APJ. 4(4):19-29, Winter 2023

Arman Process Journal (APJ)

Homepage: armanprocessjournal.ir

Evaluating the Performance of a Machine Learning Classifier System for the Identification of Heart Disease Patients

Mohammadreza Dehghani Mahmoudabadi [*,1]

[1] *Faculty of Computer Engineering, University of Azad Islamic Maybod, Maybod, Iran*

Received: 17 December 2023
Accepted: 22 March 2024

KEYWORDS:
Cardiovascular Diseases,
Learning Classifier System,
Machine Learning,
Rule-Based Learning

[1] Corresponding author
M.r.dehghani.m.a@gmail.com

ABSTRACT

Background and Objectives: Cardiovascular diseases have been identified as one of the most prevalent global health issues, and delays in treatment can lead to increased mortality among patients. The primary objective of this study has been to enhance the identification of heart disease patients using a machine learning classification system.

Methods: In this research, machine learning classification systems with rule-based learning techniques have been employed. These techniques are built upon two fundamental principles, reinforcement learning, and genetic algorithms. The Mishgan style has been selected as the optimization method, and a dataset of heart disease patients from the Afshar Research Center has been utilized for the training and learning of the system.

Findings: Following the training of the system, a set of valuable rules has been generated and utilized in the testing phase for predicting heart disease patients. The experimental results indicate that using the Mishgan-style machine learning classification system has improved the identification of heart disease patients, resulting in an 88% increase in prediction accuracy. In other words, this approach enables a more comprehensive identification of heart disease patients.

Conclusion Considering the study's outcomes, the use of the Mishgan-style machine learning classification system as an optimal approach has enhanced the identification of heart disease patients and increased prediction accuracy. This method can contribute significantly to timely treatment of heart disease patients and the reduction of morbidity and mortality associated with these diseases.

NUMBER OF REFERENCES	NUMBER OF FIGURES	NUMBER OF TABLES
23	1	5

نشریه تخصصی آرمان پردازش، دوره ۴، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۲

فصلنامه تخصصی آرمان پردازش
(APJ)
Homepage: www.armanprocessjournal.ir

بررسی کارایی سیستم دسته‌بند یادگیر برای شناسایی بیماران قلبی

محمدرضا دهقانی محمودآبادی*[1]

[1] *دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد میبد، میبد، ایران*

چکیده

پیشینه و اهداف: بیماری‌های قلبی به‌عنوان یکی از شایع‌ترین بیماری‌های جهان معرفی‌شده‌اند و تأخیر در درمان آن‌ها می‌تواند منجر به افزایش مرگ بیماران گردد. هدف اصلی این تحقیق ارتقاء شناسایی بیماران قلبی با استفاده از سیستم دسته‌بند یادگیر است.

روش‌ها: در این تحقیق، از سیستم‌های دسته‌بند یادگیر با تکنیک‌های یادگیری مبتنی بر قواعد استفاده‌شده است. این تکنیک‌ها بر پایه دو اصل اساسی یادگیری تقویتی و الگوریتم‌های تکاملی ژنتیک ساخته‌شده‌اند. سبک میشیگان به‌عنوان روش بهینه‌سازی انتخاب‌شده و مجموعه داده بیماران قلبی از مرکز تحقیقات افشار برای آموزش و یادگیری سیستم مورداستفاده قرارگرفته است.

یافته‌ها: پس از آموزش سیستم، تعدادی قانون باارزش تولیدشده که در مرحله آزمون برای پیش‌بینی بیماران قلبی مورداستفاده قرار گرفته‌است. نتایج آزمایش‌ها نشان‌می‌دهد که با استفاده از سیستم دسته‌بند یادگیر بر مبنای سبک میشیگان، شناسایی بیماران قلبی بهبودیافته و دقت پیش‌بینی به ۸۸ درصد افزایش‌یافته است؛ که این روش قادر به انجام شناسایی کامل‌تری از بیماران قلبی است.

نتیجه‌گیری: با توجه به نتایج تحقیق، استفاده از سیستم دسته‌بند یادگیر بر مبنای سبک میشیگان به‌عنوان یک رویکرد بهینه، شناسایی بیماران قلبی را بهبود بخشیده و دقت پیش‌بینی را افزایش داده است. این روش می‌تواند بهبود مؤثری در درمان به‌موقع بیماران قلبی و کاهش مرگ‌ومیر ناشی از این بیماری‌ها داشته باشد.

واژگان کلیدی:
بیماری‌های قلبی،
سیستم دسته‌بند یادگیر،
یادگیری ماشینی،
یادگیری مبتنی بر قاعده.

تعداد جداول	تعداد شکل ها	تعداد مراجع
۵	۱	۲۳

مقدمه

بیماری قلبی امروزه شایع و یکی از دلایل اصلی مرگ‌ومیر است. این بیماری در کشورهای توسعه‌یافته و سراسر جهان شایع‌ترین علت مرگ‌ومیر است؛ بنابراین، تشخیص درست و به‌موقع این بیماری بسیار مهم است. روش‌های تشخیص و درمانی بیماری قلبی با عوارض جانبی زیاد و پرهزینه هستند. به همین دلیل محققان در جستجوی روش‌های ارزان و با دقت بالا برای تشخیص این بیماری هستند. کسب دانش، آموزش و تعدیل عوامل خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی- عروقی، نه‌تنها باعث کاهش هزینه‌های بهداشتی می‌شود، بلکه به بهبود کیفیت زندگی بیماران و جلوگیری از پذیرش‌های مجدد نیز کمک می‌کند [۱].

پیشرفت‌های اخیر درزمینه پیش‌بینی بیماری‌ها، راهی برای تشخیص پزشکان فراهم کرده و هزینه‌های تحقیقاتی را به‌شدت کاهش داده است. در جهت پیشبرد و پیش‌بینی دانش و فناوری پزشکی در کشور، نخبگان و متخصصان پزشکی، متخصصان قلب، تحقیقگران بیوانفورماتیک و جامعه دانشگاهی جهت افزایش دانش خود این مسئله بسیار اهمیت دارد [۲]. روش اصلی این تحقیق، ترکیب سیستم دسته‌بند، تغییر ویژگی‌ها و یادگیری با استفاده از سیستم دسته‌بند یادگیر خواهد بود. با استفاده از داده‌های آزمایشی بیماران قلبی مدلی بر پایه سیستم دسته‌بند یادگیر ساخته خواهد شد. سپس با استفاده از مدل‌های ساخته‌شده، بیماران بر اساس دسته متناظرشان شناسایی و تشخیص داده‌می‌شوند.

با توجه به اینکه سیستم دسته‌بند بر اساس مجموعه‌ای قوانین، پس از اجرای فرآیند بر روی‌داده‌های آموزشی کاربرد دارد، جامعیت کشف دانش و دقت بالا از مهم‌ترین معیارها برای اجرای این سیستم بسیار حائز اهمیت است. در ارزیابی دقت دسته‌بند، معیارهای استاندارد شامل دقت، یادآوری، حساسیت و اختصاصی کردن مورداستفاده قرار می‌گیرند. در عملیات کشف دانش روش‌های استنتاج توصیفی[1]، از معیارهای پشتیبانی[2]، اعتماد[3]، جذابیت[4] و قابلیت فهم[5] استفاده می‌گردد [۳].

