، ساختارهایی برای سیستم تشخیص آنلایین و آفلایین بیان شده است. با مقایسه عملکرد این ساختارها، از ابعاد مختلف (به کمک شاخص‌های مختلف)، بهترین ساختارها برای مانیتورینگ آنلایین و آفلایین کیفیت توان در شرایط مختلف، تعیین می‌گردد. برای استخراج ویژگی از ترکیب تبدیل S هذلولی^۹ (HST) و آنالیز چند سطحی سیگنال به وسیله تبدیل موجک^{۱۰} (MRA) استفاده شده است. در این مقاله، چهار روش مشهور انتخاب ویژگی^{۱۱} SFS،^{۱۲} SBS،^{۱۳} M^{۱۴} و سه

است. ده سیکل از شکل موج ولتاژ که شامل اغتشاش است، برای استخراج بردار مشخصه استفاده شده است. نمونه سیگنال‌های اغتشاش، بر اساس مقالات [۱۸، ۱۱] و بدون هیچ گونه محدودیتی در تعاریف، شبیه سازی شده‌اند.

یک سیگنال در سیستم قدرت واقعی معمولاً دارای نویز است. نویز تصادفی غیر قابل کنترل است و مقدار دقیق آن در آزمایش‌های مختلف با هم متفاوت است. پس بهتر است که به صورت آماری نشان داده شود. نویز، تصادفی است و معمولاً توزیع آن را توزیع گوسی در نظر می‌گیرند. در تحقیقات انجام شده در سیستم‌های الکتریکی، پرکاربردترین مدل نویزی، نویز سفید گوسی، است. در محدوده فرکانسی که اکثر گیرنده‌ها کار می‌کنند، چگالی طیف توان نویز حرارتی مقدار ثابتی است (به فرکانس بستگی ندارد) و از این جهت، نویز سفید^{۲۰} نامیده می‌شود، زیرا شامل تمام فرکانس‌هاست. همه سیستم‌ها دارای نویز سفید هستند. زمانی که یک سیستم را در محیط نویزی بررسی و تحلیل می‌کنیم، بدترین شرایط وقتی است که بخواهیم حداکثر توان را منتقل نماییم. در مدارهای الکتریکی، حداکثر توان وقتی منتقل می‌شود که در مدار، تطبیق امپدانس وجود داشته باشد. مستقل از اندازه مقاومت، چگالی طیف توان نویز داده شده به بار، در شرایط تطبیق، مقداری ثابت است. بنابراین، مدل نویز سفید گوسی دارای پتانسیل خوبی برای مدل نمودن شرایط واقعی است. شایان ذکر است که در بیشتر مقالات منتشر شده در حوزه تشخیص سیگنال‌های کیفیت توان، شرایط نویزی با این مدل نویزی بررسی شده است. در این مقاله، حساسیت روش‌های پیشنهادی، تحت شرایط مختلف نویزی با سطوح مختلف سیگنال همراه با نویز بررسی شده است.

۵-۲-۱- ویژگی‌های استخراجی

هدف از بخش انتخاب ویژگی، استخراج ویژگی‌های مفید و مؤثر است که بیان کننده خصوصیات اصلی سیگنال در شرایط مختلف نویزی باشند. تجربه نشان داده است که تبدیل موجک به تنهایی در برابر نویز مقاوم نیست. بنابراین، در این مقاله، از ابزار پیشرفته تبدیل S هذلولی نیز استفاده شده است که به طور ذاتی در برابر شرایط نویزی مقاوم‌تر

۵-۱-۶- روش ترتیبی رو به عقب (SBS)^{۱۸}

این روش برعکس SFS کارش را با مجموعه‌ای شامل تمام ویژگی‌ها شروع می‌کند و در هر بار تکرار الگوریتم، ویژگی را که به وسیله تابع ارزیابی انتخاب می‌شود، از مجموعه مورد نظر حذف می‌کند. این کار را تا زمانی ادامه می‌دهد که تعداد ویژگی‌ها برابر تعداد معینی شود [۱۴].

۵-۱-۷- ماشین بردار پشتیبان (SVM)^{۱۹}

ماشین بردار پشتیبان از یک ابر صفحه خطی تفکیک گر بهینه برای دسته بندی داده‌ها استفاده می‌کند که این ابر صفحه بهینه از حداکثر کردن حاشیه به دست می‌آید [۱۴].

۵-۱-۸- شبکه عصبی احتمالی

اصول و مبانی شبکه PNN در سال ۱۹۶۶ میلادی توسط اسپچ پایه گذاری گردید. این شبکه دارای دو لایه میانی است: لایه اول آن یک لایه تابع بنیادی شعاعی و لایه دوم آن یک لایه رقابتی است [۱۵].

۵-۱-۹- K - نزدیکترین همسایه

ایده اصلی KNN به این صورت است که، نمونه جدید را با K تا از نزدیکترین نمونه‌های مشابه در مجموعه داده‌های آموزشی مقایسه می‌کند و با استفاده از فاصله اقلیدسی یا کسینوسی بین بردارهای دو نمونه، شباهت را محاسبه می‌کند [۱۶].

