ارائه‌ی یک روش هوشمند انتخاب ویژگی مبتنی بر الگوریتم جستجوی گرانشی باینری در سیستم بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی

نجمه قنبری، سیدمحمد رضوی و سیدحسن نبوی کریزی

چکیده: در این مقاله یک روش هوشمند انتخاب ویژگی برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی ارائه شده است. در این روش تابع برازندگی مرتبط با خطای سیستم بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی باینری و با انتخاب ویژگی‌های مناسب کمینه می‌شود. نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهند که استفاده از روش‌های هوشمند برای انتخاب ویژگی به‌خوبی قادر است که موثرترین ویژگی‌ها برای سیستم بازشناسی را انتخاب کند. همچنین مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر روش‌های مشابه مبتنی بر استفاده از الگوریتم ژنتیک و روش بهینه‌سازی گروه ذرات باینری نشان دهنده‌ی کارایی خوب این روش است.

کلید واژه: **انتخاب ویژگی هوشمند، الگوریتم جستجوی گرانشی باینری، بهینه‌سازی گروه ذرات باینری، الگوریتم ژنتیک باینری، طبقه‌بندی کننده‌ی فازی، بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی.**

۱- مقدمه

بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی یکی از مسائل مهم در حوزه بازشناسی حروف نوری است که تحقیقات گسترده‌ای را به خود اختصاص داده و هنوز هم در حال تحول است. تحقیقات در این زمینه از حدود ۵۰ سال پیش آغاز شده و هم‌اکنون در کاربردهای مختلفی از آن استفاده می‌شود. روش‌های مختلفی برای بازشناسی استفاده شده است که از جمله آنها می‌توان به روش‌های آماری، ساختاری، روش‌های شبکه عصبی و فازی اشاره کرد. در زمینه بازشناسی ارقام دست‌نویس، کارهای زیادی صورت گرفته است. در یک تحقیق که برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی انجام شده است، از مکان‌های مشخصه، طبقه‌بندی بیز و زنجیره مارکف استفاده شده است [۱]. در [۲] بازشناسی نهایی ارقام دست‌نویس فارسی به کمک روش‌های فازی انجام شده است. در یک تحقیق دیگر از الگوریتم تطابق شکل و طبقه‌بندی نزدیک‌ترین فاصله از نماینده یا نماینده‌های هر کلاس برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی استفاده شده است [۳]. در [۴] از طبقه‌بندی توسط شبکه عصبی و ترکیب سه ویژگی مکان مشخصه، گرادیان بهبودیافته، کریش برای بازشناسی ارقام استفاده شده است. در [۵] از شبکه عصبی و ترکیب ده طبقه‌بند دوکلاسی برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی استفاده شده است.

استفاده از یک سیستم بازشناسی ارقام دست‌نویس عملاً با چالش‌هایی مواجه است که مهم‌ترین آنها ضرورت بالابودن نرخ بازشناسی است. در حوزه زبان فارسی به‌دلیل شباهت زیادی که ارقام به هم دارند و همچنین تفاوت در شیوه رسم آنها، ایجاد یک سیستم بازشناسی با دقت قابل قبول برای استفاده عملی با مشکلاتی مواجه است. از این رو توسعه روش‌هایی برای بهبود دقت در آنها ضروری است. یکی از مؤثرترین عوامل بهبود دقت در یک سیستم بازشناسی ارقام دست‌نویس، انتخاب ویژگی‌های بهینه از بین مجموعه کل ویژگی‌های استخراج‌شده است. در بازشناسی الگو، از هر الگوی دنیای واقعی، مجموعه‌ای از صفات به‌صورت مقادیر کمی اندازه‌گیری می‌شود. این مجموعه، مجموعه ویژگی‌ها برای توصیف آن الگو در دنیای دیجیتال است. معمولاً از الگوهای دنیای واقعی خصوصیات مختلفی را می‌توان اندازه‌گیری کرد اما در نهایت استفاده از کل ویژگی‌های استخراج‌شده، مقرون به صرفه نیست و به‌خاطر بزرگ‌بودن طول بردار ویژگی باعث کاهش کارایی سیستم بازشناسی می‌شود. اغلب طبقه‌بندها در ابعاد پایین بردار ویژگی نتایج قابل قبولی ارائه می‌کنند اما در ابعاد بزرگ بردار ویژگی گیج و سر در گم شده و با مشکل مشهور نفرین بعدیت[1] روبه‌رو می‌شوند. با افزایش طول بردار ویژگی، هزینه بازشناسی بالاتر رفته و بیشتر باعث خطا در بازشناسی می‌شود. بنابراین یک مسأله اساسی در بازشناسی برای رسیدن به نرخ بازشناسی مطلوب و افزایش سرعت بازشناسی، کاهش بعد بردار ویژگی است و انتخاب خوب ویژگی‌ها نه تنها از ارزش ویژگی‌ها و کارآیی آنها نمی‌کاهد، بلکه تأثیر مثبتی روی ذخیره‌سازی، بازیابی و پردازش اطلاعات دارد. انتخاب ویژگی یعنی انتخاب مجموعه کوچکی از ویژگی‌ها که جمعاً برای توصیف الگوهای خاص مورد نظر ایده‌آل باشند. با این کار از استخراج ویژگی‌های غیر ضروری اجتناب می‌شود. هدف اصلی از انتخاب ویژگی، کاهش بعد بردار ویژگی در طبقه‌بندی می‌باشد به‌گونه‌ای که نرخ طبقه‌بندی قابل قبولی حاصل شود. در این شرایط ویژگی‌های با قدرت تمایز کم برای کلاس‌های الگو حذف و ویژگی‌هایی با قدرت تمایز بالا باقی می‌مانند. انتخاب ویژگی می‌تواند تأثیر قابل توجهی بر نرخ بازشناسی درست الگوریتم طبقه‌بندی داشته باشد. در حالت عمومی مشخص نیست که کدام زیرمجموعه از ویژگی‌ها بیشترین تمایز را برای کلاس‌های الگوی مورد نظر ایجاد می‌کنند و از طرف دیگر امکان بررسی تمام زیرمجموعه‌های موجود، مقرون به صرفه نیست. پیداکردن زیرمجموعه‌ای از ویژگی‌ها از بین یک مجموعه بزرگ ویژگی، مسئله‌ای است که در بسیاری موارد با آن مواجه می‌شویم.

این مقاله در تاریخ ۱۹ آبان ماه ۱۳۸۹ دریافت و در تاریخ ۲۰ خرداد ماه ۱۳۹۰ بازنگری شد.

نجمه قنبری، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان، زاهدان، (email: najme.ghanbari@gmail.com).

سیدمحمد رضوی، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه بیرجند، بیرجند، (email: razavism@gmail.com).

سیدحسن نبوی کریزی، آموزشکده فنی حرفه‌ای شهید منتظری مشهد، (email: nabavikarizi@yahoo.com).