در این تحقیق یک سیستم تصمیم‌گیری پزشکی هوشمند برای تشخیص بیماری‌های قلبی با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین معاصر معرفی می‌شود. این تحقیق از ۱۰ نوع مختلف الگوریتم دسته‌بند یادگیری ماشین، مانند رگرسیون لجستیک، درخت تصمیم، بیزین، جنگل تصادفی و شبکه عصبی و غیره، برای انتخاب بهترین مدل جهت تشخیص دقیق و به‌موقع بیماری‌های قلبی در مراحل اولیه استفاده می‌کند. برای انتخاب ویژگی‌های حیاتی و مرتبط که منعکس‌کننده هستند، چهار الگوریتم انتخاب ویژگی، شامل راه‌حل فیلتر مبتنی بر همبستگی، حداقل حداکثر افزونگی، حداقل جمع کننده و انتخاب اپراتور استفاده‌شده است.

بررسی انگیزه و هدف موردنظر سیستم توسعه‌یافته در مجموعه داده‌های بیماری‌های قلبی مرکز تحقیقات بیمارستان افشار یزد، پرداخته‌شده است. در این تحقیق مخزن یادگیری با استفاده از آناکوندا پردازش و محاسبات موردنیاز انجام‌شده و برای پیاده‌سازی دسته‌بندها از زبان برنامه‌نویسی پایتون استفاده گردیده است. همچنین، بسته‌های اصلی و کتابخانه‌های موردنیاز برای این تحقیق نیز استفاده‌شده‌اند. در ادامه دو سهم اصلی کار پیشنهادی ارائه‌شده است. اولین سهم ارزیابی دقت دسته‌بندها در فضاهای ویژگی کامل مورد آزمایش است. دومین سهم انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم‌های مختلف و بررسی عملکرد دسته‌بندها بر روی فضاهای مشخصه انتخاب‌شده است.

تحقیق پیشنهاد می‌دهد که استفاده از الگوریتم‌های انتخاب ویژگی به همراه الگوریتم‌های دسته‌بند برای توسعه سیستم هوش مصنوعی با سطح بالا جهت تشخیص بیماری قلبی امکان‌پذیر است. در این تحقیق، از مدل‌های دسته‌بند یادگیر برای تشخیص بیماران قلبی استفاده‌شده است. سیستم‌های دسته‌بند یادگیر سبک‌های مختلفی را شامل می‌شود، ازجمله سبک میشیگان، پیتسبورگ و پیش‌بینی کننده که از مبانی یادگیری ماشینی استفاده می‌کنند. هر سبک به شیوه‌ای خاص قوانین یادگیری را اعمال می‌کند و از الگوریتم‌های مختلفی مانند الگوریتم ژنتیک، جمعیت، مجموعه تطبیق، مجموعه عمل و مجموعه درست برای طراحی و تست استفاده می‌کند [۴].

به دلایل مختلفی، استفاده از سیستم‌های دسته‌بند یادگیر در بسیاری از زمینه‌ها انتخاب‌شده است. مهم‌ترین دلیل این انتخاب، قدرت این سیستم‌ها در یادگیری از محیط‌های مختلف است. این قدرت از توانایی این سیستم‌ها در کشف قوانین جدید و تخصیص اعتبار به‌درستی نشات می‌گیرد. علاوه بر این دلایل دیگری هم وجود دارد که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد، مانند [۵]:

- این سیستم‌ها قادرند قوانین پایه (دسته‌بندها) را بهبود بخشند و قوانین بهتری را نسبت به سایر روش‌های مشابه کشف کنند.

[1] Descriptive Induction
[2] Support
[3] Confidence
[4] Interestingness
[5] Comprehensibility

- وجود الگوریتم‌هایی که با یکدیگر سازگاری دارند، مانند الگوریتم‌های تکاملی و یادگیری تقویتی که برای حل مسائل پیش‌بینی استفاده از سیستم‌های دسته‌بند یادگیر را جذاب می‌کند.
- این سیستم‌ها عمدتاً از قسمت‌های مختلفی مانند موتور دسته‌بند، عملیات پوشش، عملیات الگوریتم ژنتیک، الگوریتم تخصیص اعتبار و غیره تشکیل‌شده‌اند [۶].

تحقیق به صورت ذیل بخش‌بندی شده است. در بخش دوم ریسک فاکتورهای قلبی توضیح‌داده‌خواهدشد و سپس در بخش سوم سیستم دسته‌بند یادگیر به‌صورت مختصر شرح‌داده‌می‌شود. کارهای مرتبط در بخش چهارم ارائه می‌شود. در بخش پنجم روش پیشنهادی بیان‌می‌گردد و در قسمت ششم مجموعه دادگان مورد استفاده شده شرح داده خواهد شد. در بخش هفتم نتایج ارزیابی دسته‌بندها ارائه می‌گردد و سرانجام در قسمت هشتم نتیجه گیری روش‌های اجرا شده بیان می‌شود.

ریسک فاکتورهای قلبی

بیماری قلبی یکی از بیماری‌های پیچیده است که در سطح جهانی بسیاری از مردم را تحت تأثیر قرار می‌دهد. این بیماری کشنده است که به‌سرعت در کشورهای توسعه‌یافته افزایش می‌یابد و باعث مرگ می‌شود. بیماری‌های قلبی یکی از بحرانی‌ترین بیماری‌های بشری در جهان هستند و زندگی انسان را به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌دهند. در بیماری قلبی، قلب قادر نیست مقدار موردنیاز خون را به سایر نقاط بدن برساند. شناسایی به‌موقع و مؤثر بیماری قلبی نقش کلیدی در مراقبت‌های بهداشتی، به‌ویژه درزمینه قلب دارد. تشخیص دقیق و به‌موقع بیماری قلبی برای پیشگیری و درمان نارسایی قلب مهم است. پیش‌بینی بیماری قلبی به پزشکان کمک می‌کند تا در مورد سلامت بیماران تصمیم‌های دقیق‌تری بگیرند [۷].

استفاده از روش‌های هوش مصنوعی و یادگیری ماشین در تشخیص بیماری قلبی، امکان شخصی‌سازی و بهبود مراقبت از بیماران را فراهم می‌کند. این الگوریتم‌ها در تشخیص و مدیریت نارسایی قلبی، کمک شایانی به پزشکان می‌کنند تا تصمیم‌های دقیق‌تری در مورد درمان بیماران بگیرند. استفاده از یادگیری ماشین به‌عنوان یک راه‌حل برای کاهش و درک علائم مربوط به بیماری‌های قلبی است. استفاده از روش‌های غیرتهاجمی مانند یادگیری ماشین برای دسته‌بند افراد سالم و افراد مبتلابه بیماری‌های قلبی قابل‌اعتماد و کارآمد هستند [۲].