۵-۲- شبیه سازی

هم اکنون مرسوم‌ترین تکنیک‌های بهینه‌سازی، الگوریتم‌های تکاملی، همچون بهینه‌سازی گروهی ذرات هستند [۱۷]. این الگوریتم، برای بهینه کردن پارامترهای طبقه‌بندی کننده‌های به کار رفته، استفاده شده است. در این مقاله، به منظور دستیابی به داده‌های آموزش و تست سیستم تشخیص، انواع وقایع کیفیت توان، با استفاده از معادلات پارامتری شبیه‌سازی شده‌اند. در این مقاله، سیگنال‌های اغتشاشی با کمک نرم افزار MATLAB شبیه‌سازی شده‌اند. فرکانس نمونه برداری ۳٫۲ کیلوهرتز و فرکانس نرمال ۵۰ هرتز است. ۱۰۰ مورد از هر دسته با پارامترهای مختلف برای آموزش و ۱۰۰ مورد برای تست، تولید شده

سطح چهارم تجزیه می‌شود و ضرایب موجک تا این سطح، به دست می‌آید، و با این ضرایب، ویژگی‌های مختلفی استخراج می‌گردد. ویژگی‌های ۱۸ تا ۲۵ که در جدول ۱ نشان داده شده، از این نوع هستند. تعدادی از ویژگی‌ها، مبتنی بر شکل موج زمانی اغتشاش و شاخص‌های آماری اعمال شده بر آنها هستند. ویژگی‌های ۲۶ تا ۳۱ که در جدول ۱ نشان داده شده، از این نوعند.

است. به منظور بهره‌گیری از تبدیل S هذلولی در آشکارسازی شکل موج ولتاژ سیستم، از ماتریس S و کانتور زمان-فرکانس (TF-contour)، نمودار زمان-اندازه (TmA) و نمودار اندازه-فرکانس (FmA)، بر اساس اطلاعات آماری یا مبتنی بر تئوری اطلاعات، ویژگی‌هایی استخراج می‌گردد [۱۸]. ویژگی‌های ۱ تا ۱۷ که در جدول ۱ نشان داده شده، از این نوع هستند. به منظور بهره‌گیری از تبدیل موجک در آشکارسازی، موجک گسسته db4 تا

جدول (۱): ویژگی‌های استخراج شده

Feature extraction techniques	Feature number
متوسط اندازه نمودار FmA	1
متوسط اندازه نمودار TmA	2
انحراف معیار نمودار TmA	3
انحراف معیار نمودار FmA	4
انحراف معیار مجموعه داده‌های کانتور فاز	5
انرژی مجموعه داده‌های نمودار FmA	6
انرژی مجموعه داده‌های نمودار TmA	7
انرژی سطح اول اندازه کانتور زمان-فرکانس (TF-contour)	8
انرژی سطح دوم اندازه کانتور زمان-فرکانس (TF-contour)	9
انرژی سطح سوم اندازه کانتور زمان-فرکانس (TF-contour)	10
انرژی سطح چهارم اندازه کانتور زمان-فرکانس	11
انرژی سطح پنجم اندازه کانتور زمان-فرکانس	12
مساحت زیر نمودار FmA	13
مساحت زیر نمودار FmA محدود به فرکانس‌های ۰ تا ۵۰	14
مساحت زیر نمودار FmA محدود به فرکانس‌های ۵۰ تا ۱۶۰۰	15
مساحت زیر نمودار TmA	16
ضریب اندازه (فرمول آن در مرجع [۱۸] بیان شده است).	17
متوسط آنتروپی شانون برای تمام سطوح جزئیات	18
متوسط آنتروپی لگاریتمی برای تمام سطوح جزئیات	19
متوسط آنتروپی حد آستانه برای تمام سطوح جزئیات	20
انحراف معیار سطح دوم جزئیات	21
مینیم قدر مطلق سطح پنجم تقریب	22
متوسط میانگین قدر مطلق تمام سطوح جزئیات	23
میانگین انرژی تمام سطوح جزئیات به علاوه انرژی سطح چهارم تقریب سیگنال	24
انرژی سطح سوم جزئیات سیگنال تجزیه شده	25
شاخص آماری Skewness سیگنال زمانی اغتشاش	26
شاخص آماری Kurtosis سیگنال زمانی اغتشاش	27
ممنت (گشتاور) مرتبه دوم سیگنال زمانی اغتشاش	28
ممنت مرتبه سوم سیگنال زمانی اغتشاش	29
ممنت مرتبه چهارم سیگنال زمانی اغتشاش	30
مقدار RMS سیگنال زمانی اغتشاش (برابر جذر میانگین مربعات نمونه‌های سیگنال)	31

۵-۳- نتایج

در این بخش، بررسی و مقایسه ساختارهای مختلف سیستم تشخیص که از ترکیب روش‌های مختلف انتخاب ویژگی و طبقه‌بندی به دست می‌آید، بیان شده است.

مقایسه ای بین ترکیب روش‌های فیلتری با روش روکشی SBS انجام شده است. در کل، با دقت در نتایج به دست آمده، مشاهده می‌شود که ترکیب روش‌های فیلتری M و R با روش SBS، فقط در تعداد ویژگی بالا دارای دقت مناسب است و با کاهش ابعاد ویژگی، دقت تشخیص سیستم، افت می‌کند.

