



یک معماری محاسبات هوشمند در اینترنت اشیا پزشکی جهت کاهش تاخیر سیستم نظارت مستمر بیماران کم توان حرکتی و بیماران خاص

رضا آریانا^۱، محمدرضا مجمع^{۲*}، سمیه جعفرعلی جاسبی^۳

۱- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

reza.ariana@srbiau.ac.ir

۲- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد پردیس، دانشگاه آزاد اسلامی، پردیس، ایران

m_majma@pardisiau.ac.ir

۳- گروه مهندسی کامپیوتر، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

s.jassbi@srbiau.ac.ir

چکیده: فناوری اینترنت اشیا (IoT) یک رویکرد ساختاریافته برای رسیدگی به جنبه‌های ارائه خدمات مراقبت‌های بهداشتی از نظر سلامت و نظارت از راه دور برای بیماران دارای شرایط خاص و بیمارهای تهدیدکننده زندگی ارائه می‌دهد. اینترنت اشیا حجم بی‌سابقه‌ای از داده را تولید می‌کند که می‌تواند با استفاده از محاسبات ابری پردازش شود که به دلیل محدودیت منابع، تاخیر بسیار زیادی را به دنبال خواهد داشت. اما برای برنامه‌های نظارت بر سلامت از راه دور بی‌درنگ، تأخیر ناشی از انتقال داده‌ها به ابر و بازگشت به برنامه غیرقابل قبول است. در این مقاله نظارت از راه دور سلامت بیمار در خانه‌های هوشمند با استفاده از مفهوم محاسبه مه در دروازه هوشمند پیشنهاد شده است. سیستم تشخیص FOG پیاده‌سازی شده تحت محاسبات مه، شامل یک نگاشت خطی و نگاشت موبیوس در ترکیب با منطق فازی برای ایجاد خروجی چند سطحی (MLFM-Map) بود که از وضوح‌های فضایی مختلف در تجزیه و تحلیل داده‌های حرکتی بهره‌برداری می‌کند. رویکرد پیشنهاد شده عملکرد طبقه‌بندی خوب تا عالی را نشان داد، با دقت بیش از ۹۰٪ از قسمت‌های FOG به طور متوسط با تاخیر بسیار کم در مجموعه داده اصلی شناسایی شد.

واژه های کلیدی: تشخیص انجماد راه رفتن (FOG)، بیماری پارکینسون (PD)

An intelligent computing architecture in the Internet of Medical Things to reduce the delay of the continuous monitoring system of patients with low mobility and special patients

Reza ariana¹, mohamadreza majma^{2*}, somayyeh jafarali jassbi³

¹ Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

reza.ariana@srbiau.ac.ir

² Department of Computer Engineering, Pardis Branch, Islamic Azad University, Pardis, Iran

m_majma@pardisiau.ac.ir

³ Department of Computer Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

s.jassbi@srbiau.ac.ir

Abstract:

Internet of Things (IoT) technology offers a structured approach to address aspects of health care delivery in terms of health and remote monitoring for patients with specific conditions and life-threatening diseases. The Internet of Things will generate an unprecedented amount of data that can be processed using cloud computing, which will result in huge delays due to resource limitations. But for real-time remote health monitoring applications, the delay caused by transferring data to the cloud and back to the application is unacceptable. we proposed remote monitoring of patient health in smart homes using the concept of fog computing in smart gateway. The FOG detection system implemented under fog



computing consisted of a linear map and a Mobius map in combination with fuzzy logic to create a multi-level output (MLFM-map) that exploits different spatial resolutions in motion data analysis. The model architecture and parameters are designed to provide optimal performance while reducing computational complexity and testing time. The proposed approach showed good to excellent classification performance, with an accuracy of more than 90% of FOG episodes detected on average with very low latency in the original dataset

Keywords: Detection of freezing of gait (FOG), Parkinson's disease (PD)

DOI: 00.00000/0000

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخ چاپ مقاله: ۱۴۰۲/۹/۲۷

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۲/۰۸/۲۳

تاریخ ارسال مقاله: ۱۴۰۲/۰۶/۲۸

وقوع یخ زدگی جلوگیری کند. سنسورهای پوشیدنی نصب شده بر روی قسمت‌های مختلف بدن برای توسعه سیستم‌های پیش‌بینی مه استفاده شده است. با ظهور فناوری‌هایی مانند رایانش ابری، اینترنت اشیا و 5G، می‌توان اطلاعات را سریع‌تر و ایمن‌تر رد و بدل کرد. اینترنت اشیا فرصت‌های زیادی را در زمینه سلامت الکترونیک ارائه می‌دهد.

اکثر بیماری‌های افراد نیاز به فناوری‌های جدید، مانند اینترنت اشیا پزشکی، شبکه‌های بی‌سیم ناحیه‌ی بدن^۶ (WBAN) و محاسبات ابری را در بخش بهداشت و در بسیاری از زمینه‌ها افزایش داده است. این فناوری‌ها همچنین امکان اتصال میلیاردها دستگاه را به اینترنت و ارتباط با یکدیگر فراهم کرده است. در [۹]، یک چارچوب اینترنت اشیا پزشکی متشکل از شبکه‌های بی‌سیم ناحیه بدن (WBAN) طراحی شده است و داده‌های بزرگ سلامت از WBAN‌ها با استفاده از فناوری‌های مه و محاسبات ابری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند. محاسبات مه برای تجزیه و تحلیل سریع و آسان و رایانش ابری برای تجزیه و تحلیل زمان‌بر و پیچیده استفاده می‌شود. چارچوب پیشنهادی اینترنت اشیا پزشکی با یک سناریوی پیش‌بینی دیابت ارائه شده است. فرآیند پیش‌بینی دیابت بر روی مه با تصمیم‌گیری منطق فازی انجام می‌شود و بر روی ابر با ماشین بردار پشتیبانی^۷ (SVM)، جنگل تصادفی^۸ (RF) و شبکه عصبی مصنوعی^۹ (ANN) به عنوان الگوریتم‌های یادگیری ماشین به دست می‌آید. مجموعه داده تولید شده در WBAN‌ها برای تحلیل داده‌های بزرگ در سناریو برای منطق فازی و الگوریتم یادگیری ماشین استفاده می‌شود. منطق فازی عملکرد دقت ۶۴/۱۰٪ را در مه و SVM، RF و ANN به ترتیب ۸۹/۵٪، ۸۸/۴٪ و ۶۷/۲٪ عملکرد دقت در ابر برای پیش‌بینی دیابت دارند. علاوه بر این، نتایج خروجی و تاخیر گره‌های ناهمگن با اولویت‌های مختلف در سناریوی WBAN ایجاد شده با استفاده از استاندارد IEEE 802.15.6 و پروتکل مسیریابی AODV نیز مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته‌اند.

در [۱۰]، یک روش تشخیص FOG بر اساس تجزیه و تحلیل رابطه خاکستری پیشنهاد شده که از خوانش‌های حسگرها برای پیش‌بینی وجود یا عدم وجود انجماد در بیمار استفاده می‌کند. علاوه بر این، یک رویکرد یادگیری گروهی که از تحلیل رابطه خاکستری به عنوان مدل طبقه‌بندی پایه استفاده می‌کند نیز برای تشخیص FOG نشان داده شده

۱- مقدمه

اینترنت اشیا پزشکی^۱ سیستمی از دستگاه‌های به هم پیوسته، یک ماشین دیجیتال با یک شیء واقعی و یک دستگاه مکانیکی است که مجهز به UID است و قادر است داده‌ها را از مکانی به مکان دیگر بدون دخالت انسان منتقل کند. اینترنت اشیا پزشکی همانطور که در [۱] تعریف شده، گروهی از لوازم پزشکی است که با کمک Gateway به یک شبکه متصل می‌شوند. اینترنت اشیا پزشکی قدرت تولید برنامه‌های کاربردی بسیاری مانند سیستم نظارت از راه دور سلامت، سیستم مراقبت از بیمار، برنامه تناسب اندام و سیستم مراقبت از سالمندان را دارد. استفاده از اینترنت اشیا پزشکی، پتانسیل خود را در مدیریت مراقبت از بیمار با کاهش هزینه نیروی انسانی و کاهش زمان معالجه، نشان داده است. بعلاوه، سیستم زمان‌بندی کارآمد را برای دسترسی بیمار به تجهیزات معالجه فراهم می‌کند. مطالعات اخیر بیان کرده‌اند که با افزایش سن جمعیت، شیوع بیماری‌های عصبی به‌طور تصاعدی در حال افزایش است. استفاده از فناوری‌های اینترنت اشیا برای خانه‌های هوشمند در سال‌های اخیر رواج یافته است و یکی از زمینه‌های اصلی کمک به افراد معلول و سالمندان است. بیماری پارکینسون^۲ (PD) یکی از بیماری‌های مزمن پیشرونده عصبی است که با اختلالات حرکتی ارتباط دارد. بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی^۳، جهان در حال حاضر هفت تا ده میلیون بیمار مبتلا به پارکینسون^۴ را تخمین زده است [۳]؛ که موارد زیادی از بیماری پارکینسون پیشرفته در میان افراد مسن گزارش شده است. یخ زدن راه رفتن (FOG)^۵ یک علامت حرکتی ناتوان‌کننده شایع در بیماران مبتلا به بیماری پارکینسون است [۴]. یخ زدن راه رفتن یک اتفاق اپیزودیک است که بر راه رفتن تأثیر می‌گذارد و باعث عدم انجام یا ادامه راه رفتن می‌شود و اغلب با بی‌حرکتی غیر منتظره یا لرزش پاها همراه است. [۵-۸].