1. Curse of Dimensionality

Archive of SID

www.SID.ir

روش‌های جستجو مبتنی بر جمعیت، روش‌های مناسبی برای کاهش تعداد ویژگی‌ها هستند. انتخاب ویژگی با الگوریتم‌های تکاملی مانند الگوریتم ژنتیک، انتخاب ویژگی با الگوریتم‌های هوش جمعی مانند الگوریتم جمعیت ذرات، الگوریتم جستجوی گرانشی، الگوریتم کلونی مورچگان و ... نمونه‌هایی از این روش‌ها هستند. اکثر این روش‌ها با یک جمعیت اولیه جستجو را به شکل موازی شروع می‌کنند، سپس شایستگی هر یک از افراد جمعیت را بر اساس یک تابع برازندگی تعیین کرده و با استفاده از مقادیر برازندگی، اطلاعات جمعیت را به‌روز می‌کنند. این روند تا همگرایی الگوریتم ادامه می‌یابد. به‌عنوان مثال در یک تحقیق از الگوریتم ژنتیک برای تعیین گروهی از ویژگی‌ها برای به‌کارگیری در طبقه‌بندی و خوشه‌بندی با تابع ارزیابی K همسایه نزدیک‌تر استفاده شده است. این عمل سبب افزایش سرعت سیستم و حتی کارایی آن شده است [۶]. عموماً کیفیت ویژگی‌های استخراج‌شده روی نتایج طبقه‌بندی اثر مستقیم می‌گذارد. در طبقه‌بندی اثر انگشت با انتخاب بهترین ویژگی‌ها به کمک الگوریتم ژنتیک نتایج خوبی حاصل شده است [۷].

الگوریتم جستجوی گرانشی (BGSA) از سری الگوریتم‌های جدید ابتکاری است. در این مقاله با استفاده از الگوریتم BGSA به‌عنوان یک ابزار، سعی در انتخاب مؤثرترین ویژگی‌ها در جهت کاهش ابعاد بردار ویژگی داریم. به‌منظور نشان‌دادن کارایی این الگوریتم، از الگوریتم تکاملی ژنتیک باینری و الگوریتم ابتکاری جمعیت ذرات باینری که هر دو از سری الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت هستند، استفاده و نتایج این روش‌ها با هم مقایسه شده است.

در این مقاله از روش فازی برای بازشناسی ارقام دست‌نویس استفاده شده است [۲]. همچنین از پایگاه داده هدی که توسط آقای خسروی و کبیر در [۸] معرفی شده، استفاده شده است. این پایگاه داده، یک پایگاه داده بزرگ از ارقام دست‌نویس فارسی با ۱۰۲۳۵۲ رقم است. نمونه‌های آموزشی این پایگاه داده برای تولید مدل فازی، نمونه‌های آزمایشی برای آزمایش مدل فازی ایجاد شده و نمونه‌های باقیمانده هم در ارزیابی الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت استفاده شده است.

در روش فازی مورد استفاده، ویژگی‌های نمونه‌های آموزشی پایگاه داده استخراج شده و با استفاده از آنها توابع عضویت گوسی برای مدل فازی به‌دست آمده است. مدل فازی مورد استفاده در این مقاله یک مدل ممدانی با ۱۰ قاعده است. هر قاعده برای یک رقم اختصاص داده شده است. در مرحله آزمایش از این مدل فازی برای طبقه‌بندی نمونه‌های آزمایشی پایگاه داده استفاده شده است. نتایج نشان داد که در مرحله انتخاب ویژگی‌های مؤثر توسط الگوریتم‌های مورد استفاده به خاطر تکراری‌بودن این الگوریتم‌ها هزینه بالایی باید صرف شود، اما در مرحله تست (داده‌های آموزش و آزمایش) به علت کم‌شدن ابعاد مسأله، هزینه کاهش می‌یابد و همچنین نرخ بازشناسی بالاتری حاصل می‌شود.

۲- پایگاه داده

در چند مورد از تحقیقاتی که اخیراً در زمینه بازشناسی ارقام دست‌نویس انجام شده است از پایگاه داده هدی که یک پایگاه داده استاندارد محسوب می‌شود و توسط آقای خسروی و کبیر در [۸] ارائه شده، استفاده شده است. تصاویر باینری ۱۰۲۳۵۲ رقم از حدود ۱۱۹۴۲ فرم ثبت نام آزمون سراسری، که توسط دانشجویان مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد پر شده است، استخراج شده است. این فرم‌ها توسط یک اسکنر سرعت بالا با دقت ۲۰۰ نقطه بر اینچ اسکن شده‌اند. این فرم‌ها حاوی اطلاعات حرفی شامل نام، نام خانوادگی و نام پدر و برخی اطلاعات رقمی هستند که به‌صورت حروف جدا و ارقام در خانه‌های از پیش تعیین شده نوشته شده‌اند. از این فرم‌ها دو پایگاه داده بزرگ از ارقام و حروف تهیه شده که در این مقاله از پایگاه داده ارقام آن استفاده شده است. تعداد کل ارقام این پایگاه داده ۱۰۲۳۵۲ رقم است که ۶۰۰۰۰ رقم آن به‌عنوان نمونه‌های آموزش، ۲۰۰۰۰ رقم آن به‌عنوان نمونه‌های آزمایش و ۲۲۳۵۲ رقم آن هم به‌عنوان ارقام باقیمانده در نظر گرفته می‌شوند. از ارقام باقیمانده در مسائل مختلف، استفاده‌های متفاوتی می‌شود.

۳- استخراج ویژگی

انتخاب روش استخراج ویژگی یکی از مراحل بسیار مهم و کارا در یک سیستم بازشناسی الگو است. برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی از ویژگی‌های متفاوتی همچون ویژگی‌های ناحیه‌ای، گشتاورهای هندسی[1]، گشتاورهای زرنیکی[2]، توصیف‌گرهای فوریه، پایاهای گشتاوری[3]، کریش، هیستوگرام‌ها (تصویرنمایی‌ها[4])، ویژگی‌های مکان مشخصه، پروفایل مرزی، گرادیان، هیستوگرام گرادیان، افکنش و ... استفاده شده است [۱] تا [۳] و [۹] تا [۱۱].

به‌علت آن که ویژگی ناحیه‌ای[5] پیچیدگی محاسباتی کمتری دارد و به دفعات در بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی و لاتین استفاده شده [۱۲]، در این مقاله فقط از این ویژگی استفاده شده است..

منظور از نرمال‌سازی، تبدیل تصویر ورودی با هر اندازه‌ای به تصویری با ابعاد از پیش تعیین شده $m\times n$ است. روش ساده و مرسوم برای نرمال‌سازی تصویر به این صورت است که تصویر از هر دو جهت طولی و عرضی به اندازه مورد نظر تغییر مقیاس داده شود. تصاویر باینری ارقام پایگاه داده صفرهای زیادی (یعنی نقاط سفید که مربوط به زمینه می‌باشند و حاوی هیچ اطلاعاتی نیستند) در چهار طرف دارند. در ابتدا چهاروجهی که حاوی اطلاعات زائد می‌باشند، حذف می‌شوند و هر یک از ارقام، محصور به یک چهاروجهی می‌شود. در اینجا ارقام از نظر اندازه به ۳۲×۳۲ نرمالیزه شده‌اند. تصویر ۳۲×۳۲ به بلوک‌های کوچک‌تر ۴×۴ تقسیم و نقاط داخل هر بلوک شمرده و به‌عنوان ویژگی در نظر گرفته شده است. بنابراین تصویر دارای ۶۴ بلوک ۱۶ نقطه‌ای است که تعداد نقاط سیاه موجود در هر بلوک ۴×۴ به‌عنوان ویژگی‌های سیستم بازشناسی در نظر گرفته شده‌اند. بنابراین در این حالت هر رقم ۶۴ ویژگی دارد که مقادیر این ویژگی‌ها می‌تواند بین صفر تا ۱۶ تغییر کند.