همچنین، مقایسه‌ای بین روش‌های فیلتری با روش‌های هابیرید SFS انجام شده است. در بخش انتخاب ویژگی، روش‌های فیلتری M و R و روش‌های هابیرید SFS بیان و در بخش طبقه‌بندی، سه طبقه‌بندی کننده معروف MSVM, KNN, PNN با روش‌های انتخاب ویژگی اشاره شده، تلفیق می‌شود.

در سطوح نویزی کم سیگنال ورودی و سیگنال بدون نویز، ساختار MSFS-KNN در تعداد کم ابعاد ویژگی، دارای دقت بالاتری نسبت به ساختار KNN-RSFS است. با افزایش سطح نویز سیگنال اغتشاش کیفیت توان، ساختار RSFS-KNN، بهترین دقت شناسایی با ابعاد کوچک بردار ویژگی سیستم، به دست می‌دهد. این موضوع نشان دهنده آن است که ساختار RSFS-KNN نسبت به ساختار MSFS-KNN دارای خصوصیت مقاوم بودن در برابر نویز بیشتری است. ویژگی مهم این دو ساختار، دقت بالای تشخیص، در ابعاد کوچک بردار ویژگی سیستم، می‌باشد که برای سیستم‌های تشخیص آنلاین خصوصیت بسیار مهمی به حساب می‌آید.

همان طور که از نتایج شبیه سازی استنباط می‌شود طبقه‌بندی کننده PNN در تمامی ساختارها دارای عملکرد مناسبی نیست. طبقه‌بندی کننده MSVM، به طور کلی هرچه تعداد ابعاد بردار ویژگی سیستم بیشتر باشد، بهتر عمل می‌کند؛ به شرطی که تعداد ویژگی‌ها در بازه ۱ تا ۲۵ باشد. با توجه به نتایج، MSVM در مدل‌های ترکیبی بهتر

عمل می‌کند. طبقه‌بندی کننده MSVM در مدل RSFS نسبت به مدل MSFS دقت بالاتری به دست می‌دهد. همچنین دقت این دسته بندی کننده با افزایش سطح نویز در سیگنال ورودی سیستم تشخیص، کمی، کاهش می‌یابد. طبقه‌بندی کننده K-NN در تمامی مدل‌ها، عملکرد مناسبی از خود نشان می‌دهد. خصوصیت مهم این طبقه‌بندی کننده، دقت بالای تشخیص در ابعاد کوچک بردار ویژگی سیستم است که برای سیستم‌های تشخیص آنلاین خصوصیت بسیار مهمی به حساب می‌آید. طبقه‌بندی کننده KNN در سطوح نویزی کم سیگنال ورودی و سیگنال بدون نویز با مدل ترکیبی MSFS در تعداد کم ابعاد ویژگی دارای دقت بالاتری نسبت به مدل ترکیبی RSFS است. با افزایش سطح نویز سیگنال اغتشاش کیفیت توان، KNN همراه با مدل ترکیبی RSFS بهترین دقت شناسایی را با ابعاد کوچک بردار ویژگی سیستم خلق می‌کند. این موضوع نشان دهنده آن است که روش ترکیبی انتخاب ویژگی RSFS نسبت به MSFS دارای خصوصیت مقاوم بودن در برابر نویز بیشتری است.

در ادامه، عملکرد دو روش ترکیبی انتخاب ویژگی MSFS و RSFS بررسی شده است. مناسبترین دقت توسط ساختار MSFS-KNN با ۵ ویژگی؛ یعنی ۱۶٪ از کل ویژگی‌ها؛ برای سیگنال‌های خالص، توسط ساختار RSFS-KNN با چهار ویژگی، یعنی ۱۳٪ از کل ویژگی‌ها، برای سیگنال با ۴۰ دسیبل نویز، توسط ساختار RSFS-KNN با شش ویژگی؛ یعنی ۱۹٪ از کل ویژگی‌ها، برای سیگنال با ۳۰ دسیبل نویز، توسط ساختار RSFS-KNN با چهار ویژگی یعنی ۱۳٪ از کل ویژگی‌ها، برای سیگنال با ۲۰ دسیبل نویز، به دست آمده است.

۵-۳-۱- مقایسه ساختارهای مختلف از نظر زمان

اجرا

روش‌های فیلتری M و R دارای کمترین و روش‌های روکشی SBS و SFS دارای بیشترین زمان اجرا هستند. ساختارها، به ترتیب زیر، دارای کمترین زمان اجرا هستند.

ساختارهای M -SFS-MSVM, SBS-MSVM, MSVM, با دقت طبقه‌بندی ۹۹,۷۷٪، دارای بیشترین دقت در طبقه‌بندی هستند. از بین این مدل‌ها، ساختار SBS-MSVM کمترین ویژگی را برای تشخیص آفلاین پیشنهاد می‌دهد. در حالت سیگنال ورودی db_{20} ساختارهای M -MSVM, SBS-MSVM, با دقت طبقه‌بندی ۹۹,۵۵٪، دارای بیشترین دقت در طبقه‌بندی هستند. از بین این مدل‌ها، ساختار SBS-MSVM کمترین ویژگی را برای تشخیص آفلاین پیشنهاد می‌دهد.