یخ زدن راه رفتن با افتادن، آسیب دیدگی و کاهش تحرک کلی مرتبط است. دستگاه‌های مبتنی بر حسگر پوشیدنی می‌توانند یخ‌های در حال انجام را تشخیص دهند و نشانه‌ای برای کمک به فرد برای از سرگیری راه رفتن ارائه دهند. اگرچه این مفید است، اما پیش‌بینی اپیزودهای FOG قبل از شروع و ارائه یک نشانه به موقع ممکن است از

⁶ Body area wireless networks

⁷ Support Vector Machine (SVM)

⁸ Random Forest (RF)

⁹ Artificial Neural Network

¹ Internet of Medical Things (IOMT)

² Parkinson's disease (PD)

³ World Health Organization (WHO)

⁴ Patient with Parkinson's (PWP)

⁵ freezing of gait (FoG)



است. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش‌های پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌های یادگیری ماشین موجود، دقت بهتری دارند. مدل پیشنهادی در [۱۱] از روش‌ها و خدمات پیشرفته مانند داده کاوی تعبیه شده، ذخیره سازی توزیع شده و خدمات اطلاع رسانی در لبه شبکه استفاده می‌کند. روش انتقال داده مبتنی بر رویداد برای پردازش داده‌های بلادرنگ بیمار در لایه مه اتخاذ شده است. نتایج نشان می‌دهد که مدل مبتنی بر طبقه‌بندی کننده BBN پیشنهادی در مقایسه با سایر الگوریتم‌های طبقه‌بندی، دقت و زمان پاسخ بالایی در تعیین وضعیت یک رویداد دارد. علاوه بر این، تصمیم‌گیری بر اساس داده‌های مراقبت‌های بهداشتی در زمان واقعی، کاربرد سیستم پیشنهادی را بیشتر افزایش می‌دهد. در [۱۲]، مدل LAS عملکرد پیش‌بینی مه مشابه با مدل دوطرفه به قیمت مقادیر مثبت کاذب کمی دارد. با توجه به مزایای سیستم‌های تک سنسور، افزایش نرخ مثبت کاذب ممکن است برای افراد مبتلا به PD قابل قبول باشد. بنابراین، یک سنسور فشار کف پای منفرد که روی LAS قرار می‌گیرد می‌تواند برای توسعه یک سیستم پیش‌بینی مه و تولید عملکردی مشابه یک سیستم دوطرفه استفاده شود.

استفاده از محاسبات ابری و اینترنت اشیا در این فرآیند می‌تواند نظارت بر بیماران را به میزان قابل توجهی بهبود بخشد. در [۱۳] از یک سیستم اولویت‌بندی برای اولویت‌بندی اطلاعات حساس در اینترنت اشیا استفاده شده و در محاسبات ابری از شبکه عصبی عمیق LSTM برای طبقه‌بندی و نظارت بر وضعیت بیماران از راه دور استفاده می‌شود. یک راه حل یکپارچه نظارت بر مراقبت‌های بهداشتی برای سربازانی که در شرایط نامطلوب محیطی مستقر شده‌اند، با استفاده از اینترنت اشیا با محاسبات توزیع شده در [۱۴] پیشنهاد شده است. برای این سربازان، پارامترهای سلامتی هر فرد باید به صورت بلادرنگ پایش شود و تجزیه و تحلیل بعدی مجموعه داده‌ها برای شروع حمایت پزشکی مناسب با کمترین تاخیر ممکن انجام شود. در [۱۵] بهره برداری از طیف 5G ارائه می‌شود که در فرکانس 4/8 گیگاهرتز (یک باند فرکانس بالقوه چینی برای اینترنت اشیا) کار می‌کند تا اپیزودهای انجماد تجربه شده توسط بیماران PD را شناسایی کند. ایده اصلی استفاده از دستگاه‌های بی سیم مانند کارت رابط شبکه (NIC)، ژنراتور سیگنال فرکانس رادیویی (RF) و آنتن‌های دوقطبی برای استخراج ویژگی کانال بی سیم حاوی اطلاعات دامنه واریانس است که می‌تواند در سیستم ارتباطی 5G ادغام شود.

مقاله [۱۶] تلاشی برای اصلاح مدل انرژی دستگاه‌های مه در لبه شبکه با استفاده از مفهوم انرژی سبز و کاهش تاخیر و مصرف انرژی در چارچوب‌های چند حسی در سیستم‌های اینترنت اشیا پزشکی ایمن است. در روش پیشنهادی، یک الگوریتم ژنتیک (GA) برای رسیدگی به تعداد زیادی درخواست و محدودیت‌های کیفیت و امنیت مربوطه استفاده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند به طور همزمان تاخیر و توان مصرفی دستگاه‌های لبه را در مقایسه با یک استراتژی پایه کاهش دهد. در [۱۷]، ابتدا سعی شده روش‌های استخراج و استنتاج ویژگی قوی فعلی را تطبیق داده و

گسترش دهد تا ویژگی‌های اضافی در مقایسه با ویژگی‌های موجود در حال حاضر لحاظ شود. سپس با اعمال انتخاب ویژگی با هدف به دست آوردن حداکثر نتایج تشخیص با استفاده از مجموعه داده DAPHNet موجود، یک قدم جلوتر می‌رود. این مجموعه داده با استفاده از یک سیستم کمکی سلامت پوشیدنی که از شتاب‌سنج ۳ محوری برای اندازه‌گیری حرکت بیمار تشکیل شده است، جمع‌آوری شد. نتایج نشان داد که روش‌های یادگیری ماشین پیشنهادی توانایی تشخیص FOG با حداکثر میانگین دقت، حساسیت، ویژگی و ناحیه زیر منحنی (AUC) تقریباً ۹۹ درصد را دارد. با هدف بهبود دقت طبقه‌بندی داده‌ها با پیاده‌سازی رویکردهای ترکیبی انتخاب ویژگی (FS) و یادگیری عمیق (DL) در زیرساخت محاسبات مه، در حالی که زمان پاسخ (RT) و استفاده از پهنای باند را کاهش می‌دهد، در [۱۸] بیان شده است. همچنین، هدف اصلی تجزیه و تحلیل و طبقه‌بندی حالات بیماران از راه دور از طریق فناوری‌های IOT، رایانش ابری و محاسبات مه است. زمان پردازش اطلاعات با اجرای بهینه‌سازی ازدحام ذرات (PSO) و الگوریتم رقابتی امپریالیستی (ICA) در محاسبات مه برای انتخاب ویژگی‌های برجسته کاهش می‌یابد، و دقت طبقه‌بندی از طریق طبقه‌بندی داده‌های جدید توسط یک مدل شبکه عصبی عمیق (DNN) بهبود می‌یابد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که دقت طبقه‌بندی و مانیتورینگ از راه دور بیماران ۹۸/۵۴ درصد است که بدون استفاده از الگوریتم PSO-ICA حدود ۴/۵ درصد بهتر است و همچنین به طور متوسط حدود ۱۰ درصد نسبت به سایر روش‌ها، مانند رگرسیون خطی (K, LR) نزدیکترین همسایگان (KNN)، شبکه عصبی (NN) و شبکه باور بیزی (BBN)، بهبود یافته است.

مقاله [۱۹]، یک روش یادگیری عمیق را برای تشخیص اپیزودهای FOG در بیماران PD پیشنهاد می‌کند. این مدل با استفاده از یک استراتژی جدید نمایش داده‌های طیفی آموزش داده شده که اطلاعات را از هر دو پنجره سیگنال قبلی و فعلی در نظر می‌گیرد. مدل یادگیری عمیق، ۹۰٪ برای میانگین هندسی بین حساسیت و ویژگی به دست آورد، در حالی که روش‌های پیشرفته نتوانستند از ۸۳٪ برای همان متریک پیشی بگیرند. در [۲۰]، انتخاب مکان سنسورهای شتاب، که حرکت بیمار را برای نظارت بر بیمار PD اندازه‌گیری می‌کند، با استفاده از چندین قسمت برای توسعه یک مدل وابسته به بیمار برای تشخیص FOG معرفی شد. طبقه‌بندی پیشنهادی با استفاده از تشخیص مه بر اساس ماشین بردار پشتیبان خطی به ویژگی‌های رتبه بندی شده با استفاده از روش انتخاب ویژگی نامحدود (IFS) برای تمایز بین رویدادهای انجماد و بدون انجماد اعمال شد.