٤- مدل فازی

در سیستم فازی معرفی‌شده در [۲] ۱۰ قاعده وجود دارد که برای بازشناسی هر رقم از یک قاعده استفاده شده است. نمونه‌ای از این قواعد را در [۲] می‌توانید ببینید.

مجموعه فازی $A_{i,j}$ از روی نمونه‌های آموزشی به‌دست می‌آیند [۲]. برای عملگر and از ضرب جبری استفاده شده است.

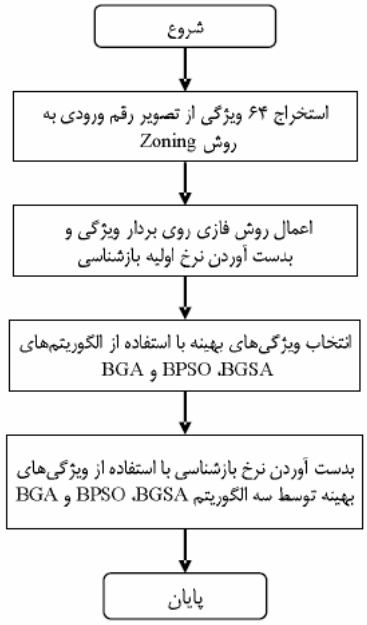
نتایج به‌دست آمده در این روش نشان می‌دهد که نمونه‌های آزمایشی بعضی از کلاس‌ها هنگام بازشناسی با هم اشتباه شده و باعث پایین‌آمدن

1. Geometric Moments
2. Zernike Moments
3. Invariant Moments
4. Projections
5. Zoning

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۱: میزان بازشناسی در حالات مختلف.

روش بازشناسی	تعداد ویژگی‌ها	میزان بازشناسی روی نمونه‌های آزمایش	تعداد خطا روی نمونه‌های آزمایش	میزان بازشناسی روی نمونه‌های آموزش	تعداد خطا روی نمونه‌های آموزش
روش فازی با تعداد کل ویژگی‌ها	۶۴	۸۰٫۱۹	۳۹۶۲	۸۶٫۲۱	۸۲۷۶
انتخاب ویژگی با الگوریتم BGSA با جمعیت اولیه ۲۰ جرم با ۲۵۰ تکرار	۳۰	۸۴٫۵۵	۳۰۹۸	۹۰٫۰۱	۶۰۰۳
انتخاب ویژگی با الگوریتم BGSA با جمعیت اولیه ۲۰ جرم با ۱۵۰ تکرار	۳۳	۸۴٫۲۵	۳۱۵۵	۸۹٫۳۹	۶۳۳۰
انتخاب ویژگی با الگوریتم ژنتیک با جمعیت اولیه ۲۰ کروموزوم با ۶۰ تکرار	۳۴	۸۴٫۴۶	۳۱۰۸	۸۹٫۵۳	۶۲۸۲
انتخاب ویژگی با الگوریتم ژنتیک با جمعیت اولیه ۲۰ کروموزوم با ۱۰۰ تکرار	۳۴	۸۴٫۳۲	۳۱۳۶	۸۹٫۶۵	۶۲۰۷
انتخاب ویژگی با الگوریتم BPSO با جمعیت اولیه ۳۰ ذره با ۵۰ تکرار	۳۸	۸۴٫۲۸	۳۱۴۴	۸۹٫۴۶	۶۳۲۳
انتخاب ویژگی با الگوریتم BPSO با جمعیت اولیه ۳۰ ذره با ۱۰۰ تکرار	۳۵	۸۴٫۴۳	۳۱۱۵	۸۹٫۸۲	۶۱۰۸



شکل ۱: الگوریتم بازشناسی نهایی.

نرخ بازشناسی سیستم می‌شود. بنابراین به نظر می‌رسد که بعضی از این ویژگی‌ها بازشناسی را خراب می‌کند. با انتخاب ویژگی، از این ویژگی‌های غیر ضروری که باعث خراب‌شدن نرخ بازشناسی شده‌اند، اجتناب می‌شود.

۵- انتخاب ویژگی‌های بهینه با استفاده از الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت

الگوریتم ژنتیک (GA)، الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات (PSO)، الگوریتم بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها (ACO) و الگوریتم جستجوی گرانشی (GSA) از سری الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت می‌باشند. یکی از کاربردهای الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت حل مسأله انتخاب ویژگی است. در حل این‌گونه مسایل، هر جواب ممکن از مسأله به‌صورت رشته‌ای از صفر و یک‌ها تعریف می‌شود. طول رشته برابر کل تعداد ویژگی‌ها می‌باشد. مقدار صفر و یا یک برای هر بیت رشته به‌ترتیب بیانگر مشارکت و یا عدم مشارکت ویژگی متناظر با آن بیت رشته است. در این مقاله از الگوریتم جستجوی گرانشی باینری برای حل مسأله انتخاب ویژگی‌های بهینه برای ارقام استفاده شده است. در مرحله بعد این مسأله با استفاده از الگوریتم ژنتیک باینری و الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات باینری یا BPSO حل شده و نهایتاً نتایج حاصل از این روش‌ها با حالتی که در آن از کل ویژگی‌ها استفاده شده، مقایسه شده است. حاصل این مقایسات در جدول ۱ آمده است. الگوریتم ژنتیک باینری و BPSO نرخ بازشناسی را تقریباً به یک میزان افزایش داده‌اند. نتایج حاصل از اعمال الگوریتم BGSA نشان می‌دهد که این الگوریتم نرخ بازشناسی را به میزان بیشتری نسبت به دو الگوریتم قبلی افزایش می‌دهد. نتایج این مقاله بدون هیچ‌گونه عملیات پیش‌پردازشی و پس‌پردازشی می‌باشد و هدف در این مقاله، تنها نشان‌دادن توانمندی الگوریتم‌های بهینه‌سازی مبتنی بر جمعیت به ویژه الگوریتم BGSA در افزایش نرخ بازشناسی است. در شکل ۱ الگوریتم بازشناسی نهایی نشان داده شده است.

۵-۱ انتخاب ویژگی‌های بهینه با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی باینری (BGSA)

۵-۱-۱ الگوریتم جستجوی گرانشی باینری

الگوریتم جستجوی گرانشی توسط خانم راشدی و همکاران در ۲۰۰۹ [۱۳] ارائه شده است. نسخه باینری این الگوریتم هم توسط همین مؤلفان در ۱۳۸۶ [۱۰] ارائه شده است. در اینجا به توضیح مختصری از الگوریتم جستجوی گرانشی می‌پردازیم. برای توضیحات بیشتر می‌توانید به مراجع فوق مراجعه کنید. در الگوریتم GSA بهینه‌یابی به کمک طرح قوانین گرانشی و حرکت، در یک سیستم مصنوعی با زمان گسسته انجام می‌شود. محیط سیستم همان محدوده تعریف مسأله است. طبق قانون گرانش هر جرم محل و وضعیت سایر اجرام را از طریق نیروی جاذبه گرانشی درک می‌کند. بنابراین می‌توان از این نیرو به‌عنوان ابزاری برای تبادل اطلاعات استفاده کرد. از بهینه‌یاب طراحی‌شده می‌توان برای حل هر مسأله بهینه‌سازی که در آن هر جواب مسأله به‌صورت یک موقعیت در فضا قابل تعریف است و میزان شباهت آن با سایر جواب‌های مسأله به‌صورت یک فاصله قابل بیان باشد، استفاده نمود. میزان اجرام با توجه به تابع هدف تعیین می‌شوند.