در تعیین ساختاری برای سیستم تشخیص آفلاین، با توجه به جدول (۲)، در حالت سیگنال ورودی بدون نویز، ساختار MSFS-KNN با کمترین تعداد ابعاد بردار ویژگی و دقت طبقه‌بندی ۹۹,۷۷٪ برترین ساختار برای سیستم تشخیص آفلاین است. در حالت سیگنال ورودی db_{40} ساختارهای MSFS-KNN, RSFS-KNN کمترین تعداد ابعاد بردار ویژگی را با دقت طبقه‌بندی یکسان ارائه می‌دهند، اما ساختار RSFS-KNN به علت تعداد ابعاد بردار ویژگی کمتر نسبت به ساختار MSFS-KNN برای سیستم تشخیص آفلاین بهتر است. در حالت سیگنال ورودی db_{30} ساختارهای MSFS-KNN, RSFS-KNN کمترین تعداد ابعاد بردار ویژگی را ارائه می‌دهند، اما ساختار MSFS-KNN به علت تعداد ابعاد بردار ویژگی کمتر نسبت به ساختار RSFS-KNN برای سیستم تشخیص آفلاین بهتر است. در حالت سیگنال ورودی db_{20} ساختار RSFS-KNN با کمترین تعداد ابعاد بردار ویژگی و دقت طبقه‌بندی ۹۹٪ برترین ساختار برای سیستم تشخیص آفلاین است.

MSFS-KNN<RSFS-KNN<RSBS-KNN<MSBS-KNN<RSFS-PNN<MSFS-PNN<MSBS-PNN<RSBS-PNN.

۵-۳-۲- تعیین ساختار بهینه برای سیستم تشخیص آفلاین و آنلاین

تعیین ساختاری برای سیستم تشخیص آفلاین و ساختاری برای سیستم تشخیص آفلاین اغتشاشات کیفیت توان، یکی از مسائل چالش برانگیز در حوزه کیفیت توان است. در این بخش، بررسی کلیه نتایج به دست آمده از تمامی مدل‌های آزمایش شده (در این مقاله)، برای تعیین سیستم تشخیص خودکار آفلاین و آفلاین اغتشاشات کیفیت توان در شرایط مختلف، بیان شده است. معیارهای تعیین ساختاری، برای سیستم تشخیص آفلاین، بترتیب اولویت، بالاترین دقت، ابعاد ویژگی مناسب و مصنوعیت در برابر نویز و همچنین، برای سیستم تشخیص آفلاین، کمترین ابعاد ویژگی، دقت مناسب و مصنوعیت در برابر نویز در نظر گرفته شده است.

بهترین نتایج به دست آمده، از بالاترین تا پایین‌ترین ابعاد بردار ویژگی سیستم (۱ تا ۳۱) در شرایط مختلف نویزی، برای تمامی ساختارهای ارائه شده در این فاز از پژوهش، در جدول (۲) نمایش داده شده است. (علایم اختصار به کار برده شده در جدول (۲)، در پایین جدول توضیح داده شده است). برای تعیین ساختار بهینه برای سیستم تشخیص آفلاین، همان‌طور که از جدول (۲) مشاهده می‌شود، در حالت سیگنال ورودی بدون نویز، ساختارهای M -MSVM, R-MSVM, SFS-MSVM, SBS-MSVM, با دقت ۹۹,۸۸٪، دارای بیشترین دقت در طبقه‌بندی هستند. از بین این ساختارها، ساختار SBS-MSVM کمترین ویژگی را برای تشخیص آفلاین پیشنهاد می‌دهد. در حالت سیگنال ورودی db_{40} از بین تمام ساختارها، روش‌های روکشی SFS با دقت ۹۹,۶۶٪، دارای بیشترین دقت در طبقه‌بندی و تعداد ویژگی مناسب برای تشخیص آفلاین هستند. در حالت سیگنال ورودی db_{30}