تشخیص FOG را می‌توان به عنوان یک مشکل طبقه‌بندی در نظر گرفت. یک مشکل طبقه‌بندی مشخص می‌کند که مشاهدات جدید بر اساس مجموعه آموزشی داده‌ها به کدام یک از دسته‌بندی‌ها تعلق دارند. برای این منظور، طبقه‌بندی‌کننده‌های مختلفی شناسایی شده‌اند که از تجزیه و تحلیل آماری برای نتیجه‌گیری در مورد یک مشاهده استفاده

۲-۱- نگاشتها

تابع $w = f(z)$ را می‌توان به عنوان یک تبدیل در نظر گرفت که هر نقطه از صفحه z (صفحه x و y) را به نقطه‌ای از صفحه w (صفحه u و v) تبدیل می‌کند. چنین تبدیلی را نگاشت می‌خوانیم. قبل از معرفی نگاشتهای مورد استفاده در این مطالعه، تعاریفی را ارائه می‌کنیم:

- نقاط ثابت نگاشت: نقاطی که بعد از نگاشت تغییری در آنها ایجاد نمی‌شود را نقاط ثابت نگاشت می‌خوانند و اگر تابع نگاشت به صورت $w = f(z)$ تعریف شود برای به دست آوردن نقاط ثابت نگاشت باید معادله $f(z) = z$ را حل کنیم.
- نگاشت همدیس: نگاشت $w = f(z)$ را در نقطه z_0 همدیس گویند اگر هر زاویه با رأس z_0 بدون تغییر منتقل شود. یعنی اندازه و جهت آن عوض نشود.
- قضیه: اگر تابع $f(z)$ در نقطه z_0 تحلیلی باشد و $f'(z)$ در این نقطه مخالف صفر باشد نگاشت $w = f(z)$ در نقطه z_0 همدیس خواهد بود.

۲-۱-۱- نگاشت خطی

این نگاشت با تبدیل $w = f(z) = a.z + b$ بیان می‌شود که در آن a و b اعداد حقیقی دلخواهی هستند. این تابع تام است و اگر a غیر صفر باشد. این نگاشت همه جا همدیس خواهد بود.

۲-۱-۲- نگاشت خطی کسری یا نگاشت موبیوس

نگاشت موبیوس $w = \frac{az+b}{cz+d}$ به نام نگاشت دوخطی نیز خوانده می‌شود. برای نگاشت موبیوس فرض می‌شود $\chi \neq 0$ است چرا که اگر $\chi = 0$ باشد، نگاشت تبدیل به یک نگاشت خطی خواهد شد. همچنین فرض دیگری نیز بر این نگاشت حاکم است: جهت اینکه تابع، تبدیل به یک ثابت عددی نشود $ad - bc \neq 0$ در نظر گرفته می‌شود. مشتق این نگاشت $w' = \frac{(ad-bc)}{(cz+d)^2}$ می‌باشد. این نگاشت همه جا به غیر از $z = -d/c$ همدیس می‌باشد. نگاشت موبیوس حاصل ترکیب نگاشت خطی، نگاشت معکوس و یک نگاشت خطی دیگر می‌باشد. این نگاشت خط و یا دایره را بدون رعایت ترتیب به خط و یا دایره تبدیل می‌کند.

۲-۲- سیستم منطق فازی

منطق فازی شکلی از منطق چند ارزشی است که در آن مقدار درستی متغیرها ممکن است هر عدد واقعی بین ۰ و ۱ باشد. از این منطق برای مدیریت مفهوم درستی جزئی استفاده می‌شود، که مقدار درستی ممکن است بین کاملاً درست و کاملاً نادرست باشد [۲۹]. در منطق بولی، مقادیر درستی متغیرها ممکن است فقط مقادیر صحیح ۰ یا ۱ باشد. اصطلاح منطق فازی با پیشنهاد نظریه مجموعه‌های فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی‌زاده معرفی شد [۳۰-۳۱]. با این حال، منطق فازی از دهه ۱۹۲۰ به عنوان منطق بی‌نهایت ارزش به ویژه توسط تارسکای و

می‌کنند. بنابراین، یک ایده اولیه در مورد داده‌ها برای آموزش نمونه‌های مشاهده مورد نیاز است. از سویی دیگر، روزانه مقادیر بالایی از داده‌های بیمار و مراقبت‌های بهداشتی در اینترنت اشیا پزشکی تولید می‌شود. زمان پردازش و تجزیه و تحلیل کلان داده‌های دریافتی از دستگاه‌های حسگر در لبه و همچنین ارائه دقت لازم برای طبقه‌بندی داده‌ها از مهم‌ترین چالش‌های اینترنت اشیا پزشکی محسوب می‌شود. برای کاهش این کاستی‌های روش‌های موجود، این مقاله یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر نگاشتهای تحلیلی ساده ترکیبی با منطق فازی و آموزش آنها با کمک الگوریتم‌های فراابتکاری، برای طبقه‌بندی یک مجموعه داده دافنت جهت تشخیص FOG پیشنهاد می‌کند. معماری سیستم تشخیص پیشنهاد شده به منظور کاهش پیچیدگی‌های سیستم تشخیص و انجام عملیات زمان واقعی تحت معماری اینترنت اشیا پزشکی معرفی شده است. این مدل تصمیم‌گیری با یک رویکرد یادگیری مبتنی بر الگوریتم‌های فراابتکاری در ترکیب منطق فازی ضمن افزایش سرعت یادگیری برای یک مجموعه داده بزرگ، دقت آموزش را هم بالا برده است. سیستم ارائه شده بعد از آموزش تنها یک نگاشت خطی یا نگاشت کسری موبیوس می‌باشد که در هر لحظه از زمان با کمترین پیچیدگی در سطح محاسبات مه قابل برنامه‌ریزی و مدلسازی است. این عمل به کاهش تاخیر برای محاسبات تشخیص FOG کمک فراوانی خواهد کرد. این روش، چندین ویژگی عملکرد را جمع‌آوری می‌کند تا به یک تصمیم کمی برسد، بنابراین بر معایب روش‌های موجود که به طور کلی نیاز به تجزیه و تحلیل آماری دقیق دارند، غلبه می‌کند.

سهم‌های اصلی این کار به شرح ذیل می‌باشد:

- طراحی یک معماری هوشمند با کمترین پیچیدگی برای دستیابی به یک سیستم تشخیص یخ‌زدگی در راه رفتن FOG برای بیماران پارکینسون PD در زمان واقعی.
- بهبود عملکرد سیستم آموزش مدل پیشنهادی برای افزایش دقت طبقه‌بندی با کمک الگوریتم‌های Fuzzy-ISSA و TSO با توجه به تعداد بسیار زیاد اطلاعات آموزش.
- استفاده از منطق فازی نوع تاکاگی سوگنو برای ایجاد یک خروجی چند سطحی برای سیستم تشخیص FOG جهت کلاسه‌بندی سیستم برای داده‌های مختلف.
- بهره‌گیری از نگاشتهای ساده خطی و موبیوس برای بهبود عملکرد طبقه‌بندی.
- بهبود عملکرد الگوریتم SSA با کمک یک سیستم منطق فازی نوع ممدانی.

۲- مفاهیم

در این قسمت به معرفی مفاهیم اصلاح شده از روش‌ها و الگوریتم‌های به کار رفته در این کار، می‌پردازیم.



که در آن ub_j, lb_j, r, c_2 و c_3 کران بالایی و پایینی فضای جستجو و پارامترها به تعداد تصادفی یکنواخت بین ۰ و ۱ هستند، که در SSA جاسازی شده‌اند. پارامتر c_1 بر اساس [۳۷] محاسبه می‌شود:

$$c_1 = 2 \cdot e^{-\left(\frac{4t}{T}\right)^2} \quad (2)$$

که در آن t تکرار جاری و T حداکثر تکرارهایی است که باید تنظیم شوند. برای موقعیت هر فالوور سالپ‌ها به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$x_j^i = \frac{1}{2} \cdot (x_j^i + x_j^{i-1}), i \geq 2 \quad (3)$$

۲-۴- بهبود الگوریتم ازدحام سالپ با منطق فازی (Fuzzy-ISSA)

در SSA، پیروان سالپ توسط رهبر هدایت می‌شوند تا نتیجه بهینه را بر اساس ناحیه راه‌حل امکان‌پذیر جستجو کنند. در این حالت با تفاوت بین کران بالا و پایین متغیرهای کنترل شناسایی شده محاسبه می‌شود. در حل مسائل بهینه‌سازی، تعادل بین اکتشاف و بهره‌برداری باید از (۳) تعیین شود. می‌توان مشاهده کرد که توانایی اکتشاف SSA محدود است. به منظور افزایش قابلیت‌های اکتشاف بهره‌برداری از SSA اصلی، از یک مدل بهبود یافته فازی استفاده خواهد شد. اولین نسخه پیشرفته در (۴) انجام شده، که در آن تنظیمات مرز پایین حذف می‌شود تا ظرفیت فرآیند برای استفاده از منابع بهبود یابد، که به صورت زیر بیان می‌شود:

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 \right), c_3 \geq r \\ F_j - c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 \right), c_3 < r \end{cases} \quad (4)$$

به منظور افزایش قابلیت اکتشاف SSA اصلی، بهبود دیگر اجرا شده که در آن بیان، پیروان در (۳) به (۵) که در آن سیستم فازی fuzzySSA نوع ممدانی به عنوان تابع میانگین‌گیر فازی در محدوده [۰, ۱] طبق سیستم فازی تعریف شده محاسبه می‌شود:

$$x_j^i = (ub_j - lb_j) \times fuzzySSA(x_j^i, x_j^{i-1}) + lb_j, i \geq 2 \quad (5)$$

مبنای تعریف قوانین فازی بر اساس ارائه یک مدل میانگین فازی از دو مقدار قبلی می‌باشد. ورود سیستم فازی بعد از نرمال‌سازی محاسبه و اعمال می‌شود. در شکل (۱) نمای کلی سیستم فازی به همراه توابع عضویت ورودی و خروجی به همراه مشخصه ورودی و خروجی آورده شده است. در جدول (۱) هم قوانین فازی اشاره شده است.