ابتدا فضای سیستم مشخص می‌شود. محیط شامل یک دستگاه مختصات چندبعدی در فضای تعریف مسأله است. هر نقطه از فضا یک جواب مسأله می‌باشد. عامل‌های جستجوکننده، مجموعه‌ای از اجرام هستند. هر جرم سه مشخصه دارد: (الف) موقعیت جرم، (ب) جرم گرانشی

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۲: کارایی سیستم بازشناسی نهایی روی نمونه‌های آزمایش در حالتی که ویژگی‌های برتر با الگوریتم BGSA انتخاب شده باشد.

درصد خطا	تعداد خطا	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	
۸٫۹۵۰	۱۷۹	۲	۱	۹	۶	۷۲	۶	۲	۲	۷۹	۱۸۲۱	۰
۱۷٫۳۰	۳۴۶	۲۶	۶	۱۴	۳۲	۲	۱۶	۴	۸۴	۱۶۵۴	۱۶۲	۱
۲۳٫۳۵	۴۶۷	۵۸	۱۲	۵۲	۶۶	۰	۶۴	۱۲۳	۱۵۳۳	۹۲	۰	۲
۱۹٫۳۵	۳۸۷	۱۷	۳	۷	۱۲۰	۰	۴۷	۱۶۱۳	۱۷۷	۱۱	۵	۳
۱۹٫۹۵	۳۹۹	۴۲	۱۹	۱۱	۷۵	۳۸	۱۶۰۱	۱۳۹	۴۶	۲۹	۰	۴
۸٫۱۹۹	۱۶۴	۱	۸	۱	۲۳	۱۸۳۶	۱۷	۱	۷	۵۶	۵۰	۵
۲۹٫۷۵	۵۹۵	۲۲۷	۱۴	۷۴	۱۴۰۵	۳	۸۴	۲۳	۱۵۶	۹	۵	۶
۹٫۵۵۰	۲۰۱	۲	۰	۱۸۰۹	۷۳	۴	۱۷	۰	۷۰	۲۴	۱۱	۷
۱۰٫۱۰	۲۰۲	۵۴	۱۷۹۸	۱	۱۷	۴۶	۲۳	۰	۳	۵۱	۷	۸
۱۴٫۷۰	۲۹۴	۱۷۰۶	۷۶	۰	۱۶۲	۷	۵	۰	۰	۳۶	۸	۹

۱- تعیین محیط سیستم و مقداردهی اولیه.
۲- جایابی اولیه اجرام.
۳- ارزیابی اجرام.
۴- به‌روز رسانی پارامترهای G، best، worst، Mi و Mg.
۵- محاسبه نیروی وارد بر هر جرم.
۶- محاسبه شتاب و سرعت هر جرم.
۷- به‌روز رسانی موقعیت اجرام.
۸- اگر شرط توقف برآورده نشده است به مرحله ۳ برو.
۹- پایان.

شکل ۲: شبه‌کد مربوط به الگوریتم مورد استفاده.

و (ج) جرم اینرسی.

اجرام فوق برگرفته از مفاهیم جرم گرانشی اکتیو و جرم اینرسی در فیزیک می‌باشند. در فیزیک جرم گرانشی اکتیو معیاری از میزان شدت نیروی گرانشی حول یک جسم و جرم اینرسی معیاری از مقاومت جسم در مقابل حرکت است. این دو مشخصه بر خلاف واقعیت می‌توانند با یکدیگر برابر نباشند و مقدار آنها با توجه به برازندگی هر جرم تعیین می‌شود. موقعیت جرم نقطه‌ای در فضا است که جوابی از مسأله است.

پس از تشکیل سیستم قوانین حاکم بر آن مشخص می‌شوند. فرض می‌کنیم تنها قانون گرانش و قوانین حرکت حاکم هستند. صورت کلی این قوانین تقریباً شبیه قوانین طبیعت است و به‌صورت زیر تعریف شده‌اند.

قانون گرانش: هر جرم در سیستم مصنوعی تمام اجرام دیگر را به سمت خود جذب می‌کند. مقدار این نیرو متناسب است با جرم گرانشی آن جرم و عکس فاصله آن دو جرم.

قوانین حرکت: سرعت فعلی هر جرم برابر است با مجموع ضریبی از سرعت قبلی جرم و تغییر سرعت آن. تغییر سرعت یا شتاب هر جرم نیز برابر است با نیروی وارد بر آن تقسیم بر جرم اینرسی.

در الگوریتم GSA مجموعه‌ای از m جرم داریم. هر جرم به‌صورت تصادفی در یک نقطه از فضا قرار می‌گیرد که جوابی از مسأله است. در هر لحظه از زمان، اجرام ارزیابی شده و سپس تغییر مکان هر جرم با استفاده از روابط موجود در مراجع [۱۰] و [۱۳] محاسبه می‌شود. پارامترهای سیستم شامل جرم گرانشی، جرم اینرسی و ثابت گرانش نیوتن هستند که در هر مرحله طبق روابط موجود در مراجع [۱۰] و [۱۳] به‌روز رسانی می‌شوند. شرط توقف می‌تواند پس از طی مدت زمان مشخصی تعیین شود. در شکل ۲ شبه‌کد مربوط به این الگوریتم آورده شده است. در این مقاله از روش [۱۱] برای باینری‌کردن الگوریتم جستجوی گرانشی استفاده شده است.

۵-۱-۲ انتخاب ویژگی با الگوریتم BGSA

همان‌طور که گفتیم از هر یک از ارقام پایگاه داده ۶۴ ویژگی به روش ناحیه‌بندی استخراج شده و با استفاده از الگوریتم BGSA از بین این ۶۴ ویژگی، ویژگی‌های مناسب برای طبقه‌بندی ارقام انتخاب می‌شوند. در ابتدا جمعیت اولیه‌ای از اجرام به‌طور تصادفی ایجاد می‌شود. در مسأله انتخاب ویژگی با BGSA هر جرم می‌تواند یک جواب برای مسأله باشد. هر جواب یا جرم به‌صورت رشته‌ای از صفر و یک‌ها تعریف می‌شود. طول رشته برابر کل ویژگی‌ها است. مقدار صفر و یا یک برای هر بیت رشته به‌ترتیب بیانگر مشارکت و یا عدم مشارکت ویژگی متناظر با آن بیت در طبقه‌بندی است. پس از ایجاد جمعیت اولیه اجرام، برای هر جرم مقدار برازندگی آن با استفاده از تابع برازندگی که در اینجا تعداد خطای طبقه‌بندی کننده فازی است، محاسبه می‌شود. در هر مرحله بهترین جرم (که با توجه به هدف مسأله مشخص می‌شود) انتخاب می‌شود. به تعداد تکرارهای مسأله الگوریتم اجرا می‌شود و در نهایت با انتخاب جرم با کمترین مقدار تابع برازندگی ویژگی‌های مناسب به‌دست می‌آیند. جمعیت اولیه در الگوریتم ما حدود ۲۰ جرم می‌باشد. نتایج مربوطه به یکی از بهترین نتایج این الگوریتم (ردیف ۲ جدول ۱) در جدول ۲ آورده شده است.