جدول (۲): مقایسه بهترین نتایج تمام ساختارهای ذکر شده در این مقاله

Noiseless				SNR=40				SNR=30				SNR=20			
C	FSA	ACC(%)	#Fea	C	FSA	ACC(%)	#Fea	C	FSA	ACC(%)	#Fea	C	FSA	ACC(%)	#Fea
S	M	۹۹,۸۸	۲۶	S	M	۹۹,۴۴	۱۷	S	M	۹۹,۷۷	۲۰	S	M	۹۹,۵۵	۲۵
S	MB	۹۹,۵۵	۲۴	S	MB	۹۹	۲۳	S	MB	۹۹,۲۲	۲۷	S	MB	۹۸,۴۴	۲۶
S	MF	۹۹,۵۵	۹	S	MF	۹۹,۴۴	۸	S	MF	۹۹,۲۲	۱۱	S	MF	۹۸,۷۷	۷
S	R	۹۹,۸۸	۱۹	S	R	۹۹,۴۴	۲۸	S	R	۹۹,۶۶	۲۹	S	R	۹۹,۱۱	۲۰
S	RB	۹۹,۸۸	۲۵	S	RB	۹۹,۵۵	۲۵	S	RB	۹۹,۳۳	۲۶	S	RB	۹۸	۲۳
S	RF	۹۹,۷۷	۸	S	RF	۹۹,۵۵	۱۱	S	RF	۹۹,۳۳	۱۰	S	RF	۹۸,۳۳	۱۴
S	F	۹۹,۸۸	۱۰	S	F	۹۹,۶۶	۸	S	F	۹۹,۷۷	۲۵	S	F	۹۹,۴۴	۲۴
S	B	۹۹,۸۸	۲	S	B	۹۹,۵۵	۳	S	B	۹۹,۷۷	۱۳	S	B	۹۹,۵۵	۲
P	M	۹۶,۴۴	۲۱	P	M	۹۵,۷۷	۲۰	P	M	۹۶,۸۸	۲۲	P	M	۹۷,۶۶	۲۰
P	MB	۹۷,۲۲	۲۶	P	MB	۹۷,۸۸	۲۴	P	MB	۹۶,۸۸	۲۶	P	MB	۹۷	۲۳
P	MF	۹۶,۸۸	۱۱	P	MF	۹۷,۸۸	۸	P	MF	۹۶,۴۴	۱۰	P	MF	۹۷	۷
P	R	۹۸,۴۴	۱۴	P	R	۹۸,۳۳	۱۶	P	R	۹۸,۱۱	۱۴	P	R	۹۸,۶۶	۱۹
P	RB	۹۸,۵۵	۲۵	P	RB	۹۸,۲۲	۲۲	P	RB	۹۸,۲۲	۲۵	P	RB	۹۸,۱۱	۲۵
P	RF	۹۸,۵۵	۷	P	RF	۹۸,۲۲	۷	P	RF	۹۸,۲۲	۱۰	P	RF	۹۸,۱۱	۸
P	F	۹۹,۱۱	۱۲	P	F	۹۹	۹	P	F	۹۸,۲۲	۹	P	F	۹۹	۱۱
P	B	۹۹,۱۱	۸	P	B	۹۸,۶۶	۷	P	B	۹۸,۲۲	۵	P	B	۹۹	۹
K	M	۹۶,۷۷	۱۵	K	M	۹۵,۷۷	۲۰	K	M	۹۷,۳۳	۱۸	K	M	۹۸,۲۲	۱۱
K	MB	۹۹,۵۵	۲۱	K	MB	۹۹,۴۴	۲۲	K	MB	۹۹,۴۴	۲۱	K	MB	۹۹,۲۲	۲۴
K	MF	۹۹,۷۷	۵	K	MF	۹۹,۴۴	۵	K	MF	۹۹,۴۴	۵	K	MF	۹۸,۸۸	۵
K	R	۹۹,۴۴	۱۴	K	R	۹۸,۷۷	۱۳	K	R	۹۹,۳۳	۱۰	K	R	۹۸,۶۶	۱۱
K	RB	۹۹,۶۶	۲۲	K	RB	۹۹,۴۴	۲۲	K	RB	۹۹,۵۵	۲۲	K	RB	۹۹	۲۰
K	RF	۹۹,۵۵	۱۰	K	RF	۹۹,۴۴	۴	K	RF	۹۹,۵۵	۶	K	RF	۹۹	۴
K	F	۹۹,۵۵	۱۴	K	F	۹۹,۴۴	۴	K	F	۹۹,۵۵	۱۲	K	F	۹۹,۳۳	۲۰
K	B	۹۹,۶۶	۲۳	K	B	۹۹,۵۵	۱۴	K	B	۹۹,۵۵	۲۰	K	B	۹۹,۳۳	۱۰

Where "C" stands for classifier, "ACC" stands for accuracy, "Fea" stands for dimensional of feature vector.
 "S" stands for MSVM classifier, "P" stands for PNN classifier, "K" stands for K-NN classifier.
 and "M, R, F, B" stands for 'Mutual Information, Modified Relief, Sequential Forward Selection, Sequential Backward Selection' feature selector, respectively.

۵-۴- مقایسه با دیگر مقالات

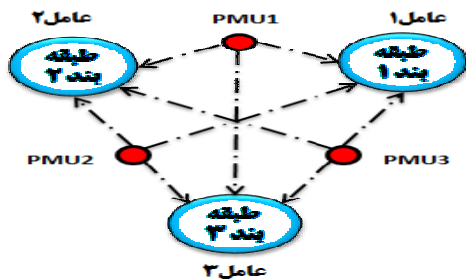
بهترین عملکرد هستند و می توان بدون پیچیدگی و انجام مراحل و محاسبات نوبزدایی، اغتشاشات کیفیت توان را با دقت مناسب شناسایی نمود. همچنین، از نظر تعداد ابعاد بردار ویژگی سیستم تشخیص، مقایسه بین نتایج این پژوهش با مقاله‌های پیشین انجام شده که نتایج نشان می‌دهد روش پیشنهادی، به طور کارآمد، با کمترین تعداد ویژگی، دقت‌های بالاتر از مقالات دیگر را میسر می‌کند.