جدول (۱): قوانین حاکم بر سیستم منطق فازی

X1	X2	Output
Low	Low	L
Low	Mid	LM
Low	High	M
Mid	Low	LM
Mid	Mid	M
Mid	High	MH
High	Low	M
High	Mid	MH
High	High	H

تاکاسیویس^۱ مورد مطالعه قرار گرفته بود [۳۲]. منطق فازی مبتنی بر مشاهده است که افراد بر اساس اطلاعات غیردقیق و غیرعددی تصمیم می‌گیرند. مدل‌های فازی یا مجموعه‌های فازی، ابزارهای ریاضی برای نمایش اطلاعات مبهم و نادقیق هستند. از این رو اصطلاح فازی به کار برده می‌شود. این مدل‌ها قابلیت تشخیص، بازنمایی، دستکاری، تفسیر و استفاده از داده‌ها و اطلاعات مبهم و فاقد قطعیت را دارند [۳۳-۳۴].

۲-۲-۱- ممدانی

نظام قاعده محور ممدانی از قوانین زیر استفاده می‌کند [۳۵]:

- فازی‌سازی: فازی کردن تمام مقادیر ورودی در توابع عضویت فازی.
- قانون فازی: برای محاسبه توابع خروجی فازی، تمام قوانین قابل اجرا در پایگاه قوانین اجرا می‌شود.
- دفازی‌سازی: توابع خروجی فازی را غیرفازی کنید تا مقادیر خروجی واضح به دست آید.

۲-۲-۲- تاکاگی - سوگنو - کانگ (TSK)

سیستم TSK [۳۶] مشابه ممدانی است، اما فرآیند فازی‌سازی در اجرای قوانین فازی گنجانده شده است. اینها همچنین به گونه‌ای تطبیق داده شده‌اند، که در عوض نتیجه قاعده از طریق یک تابع چند جمله‌ای (معمولاً ثابت یا خطی) نشان داده می‌شود. یک مثال از یک قانون با خروجی ثابت می‌تواند به صورت زیر باشد: اگر دما خیلی سرد است یعنی در این حالت، خروجی برابر با ثابت نتیجه (مثلاً ۲) خواهد بود. در اکثر سناریوها، ما یک پایه قانون کامل، با دو یا چند قانون خواهیم داشت. در این صورت، خروجی کل پایه قانون، میانگین نتیجه هر قانون i (Y_i) خواهد بود که بر اساس مقدار عضویت پیشین آن (h_i) وزن داده می‌شود و با $\frac{\sum_i (h_i \cdot Y_i)}{\sum_i h_i}$ تعریف می‌شود.

۲-۳- الگوریتم ازدحام (SSA) SALP

الگوریتم ازدحام سالپ^۲ (SSA) را می‌توان به عنوان یک الگوریتم الهام گرفته از زیست‌شناسی عملی طبقه‌بندی کرد، که توسط میرجلیلی ابداع شده است [۳۷]. اساس توسعه الگوریتم از جهت‌یابی و جستجوی سالپ در اقیانوس‌ها است. دو گروه در SSA انجام می‌شود که می‌توان آنها را به عنوان رهبر و پیروان تعریف کرد. نامزد حل بر اساس موقعیت سالپ‌ها در جهت‌یابی و جستجوی غذا است، معمولاً برای بهینه‌سازی مسئله به عنوان ماتریس دو بعدی به نام α نظر گرفته می‌شود. بهترین راه حل فعلی منبع غذایی، F_j نامیده می‌شود و موقعیت رهبر سالپ‌ها، x_j^1 بر اساس عبارات زیر به روز می‌شود:

$$x_j^1 = \begin{cases} F_j + c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 + ljb_j \right), c_3 \geq r \\ F_j - c_1 \left((ub_j - lb_j) c_2 + ljb_j \right), c_3 < r \end{cases} \quad (1)$$

² SALP Swarming Algorithm (SSA)

¹ Łukasiewicz و Tarski



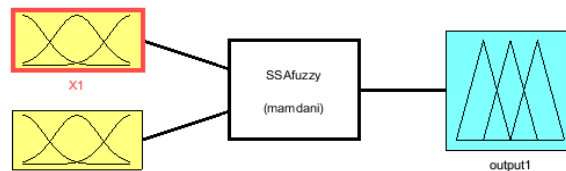
روش معروف اکتشاف سیاره فراخورشیدی پیشنهاد شده است. بیش از ۳۸۰۰ سیاره با استفاده از روش گذر توسط پایگاه داده تلسکوپ‌های فضایی شناسایی شده است. ترانزیت روشی است که پتانسیل بیشتری نسبت به دومین روش موفق شناخته شده (سرعت شعاعی) با ۹۱۵ سیاره کشف شده تا مارس ۲۰۲۲ نشان داده است. تشخیص سیارات به دلیل ابعاد کوچک آنها در مقیاس کیهان دشوار است. با توجه به کارایی بالای روش ترانزیت در اختریف‌های و قابلیت‌های آن، برای تدوین روش بهینه‌سازی در این تحقیق استفاده شده است. در الگوریتم ترانزیت، با مطالعه نور دریافتی از ستارگان در فواصل زمانی معین، تغییرات درخشندگی بررسی می‌شود و اگر کاهشی در مقدار نور دریافتی مشاهده شود، نشان دهنده عبور سیاره‌ای از جبهه ستاره است.

۳- روش پیشنهادی

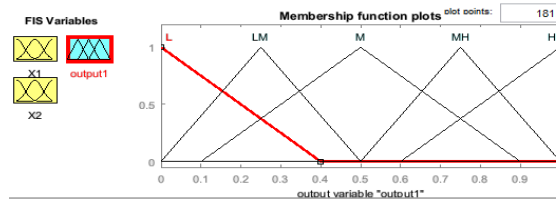
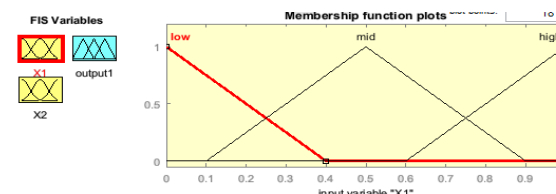
در میان علائم حرکتی بیماری پارکینسون، یخ زدن در هنگام راه رفتن (FOG) ممکن است ناتوان کننده‌ترین نوع بیماری باشد. دوره‌های مه ممکن است منجر به زمین خوردن و کاهش کیفیت زندگی بیماران شود. ارزیابی دقیق FOG اطلاعات عینی را در مورد وضعیت بیمار و ویژگی‌های علائم در اختیار متخصصان مغز و اعصاب قرار می‌دهد، در حالی که می‌تواند پشتیبانی غیردروپی را بر اساس نشانه‌های ریتیمیک فعال کند. سنسورهای پوشیدنی وسیله‌ای ارزشمند برای تشخیص FOG در محیط خانه هستند. علاوه بر این، بازخورد بلادرنگ ثابت کرده است که به کاهش مدت زمان قسمت‌های FOG کمک می‌کند. این کار یک الگوریتم تشخیص FOG بی‌درنگ قوی را پیشنهاد می‌کند، که اجرای آن در دستگاه‌های مستقلی که در شرایط بدون نظارت کار می‌کنند آسان است. با توجه به حجم بسیار بالای اطلاعاتی که در این راستا برای پردازش جهت تشخیص FOG در هر لحظه ارسال می‌شود، می‌تواند از چالش‌های پیش رو برای ارائه یک معماری در شبکه IOMT باشد. بنابراین، این کار به دنبال ارائه یک سیستم طبقه بندی هوشمند و با پیچیدگی‌های بسیار کم برای تشخیص FOG برای افراد مختلف است، تا بتواند با کمترین تأخیر رخداد یخ زدگی را به بیمار پارکینسون هشدار دهد تا در اسرع وقت بیمار را از افتادن ناگهانی نجات دهد. بر این اساس، طراحی یک مدل زمان واقعی از اهداف این روش پیشنهادی می‌باشد. شکل (۲) نمای بلوک دیاگرام طرح پیشنهادی بر اساس یادگیری با الگوریتم‌های فراابتکاری نمایش داده شده است. در ادامه روش‌های به کار رفته در این مقاله تشریح شده است.