۵-۲ انتخاب ویژگی‌های تأثیرگذار با استفاده از الگوریتم ژنتیک باینری (BGA)

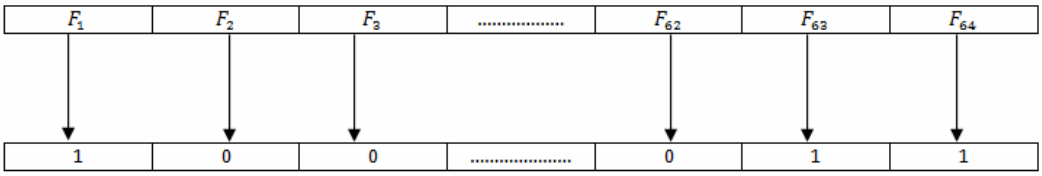
الگوریتم ژنتیک به‌عنوان یک ابزار مؤثر و عمومی برای بهینه‌سازی در اغلب شاخه‌های مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد و در بیشتر موارد راه حل‌های نزدیک به حالت بهینه را نتیجه می‌دهد. در این مقاله روشی برای انتخاب بهترین مجموعه ویژگی از بین کل مجموعه ویژگی‌ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک ارائه شده است.

۵-۲-۱ الگوریتم ژنتیک

الگوریتم جستجوی ژنتیکی روشی است که به‌صورت موازی و چندجانبه از نقاط مختلفی از فضای حل مسأله، جستجو را آغاز می‌کند. این روش در سال ۱۹۷۳ میلادی توسط John Holland و با انتشار کتاب "تطبیق سیستم‌های طبیعی و مصنوعی" معرفی شد و پس از آن به‌طور وسیعی در مسایل مهندسی به‌ویژه در مسایل بهینه‌سازی مهندسی استفاده شد. الگوریتم ژنتیک از اصول انتخاب طبیعی داروین برای یافتن فرمول بهینه جهت پیش‌بینی یا تطبیق الگو استفاده می‌کند. اساس روش‌های جستجوی ژنتیکی بر فرآیند انتخاب اصلح در نظام طبیعی استوار است. انتخاب اصلح

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۳: نمایش یک کروموزوم و نحوه انتخاب ویژگی‌ها.

جدول ۴: کارایی سیستم بازشناسی نهایی روی نمونه‌های آزمایش در حالتی که ویژگی‌های برتر با الگوریتم ژنتیک انتخاب شده باشد.

درصد خطا	تعداد خطا	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	
۷٫۲۰۰۰	۱۴۴	۲	۱	۶	۳	۵۵	۶	۳	۳	۶۵	۱۸۵۶	۰
۱۹٫۲۵۰۰	۳۸۵	۳۸	۲	۱۱	۳۷	۰	۱۳	۲	۹۹	۱۶۱۵	۱۸۳	۱
۲۵٫۶۵۰۰	۵۱۳	۱۳۴	۵	۶۷	۴۱	۰	۶۲	۱۲۵	۱۴۸۷	۷۹	۰	۲
۱۳٫۹۵۰۰	۲۷۹	۱۵	۲	۴	۵۱	۱	۳۸	۱۷۲۱	۱۶۰	۶	۲	۳
۱۹٫۷۵۰۰	۳۹۵	۷۶	۸	۱۳	۵۴	۴۱	۱۶۰۵	۱۴۴	۴۰	۱۶	۳	۴
۸٫۰۵۰۰	۱۶۱	۰	۵	۲	۱۴	۱۸۳۹	۱۲	۱	۴	۵۹	۶۴	۵
۳۳٫۱۰۰۰	۶۶۲	۳۸۲	۹	۷۵	۱۳۳۸	۸	۲۸	۳۴	۱۱۸	۷	۱	۶
۱۱٫۶۰۰۰	۲۳۲	۱۶	۰	۱۷۶۸	۸۴	۶	۳۷	۲۲	۴۴	۲۲	۱	۷
۸٫۱۵۰۰	۱۶۳	۵	۱۸۳۷	۱	۱۵	۶۰	۸	۰	۳	۴۷	۲۴	۸
۸٫۷۰۰۰	۱۷۴	۱۸۲۶	۴۱	۰	۸۷	۳	۸	۱	۰	۳۰	۴	۹

یعنی این که موجوداتی که شایستگی بالاتر و سازگاری بیشتری با طبیعت دارند امکان بقا و تولید مثل افزون‌تری می‌یابند و پس از چند نسل به درجه شایستگی بالاتری می‌رسند. فرآیند انتخاب اصلح با ترکیب عملگرهای ژنی شامل به‌گزینی، تولید مثل، تلاقی و جهش انجام می‌شود.

۵-۲-۲ انتخاب ویژگی با الگوریتم ژنتیک

در اینجا نیز با استفاده از الگوریتم ژنتیک از بین این ۶۴ ویژگی، ویژگی‌های مناسب برای طبقه‌بندی ارقام انتخاب می‌شوند. برای این ۶۴ ویژگی، کروموزومی باینری به طول ۶۴ تعریف می‌شود. یک بودن هر ژن به معنی استفاده و صفر بودن آن به معنی عدم استفاده از آن ویژگی در طبقه‌بندی ارقام است (شکل ۳). در ابتدا جمعیت اولیه به‌طور تصادفی ایجاد می‌شود. سپس برای هر کروموزوم مقدار برازندگی آن با استفاده از تابع برازندگی که در اینجا تعداد خطا است، محاسبه می‌شود. تابع برازندگی به فاصله صفر و یک نگاشت می‌شود. سایر مشخصات الگوریتم ژنتیک در جدول ۳ آورده شده است و این مشخصات به‌صورت تجربی به‌دست آمده است. با اعمال الگوریتم ژنتیک در چند نسل و انتخاب کروموزوم با کمترین مقدار تابع برازندگی، ویژگی‌های مناسب به‌دست می‌آیند. تعداد ویژگی‌ها از ۶۴ ویژگی به ۳۴ ویژگی کاهش یافته است. جمعیت اولیه حدود ۲۰ کروموزوم است. جدول ۴ ماتریس کارایی یکی از بهترین نتایج این الگوریتم (ردیف ۴ جدول ۱) را نشان می‌دهد.

۵-۳ انتخاب ویژگی‌های تأثیرگذار با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات باینری (BPSO)

۵-۳-۱ الگوریتم بهینه‌سازی جمعیت ذرات (PSO)

PSO یک الگوریتم جستجوی اجتماعی است که از روی رفتار اجتماعی دسته‌های پرندگان، ماهی‌ها و حرکت زنبورها الهام گرفته شده است. در ابتدا این الگوریتم به‌منظور کشف الگوهای حاکم بر پرواز هم‌زمان پرندگان و تغییر ناگهانی مسیر آنها به‌کار گرفته شد. این روش برای اولین بار به‌وسیله Eberhart و Kennedy در سال ۱۹۹۵ معرفی شد. در این روش اعضا برای رسیدن به یک هدف نهایی همکاری می‌کنند. این روش مؤثرتر از زمانی است که اعضا به‌صورت جداگانه عمل

جدول ۳: پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ژنتیک.