به منظور بررسی کیفیت روش پیشنهادی، مقایسه از لحاظ درصد دقت طبقه‌بندی و ابعاد بردار ویژگی، بین نتایج این مطالعه و نتایج مقالات جدول (۳)، انجام شده است. نتایج مقایسه نشان می‌دهد، الگوریتم طبقه‌بندی ارائه شده در این پژوهش، با وجود نویز زیاد، مصونیت بالایی دارد. همچنین دقت کل، در این تحقیق، از تمام مقالات مذکور بیشتر است. بنابراین، ساختارهای تشخیص پیشنهادی بدون استفاده از الگوریتم‌های نوبزدایی، در شرایط نویزی دارای

جدول (۳): نتایج دقت روش پیشنهادی در طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان در مقایسه با مقالات پیشین

Some of PQ studies Reference	Number of Feature	Classification accuracy (%)					
		noiseless	40 dB	30dB	20dB	Overall	
[۱۹]	۶	۹۹,۵	۹۹,۵	۹۹,۳	۸۹	۹۶,۸۲	
[۲۰]	۱۵	۹۹,۸۱	-	۹۹,۳۱	۹۷,۶۹	۹۸,۹۳	
[۱۱]	۹	۹۹,۷۱	۹۹,۵۷	۹۶,۹۸	۸۴,۸۶	۹۵,۲۸	
[۱۸]	۴	۹۹,۶۷	۹۹,۵۶	۹۹,۱۱	۹۴	۹۸,۰۸	
[۶]	۱۳	-	۹۳,۶۴	۹۱,۸۵	۸۹,۹۲	۹۱,۸	
[۵]	۱۶	-	-	-	۹۴,۱۶	۹۴,۱۶	
This paper	Online scheme	۵	۹۹,۷۷	۹۹,۴۴	۹۹,۴۴	۹۸,۸۸	۹۹,۳۸
	Offline scheme	۵	۹۹,۸۸	۹۹,۵۵	۹۹,۷۷	۹۹,۵۵	۹۹,۶۸

پیشنهادی بر اساس سه طبقه‌بند مطرح شده در بخش ۵ این مقاله است. در ادامه، با توجه به ساختارهای معرفی شده در بخش ۵، تشریح سیستم مانیتورینگ کیفیت توان بر اساس عامل‌ها بیان شده است.



شکل (۲). چارچوب سیستم پیشنهادی

هر عامل، محدوده خاصی از سیستم قدرت (حوزه عملیاتی) را تحت کنترل دارد. سیگنال‌های ورودی (ولتاژ نمونه برداری شده) از طریق ابزارهای اندازه‌گیری (مانند رله‌های دیجیتال، PMU^{۱۱} و ...) موجود در سیستم قدرت، به آن ارسال می‌شود. اطلاعات از PUMها به تمام عامل‌ها ارسال می‌شود. هر عامل با استفاده از طبقه‌بندی کننده اصلی خود به آزمایش ساختارهای مختلف تشخیص (با معیار تابع هدف آنلاین یا آفلاین) می‌پردازد. نتایج حاصل از تشخیص را به عامل‌های دیگر نیز ارسال می‌کند و هر یک از عامل‌ها، بهترین ساختار (با معیار تابع هدف آنلاین یا آفلاین) را برای سیستم تشخیص خود انتخاب می‌کنند و آن را برای تشخیص اغتشاشات سیستم به کار می‌برند. هر عامل دارای

با توجه به نتایج شبیه‌سازی انجام شده در بخش قبل، ساختارهای گوناگونی در شرایط متفاوت و با معیارهای متمایز می‌تواند ساختار بهینه باشد. همان‌طور که در ابتدا بیان شد، ساختارهای بهینه بسیاری از مقالات در این زمینه، قابلیت جامعیت در شرایط مختلف را دارا نیست. بنابراین، می‌توان نتیجه گرفت که یک ساختار، هر چند قوی و بهینه باشد، برای مانیتورینگ کیفیت توان نمی‌تواند جامع عمل کند. این مقاله، برای این چالش مهم، استراتژی جدیدی بر اساس سیستم‌های چند عاملی ارائه می‌دهد. سیستم پیشنهادی کمک می‌کند، عمل مانیتورینگ با سرعت بالاتر (عملکرد موازی)، حجم محاسباتی کمتر (به کارگیری بردار ویژگی با کمترین ابعاد)، دقت بالاتر، به کارگیری ساختارهای کاندید گوناگون با ترکیب ابزارهای پردازش و یادگیری مختلف و تطبیق پذیری این ساختارها با شرایط الگوی داده‌های جدید، انجام شود.

۶- عملکرد کلی عامل‌ها در سیستم

پیشنهادی

در این بخش، طراحی سیستم مانیتورینگ کیفیت توان پیشنهادی بر اساس سیستم‌های چند عاملی تشریح خواهد شد. در استراتژی پیشنهادی، تعداد عامل‌ها، برابر تعداد طبقه‌بندها در نظر گرفته شده است. در اصل، هر عامل، یک سیستم تشخیص است. بنابراین، هر یک از عامل‌ها، شامل یک طبقه‌بند اصلی است. شکل (۲) نمایشی از سیستم

مختلف کاندید را مورد آزمون قرار می‌دهد و با ساختارهای موجود در حافظه مقایسه می‌کند. پس از انتخاب ساختار بهینه، تا زمانی که تغییر مفهوم بعدی تشخیص داده شود، عامل از این ساختار برای طبقه‌بندی اغتشاشات سیستم قدرت استفاده می‌کند. با این استراتژی، چالش‌های مطرح در مانیتورینگ کیفیت توان به شکل مناسبی مدیریت خواهد شد.