۳-۱- نگاشت اطلاعاتی

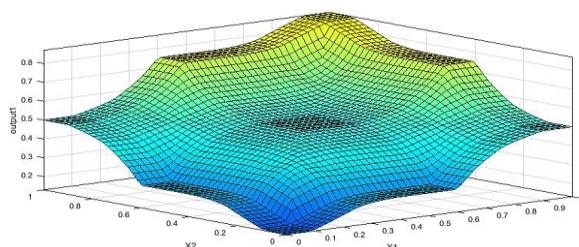
مجموعه داده‌های بزرگ ممکن است حاوی داده‌های اضافی باشد. روش‌های انتخاب متغیر که بیشترین متغیرهای مرتبط را در مجموعه داده انتخاب می‌کنند، تعامل بین متغیرها را در نظر نمی‌گیرند. روش‌های نگاشت داده برای انتقال داده‌های اصلی به یک بعد جدید و گرفتن مهم‌ترین اطلاعات در مجموعه داده استفاده می‌شود. این جابجایی



الف

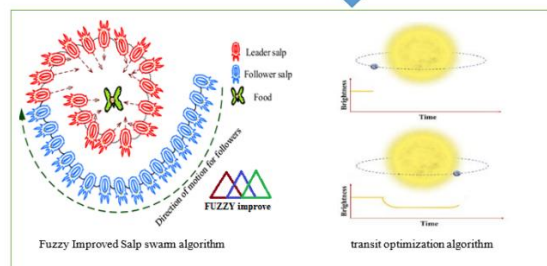
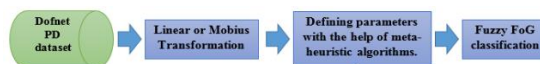


ب

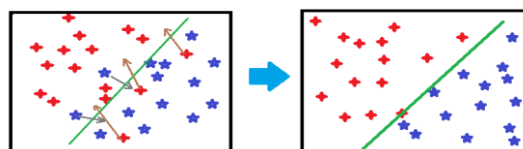


ج

شکل (۱): الف- نمای سیستم منطق فازی مددانی. ب- نمایش توابع عضویت ورودی و خروجی. ج- مشخصه ورودی و خروجی سیستم میانگین گیری فازی.



شکل (۲) نمای بلوک دیاگرام طرح پیشنهادی.



شکل (۳): نمایش تأثیر نگاشت های موفق برای طبقه بندی اطلاعات

۲-۵- الگوریتم بهینه‌سازی جستجوی سیاره TSO

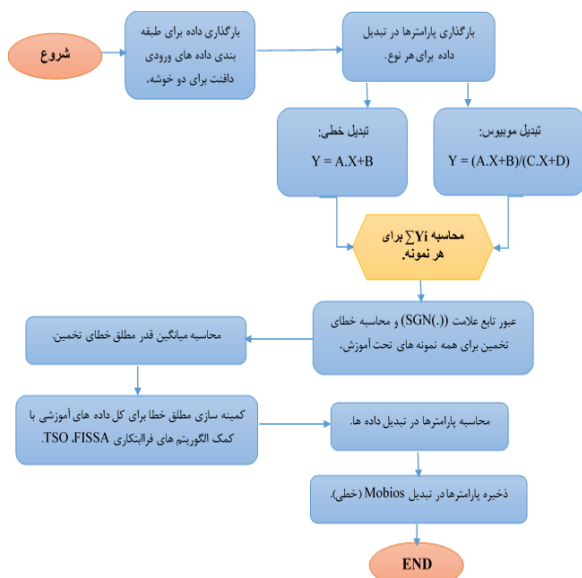
در [۳۸] یک الگوریتم بهینه‌سازی فرااکتشافی جدید با الهام از اختریف‌های، یعنی جستجوی ترانزیت سیاره‌یاب (TS) بر اساس یک



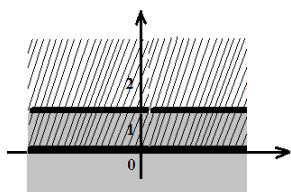
FOG مبتنی بر نگاشت موبیوس مطابق شکل (۳) آورده شده است. نکته قابل توجه در این مقاله این است که برای ایجاد یک نتیجه مفید از نگاشت موبیوس تلاش شده که از یک حلقه تکرار تودرتو برای ایجاد نگاشت‌های چندوجهی بهره ببریم تا بتوانیم یک رمزگذاری قابل قبول برای داده‌های ارسالی تحت شبکه IOMT داشته باشیم. همچنین بتوانیم در مسیر پردازش اطلاعات با موفقیت عمل کنیم.

مشکل مهم و قابل توجه در این روش طبقه‌بندی پیشنهادی این است که در روش پیش رو ما برای کلاسه‌بندی اطلاعات به دو دسته برنامه ریزی کرده‌ایم. اما سیستم مورد مطالعه دارای خوشه‌ها چندگانه می‌باشد. وقتی تعداد طبقات اطلاعات افزایش می‌یابد، ما از یک رویکرد منطقی برای طبقه‌بندی بهره خواهیم برد. در این روش ما برای مجموعه داده‌های دافنت سه کلاس خروجی ۰ و ۱ و ۲ داریم. برای حل این مساله ما داده‌های مربوط به اطلاعات لحظه‌ای بیماران پارکینسون را در دو گروه بررسی می‌کنیم. خروجی این مجموعه داده‌ها برای گروه‌ها مطابق جدول (۲) بخش‌بندی می‌شود. سپس هر کدام از این مجموعه داده‌ها جداگانه آموزش و مقاردهی می‌شود. نتایج خروجی حاصل از این سیستم‌های آموزش دیده برای خروجی نهایی مطابق (۶) محاسبه می‌گردد. شکل (۵) نمایش فضایی این روش را برای یک مجموعه داده دو بعدی جهت تفهیم این کار نمایش داده است.

$$Final\ system = \frac{(system1 + system2 + 2)}{2} \quad (6)$$



شکل (۴): نمایش فلوچارت آموزش معماری پیشنهادی تشخیص FOG جهت طبقه‌بندی به دو دسته



شکل (۵): نحوه برنامه‌ریزی افزایش تعداد طبقات.

اطلاعات نیاز حیاتی به روش‌های استاندارد شده برای بهبود دقت و تکرارپذیری نتایج را برجسته می‌کند. نگاشت داده‌های موبیوس می‌تواند برخی از چالش‌های ذکر شده را کاهش دهد، اما استفاده از آنها در وظایف یادگیری ماشین تا حد زیادی ناشناخته مانده است. هدف ما استفاده حداکثری از تاثیر نگاشت‌های داده‌های مختلف بر دقت، تعمیم‌پذیری و انتخاب ویژگی با استفاده از تجزیه و تحلیل با استفاده از بیش از ۱۵۰۰۰۰ نمونه از مجموعه داده حرکت افراد تحت اطلاعات ۱۰ نفر در دافنت خواهد بود. یافته‌های ما امکان تمایز بین حالت‌های رخداد FOG در بیمار پارکینسون را با استفاده از داده‌های آموزشی با حداقل پیچیدگی موجود تحت شبکه IOMT نشان می‌دهد. به طور قابل توجهی، تعیین ضرایب نگاشت موبیوس برای مجموعه داده مورد مطالعه برای طبقه‌بندی دقیق بسیار مهم است.

نکته مهم در مساله پردازش‌های اطلاعات دسته‌بندی و خوشه‌بندی مجموعه داده‌ها در کنار یکدیگر می‌باشد. بر این اساس رویکرد نگاشت همدیس برای اطلاعات به طبقه‌بندی و مرزبندی بهتر اطلاعات می‌رسد. شکل (۳) به معرفی این تاثیر برای جابجایی اطلاعات می‌پردازد. با این کار می‌توانیم بیشترین انحراف اطلاعاتی را برای بهبود طبقه‌بندی داشته باشیم. همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌شود، با جابجایی الگوهای ورودی در جهت یک اصلاح طبقه‌بندی قابل قبول می‌توان به سیستم‌های یادگیری ماشین کمک کرد تا سیستم با دقت بالاتر طبقه‌بندی را انجام دهد و داده‌های ناهنجار را به سمت داده‌های هنجار جابجا کند. البته با کمک یک انتقال در فضای دو بعدی مطابق شکل می‌توان به یک چارچوب بهینه رسید که در آن تعداد خطاهای داده‌های طبقه بندی را کاهش داد. حال بایستی بدانیم در این کار برای یک نگاشت خطی یا موبیوس پیشنهادی از چه پارامترهایی استفاده خواهد شد. برای محاسبه این پارامترها از الگوریتم های فراابتکاری استفاده شده است. سه الگوریتم در این کار استفاده شده است که در ادامه بررسی می‌شود.

۳-۲- آموزش و تعیین ضرایب نگاشت موبیوس و خطی با کمک الگوریتم‌های فراابتکاری

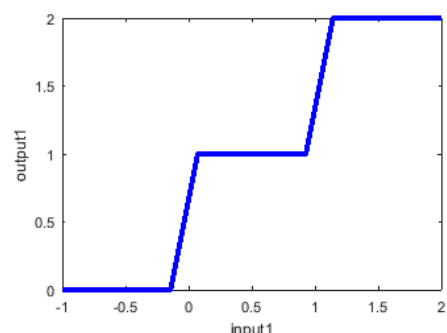
در این مرحله برای طبقه‌بندی مجموعه داده‌های مورد تست بعد از دو نگاشت خطی و موبیوس به منظور داشتن یک دقت بالا برای طبقه بندی از دو الگوریتم TSO و الگوریتم SSA بهینه‌شده فازی استفاده خواهیم کرد. این دو الگوریتم با تعریف ضرایب و پارامترهای نگاشت‌ها برای هر یک از متغیرهای داده‌های تست که در این مجموعه دافنت شامل ۱۰ متغیر ورودی است تلاش می‌کند به یک کلاسه‌بندی دو طبقه دست یابد. شکل (۴) نحوه آموزش سیستماتیک طرح پیشنهادی برای شبکه نگاشت را نمایش داده است.