انواع بیماری‌های قلبی

عبارت بیماری قلبی به حمله قلبی اشاره می‌کند، بااین‌حال این واژه شامل سایر بیماری‌های قلبی، ازجمله بیماری عروق کرونر، نارسایی قلبی، سکته قلبی، آریتمی قلبی و کاردیومیوپاتی است [۸].

ویژگی‌های اثرگذار بر بیماری قلبی

در مورد بیماری‌های قلبی-عروقی، دودسته عوامل خطر مطرح‌شده‌اند؛ اولی، عوامل خطر غیرقابل اصلاح و تعدیل مانند سن، جنسیت و یا وجود سابقه بیماری در خانواده که این عوامل به‌عنوان بخشی از ساختار ژنتیکی هر فرد شناخته می‌شوند. بالا رفتن سن نیز از دیگر عوامل خطر غیرقابل‌اجتناب است که باگذشت زمان، حادث می‌شود؛ اما دسته دوم، شامل عوامل خطر قابل اصلاح و تعدیل است که با تغییر رفتارهای زندگی می‌توان به حداقل رساند [۹].

سیستم دسته‌بند یادگیر

در سال ۱۹۷۵ جان هنری هالند به دلیل محبوب سازی الگوریتم‌های ژنتیکی که کار زمینه‌ای خود بود، کتاب اساس درزمینه سازگاری سیستم‌های طبیعی و مصنوعی را نوشت و محبوبیت آن را رسمت بخشید. در سال ۱۹۷۶، هالند مفهوم الگوریتم ژنتیک را به‌عنوان سیستم شناختی معرفی کرد و اولین شرح مفصل را که به‌عنوان اولین سیستم دسته‌بند یادگیر شناخته می‌شود در تحقیق سیستم‌های شناختی مبتنی بر تطبیقی ارائه داد [10].

الگوریتم‌های سیستم دسته‌بند یادگیر بانام سیستم شناختی به‌عنوان ابزاری برای مدل‌سازی طراحی‌شده‌اند. این سیستم‌ها توسط انسان با جمعیت قوانین سیستم واقعی بر اساس پویایی ناشناخته استفاده می‌شوند. این سیستم‌ها مجموعه‌ای از قوانین برای انجام یادگیری ماشین آنلاین، انطباق با محیط مبتنی بر پاداش و یادگیری تقویتی جهت ایجاد رفتار با سیستم هدف واقعی الگوریتم است. اجرای اولیه این الگوریتم‌ها بسیار پیچیده و نتایج متناقضی را به همراه داشت [۱۱]. در سال ۱۹۸۰، کنت دو جونگ و دانشجویش استفان اسمیت، رویکرد جدیدی را برای یادگیری ماشین بر اساس قوانین پیشنهاد کردند. در این رویکرد، یادگیری به‌عنوان یک فرآیند بهینه‌سازی آفلاین موردتوجه پژوهشگران قرار گرفت و مجموعه قوانین مستقل به‌طور تکاملی تولید می‌شدند. این رویکرد بیشتر شبیه به یک الگوریتم ژنتیکی استاندارد بود [12].

از آن زمان به بعد، روش‌های سیستم دسته‌بند یادگیر با الهام از چارچوب یادگیری آنلاین که توسط هالند در دانشگاه میشیگان معرفی‌شده بود، به سبک سیستم دسته‌بند میشیگان شناخته می‌شوند و روش‌هایی که با الهام از دیدگاه اسمیت و دوجونگ در دانشگاه پیتسبورگ

استفاده می‌شوند، به سبک پیتسبورگ شناخته می‌شوند. در سال ۱۹۸۶، هالند استاندارد سیستم دسته‌بند یادگیر به سبک میشیگان را برای دهه آینده توسعه داد [13].

علاوه بر یادگیری سیستم‌های دسته‌بندشده در اواسط دهه ۱۹۹۰، به دلیل دو واقعه، یعنی الگوریتم یادگیری تقویتی و معرفی معماری به سبک میشیگان توسط استوارت ویلسون، روش سیستم دسته‌بند سطح صفر ویلسون بر روی اجرای سیستم دسته‌بند یادگیر هالند تمرکز کرد. با حذف مناقصه قوانین و لیست پیام‌های داخلی برای تعیین اعتبار اولیه، استراتژی ترکیبی یادگیری تقویتی و سیستم دسته‌بند سطح صفر [۱۴].

سیستم دسته‌بند یادگیر به سبک میشیگان

در سال ۱۹۷۸ هالند و ریتمن اولین اجرای موفق خانواده میشیگان را انجام دادند. تحقیقات انجام‌شده بر روی این سبک، نتایجی را در برداشت که در سیستم‌های جدید به کار می‌آید. خانواده میشیگان می‌تواند برای انواع زیادی از کارهای یادگیری مانند یادگیری نظارت‌شده، داده‌کاوی، تابع تخمین، یادگیری تقویتی و خوشه‌بندی استفاده شود. سیستم دسته‌بند یادگیر به سبک میشیگان با مجموعه‌ای از قوانین مشخص می‌شود که الگوریتم ژنتیک در سطح قوانین فردی عمل می‌کند و راه‌حل آن توسط کل جمعیت قانون ارائه می‌شود [15].

در خانواده میشیگان، هر عضو از جمعیت نماینده یک قانون است و تمامی جمعیت به‌عنوان مجموعه قوانین نقش پایگاه دانش سیستم را ایفا می‌کنند. سیستم‌های سبک میشیگان به‌صورت تدریجی یاد می‌گیرند که یادگیری تقویتی و یادگیری نظارت‌شده و همچنین یادگیری آنلاین و آفلاین را انجام دهند. دو مؤلفه این سیستم سعی در تولید قوانین جدید و بهبود آن‌ها دارند به‌طوری‌که در پایان مجموعه قوانین موجود قادر به حل مسئله موردنظر باشند. سیستم‌های سبک میشیگان از این مزیت برخوردار هستند که در تعداد بیشتری از حوزه‌های مشکل و مزایای منحصربه‌فرد یادگیری افزایشی قابل‌استفاده هستند [۱۶].