تعداد نسل‌ها: ۶۰	نوع ترکیب: پراکنده
اندازه جمعیت: ۲۰	نوع انتخاب: یکنواخت احتمالی
بازه ورودی: (۱ و ۰)	الیتیسم: ۲
نرخ ترکیب: ۰٫۸	تابع برازندگی: @fitga
نوع جهش: پیش‌فرض	تعداد متغیرها: ۶۴

می‌کنند. برای مدل‌سازی نظم موجود در حرکت جمعی این جانداران دو دیدگاه در نظر گرفته شده است. یک بعد تعاملات اجتماعی موجود بین اعضای گروه است و بعد دیگر امتیازات فردی است که ممکن است هر یک از اعضای گروه واجد آنها باشند. در بعد اول همه اعضای گروه موظفند همواره موقعیت خود را با تابعیت از بهترین فرد گروه تغییر دهند و از بعد دوم لازم است تک‌تک اعضا بهترین موقعیتی را که تاکنون شخصاً تجربه کرده‌اند، در حافظه خود نگهداری کرده و تمایلی نیز به سمت بهترین موقعیت درک‌شده گذشته خود داشته باشند. در روش PSO مرتباً سرعت و موقعیت ذرات به‌روز رسانی می‌شود.

هر ذره در فضای D بعدی به‌عنوان یک راه حل از مسأله در نظر گرفته می‌شود. ذره iام از گروه موقعیت X_d^i سرعت V_d^i را در بعد dام از فضای جستجوی مسأله دارد. معادله به‌روز نمودن سرعت و موقعیت ذره بر اساس (۱) و (۲) است

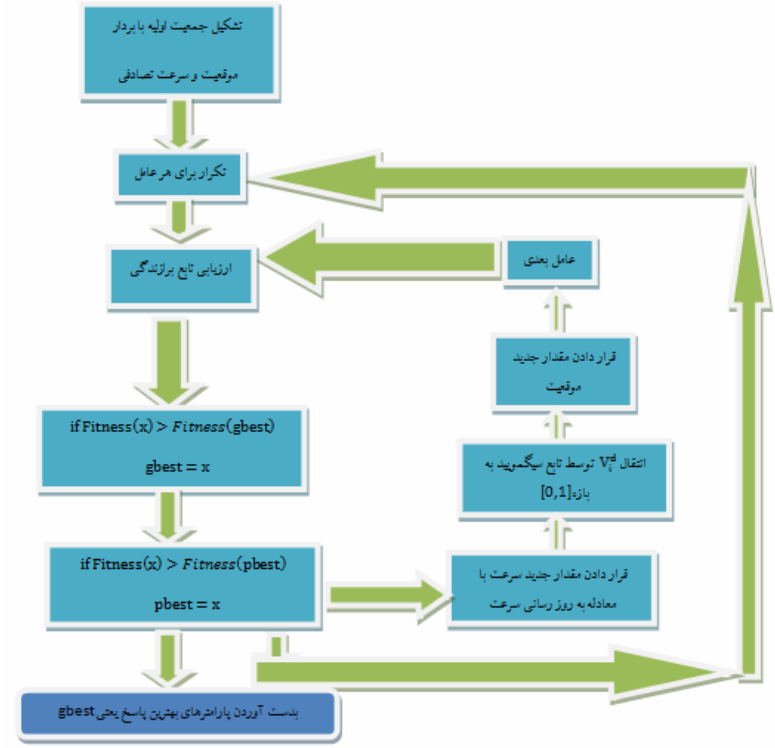
$$V_d^i(t+1) = \omega V_i^d(t) + C_1 rand_1^d(t)(pbest_d^i(t) - X_i^d(t)) + C_2 rand_2^d(t)(gbest(t) - X_i^d(t)) \quad (1)$$

$$X_d^i(t+1) = X_d^i(t) + V_d^i(t+1) \quad (2)$$

X_i موقعیت ذره iام و V_i سرعت ذره iام است. بهترین موقعیت ملاقات‌شده توسط ذره iام $pbest$ و بهترین موقعیت ملاقات‌شده توسط کل گروه $gbest$ است. C_1 و C_2 ضرایب مؤلفه‌های شناختی و اجتماعی می‌باشند. سرعت هر ذره توسط $V_{\max}$ محدود شده است. $rand_1^d$ و $rand_2^d$ دو عدد تصادفی در بازه [۰،۱] هستند.

در سال ۱۹۹۷توسط مبدعان PSO، یک نسخه باینری از این الگوریتم به‌منظور حل مسایل گسسته ارائه شد [۱۴]. در این مقاله از روش [۱۵]

Archive of SID
www.SID.ir



شکل ۴: بهینه‌سازی به روش جمعیت ذرات.

جدول ۵: کارایی سیستم بازشناسی نهایی روی نمونه‌های آزمایش در حالتی که ویژگی‌های برتر با الگوریتم BPSO انتخاب شده باشد.

درصد خطا	تعداد خطا	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۰	
۸٫۲۵۰۰	۱۶۵	۳	۱	۹	۱۰	۶۲	۴	۲	۶	۶۸	۱۸۳۵	۰
۱۶٫۱۵۰۰	۳۲۳	۳۱	۱	۱۱	۳۷	۰	۱۱	۱	۷۵	۱۶۷۷	۱۵۶	۱
۲۶٫۴۵۰۰	۵۲۹	۸۵	۰	۷۵	۴۰	۰	۷۴	۱۱۹	۱۴۷۱	۱۳۴	۲	۲
۱۵٫۷۰۰۰	۳۱۴	۱۱	۰	۱۰	۶۲	۱	۴۹	۱۶۸۶	۱۵۴	۲۲	۵	۳
۲۰٫۹۰۰۰	۴۱۸	۴۴	۸	۱۴	۵۴	۵۱	۱۵۸۲	۱۲۷	۸۶	۳۰	۴	۴
۷٫۹۵۰۰	۱۵۹	۱	۱۰	۱	۲۲	۱۸۴۱	۸	۱	۳	۴۹	۶۴	۵
۲۹٫۴۵۰۰	۵۸۹	۳۱۶	۱۷	۹۶	۱۴۱۱	۵	۲۴	۱۲	۱۰۷	۹	۳	۶
۱۱٫۶۵۰۰	۲۳۳	۷	۰	۱۷۶۷	۵۴	۱	۳۴	۷	۱۱۸	۱۲	۰	۷
۸٫۰۹۹۹	۱۶۲	۸	۱۸۳۸	۲	۳۲	۳۸	۱۰	۰	۲	۶۰	۱۰	۸
۱۱٫۱۵۰۰	۲۲۳	۱۷۷۷	۳۶	۰	۱۳۲	۰	۵	۱	۰	۳۸	۱۱	۹

برای باینری‌کردن الگوریتم PSO و انتخاب ویژگی‌های بهینه استفاده شده است.

۵-۳-۲ انتخاب ویژگی‌های بهینه برای ارقام دست‌نویس فارسی با استفاده از الگوریتم BPSO

در این مقاله از روش [۱۵] برای باینری‌کردن الگوریتم PSO استفاده شده است. از هر یک از ارقام پایگاه داده ۶۴ ویژگی به روش زونینگ استخراج شده است. هدف یافتن ویژگی‌های مناسب از بین ۶۴ ویژگی زونینگ برای طبقه‌بندی ارقام با استفاده از الگوریتم BPSO از بین ۶۴ ویژگی زونینگ می‌باشد. در ابتدا جمعیت اولیه‌ای از ذرات باینری به‌طور تصادفی ایجاد می‌شود. در مسأله انتخاب ویژگی با BPSO هر یک از ذرات می‌تواند یک جواب برای مسأله باشد. هر جواب یا ذره به‌صورت رشته‌ای از صفر و یک‌ها تعریف می‌شود. طول رشته برابر تعداد کل ویژگی‌ها (۶۴ تا) می‌باشد.