مطابق شکل (۴) بعد از بارگذاری پارامترها به‌عنوان متغیرهای تابع هدف، برای مینیمم کردن تابع از یک الگوریتم پیشنهادی برای اصلاح ضرایب نگاشت‌ها تا رسیدن به حداکثر دقت طبقه‌بندی دو دسته، استفاده می‌شود. شبه کد مربوط به تابع شبکه به‌دست آمده برای سیستم تخمین

۳-۳- طبقه بندی فازی FOG

هر چند این رویکرد طبقه بندی منطقی مفید واقع شده است اما با افزایش تعداد طبقات، کلاسه بندی مساله را پیچیده کرده و زمان تخمین را افزایش خواهد داد؛ چون نیازمند یک سری سیستم های تخمین مجزا در شبکه خواهد بود. همچنین این تخمین با رویکرد چند سیستمی نیاز به تعداد اجزای بیشتر برای هر طبقه به صورت مجزا خواهد داشت. بنابراین در این کار یک روش طبقه بندی فازی نوع تاکاگی سوگنو در آخر تابع هدف ارائه شده، که جایگزین تابع علامت (SGN) شود. بر اساس این سیستم منطق فازی پیشنهادی به یک نگاشت چند کلاسه می رسد. شکل (۶) ساختار سیستم فازی تشخیص FOG را برای سه کلاس مختلف برای مطالعه این کار ارائه کرده است. در این شکل ساختار توابع عضویت ورودی و مشخصه ورودی و خروجی ارائه شده است. قوانین فازی حاکم بر آن در جدول (۳) آورده شده است.

برای روش فازی پیشنهاد شده در این تحقیق به جای اجرای سیستم های مختلف و کلاسه بندی در فضای تابع سیگموئید که با افزایش تعداد طبقات تعداد سیستم ها را افزایش می دهد، از یک تابع فازی چند کلاسه بهره خواهد برد. در این کار به جای وزن دهی ویژگی ها برای دو کلاس مختلف، از یک سیستم منطق فازی با بازه های مختلف برای کلاس های مختلف در یک اجرای سیستماتیک توسط الگوریتم های طبقه بندی مانند TSO و Fuzzy-ISSA بهره خواهد برد.



شکل (۶): مشخصه ورودی و خروجی سیستم میانگین گیری فازی.

جدول (۲): عملکرد سیستم پیشنهادی برای سیستم های مختلف.

سیستم اول	سیستم دوم	سیستم نهایی
-1	-1	0
-1	1	1
1	1	2

جدول (۳): قوانین حاکم بر سیستم منطق فازی

Input	Output
Low	M1
Mid	M2
High	M3

۴- تجزیه و تحلیل تجربی

اعتبار روش های پیشنهادی مبتنی بر تحلیل رابطه نگاشت خطی یا موبیوس آموزش دیده با الگوریتم های بهینه سازی پیشنهادی و طبقه بندی فازی، از طریق تحلیل تجربی بر روی مجموعه داده های انجام دافتن راه رفتن نشان داده شده است. تجزیه و تحلیل با استفاده از MATLAB R2016b انجام شده است. نتیجه با روش های معروف یادگیری ماشینی، مانند ماشین بردار پشتیبان (SVM) و جنگل های تصادفی (RF) مقایسه شده است.

۴-۱- شرح مجموعه داده FOG

مجموعه داده ها معیاری برای تشخیص یخ زدگی راه رفتن، از حسگرهای شتاب پوشیدنی است، که روی پاها و لگن ۱۰ بیمار قرار داده شده است [۳۹]. آن ها کارهایی مانند راه رفتن در خط مستقیم و فعالیت های واقعی تر مانند گرفتن قهوه و باز کردن درها را انجام دادند. مجموعه داده ها نتیجه همکاری آزمایشگاه محاسبات پوشیدنی، ETH زوریخ سوئیس است. سه کلاس وجود دارد که نتیجه نهایی در آنها تقسیم شده است: کلاس ۱ برای بدون انجام، کلاس ۲ برای فریز و کلاس ۰ برای نمونه-هایی که بخشی از آزمایش نیستند. برای آزمایش، هر سه کلاس در نظر گرفته شده است، ولی دقت پیش بینی فقط برای کلاس های ۱ و ۲ انجام می شود. همچنین تجزیه و تحلیل برای دو مجموعه داده به دست آمده به ترتیب با انتخاب تصادفی ۸۵۱۶ نمونه و ۱۷۰۶۳ نمونه از ۱۵۰۰۰ نمونه در مجموعه داده ها انجام شده از بیمارارن مختلف ارائه شده است.

۴-۲- سنجش عملکرد

برای آزمایش های وابسته به موضوع، داده های آموزشی و آزمایشی هر دو از یک دسته بیمارارن هستند. طرح های اعتبارسنجی متقابل ۱۰ متغیری بر روی ویژگی های مهم از طریق هر راه حل طبقه بندی ارائه شده در بخش قبلی اجرا شد. در ارزیابی اعتبار متقابل ۱۰ متغیری، داده ها به طور تصادفی در دو بخش آموزش و تست بررسی می شوند. یک بخش به عنوان مجموعه آزمایشی انتخاب می شود، در حالی که داده های باقیمانده به عنوان مجموعه آموزشی انتخاب می شود. سپس ارزیابی برای نگاشت ۳ بار تکرار می شود، که این کار برای انجام نگاشت قابل تفکیک سیستم می شود. هر بخش از داده ها یک بار به عنوان داده ارزیابی استفاده می شود و دقت نهایی بعد از ۳ تکرار به دست می آید.

در آزمایش مستقل از موضوع، طبقه بندی کننده ها بر روی ویژگی های انتخاب شده از افراد مختلف آموزش دیدند و عملکرد بر روی افراد باقی مانده آزمایش شد. برای اعتبارسنجی متقاطع ۱۰ برابری و مستقل از موضوع، دقت طبقه بندی (ACC)، حساسیت (SE)، ویژگی (SP) و ناحیه زیرمنحنی (AUC) برای آزمایش عملکرد روش پیشنهادی، همانطور که در (۷-۱۱) تعریف شده استفاده شد. این چهار معیار عملکرد بر اساس ماتریس سردرگمی همانطور که در جدول (۴) ارائه شده است، تعریف شده است.



SVM و FISSA و MT-TSO عمل می‌کنند. شایان ذکر است که اگرچه SVM یک نتیجه ۱۰۰٪ را برای حساسیت نشان می‌دهد، ویژگی اندازه‌گیری شده توسط SVM ۰٪ است و عملاً آن را غیرممکن می‌کند. بنابراین، برای تعیین اینکه کدام طبقه‌بندی‌کننده کلاس‌ها را به بهترین شکل پیش‌بینی می‌کند، مفهوم ناحیه تحت یک منحنی مشخصه عملیاتی گیرنده (ROC) در نظر گرفته می‌شود. منطقه تحت مشخصه عملیاتی گیرنده (AUROC) یک آمار خلاصه برای خوب بودن یک طبقه‌بندی‌کننده در یک کار طبقه‌بندی باینری است.

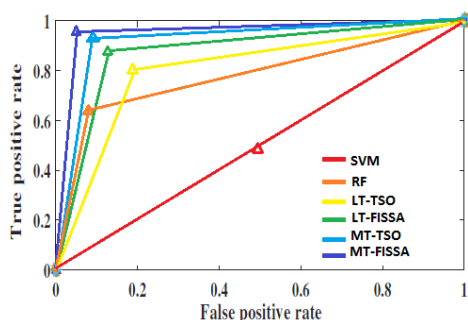
این نتیجه ابهامی را که معیارهای مختلف ممکن است ایجاد کنند برطرف می‌کند. شکل (۷) منحنی‌های ROC را نشان می‌دهد که عملکرد طبقه‌بندی‌کننده‌ها را در تمام آستانه‌های ممکن خلاصه می‌کند. منحنی‌ها با ترسیم نرخ مثبت واقعی (حساسیت) در برابر نرخ مثبت کاذب (ویژگی ۱) ایجاد می‌شوند. از نتایج مقادیر AUROC گزارش شده در جدول (۶)، به وضوح می‌توان مشاهده کرد که در مقایسه با سایر طبقه‌بندی‌کننده‌های پیشرفته، روش‌های پیشنهادی (MT-FISSA و MT-TSO) عملکرد رقابتی بهتری دارند. از نظر مقادیر AUROC، MT-FISSA بهبود ۱۲/۴٪ نسبت به RF، ۱۳۷/۷٪ نسبت به SVM، ۳۲/۷۸٪ نسبت به MT-TSO و ۲۵/۱٪ نسبت به LT-FISSA برای مجموعه داده تشخیص FOG برای بیماران پارکینسون را نشان می‌دهد، در حالیکه LT-FISSA بهبودی ۲۲/۱۱٪ نسبت به RF، ۵۱/۷٪ نسبت به MT-TSO، ۹۴/۷۸٪ بیش از SVM و ۱/۶٪ نسبت به MT-TSO. شکل (۸) نمایش نمودار میله‌ای را برای سیستم‌های مورد مطالعه ایجاد کرده است.