در سبک میشیگان، هر کروموزوم نمایانگر بخشی از راه‌حل مسئله است. دیدگاه میشیگان برای تولید راه‌حل‌های محلی استفاده می‌شود. این سبک، قابلیت جستجوی بالائی برای راه‌حل‌ها را داراست. سیستم‌های دسته‌بند یادگیر مبتنی بر سبک میشیگان، دارای سه مؤلفه کلیدی هستند که آن‌ها را از سایر یادگیری ماشین مبتنی بر ژنتیک و تکنیک‌های یادگیری ماشین متمایز می‌کند:

- بازنمایی دانش مبتنی بر دسته‌بندها با مسیرهای ورودی بر اساس دسته‌ها یا عمل‌ها
- ارزیابی جمعیت دسته‌بندهای آنلاین با سیستم ارزیابی دسته‌بند
- اجرای متناوب خاص سیستم کشف دسته‌بند، کشف دسته‌بندهای مفید جدید و تطبیق دانش‌پایه با تغییرهای احتمالی در محیط

سیستم آنلاین، از محیطی که عامل در آن زندگی می‌کند یا از مجموعه‌ای از نمونه‌ها که در جریان داده در دسترس هستند، به‌عنوان منبع یادگیری استفاده می‌کند. نگهداری از جمعیت دسته‌بندها، وظیفه اصلی سیستم است. هر دسته‌بند شامل دو بخش زیر است [۱۷]:

ساختاری که یک مسیردهی (نگاشت) ورودی/خروجی را نگهداری می‌کند و به تشخیص و اجرای ورودی‌ها کمک می‌کند. این ساختار قادر به شناسایی و انتخاب عمل صحیح برای هر ورودی است.

پارامترهایی که آمار مختلف هر دسته‌بند را نگهداری می‌کنند. این پارامترها شامل تناسب و سایر آمارهای مربوط به دسته‌بند هستند. مهم است که در نگهداری ساختار نیز قوانین تولید رعایت گردد.

سیستم دسته‌بند سبک میشیگان در تعامل مستمر با محیط، پارامترهای دسته‌بندها را به‌روزرسانی می‌کند. در هر تکرار آموزش، یک نمونه جدید از ورودی‌ها به سیستم ارائه می‌شود و سپس با استفاده از یک زیر جمعیت دسته‌بند، در مورد کلاس یا عملی که باید برای ورودی جاری انتخاب شود، تصمیم‌گیری می‌کند. درصورتی‌که عملی به محیط داده شود، بازخوردی دریافت می‌کند که نشان‌دهنده کیفیت تصمیم‌گیری انجام‌شده است. مؤلفه ارزیابی با استفاده از اطلاعات بازخورد، کیفیت دسته‌بندهایی که در فرآیند تصمیم‌گیری شرکت دارند را تعدیل یا تنظیم می‌کند. با یک تناوب خاص، سیستم می‌تواند به‌طور خودکار قوانین جدیدی را کشف کرده و دسته‌بندهای جدیدی تولید کند. الگوریتم‌های ژنتیک می‌توانند به‌عنوان یک روش مبتنی بر جایگاه یا حالت ثابت، به کار بروند و در صورت نبود فضا، می‌توانند یک گروه دسته‌بند را حذف کنند. به‌تازگی، استفاده از روش‌های جستجوی دیگری نیز برای جهت‌دهی به سیستم‌های کشف کننده دسته‌بند در سیستم دسته‌بند یادگیر مورداستفاده قرارگرفته است [12].

سیستم دسته‌بند یادگیر به سبک پیتسبورگ

بعضی از تحقیقگران به‌طور هم‌زمان با تحقیق درباره سیستم‌های دسته‌بند یادگیر سبک میشیگان، از روش دیگری نیز بهره‌مند شدند و الگوریتم ژنتیک را در یادگیری ماشینی تعمیم داده و سیستم‌های دسته‌بند یادگیر سبک پیتسبورگ را معرفی کردند. سیستم دسته‌بند

یادگیر سبک پیتسبورگ در مقایسه با سیستم‌های دسته‌بند یادگیر سبک میشیگان، سه تفاوت عمده دارد که عبارت‌اند از:

- ارائه دانش
- سیستم ارزیابی
- حالت کاربردی الگوریتم ژنتیک و تعریف عمل‌های ژنتیکی

در خانواده پیتسبورگ، هر عضو از جمعیت شامل مجموعه‌ای از قوانین است که پایگاه دانش راه‌حل مسئله را به وجود می‌آورد و از الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، هم به‌منظور تکامل مجموعه قوانین و هم به‌منظور سیاست یادگیری استفاده می‌شود. سیستم دسته‌بند یادگیر سبک پیتسبورگ با جمعیتی از مجموعه‌هایی با طول متغیر مشخص می‌شود که در آن هر مجموعه قانون یک راه‌حل بالقوه است. الگوریتم ژنتیک به‌طورمعمول در سطح یک مجموعه کامل از قوانین عمل می‌کند [۱۸].

سیستم‌های سبک پیتسبورگ، می‌توانند فهرست‌های قاعده‌ای و منظم را تکامل بخشند و از یک قانون پیش‌فرض برای بهینه‌سازی استفاده کنند. این سیستم‌ها از شناسایی طبیعی مجموعه‌های کوچک‌تر بهره‌مند هستند و با استفاده از بازرسی قوانین دستی قابل تفسیر هستند. در سبک پیتسبورگ، هر کروموزوم نشان‌دهنده یک جواب کامل برای مسئله است و این سبک می‌تواند به‌طور مستقیم بهینه‌سازی را انجام دهد. دیدگاه پیتسبورگ برای یافتن ترکیب خوبی از راه‌حل‌ها مورداستفاده قرار می‌گیرد، اما قابلیت جستجوی بالائی ندارد.

در سیستم دسته‌بند یادگیر سبک پیتسبورگ، هر فرد باید تمام فضای ویژگی را پوشش دهد و به‌جای پوشش بخشی، راه‌حل‌های کامل تمام مسئله را ارائه کند. به‌منظور شباهت با شیوه میشیگان، واژه دسته‌بند به‌جای سیستم دسته‌بند استفاده خواهد شد [۱۴].

با توجه به این‌که هر فرد مجموعه‌ای از دسته‌بندها را در خود جای‌داده است و تمام مسئله را پوشش می‌دهد، نیازی به ارزیابی کیفیت هر یک از این دسته‌بندها وجود ندارد؛ بنابراین، می‌توان با استفاده از یک مقیاس برای ارزیابی کیفیت تمامی افراد، از شیوه میشیگان از الگوریتم تقسیم دسته‌بند صرف‌نظر کرد. ارزیابی کیفیت افراد بر اساس دقت پیش‌بینی و کلی بودن آن‌ها انجام می‌شود. هر فرد بلافاصله پس از ایجاد به‌صورت آفلاین با مجموعه‌ای از مثال‌ها ارزیابی می‌شود؛ این مجموعه در آغاز اجرا به شکل مجموعه داده استاتیک در اختیار بوده و یا در طول پروسه یادگیری تخصیص داده‌شده است. با این شیوه کنترلی، عملکرد بر نقش هر دسته‌بند برای تمامی افراد تأثیر نخواهد داشت [13].

درنهایت، با استفاده از چرخه الگوریتم ژنتیک، جمعیت بهبود می‌یابد؛ سیستم در هر تکرار، مجموعه‌ای از افراد با تناسب کمتر را با افرادی که برش و جهش در جمعیت دارند، جایگزین می‌کند. اپراتورهای جهش و برش برای معرفی افراد مورداستفاده قرار می‌گیرند. در پایان فرآیند یادگیری، بهترین افراد در جمعیت برای پیش‌بینی نتیجه نمونه‌های تست جدید مورداستفاده قرار می‌گیرند [۱۹].