این ذرات دارای یک موقعیت و یک سرعت اولیه هستند. منظور از ذرات در مسأله مورد نظر ما همان بردار ویژگی می‌باشد، بنابراین ذرات دارای ۶۴ بعد هستند. در این مدل موقعیت هر ذره با دو مقدار (صفر و یک) در هر بعد مشخص می‌شود. یک بودن هر یک از ابعاد ذرات به معنی لحاظ و صفر بودن آن به معنی عدم لحاظ آن ویژگی در طبقه‌بندی ارقام است. پس از ایجاد جمعیت اولیه ذرات، برای هر یک از ذرات یک مقدار برازندگی با استفاده از تابع برازندگی محاسبه می‌شود. با استفاده از مقادیر برازندگی سرعت و موقعیت این ذرات به‌روز رسانی می‌شوند. این به‌روز رسانی برای هر یک از ذرات با توجه به بهترین موقعیت گذشته خودشان و موقعیت بهترین ذره گروه انجام می‌شود. بعد از چندین بار اجرای این الگوریتم (به تعداد تکرارهای مسأله) تمام این ذرات به سمت موقعیت بهترین ذره همگرا می‌شوند. با انتخاب بهترین ذره گروه ویژگی‌های بهینه زونیگ تعیین می‌شوند. تابع برازندگی که توسط الگوریتم BPSO بهینه شده است تعداد خطای طبقه‌بندی می‌باشد. منظور از بهینگی مینیمم‌کردن تعداد خطا می‌باشد. مقدار $V_{\max}$ مانند اکثر مقالات ۶ در نظر گرفته شده است. شکل ۴ الگوریتم کلی این روش را نشان می‌دهد. ماتریس کارایی یکی از بهترین نتایج این الگوریتم روی نمونه‌های آزمایش (ردیف ۸ جدول ۱) در جدول ۵ آمده است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۶: نتایج روش‌های مختلفی که در زمینه بازشناسی ارقام دست‌نویس انجام شده است.

ردیف	مرجع	روش استخراج ویژگی	روش طبقه‌بندی	تعداد ارقام پایگاه داده	نرخ بازشناسی
۱	نفیسی و کبیر ۷۳	مکان مشخصه مورب	پنج همسایه نزدیک‌تر	۱۲۷۷۸	۹۵٫۵–۸۵٫۰۷
۲	مسروری ۷۷	DTW	کمترین فاصله از نماینده کلاس	–	۷۵
۳	منصوری ۱۹۸۸	گشتاورهای هندسی و تبدیل فوریه	شبکه عصبی	–	۶۰
۴	رضوی و کبیر ۷۶	۳–tuple	کمترین فاصله از نماینده کلاس	۵۰۰	۸۱
۵	جوهری ۷۹	بلوک‌بندی	روش فازی	۵۰۰	۸۳
۶	رضوی ۸۰	انتخاب ویژگی با الگوریتم‌های وراثتی	روش فازی	۵۰۰	۸۶٫۲
۷	درویش ۸۱	اطلاعات جانبی حول نقاط کانتور	کمترین فاصله از نماینده کلاس	۱۲۸۸	۸۹٫۹
۸	نبوی ۸۳	مکان مشخصه	ترکیب ۳ شبکه عصبی	۲۴۳۰	۹۱
۹	کتابدار ۷۷	ویژگی‌های ساختاری	درخت تصمیم دودویی	۳۲۰۰	۹۳
۱۰	سلطان‌زاده ۸۳	ترکیب ۴ ویژگی	SVM	۸۹۱۳	۹۹٫۵۷
۱۱	خسروی ۸۴	ترکیب ۳ ویژگی	شبکه عصبی	۸۰۰۰۰	۹۹٫۳۳
۱۲	نحوی و همکاران ۲۰۰۸	PCA و ترکیب ده طبقه‌بندی کننده دوکلاسی	شبکه عصبی	۸۶۰۰	۹۶٫۳
۱۵	حریفی و همکاران	الگوی قطعه‌بندی غیر متقارن پیشنهادی و shadow coding	شبکه عصبی	–	۹۷٫۶
۱۷	ابراهیم‌پور و شریفی‌زاده ۲۰۰۹	PCA	شبکه عصبی و ادغام طبقه‌بندی کننده‌ها با روش‌های هوشیار به کلاس و بی‌تفاوت به کلاس	۸۶۰۰	۹۱٫۹۸

٦- نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای ادامه کار

در این مقاله فقط از ویژگی‌های ناحیه‌بندی به‌دلیل کمتربودن پیچیدگی محاسباتی استفاده شده است.

از آنجایی که همیشه تمام ویژگی‌های استخراجی مفید نمی‌باشند، در این مقاله برای کم‌کردن ابعاد مسأله (یعنی تعداد ویژگی‌ها) از الگوریتم BGSA استفاده شد و برای نشان‌دادن عملکرد مناسب این الگوریتم، این مسأله به دو روش الگوریتم ژنتیک باینری و الگوریتم BPSO نیز حل شد. همان‌طور که در جدول ۱ آمده است، الگوریتم BGSA نسبت به دو الگوریتم دیگر بعد از تکرارهای بیشتری به همگرایی می‌رسد. بنابراین سرعت همگرایی آن کم است، اما همیشه یک مصالحه بین مرحله آموزش و تست وجود دارد. یعنی اگر می‌خواهیم سرعت تصمیم‌گیری بالا و هزینه‌های محاسباتی پایین در مرحله کاربرد داشته باشیم، باید هزینه بیشتری برای انتخاب مناسب الگوها و ویژگی‌ها صرف کنیم. هرچه برای آموزش هزینه بیشتری را متحمل شویم، در مرحله آزمایش این هزینه جبران خواهد شد.

اکثر روش‌هایی که تا به حال برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی استفاده و در مقالات مختلف با هم مقایسه شدند بر روی پایگاه داده‌های متفاوتی بودند، از این رو مقایسه آنها خیلی مطمئن نبود زیرا کیفیت داده‌ها در مقالات مختلف با هم متفاوت بوده است. در این مقاله از پایگاه داده هدی [۸] که نسبت به پایگاه داده‌های دیگر هم به لحاظ حجم داده‌ها و هم به لحاظ تنوع داده‌ها، پایگاه داده بهتری است، استفاده شد. همچنین نتایج بازشناسی بدون هیچ‌گونه عملیات پیش‌پردازشی و پس‌پردازشی است، از این رو نرخ بازشناسی به‌دست آمده نرخ خوبی می‌باشد.

اگرچه الگوریتم BGSA نسبت به دو الگوریتم دیگر نتایج بهتری می‌دهد اما همان‌طور که در جدول ۱ ملاحظه می‌کنید، نتایج بازشناسی توسط سه الگوریتم مذکور تفاوت چندانی با هم ندارد. این موضوع می‌تواند به این علت باشد که سیستم فازی مورد استفاده در این مقاله یک سیستم ساده و دارای تعداد قواعد کمی است و نسبت به طبقه‌بندهایی مانند شبکه عصبی نرخ بازشناسی کمتری دارد. با استفاده از خوشه‌بندی برای داده‌های هر کلاس و نوشتن تعداد قواعد بیشتر می‌توان نرخ بازشناسی طبقه‌بند فازی را افزایش داد. طبیعی است که اگر نرخ بازشناسی طبقه‌بند فازی بهبود یابد، با انتخاب ویژگی‌های بهینه نیز نرخ بازشناسی بالاتری به‌دست می‌آید و مقایسه کارایی الگوریتم‌های فوق نتایج دقیق‌تری خواهد داشت. بنابراین هدف این مقاله تنها نشان‌دادن افزایش نرخ بازشناسی پس از انتخاب ویژگی با الگوریتم‌های مبتنی بر جمعیت بود که حاصل شد.