۷- نتیجه گیری

در این پژوهش، چارچوب مناسب برای طراحی سیستم‌های مانیتورینگ آنلاین و آفلاین کیفیت توان، بر مبنای سیستم چند عاملی برای داشتن ساختارهایی با دقت بالا، پیچیدگی محاسباتی کم و تطبیق پذیری با شرایط و محیط، ارائه شده است. در این مقاله، به بررسی و تحلیل چندین ابزار قوی در حوزه یادگیری ماشین و مقایسه عملکرد ساختارهای مختلف سیستم تشخیص در طبقه‌بندی درست سیگنال‌های کیفیت توان پرداخته شده است. همچنین، نشان داده شد که در شرایط مختلف محیطی و هدف‌های مانیتورینگ مختلف ساختارهای متفاوتی می‌تواند، بهینه باشد. با توجه به مشکل مدیریت مانیتورینگ و تعیین ساختار بهینه، استراتژی پیشنهادی این مقاله، استفاده از قابلیت‌های سیستم‌های چند عاملی در مانیتورینگ اغتشاشات کیفیت توان ارائه شد.

بهره‌گیری از عامل هوشمند باعث کاهش زمان تطبیق ساختار سیستم تشخیص با الگوی داده‌ها شده و این امر باعث کاهش خطای طبقه‌بندی و افزایش کارایی می‌گردد. آزمایش‌های انجام شده در این مقاله نشان می‌دهند که این رویکرد نسبت به رویکردهایی که تنها از یک ساختار برای تشخیص استفاده می‌کنند، برتری دارد.

مراجع

- [1] Granados-Lieberman, D., Romero-Troncoso, R.J., Osornio-Rios, R.A., Garcia-Perez, A., Cabal-Yeppez, E., "Techniques and methodologies for power quality analysis and disturbances classification in power systems: a review", Published in IET Generation,

دو زیر لایه عملیاتی است. در لایه اول که لایه کاربردی نام دارد، ساختار منتخب برای تشخیص و طبقه‌بندی اغتشاشات کیفیت توان سیستم قدرت به کار گرفته می‌شود. لایه دوم (زیر لایه)، لایه آموزش است. هر عامل خود را با توجه به طبقه‌بندی اصلی خود و داده‌های آموزشی پایگاه دانش فعلی، به روز می‌کند. در مرحله آموزش، هر ساختار مورد آزمایش، توسط قسمتی از داده‌های پایگاه دانش تست می‌شود. نتایج تست لایه دوم عامل‌های مختلف، مقایسه شده و بهترین نتیجه (ساختار بهینه با توجه به تابع هدف) انتخاب و برای به کارگیری در لایه اول (لایه تست) به تمام عامل‌ها ابلاغ می‌شود. این فرآیند، با توجه به تابع هدف آنلاین و آفلاین، در فواصل زمانی مشخصی انجام می‌گیرد.

با ورود اطلاعات جدید شبکه به درون پایگاه داده هر عامل، با توجه به معیار مانیتورینگ آنلاین یا آفلاین، ساختار منتخب موجود در داخل لایه اول و دوم با الگوی داده‌های جدید بررسی می‌شود. اگر مانیتورینگ آنلاین مد نظر باشد، این بررسی باید در زمان‌های کوتاهی تکرار شود. در واقع، تمایز بین مانیتورینگ آفلاین و آنلاین در تابع هدف و مدت به روز رسانی عامل مشهود است.

تا زمانی که تغییر مفهومی صورت نگرفته باشد، عامل با استفاده از ساختار تشخیص جاری که متناسب با الگوی موجود در جریان داده است، اغتشاشات کیفیت توان شبکه را طبقه‌بندی می‌کند. بعلاوه، ساختارهای کاندید موجود در پایگاه داده هر عامل، با توجه به هدف تشخیص آنلاین و آفلاین، در بازه‌های زمانی مشخصی توسط داده‌های موجود در این پایگاه مورد آموزش و تست قرار می‌گیرند و نتایج کلیه ساختارها در عامل‌های مختلف با هم مقایسه می‌شود (خاصیت بروزرسانی عامل).