دلیل استفاده از سیستم دسته‌بند یادگیر

در حل مسائل بازی‌ها، انتخاب سیستم دسته‌بند یادگیر به دلایل مختلفی انجام می‌شود، اما مهم‌ترین آن‌ها قدرت این سیستم‌ها در یادگیری از محیط‌های مختلف است که نشات گرفته از قابلیت آن‌ها در کشف قوانین جدید و تخصیص اعتبار بهینه است. علاوه بر این، عوامل دیگری که می‌توان به آن‌ها اشاره کرد عبارت‌اند از [20]:

- قابلیت کشف قوانین بهتر نسبت به روش‌های دیگر
- استفاده از الگوریتم‌های تخصیص اعتبار بهینه‌شده مانند یادگیری تقویتی
- وجود الگوریتم‌های منسجم جهت بهبود کارایی و کاربردپذیری

کارهای مرتبط

به‌منظور پیش‌بینی بیماران قلبی طی سال‌های اخیر روش‌ها و الگوریتم‌های مختلفی بر اساس اهمیت و شناسایی ویژگی‌هایی ارائه‌شده است که معروف‌ترین آن‌ها به شرح ذیل است:

باهرتی و همکارانش در سال ۲۰۲۱ در تحقیق "پیش‌بینی بیماری‌های قلبی با استفاده از ترکیب یادگیری ماشین و یادگیری عمیق" اعلام نمودند که پیش‌بینی صحیح بیماری قلبی می‌تواند از تهدیدهای زندگی جلوگیری کند و پیش‌بینی نادرست می‌تواند درعین‌حال کشنده باشد. در این تحقیق الگوریتم‌های مختلف یادگیری ماشین و یادگیری عمیق برای مقایسه نتایج و تجزیه‌وتحلیل مجموعه داده بیماری قلب UCI استفاده می‌شود. مجموعه داده شامل ۱۴ ویژگی اصلی است که برای انجام تجزیه‌وتحلیل استفاده می‌شود. مجموعه داده شامل برخی از ویژگی‌های نامربوط است که با استفاده از پاک‌سازی مدیریت می‌شوند و داده‌ها نیز برای دستیابی به نتایج بهتر عادی می‌شوند. با استفاده از روش یادگیری عمیق، ۹۴,۲ درصد دقت به دست آمد. نتیجه‌گیری در این تحقیق سه روش پیشنهاد می‌گردد که در آن‌ها تجزیه‌وتحلیل مقایسه‌ای انجام‌شده و نتایج امیدوارکننده‌ای به‌دست‌آمده است. نتیجه‌ای که دریافت می‌گردد این است که الگوریتم‌های یادگیری ماشین در این تجزیه‌وتحلیل بهتر عمل کردند. به پیشنهاد محققان در این تحقیق ثابت‌شده است که

باید از یادگیری ماشین درجایی که مجموعه داده آن‌قدر بزرگ نیست استفاده شود. روش‌هایی که برای مقایسه استفاده می‌شوند عبارت‌اند از ماتریس درهم‌ریخته، دقت، ویژگی، حساسیت و نمره F۱.

برای ویژگی‌های موجود در مجموعه داده، دسته‌بند نزدیک‌ترین همسایه درروش یادگیری ماشین هنگام استفاده از پیش‌پردازش داده‌ها بهتر عمل می‌نماید. زمان محاسبه نیز کاهش‌یافته که هنگام استقرار یک مدل مفید است. همچنین مشخص شد که مجموعه داده باید عادی باشد. در غیر این صورت، گاهی اوقات مدل آموزشی بیش‌ازحد مجهز می‌شود و هنگامی‌که یک مدل برای مشکل‌های داده‌های واقعی بر اساس آن مدل آموزش داده می‌شود بسیار متفاوت است و دقت به‌دست‌آمده کافی نیست. تجزیه‌وتحلیل آماری هنگام تجزیه‌وتحلیل یک مجموعه داده مهم است و باید دارای توزیع گوسی باشد و سپس تشخیص دورتر نیز مهم است و از تکنیکی به نام جنگل جداسازی برای مدیریت این مورداستفاده می‌شود. مشکلی که در اینجا به وجود آمده است که اندازه نمونه مجموعه داده بزرگ نیست. اگر یک مجموعه داده بزرگ وجود داشته باشد، نتایج می‌تواند در یادگیری عمیق و یادگیری ماشین نیز بسیار افزایش یابد.

الگوریتم مورداستفاده در معماری شبکه عصبی باعث افزایش دقت در مقایسه با محققان مختلف شد. می‌توان اندازه مجموعه داده را افزایش داد و سپس از یادگیری عمیق با بهینه‌سازی‌های مختلف دیگر استفاده کرد و نتایج امیدوارکننده‌تری را به دست آورد. از یادگیری ماشین و سایر تکنیک‌های بهینه‌سازی نیز می‌توان استفاده کرد تا نتایج ارزیابی دوباره افزایش یابد. می‌توان از روش‌های مختلف عادی‌سازی داده‌ها استفاده و نتایج را مقایسه کرد [۲۱].

در تحقیق "مقایسه دسته‌بند بیماری‌های قلبی بین بیماران و افراد عادی با استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین و شبکه عصبی " که توسط پاوران کوتا و همکارانش در سال ۲۰۲۱ ارائه گردید. یادگیری ماشین و شبکه‌های عصبی با موفقیت برای دسته‌بند در بسیاری از مدل‌های پیش‌بینی استفاده‌شده است. این الگوریتم‌ها در بسیاری از برنامه‌های کاربردی مانند تشخیص سقوط نتایج دقت خوبی را ارائه می‌دهند. بهترین ویژگی‌ها با انجام همبستگی و انتخاب ویژگی‌هایی که دارای بهترین شاخص همبستگی برای آموزش یادگیری ماشین و شبکه عصبی هستند انتخاب می‌شوند.

داده‌های ۳۰۳ نفر وجود دارد و الگوریتم‌های خود را با ۸۰ داده‌های آموزشی و ۳۰ داده برای آزمایش آموزش دادیم. ماشین بردار پشتیبان دقت ۸۴ درصد را با حساسیت ۷۸,۵ درصد و ویژگی ۸۷,۸ درصد را نشان داد درحالی‌که شبکه عصبی دقت ۸۷ درصد را با حساسیت ۸۵ درصد و ویژگی ۸۸,۲ درصد را نشان می‌دهد. هر دو یادگیری ماشین و شبکه عصبی نتایج خوبی را برای تشخیص افراد مبتلا به و بدون بیماری قلبی ارائه می‌دهند.