جدول (۴): ماتریس سردرگمی

مقادیر	پیش‌بینی شده مثبت	پیش‌بینی شده منفی
واقعی مثبت	مثبت درست (TP)	منفی غلط (FN)
واقعی منفی	مثبت غلط (FP)	منفی درست (TN)

جدول (۵): توضیحات مجموعه داده

کل	عدم انجماد	حالت انجماد	تعداد مجموعه های داده
۹۲۸۰۲	۸۷۶۵۵	۵۱۴۷	



شکل (۷): ROC تشخیص FOG برای مجموعه داده دافنت.

$$ACC = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100 \quad (۷)$$

$$SE = \frac{TP}{TP+FP} \times 100 \quad (۸)$$

$$SP = \frac{TN}{TN+FP} \times 100 \quad (۹)$$

$$AUROC = \frac{SE+SP}{2} \quad (۱۰)$$

در تجزیه و تحلیل طبقه‌بندی باینری، F1-Score پارامتر دیگری برای اندازه‌گیری دقت یک آزمون است، که از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$F1 - Score = \frac{2 \times TP}{2 \times TP + FP + FN} \quad (۱۱)$$

در این ماتریس سردرگمی، TP مجموع موارد مثبت واقعی است که FOG را به طور دقیق به عنوان FOG نشان می‌دهد. FP، کل مثبت کاذب که نشان دهنده غیر FOG است که به درستی به عنوان FOG شناسایی نشده است. TN، مجموع منفی‌های واقعی، که نشان دهنده غیر FOG است که به طور دقیق به عنوان غیر FOG شناسایی شده است. FN، کل منفی کاذب، که نشان دهنده FOG است که به درستی به عنوان غیر FOG شناسایی نشده است. و AUC ناحیه زیر منحنی مشخصه عملکرد گیرنده^۱ (ROC) است که نرخ مثبت واقعی و نرخ منفی واقعی را نمایش می‌دهد. نکته مهم این است که این روش حالت "۰" را هم برای داده‌های غیر آزمایشی طبقه‌بندی می‌کند. سپس برای محاسبه معیارها تنها حالت‌های ۱ و ۲ بررسی می‌شود؛ یعنی شناسایی برای همه حالت‌ها در سیستم بررسی می‌شود اما بررسی معیارهای تعریف شده فقط برای حالت‌های رخداد یا عدم رخداد یخ‌زدگی، انجام می‌شود.

۳-۴ - نتایج شبیه سازی

جدول (۶) مقادیر معیارهای مختلف روش‌های پیشنهادی در مقایسه با سایر روش‌ها، SVM و RF را برای مجموعه داده‌های مختلف همانطور که در جدول (۵) ارائه شده، بیان کرده است. از جدول (۶) می‌توان دریافت که MT-FISSA بهترین دقت را برای مجموعه داده دارد. مقدار AUROC نشان می‌دهد که MT-FISSA و LT-FISSA در مقایسه با سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها عملکرد بهتری دارند. RF عملکرد بهتری نسبت به سایر مدل‌های یادگیری ماشینی موجود SVM دارد. به دلیل روش یادگیری گروهی آن که از بخش‌بندی استفاده می‌کند.

با استفاده از محاسبه ضریب دقت طبقه‌بندی^۲ (ACC) که نسبت هر کلاس از ماتریس سردرگمی را در نظر می‌گیرد، می‌توان مشکل عدم در نظر گرفتن تمام متغیرهای جدول (۶) را حل کرد. مقدار ACC نیز برتری MT-FISSA و MT-TSO را نسبت به سایر طبقه‌بندی‌کننده‌ها تأیید می‌کند. با این حال، هنگامی که سایر معیارهای عملکرد در نظر گرفته می‌شود، نتایج متفاوتی وجود دارد. به عنوان مثال، از جدول (۶) مشاهده می‌شود که از نظر حساسیت، SVM و RF بهتر از MT-

² Accuracy Classification coefficient

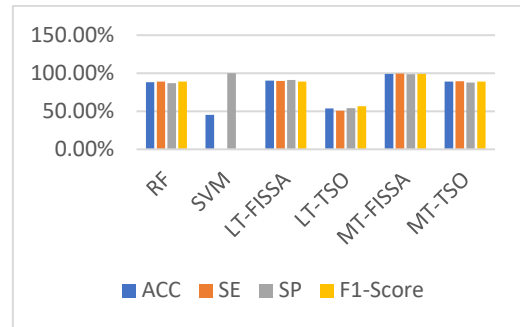
¹ Receiver operating characteristic



جدول (۶): نتایج برای مجموعه توالی مرجع برای مجموعه داده مورد مطالعه.

	RF	SVM	LT-FISSA	LT-TSO	MT-FISSA	T-TSO
ACC	88.17%	45.43%	90.34%	53.76%	98.95%	88.96%
SE	89.05%	0	89.67%	50.56%	99.34%	89.47%
SP	87.10%	100%	91.05%	54.13%	98.62%	87.06%
F1-Score	0.8914	nan	0.8923	0.5672	0.9932	0.8912
AUROC	0.8806	0.5	0.9036	0.52345	0.9898	0.88515

روش‌های پیشنهادی نشان می‌دهد که آنها از روش‌های یادگیری ماشین موجود از نظر دقت (بالای ۹۰٪ است)، امتیاز ACC، F1، و همچنین از نظر عملکرد کلی که توسط نتایج AUROC منعکس می‌شود، بهتر عمل می‌کنند. از همه مهمتر سادگی مدل نهایی سیستم بعد از آموزش می‌باشد که کاربرد آن را برای سیستم‌های زمان واقعی بیشتر آشکار می‌کند. در نهایت به خاطر استفاده از این استراتژی تأخیر در پیش‌بینی وضعیت اضطراری کاهش می‌یابد. در آینده، نویسندگان مایلند یک طبقه‌بندی‌کننده ترکیبی بر اساس الگوریتم‌های خوشه‌بندی با برخی دیگر از روش‌های یادگیری ماشین غیرپارامتری موجود برای بهبود بیشتر نتایج روش تشخیص FOG پیشنهادی ایجاد کنند.



شکل (۸): نمایش نمودار میله‌ای نتایج جدول (۶)

۵- نتیجه‌گیری

مزیت مهم این رویکرد پیشنهادی سادگی در اجرای سخت‌افزاری سیستم‌های نگاشت و توابع سیستم بعد از آموزش تحت الگوریتم‌های پیشنهادی است. با توجه به الزامات پیاده‌سازی، استقرار یک سیستم واقعی (بر اساس مدل پیشنهادی) مطمئناً مؤثر است زیرا شامل هیچ تحلیل آماری پیچیده یا آستانه برای به دست آوردن یک تصمیم نیست. علاوه بر این، مستقل از هر گونه تخصیص احتمالی است. مزیت اصلی مدل پیشنهادی عملکرد متعادل است. برخلاف رویکردهای موجود، عدم تعادل بالایی بین ویژگی و حساسیت در مدل پیشنهادی قابل مشاهده نیست. علاوه بر این، مدل مبتنی بر اینترنت اشیا به هیچ سیستم کامل اصلی به جز حسگرهای بدن و اشیاء هوشمند برای جمع‌آوری داده‌ها برای تشخیص انجماد راه رفتن نیاز ندارد. مدل سخت‌افزاری مورد نیاز نیز مقرون به صرفه است. نصب سنسورهای شتاب و دروازه اینترنت اشیا برای پردازش داده‌های ورودی از طریق یک اتصال اینترنتی پایدار نیازی به هزینه بالایی ندارد. نیاز به یک هدفون ساده برای ارائه سیگنال‌های شنیداری خروجی برگشت داده شده برای هوشیار کردن بیمار و توانبخشی راه رفتن نیز، پرهزینه نیست.