ترکیب طبقه‌بندها یک بحث نسبتاً جدید و جذاب در مسایل بازشناسی الگو است. استفاده از ترکیب طبقه‌بندها به‌منظور افزایش نرخ بازشناسی یکی از پیشنهادهایی است که برای ادامه کار می‌شود. در ترکیب طبقه‌بندها از ویژگی‌های بیشتری استفاده می‌شود. انتخاب این ویژگی‌ها باید به‌گونه‌ای باشد که نسبتاً مستقل از هم باشند و با ترکیب مناسب آنها بتوان نرخ بازشناسی را افزایش داد. پیشنهاد دیگری که در بالا نیز به آن اشاره داشتیم بهبود طبقه‌بند فازی به‌کار رفته می‌باشد. در جدول ۶ مروری بر نتایج روش‌های مختلفی که در زمینه بازشناسی ارقام انجام شده است، داریم.

مراجع

[۱] ح. ر. نفیسی و ا. ا. کبیر، "شناسایی ارقام دست‌نویس فارسی،" *دومین کنفرانس مهندسی برق ایران*، جلد ۵، صص. ۲۹۵–۳۰۴، اردیبهشت ۱۳۷۳.

[۲] و. جوهری مجد و س. م. رضوی، "بازشناسی فازی ارقام دست‌نویس فارسی،" *اولین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران*، جلد ۱، صص. ۱۴۴–۱۵۱، اسفند ۱۳۷۹.

[۳] ع. ر. درویش، ا. ا. کبیر و ح. خسروی، "کاربرد تطابق شکل در بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی،" *فنی و مهندسی مدرس*، شماره ۲۲، صص. ۳۷–۴۸، زمستان ۱۳۸۴.

[۴] ح. خسروی و ا. ا. کبیر، بازشناسی حروف و ارقام دست‌نویس فارسی در فرم‌های ثبت نام آزمون سراسری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، ۱۳۸۵.

Archive of SID

www.SID.ir

[۵] م. نحوی، م. رفیعی، ر. ابراهیم‌پور و ا. ا. کبیر، "ترکیب طبقه‌بندهای دوکلاسی برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی،" *شانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران*، صص. ۲۰۳-۲۰۷، اردیبهشت ۱۳۸۷.

[6] J. E. Smith, T. C. Fogarty, and I. R. Johnson, "Genetic selection of feature for clustering and classification," in *Proc. of the IEE Colloquium on Genetic Algorithms in Image Processing and Vision,* 1994.

[7] Y. Qi, J. Tian, and R. W. Dai, "Fingerprint classification system with feedback mechanism based on genetic algorithm," *in Proc. Int. Conf. Pattern Recognition,* vol. 1, Aug. 1998.

[8] R. Khosravi and E. Kabir, "Introducing a very large dataset of handwritten Farsi digits and a study on their varienties," *Pattern Recognition Letters 28*, vol. 28, no. 10, pp. 1133-1141, 2007.

[۹] س. م. رضوی، ه. صدوقی یزدی و ا. ا. کبیر، "انتخاب ویژگی برای بازشناسی ارقام دست‌نویس فارسی به کمک الگوریتم‌های وراثتی،" *هفتمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران*، صص. ۲۸۵-۲۹۲، اسفند ۱۳۸۰.

[۱۰] ع. راشدی، ح. نظام آبادی پور و س. سریزدی، "الگوریتم جستجوی گرانشی باینری،" *اولین کنگره مشترک سیستم‌های فازی و هوشمند*، مشهد، شهریور ۱۳۸۶.

[۱۱] ع. راشدی، ح. نظام آبادی پور و ح. توحیدی، "انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم جستجوی گرانشی،" *سومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش*، آذر ۱۳۸۶.

[۱۲] ح. توحیدی، ح. نظام آبادی پور و س. سریزدی، "انتخاب ویژگی با استفاده از الگوریتم جمعیت مورچگان باینری،" اولین کنفرانس سیستم‌های فازی و هوشمند، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۴.

[13] E. Rashedi, H. Nezamabadi Pour, and S. Saryazdi, "GSA: a gravitational search algorithm," *Information Sciences*, vol. 179, no. 13, pp. 2232-2248, 2009.

[14] J. Kennedy and R. C. Eberhart, "A discrete binary version of the particle swarm algorithm," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Computational Cybernetics and Simulation*, vol. 5, pp. 4104-4108, 12-15 Oct. 1997.

[۱۵] م. رستمی شهر بابکی و ح. نظام آبادی پور، "روش جدیدی برای الگوریتم PSO باینری،" *چهاردهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر*، تهران، اردیبهشت ۱۳۸۶.

نجمه قنبری در سال ۱۳۸۵ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق- الکترونیک از دانشگاه سیستان و بلوچستان اخذ نمود و در سال ۱۳۸۹ در مقطع کارشناسی ارشد در دانشگاه بیرجند دانش آموخته شد. وی از سال ۱۳۸۹ به عنوان مدرس در دانشکده مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی در زاهدان مشغول به فعالیت می‌باشد. همچنین ایشان عضو باشگاه پژوهشگران جوان دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی عبارتند از: بازشناسی الگو، بهینه‌سازی، شبکه‌های عصبی.

سیدمحمد رضوی در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق- الکترونیک دانشگاه صنعتی امیر کبیر (واحد تفرش) اخذ نمود و درسالهای ۱۳۷۵ و ۱۳۸۵در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری در دانشگاه تربیت مدرس دانش آموخته شد. وی از سال ۱۳۷۶ بعنوان عضو هیأت‌علمی گروه مهندسی الکترونیک و مخابرات دانشگاه بیرجند مشغول به فعالیتهای آموزشی و پژوهشی است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی بازشناسی الگو، پردازش تصویر و سیستم‌های هوشمند است.

سید حسن نبوی کریزی در مهر ماه ۱۳۶۸ پس از اتمام تحصیلات متوسطه وارد دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد شد و در آذر سال ۱۳۷۳ با اخذ مدرک کارشناسی در مهندسی الکترونیک از این دانشگاه فارغ التحصیل گردید. وی در مهر ماه سال ۱۳۷۴ دوره کارشناسی ارشد خود را در دانشکده مهندسی دانشگاه تربیت مدرس آغاز کرد و درشهریور ۱۳۷۷ این دوره را به اتمام رسانید. او مدت ۳ سال به عنوان مدرس آموزشکده فنی مشهد مشغول به تدریس بود. وی از مهر ماه سال ۱۳۸۱ دوره دکتری مهندسی الکترونیک را در دانشگاه تربیت مدرس آغاز کرد و در شهریور ۱۳۸۵ از رساله خود دفاع کرد. او اکنون به عنوان مدرس آموزشکده فنی مشهد مشغول به تدریس است. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه وی عبارتند از: ترکیب طبقه‌بندها، بازشناسی الگو، پردازش تصویر.

Archive of SID

www.SID.ir