بنابراین در این تحقیق یک سیستم پیش‌بینی هوشمند ترکیبی مبتنی بر یادگیری ماشین برای تشخیص بیماری‌های قلبی پیشنهاد شد. این سیستم بر روی مجموعه داده بیماری قلبی کلیولند آزمایش شد. دو دسته‌بند معروف ماشین بردار پشتیبان و شبکه عصبی با انتخاب ویژگی موردتحقیق قرار گرفت. بر اساس تجزیه‌وتحلیل با استفاده از شاخص‌های عملکرد شبکه عصبی دقت ۸۸ در مقایسه با دقت ماشین بردار پشتیبان نشان می‌دهد. شبکه عصبی انتشار به جلو با شبکه سه لایه، حساسیت و ویژگی بهتری نسبت به ماشین بردار پشتیبان خطی دارد. هر دو حساسیت و ویژگی شبکه عصبی دارای بیش از ۸۵ درصد نرخ دقت هستند. کار تحقیقاتی در این زمینه بر توسعه سیستم تشخیص متمرکز است. بر اساس دو دسته‌بند یک روش اعتبار سنجی متقابل و معیارهای اندازه‌گیری عملکرد است. این سیستم بر روی مجموعه داده بیماری قلبی کلیولند برای دسته‌بند افراد HD و سالم آزمایش شد. طراحی سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری با استفاده از روش مبتنی بر یادگیری ماشین برای تشخیص بیماری‌های قلبی مناسب‌تر است. برخی از ویژگی‌های نامربوط سیستم تشخیص را کند کرده و زمان محاسبه را طولانی‌تر می‌کند [۲].

روش پیشنهادی

در این تحقیق، روش پیشنهادی سیستم دسته‌بند یادگیر برای تشخیص بیماران قلبی در بخش‌های زیر موردبررسی قرار می‌گیرد. در ابتدا به معرفی روش سیستم دسته‌بند یادگیر که در این تحقیق استفاده‌شده است، پرداخته می‌شود.

سیستم دسته‌بند یادگیر

برای یادگیری یک سیستم دسته‌بند، باید دو زیرسیستم به آن اضافه شود. الگوریتم‌هایی وجود دارند که با استفاده از لیست دسته‌بندها، سیستم دسته‌بند جدید را ساخته و آموزش می‌دهند. در الگوریتم اول، کشف قاعده، روش پوشش استفاده می‌شود. وقتی عامل پیغام ورودی از محیط دریافت می‌کند، آن را با لیست دسته‌بندها تطبیق می‌دهد. اگر دسته‌بند پیدا نشد، روش پوشش برای تولید دسته‌بند جدید استفاده می‌شود [۲۲]. شرایط ساخت یک دسته‌بند جدید به‌صورت زیر است:

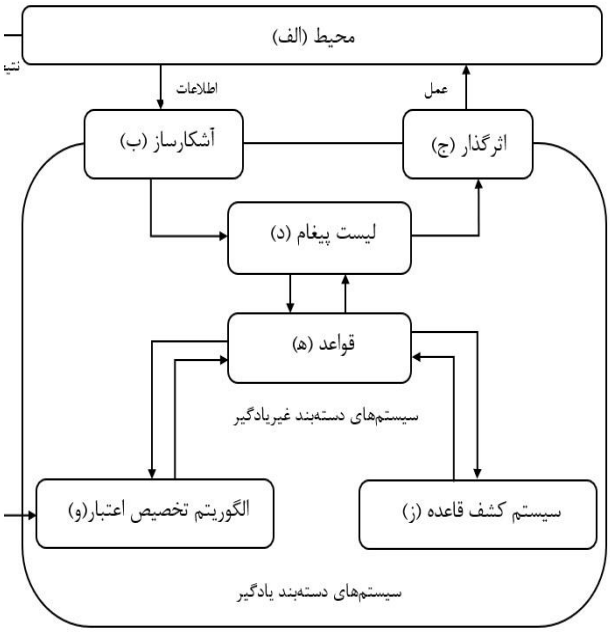
- شرط قسمت پیغام ورودی با جایگذاری # به‌صورت تصادفی تغییر می‌کند.
- یک عمل تصادفی به قسمت عمل دسته‌بند جدید اضافه می‌شود.

اگر فضایی برای اضافه کردن دسته‌بند جدید نیست یا تعداد لیست دسته‌بند از حد معین بیشتر شود، یک دسته‌بند با کم‌ترین قدرت حذف‌شده و انطباق در قسمت قدرت جایگذاری می‌گردد. در الگوریتم دوم برای تولید دسته‌بندهای جدید، از الگوریتم ژنتیک برای برازش دسته‌بندهای موجود استفاده می‌شود [۲۳]. در این الگوریتم، برای تعدیل پویای قدرت هر قانون و اصلاح مقدار قدرت دسته‌بندها، اعتبارها به‌صورت تخصیصی تعیین می‌شوند. اجرای این الگوریتم شامل مراحل زیر است:

- دسته‌بندهایی که بر پیغام ورودی فعلی منطبق‌می‌شوند، متناسب با آن‌قدرت پیشنهاد می‌گیرند.

وقتی پاداشی از محیط دریافت می‌شود دسته‌بندهایی که در دوره فعال بودند قدرت آن‌ها افزایش پیدا می‌کند، به عامل برای رفتن به موقعیت جدید کمک می‌شود و دسته‌بندهایی که پیشنهاد آن‌ها در پایان هر دوره فعال است مالیات پرداخت می‌کنند. مراحل اجرای سیستم دسته‌بند یادگیر را می‌توان در شکل ۱ مشاهده کرد [۳].

در این تحقیق، یک مدل برای دسته‌بند ویژگی‌های بیماران قلبی با استفاده از سیستم دسته‌بند یادگیر ارائه‌شده است. در این روش، ابتدا فایل ورودی خوانده می‌شود و پارامترهای سیستم تنظیم می‌شوند. سپس سیستم دسته‌بند یادگیر بر روی ۷۰ درصد از داده‌ها اجراشده و سیستم آموزش می‌بیند و مدل طراحی می‌شود. در مرحله دسته‌بند، سیستم دسته‌بند یادگیر در فضای تکاملی از الگوریتم ژنتیک و یادگیری تقویتی در فضای تخصیص اعتبار استفاده می‌شود. با ارزیابی نتایج در صورت مهیا شدن شرایط توقف، مدل بررسی می‌شود، در غیر این صورت اجرای سیستم تکرار می‌شود تا شرایط توقف مهیا گردد. با استفاده از داده‌های بیماران قلبی و ویژگی‌های آن‌ها، در این تحقیق مدلی بر مبنای سیستم دسته‌بند یادگیر ایجادشده است.



شکل ۱: ساختار سیستم دسته‌بند یادگیر

مجموعه دادگان

دادگان حوزه قلبی شامل داده‌های پزشکی مربوط به بیماری‌های قلبی عروقی و سیستم قلبی عروقی است. این داده‌ها شامل اطلاعات بالینی، تصاویر پزشکی مانند اکوکاردیوگرافی، تست استرس قلبی، تست هولتر و اطلاعات دیگری است که برای تشخیص، درمان و پیش‌بینی بیماری‌های قلبی عروقی استفاده می‌شوند. برخی از مهم‌ترین دادگان حوزه قلبی عبارت‌اند از:

۱- دادگان مربوط به بیماری‌های قلبی عروقی مانند بیماری عروق کرونر، فشارخون بالا و نارسایی قلبی.