این مقاله یک روش طبقه‌بندی مبتنی بر نگاشت خطی یا موبیوس و نسخه مجموعه آن با استفاده از سیستم کلاسه‌بندی منطق فازی برای تشخیص و طبقه‌بندی وجود انجماد راه رفتن (FOG) در یک بیمار مبتلا به بیماری پارکینسون در محیط اینترنت اشیا پیشنهاد کرده است. روش‌های پیشنهادی مستقل از هر گونه تخصیص احتمالی یا تجزیه و تحلیل آماری پیچیده برای تصمیم‌گیری در مورد هر دنباله مرجع جدید هستند. روش‌های پیشنهادی یک نمونه جدید را بر اساس تبدیل‌های نگاشت به هر یک از کلاس‌های نمونه‌های نسبی (۰ بدون آزمایش و ۱ برای بدون یخ و ۲ برای فریز) دسته‌بندی می‌کنند. تجزیه و تحلیل

مراجع

- [1] G. J. Joyia, R. M. Liaqat, A. Farooq, and S. Rehman, "Internet of medical things (IOMT): Applications, benefits and future challenges in healthcare domain," *J. Commun.*, vol. 12, pp. 240-247, 2017.
- [2] N. Dilawar, M. Rizwan, F. Ahmad, and S. Akram, "Blockchain: securing internet of medical things (IOMT)," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 10, 2019.
- [3] A. Elbaz, J. H. Bower, D. M. Maraganore, S. K. McDonnell, B. J. Peterson, J. E. Ahlskog, et al., "Risk tables for parkinsonism and Parkinson's disease," *Journal of clinical epidemiology*, vol. 55, pp. 25-31, 2002.
- [4] E. Heremans, A. Nieuwboer, and S. Vercruyse, "Freezing of gait in Parkinson's disease: where are we now?," *Current neurology and neuroscience reports*, vol. 13, pp. 1-9, 2013.
- [5] B. T. Cole, S. H. Roy, and S. H. Nawab, "Detecting freezing-of-gait during unscripted and unconstrained activity," in *2011 Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*, 2011, pp. 5649-5652.
- [6] Q. Oung, M. Hariharan, H. Lee, S. Basah, S. Yaacob, M. Sarillee, et al., "Objective assessment of Parkinson's disease symptoms severity: A review," in *2015 2nd international conference on biomedical engineering (icobe)*, 2015, pp. 1-6.
- [7] Q. W. Oung, M. Hariharan, S. N. Basah, S. Yaacob, M. Sarillee, and H. L. Lee, "Use of technological tools for Parkinson's disease early detection: A review," in *2014 IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE 2014)*, 2014, pp. 343-348.
- [8] Q. W. Oung, H. Muthusamy, H. L. Lee, S. N. Basah, S. Yaacob, M. Sarillee, et al., "Technologies for assessment of motor disorders in Parkinson's disease: a review," *Sensors*, vol. 15, pp. 21710-21745, 2015.



- [23] N. Mohammadian Rad, T. Van Laarhoven, C. Furlanello, and E. Marchiori, "Novelty detection using deep normative modeling for imu-based abnormal movement monitoring in parkinson's disease and autism spectrum disorders," *Sensors*, vol. 18, p. 3533, 2018.
- [24] A. El-Attar, A. S. Ashour, N. Dey, H. A. El-Kader, M. M. A. El-Naby, and F. Shi, "Hybrid DWT-FFT Features for Detecting Freezing of Gait in Parkinson's Disease," in *Information Technology and Intelligent Transportation Systems*, ed: IOS Press, 2019, pp. 117-126.
- [25] C. Punin, B. Barzallo, R. Clotet, A. Bermeo, M. Bravo, J. P. Bermeo, *et al.*, "A non-invasive medical device for parkinson's patients with episodes of freezing of gait," *Sensors*, vol. 19, p. 737, 2019.
- [26] I. Mazzetta, A. Zampogna, A. Suppa, A. Gumiero, M. Pessione, and F. Irrera, "Wearable sensors system for an improved analysis of freezing of gait in Parkinson's disease using electromyography and inertial signals," *Sensors*, vol. 19, p. 948, 2019.
- [27] M. van den Berg and A. Maeder, "Prediction of freezing of gait in patients with Parkinson's disease using EEG signals," *Telehealth for Our Ageing Society: Selected Papers from Global Telehealth 2017*, vol. 246, p. 124, 2018.
- [28] V. G. Torvi, A. Bhattacharya, and S. Chakraborty, "Deep domain adaptation to predict freezing of gait in patients with Parkinson's disease," in *2018 17th IEEE International Conference on Machine Learning and Applications (ICMLA)*, 2018, pp. 1001-1006.
- [29] V. Novák, I. Perfilieva, and J. Mockor, *Mathematical principles of fuzzy logic* vol. 517: Springer Science & Business Media, 2012.
- [30] F. Logic, "Stanford Encyclopedia of Philosophy. Bryant University," 2006.
- [31] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets," *Information and control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [32] F. J. Pelletier, "Metamathematics of fuzzy logic," ed: JSTOR, 2000.
- [33] B. Zohuri, M. Moghaddam, B. Zohuri, and M. Moghaddam, "What Is Fuzzy Logic and How It Works," *Business Resilience System (BRS): Driven Through Boolean, Fuzzy Logics and Cloud Computation: Real and Near Real Time Analysis and Decision Making System*, pp. 199-219, 2017.
- [34] R. Babuška, *Fuzzy modeling for control* vol. 12: Springer Science & Business Media, 2012.
- [35] E. H. Mamdani, "Application of fuzzy algorithms for control of simple dynamic plant," in *Proceedings of the institution of electrical engineers*, 1974, pp. 1585-1588.
- [36] T. Takagi and M. Sugeno, "Fuzzy identification of systems and its applications to modeling and control," *IEEE transactions on systems, man, and cybernetics*, pp. 116-132, 1985.
- [37] S. Mirjalili, A. H. Gandomi, S. Z. Mirjalili, S. Saremi, H. Faris, and S. M. Mirjalili, "Salp Swarm Algorithm: A bio-inspired optimizer for engineering design problems," *Advances in engineering software*, vol. 114, pp. 163-191, 2017.
- [38] M. Mirrashid and H. Naderpour, "Transit search: An optimization algorithm based on exoplanet exploration," *Results in Control and Optimization*, vol. 7, p. 100127, 2022.
- [39] M. Bachlin, M. Plotnik, D. Roggen, I. Maidan, J. M. Hausdorff, N. Giladi, *et al.*, "Wearable assistant for Parkinson's disease patients with the freezing of gait symptom," *IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine*, vol. 14, pp. 436-446, 2009.
- [9] E. Yıldırım, M. Cicioğlu, and A. Çalhan, "Fog-cloud architecture-driven Internet of Medical Things framework for healthcare monitoring," *Medical & Biological Engineering & Computing*, vol. 61, pp. 1133-1147, 2023.
- [10] N. Ghosh and I. Banerjee, "IoT-based freezing of gait detection using grey relational analysis," *Internet of Things*, vol. 13, p. 100068, 2021.
- [11] P. Verma and S. K. Sood, "Fog assisted-IoT enabled patient health monitoring in smart homes," *IEEE Internet of Things Journal*, vol. 5, pp. 1789-1796, 2018.
- [12] S. Pardoel, J. Nantel, J. Kofman, and E. D. Lemaire, "Prediction of freezing of gait in Parkinson's disease using unilateral and bilateral plantar-pressure data," *Frontiers in Neurology*, vol. 13, p. 831063, 2022.
- [13] S. Iranpak, A. Shahbahrani, and H. Shakeri, "Remote patient monitoring and classifying using the internet of things platform combined with cloud computing," *Journal of Big Data*, vol. 8, pp. 1-22, 2021.
- [14] S. Bandopadhyaya, R. Dey, and A. Suhag, "Integrated healthcare monitoring solutions for soldier using the internet of things with distributed computing," *Sustainable Computing: Informatics and Systems*, vol. 26, p. 100378, 2020.
- [15] J. S. Khan, A. Tahir, J. Ahmad, S. A. Shah, Q. H. Abbasi, G. Russell, *et al.*, "5G-FOG: Freezing of gait identification in multi-class softmax neural network exploiting 5G spectrum," in *Science and Information Conference*, 2020, pp. 26-36.
- [16] M. Abbasi, E. Mohammadi-Pasand, and M. R. Khosravi, "Intelligent workload allocation in IoT-Fog-cloud architecture towards mobile edge computing," *Computer Communications*, vol. 169, pp. 71-80, 2021.
- [17] Q. W. Oung, S. N. Basah, H. Muthusamy, V. Vijejan, H. Lee, W. Khairunizam, *et al.*, "Objective evaluation of freezing of gait in patients with Parkinson's Disease through machine learning approaches," in *2018 International Conference on Computational Approach in Smart Systems Design and Applications (ICASSDA)*, 2018, pp. 1-7.
- [18] S. Iranpak, A. Shahbahrani, and H. Shakeri, "Analyzing IoT big data in healthcare using Deep learning and Distributed Fog computing," 2022.
- [19] J. Camps, A. Sama, M. Martin, D. Rodriguez-Martin, C. Perez-Lopez, J. M. M. Arostegui, *et al.*, "Deep learning for freezing of gait detection in Parkinson's disease patients in their homes using a waist-worn inertial measurement unit," *Knowledge-Based Systems*, vol. 139, pp. 119-131, 2018.
- [20] A. S. Ashour, A. El-Attar, N. Dey, M. M. Abd El-Naby, and H. Abd El-Kader, "Patient-dependent freezing of gait detection using signals from multi-accelerometer sensors in Parkinson's disease," in *2018 9th cairo international biomedical engineering conference (CIBEC)*, 2018, pp. 171-174.
- [21] B. Li, Y. Zhang, L. Tang, C. Gao, and D. Gu, "Automatic detection system for freezing of gait in Parkinson's Disease based on the clustering algorithm," in *2018 2nd IEEE advanced information management, communicates, electronic and automation control conference (IMCEC)*, 2018, pp. 1640-9.
- [22] V. Mikos, C.-H. Heng, A. Tay, S.-C. Yen, N. S. Y. Chia, K. M. L. Koh, *et al.*, "A neural network accelerator with integrated feature extraction processor for a freezing of gait detection system," in *2018 IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC)*, 2018, pp. 59-62.