در صورتی که میزان سودمندی تشخیص هر یک ساختارهای مورد بررسی از ساختار جاری کمتر بود، عامل وضعیت الگوی داده‌ها را بدون تغییر در نظر می‌گیرد و در غیر این صورت وضعیت الگوی داده‌ها تغییر کرده است. رفتار واکنشی عامل، در واقع پس از وقوع یک تغییر الگوست که عکس العمل نشان داده می‌شود. هنگامی که تغییر مفهومی اتفاق افتد، در صورتی که عامل رفتار واکنشی را برای عکس‌العمل برگزیند، در این حالت ساختارهای

- method", *Electric Power Systems Research*, Vol. 79, pp. 569–575, 2009.
- [11] Eristi, H., Demir, Y., "A new algorithm for automatic classification of power quality events based on wavelet transform and SVM", *Expert Systems with Applications*, Vol. 37, pp. 4094–4102, 2010.
- [12] Amiri, F., RezaeiYousefi, M.M., Lucas, C., Shakery, A., Yazdani, N., "Mutual information-based feature selection for intrusion detection systems", *Journal of Network and Computer Applications*, 34, 1184–1199, 2011.
- [13] Amjady, N., Daraeepour, A., "Design of input vector for day-ahead price forecasting of electricity markets", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 12281–12294, 2009.
- [14] Xie, J., Wang, C., "Using support vector machines with a novel hybrid feature selection method for diagnosis of erythematous-squamous diseases", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, pp. 5809–5815, 2011.
- [15] Perera, N., Rajapakse, A.D., "Recognition of Fault Transients Using a Probabilistic Neural-Network Classifier", *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 26, No.1, 2011.
- [16] Amaral, J.L.M., Lopes, A.J., Jansen, J.M., Faria, A.C.D., Melo, P.L., "Machine learning algorithms and forced oscillation measurements applied to the automatic identification of chronic obstructive pulmonary disease", *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, Vol. 105, pp. 183–193, 2012.
- [17] Victoire, T.A.A., Jeyakumar, A.E., "Deterministically guided PSO for dynamic dispatch considering valve-point effect", *Electric Power Systems Research*, Vol. 73, pp. 313–322, 2005.
- [18] Uyar, M., Yildirim, S., Gencoglu, M.T., "An expert system based on S-transform and neural network for automatic classification of power quality disturbances", *Expert Systems with Applications*, Vol. 36, pp. 5962–5975, 2009.
- Transmission and Distribution, pp. 1751–8687, 2010.
- [2] Sivasubramani, S., Swarup, K.S., "Multiagent based differential evolution approach to optimal power flow", *Applied Soft Computing*, Vol. 12, pp. 735–740, 2012.
- [3] Masaud-Wahaishi, A.M., Gaouda, A., "Intelligent Monitoring and Control Architecture for Future Electrical Power Systems", *The International Symposium on Frontiers in Ambient and Mobile Systems*, *Procedia Computer Science*, Vol. 5, pp. 759–764, 2011.
- [4] Jamont, J.P., Ocelllo, M., Lagrèze, A., "A multiagent approach to manage communication in wireless instrumentation systems", *Measurement*, Vol. 43, pp. 489–503, 2010.
- [5] Manimala, K., Selvi, K., Ahila, R., "Optimization techniques for improving power quality data mining using wavelet packet based support vector machine", *Neurocomputing*, Vol. 77, pp. 36–47, 2012.
- [6] Uyar, M., Yildirim, S., Gencoglu, M.T., "An effective wavelet-based feature extraction method for classification of power quality disturbance signals", *Electric Power Systems Research* Vol. 78, pp. 1747–1755, 2008.
- [7] Kaewarsa, S., Attakitmongcol, K., Kulworawanichpong, T., "Recognition of power quality events by using multi wavelet-based neural networks", *Electrical Power and Energy Systems*, Vol. 30, pp. 254–260, 2008.
- [8] Hu, G.S., Zhu, F.F., Ren, Z., "Power quality disturbance identification using wavelet packet energy entropy and weighted support vector machines", *Expert Systems with Applications*, 35 (1–2), 143–149, 2008.
- [9] Decanini, J.G.M.S., Tonelli-Neto, M.S., Malange, F.C.V., Minussi, C.R., "Detection and classification of voltage disturbances using a Fuzzy-ARTMAP-wavelet network", *Electric Power Systems Research*, Vol. 81, pp. 2057–2065, 2011.
- [10] Nguyen, T., Liao, Y., "Power quality disturbance classification utilizing S-transform and binary feature matrix

- [19] Rodríguez, A., Aguado, J.A., Martín, F., Lopez, J.J., Munoz, F., Ruiz, J.E., "Rule-based classification of power quality disturbances using S-transform", *Electric Power Systems Research*, Vol. 86, pp. 113–121, 2012.
- [20] Eristi, H., Ucar, A., Demir, Y., "Wavelet-based feature extraction and selection for classification of power system disturbances using support vector machines", *Electric Power Systems Research*, Vol. 80, pp. 743–752, 2010.
- [21] Daneshfar, F., Bevrani, H., "Load-frequency control: a GA-based multi-agent reinforcement learning", *IET Generation, Transmission & Distribution*, Vol. 4, No. 1, pp. 13–26, 2010.

زیر نویس

-
- ¹ Dataset
² Data Mining
³ Filter
⁴ Wrapper
⁵ Hybrid
⁶ Probabilistic Neural Network
⁷ Multi Support Vector Machines
⁸ K- Nearest Neighbor
⁹ Hyperbolic S Transform
¹⁰ Multi-Resolution Analysis
¹¹ Sequential Forward Selection
¹² Sequential Backward Selection
¹³ Mutual information
¹⁴ Relief
¹⁵ Approximation
¹⁶ Detail
¹⁷ Sequential Forward Selection
¹⁸ Sequential Backward Selection
¹⁹ Support Vector Machine
²⁰ White noise
²¹ Power Management Unit