۲- دادگان مربوط به تصاویر پزشکی مانند اکوکاردیوگرافی و آنژیوگرافی.

۳- دادگان مربوط به تست‌های پزشکی مانند تست استرس قلبی و تست هولتر.

این دادگان برای تحلیل‌های پزشکی، تحقیقی و آموزشی در حوزه قلبی عروقی استفاده می‌شوند. داده‌های مورداستفاده در این تحقیق بانک اطلاعاتی مرکز تحقیقات قلب بیمارستان افشار یزد است.

نتایج ارزیابی

در این تحقیق، الگوریتم سیستم دسته‌بند با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون ۳/۹ پیاده‌سازی شده است. همچنین این الگوریتم با استفاده از مجموعه داده‌های بیماران قلبی مرکز تحقیقات بیمارستان افشار یزد، با سیستم دسته‌بند یادگیر مورد آزمایش قرارگرفته است. نتایج

به‌دست‌آمده از پیاده‌سازی سیستم دسته‌بند یادگیر بر پایه ژنتیک در محیط، با ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ تکرار به شرح زیر است.

جدول ۱: آمار عملکرد

تکرار	تست پوشش	پوشش آموزش	تست صحت	دقت آموزش
۵۰۰۰	–	۱	–	۰,۹۶۸۷۵
۱۰۰۰۰	–	۱	–	۱

در جدول ۱، چهار پارامتر تعریف‌شده است که نشان‌دهنده پوشش و دقت آموزش در ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ تکرار از الگوریتم سیستم دسته‌بند بر پایه الگوریتم ژنتیک است. این پارامترها عبارت‌اند از حداقل مرحله به‌دست‌آمده از نقطه شروع تا پایان و حداکثر مرحله حرکت عامل از نقطه شروع تا پایان.

جدول ۲: خصوصیات جمعیت

تکرار	اندازه جمعیت ماکرو	اندازه جمعیت میکرو	کلیت
۵۰۰۰	۲۲۸	۱۰۰۰	۰,۵۳۶۸۳
۱۰۰۰۰	۲۰۹	۱۰۰۰	۰,۵۲۷۱۶

در جدول ۲، مشخصات سه پارامتر جمعیت برای تکرار ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ آمده است. اعداد بالای هر ستون نشان‌دهنده تعداد مراحل به‌دست‌آمده از نقطه شروع تا پایان است. در جدول ۳، عملکرد حرکات و عمل‌های سیستم دسته‌بند یادگیر بر پایه الگوریتم ژنتیک در محیط، نشان داده‌شده است. اعداد درون جدول نشان‌دهنده تعداد حرکت عامل برای رسیدن به هدف موردنظر در محیط هستند.

جدول ۳: مشخصات مجموعه

تکرار	R_3	R_2	R_1	R_0	A_1	A_0
۵۰۰۰	۴۴۲	۳۴۸	۴۰۲	۴۷۰	۵۵۶	۵۶۱
۱۰۰۰۰	۴۷۵	۴۱۸	۴۲۱	۴۴۳	۵۱۶	۵۶۴

تعداد حرکت بیشتر به معنای رسیدن زودتر به هدف و به دست آوردن نتیجه بهتر است. در جدول ۴، دقت ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ تکرار از الگوریتم سیستم دسته‌بند یادگیری بر پایه الگوریتم ژنتیک در محیط موردنظر از نقطه شروع تا پایان نشان داده‌شده است. حداقل مقدار کمترین تعداد حرکت عامل برای رسیدن به هدف در تکرار انجام‌شده و حداکثر مقدار بیشترین تعداد حرکت عامل برای رسیدن به هدف در تکرار انجام‌شده است. در اینجا، حداکثر تعداد حرکت عامل برای محیط ۱۰۰۰۰ در نظر گرفته‌شده است، چراکه در الگوریتم سیستم دسته‌بند یادگیر بر پایه الگوریتم ژنتیک امکان گیرکردن در تله یا گرفتار شدن در مسیر وجود ندارد.

جدول ۴: صحت مجموعه

تکرار	R_3	R_2	R_1	R_0	A_1	A_0
۵۰۰۰	۳۶۰,۲ ۲	۲۸۴,۴ ۰	۳۳۱,۲ ۲	۳۸۲,۳ ۳	۴۷۴,۸ ۹	۴۷۵,۲ ۳
۱۰۰۰ ۰	۳۹۶,۸ ۶	۳۴۹,۶ ۸	۳۵۴,۵ ۲	۳۶۷,۰ ۷	۴۵۴,۴ ۷	۴۸۸,۴ ۷

جدول ۵ نشان‌دهنده زمان اجرا در محیط با تکرارهای ۵۰۰۰ و ۱۰۰۰۰ است.

جدول ۵: زمان اجرا

تکرار	زمان سراسری	زمان تطبیق	زمان حذف	زمان اشتراک	زمان انتخاب	زمان ارزیابی
۵۰۰۰	۰,۰۴۴۹	۰,۰۲۱۹	۰,۰۰۲۱	۰,۰۰۳۸	۰,۰۰۱۱	۰,۰۰۳۲
۱۰۰۰۰	۰,۱۰۳۴	۰,۰۴۸۵	۰,۰۰۹۳	۰,۰۰۸۸	۰,۰۰۲۳	۰,۰۰۶۹

با توجه به نتایج به‌دست‌آمده در این محیط، مشخص است که سیستم دسته‌بند یادگیر بر پایه الگوریتم ژنتیک با تکرارهای کمتر برتری مطلقی نسبت به روش‌های تشخیص مورداستفاده دارد. همچنین این سیستم در محیط‌های پیچیده‌تر نیز عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد و به دلیل توانایی دریافتن راه‌حل‌های بهتر، نتایج بهتری برای مسائل مختلف به دست می‌آورد.

نتیجه‌گیری

نقش یادگیری در تمامی جوامع و فضاهای زندگی آشکار است. یادگیری به معنای به دست آوردن دانش و درک آن از طریق تجربه، آموزش و تحقیق است. هدف اصلی یادگیری، پیدا کردن شیوه‌های بهتری برای عملکرد در شرایط مختلف با توجه به معیارهای بهبودیافته است. یادگیری ماشین، به‌عنوان یکی از شاخه‌های اساسی و پرکاربرد هوش مصنوعی، به تنظیم و کشف الگوریتم‌ها و شیوه‌های یادگیری می‌پردازد، به‌نحوی‌که سیستم با پیشرفت و افزایش حجم داده‌ها، بازدهی بهتری در وظایف موردنظر داشته باشد.

سیستم‌های دسته‌بند یادگیر یکی از سیستم‌هایی هستند که قادر به حل مسائل بهینه‌سازی، دسته‌بند و یادگیری هستند. مقایسه با الگوریتم‌های دیگر مانند یادگیری تقویتی، الگوریتم ژنتیک و الگوریتم مورچگان نشان می‌دهد که هر یک از این الگوریتم‌ها محدودیت‌هایی دارند و فقط در مسائل خاصی قابل‌استفاده هستند؛ اما سیستم‌های دسته‌بند یادگیر جنبه‌های مختلفی از زمینه‌های تحقیقی مانند زیست‌شناسی تکاملی، محاسبات تکاملی، الگوریتم‌های تکاملی، الگوریتم‌های ژنتیک، علوم کامپیوتر، هوش مصنوعی، یادگیری ماشین، یادگیری تقویتی و یادگیری با نظارت را در داخل یک الگوریتم شامل

می‌شود. تحقیق بحث سیستم‌های دسته‌بند یادگیر با سه مؤلفه اصلی بازنمایی دانش، یادگیری تقویتی و تکامل قوانین تشکیل‌شده است. بر اساس تکنیک‌های متفاوتی که برای این مؤلفه‌ها تعریف می‌شود، سیستم‌های دسته‌بند یادگیر متفاوتی به وجود آمدند. درکلی‌ترین دید، این سیستم‌ها به دو خانواده بزرگ پیتسبورگ و میشیگان تقسیم می‌شوند. در خانواده پیتسبورگ، هر عضو از جمعیت شامل مجموعه قوانینی است که پایگاه دانش راه‌حل مسئله را به وجود می‌آورد و از الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، هم به‌منظور تکامل مجموعه قوانین و هم سیاست یادگیری استفاده می‌شود. در خانواده میشیگان، هر عضو از جمعیت نماینده یک قانون است و تمامی جمعیت به‌عنوان مجموعه قوانین نقش پایگاه دانش سیستم را ایفا می‌کنند. دو مؤلفه دیگر این سیستم سعی در تولید قوانین جدید و بهبود آن‌ها دارند، به‌طوری‌که در پایان، مجموعه قوانین موجود قادر به حل مسئله موردنظر باشد.

در سیستم‌های دسته‌بند یادگیر، تعیین بهترین سبک در مسئله‌های مختلف برای استفاده بهینه از آن‌ها بسیار مهم و اساسی است. هر مسئله شرایط مختلفی دارد که استراتژی‌های متفاوتی را می‌طلبد و می‌تواند به‌صورت تک عامله یا چند عامله و به‌صورت رقابتی یا تعاملی باشد.

مراجع

[1] Lau K, Malik A, Foroutan F, Buchan TA, Daza JF, Sekercioglu N, et al. Resting Heart Rate as an Important Predictor of Mortality and Morbidity in Ambulatory Patients With Heart Failure: A Systematic Review and Meta-Analysis. J Card Fail [Internet]. 2021;27(3):349–63.

[2] Tougui I, Jilbab A, El Mhamdi J. Heart disease classification using data mining tools and machine learning techniques. Health Technol (Berl) [Internet]. 2020;10(5):1137–44.

[3] Irfan M, Jiangbin Z, Iqbal M, Masood Z, Arif MH. Knowledge extraction and retention based continual learning by using convolutional autoencoder-based learning classifier system. Inf Sci (N Y). 2022 Apr 1;591:287–305.

[4] Shi Y, Li L, Yang J, Wang Y, Hao S. Center-based Transfer Feature Learning With Classifier Adaptation for surface defect recognition. Mech Syst Signal Process. 2023 Apr 1;188:110001.

[5] Das S, Imtiaz MS, Neom NH, Siddique N, Wang H. A hybrid approach for Bangla sign language recognition using deep transfer learning model with random forest classifier. Expert Syst Appl. 2023 Mar 1;213:118914.

[6] Chen HF, Yang YP, Chen WL, Wang PJ, Lai W, Fuh YK, et al. Predicting residual stress of aluminum nitride thin-film by incorporating manifold learning and tree-based ensemble classifier. Mater Chem Phys [Internet]. 2023;295:127070.

[7] Olsen CR, Mentz RJ, Anstrom KJ, Page D, Patel PA. Clinical applications of machine learning in the diagnosis, classification, and prediction of heart failure. Am Heart J [Internet]. 2020;229:1–17.

[8] Gárate-Escamila AK, Hajjam El Hassani A, Andrès E. Classification models for heart disease prediction using feature selection and PCA. Inform Med Unlocked [Internet]. 2020;19:100330.

[9] Muhammad Y, Tahir M, Hayat M, Chong KT. Early and accurate detection and diagnosis of heart disease using intelligent computational model. Sci Rep [Internet]. 2020;10(1):19747.

[10] Urbanowicz RJ, Moore JH. Learning Classifier Systems: A Complete Introduction, Review, and Roadmap. journal of artificial evolution and applications. 2009;2009:1–25.

[11] Drugowitsch J. Design and Analysis of Learning Classifier Systems: A Probabilistic Approach. Studies in Computational Intelligence. 2008;268.

[12] Shankar A, Louis S. Learning Classifier Systems for User Context Learning. Vol. 3, Congress on Evolutionary Computation. 2005. p. 2069–75.

[13] Orriols-Puig A, Bernadó-Mansilla E. Learning Classifier Systems in Data Mining. Studies in

Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2009;5499 LNAI:321–33.

[19] Compiani M, Montanari D, Serra R. Learning and Bucket Brigade Dynamics in Classifier Systems. Physica D. 1990;42:202–12.

[20] Hurst J, Bull L. Self-Adaptation in Learning Classifier Systems. 2001;

[21] Bharti R, Khamparia A, Shabaz M, Dhiman G, Pande S, Singh P. Prediction of heart disease using a combination of machine learning and deep learning. Comput Intell Neurosci. 2021;2021.

[22] Santos MF, Mathew W, Kovacs T, Santos H. A Grid Data Mining architecture for Learning Classifier Systems. WSEAS Transactions on Computers. 2009;8:820–30.

[23] Dorigo M. Alecsys and the AutonoMouse: Learning to control a real robot by distributed classifier systems. Mach Learn. 1995;19(3):209–40.

Computational Intelligence. 2008;125(July):123–45.

[14] Sigaud O, Butz M, Kozlova O, Meyer C. Anticipatory Learning Classifier Systems and Factored Reinforcement Learning. In 2008. p. 321–33.

[15] Shankar A, Louis S. Learning Classifier Systems for User Context Learning. In: 2005 IEEE Congress on Evolutionary Computation. 2005. p. 2069-2075 Vol. 3.

[16] Butz M. Biasing Exploration in an Anticipatory Learning Classifier System. In 2002.

[17] Kovacs T, Llora L, Takadama K, Lanzi P, Stolzmann W, Wilson S. Learning Classifier Systems, International Workshops, IWLCS 2003-2005, Revised Selected Papers. 2007.

[18] Sigaud O, Butz M V., Kozlova O, Meyer C. Anticipatory learning classifier systems and factored reinforcement learning. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial

COPYRIGHTS
©2023 by the authors. Published by the Islamic Azad University, Khodabandeh Branch, Zanjan. This article is an open-access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0) https://creativecommons.org/licenses/by/4.0