

بهبود بازشناسی ارقام دستنویس به کمک ترکیب طبقه بندها با ANFIS

سید حسن نبوی کریزی^۱، هادی صدوقی^۲، احسان الله کبیر^۳، کارولوکس^۴
hnabavi@modares.ac.ir

چکیده

برای بهبود بازشناسی ارقام دستنویس می‌توان از ترکیب طبقه بندهایی که از ویژگیهای متفاوتی استفاده می‌کنند بهره گرفت. در این تحقیق از سه دسته ویژگی مکان‌های مشخصه، گشتاورهای زرنیکی و ویژگی‌های ناحیه ای استفاده شده است. این ویژگی‌ها به سه شبکه عصبی پرسپترون چهار لایه اعمال شده و بازشناسی اولیه ارقام صورت می‌گیرد. در مرحله بعد، نتایج بازشناسی این سه طبقه بند، به یک شبکه عصبی - فازی اعمال می‌شود و خروجی نهایی شناسایی را تشکیل می‌دهد. برای بررسی کارایی روش پیشنهادی، از ۱۴۳۵ نمونه ارقام دستنویس استفاده شده است. نرخ شناسایی شبکه‌های عصبی که از ویژگیهای مکان مشخصه، گشتاورهای زرنیکی و ویژگیهای ناحیه‌ای استفاده می‌کنند به ترتیب 89.7%، 76.6% و 89.98% و برای سیستم ترکیبی آنها 95% است.

واژه های کلیدی: بازشناسی ارقام - ترکیب طبقه بندها - شبکه عصبی فازی - ویژگیهای متفاوت

۱- مقدمه

تشخیص ارقام دستنویس کاربردهای زیادی نظیر خواندن مبلغ چک بانکی، خواندن کد پستی و خواندن فرمهای مختلف دارد [۱]. در شناسایی الگو ترکیب نتایج چندین طبقه بند مکمل یکدیگر، باعث بهبود کارایی طبقه‌بندی، افزایش نرخ شناسایی و افزایش قابلیت اعتماد سیستم تشخیص الگو می‌شود [۲]. ترکیب طبقه بندها از سه دیدگاه زیر مهم است. الف - در کاربردهای شناسایی الگو، هر یک از طبقه بندها تا حد خاصی قادر به شناسایی صحیح الگوها می‌باشد. نتایج این طبقه بندها را می‌توان به صورتی ادغام کرد که نرخ شناسایی کل سیستم بهبود پیدا کند [۳]. ب - کارایی سیستمهای تشخیص الگو می‌تواند با استخراج ویژگیهای متفاوتی از الگوهای مورد نظر بهبود پیدا کند [۴]. هر نوع ویژگی محاسن و معایبی دارد. با ترکیب نتایج طبقه بندهایی که از ویژگیهای متفاوتی استفاده می‌کنند می‌توان پایداری سیستم تشخیص الگو را در مقابل نویز افزایش داد و در نتیجه راندمان کلی سیستم را بالا برد [۵].

۱- دانشجوی دکتری الکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری الکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس

۳- دانشیار گروه الکترونیک، دانشگاه تربیت مدرس

۴- استاد گروه کنترل، دانشگاه تهران

پ- ترکیب نتایج طبقه بندها، این امکان را فراهم می‌آورد که بردارهای ویژگی با ابعاد بزرگ را به بردارهای کوچکتری تقسیم کنیم بردارهای ویژگی با ابعاد کوچک می‌توانند توسط طبقه بندهای کوچکتر و ساده تر به صورت همزمان پردازش شوند. پس از پردازش، با ترکیب نتایج این طبقه بندها می‌توان خروجی نهایی سیستم شناسایی را شکل داد.

ایده اصلی این مقاله ترکیب نتایج طبقه بندها از دیدگاه دوم بیان شده در فوق است. یعنی سه شبکه عصبی پرسپترون چهارلایه توسط سه دسته ویژگی مکانهای مشخصه، گشتاورهای زرنیکی و ویژگیهای ناحیه ای (Zoning Features) شناسایی اولیه ارقام را انجام می‌دهند. سپس نتایج این طبقه بندها توسط یک شبکه عصبی - فازی ترکیب شده و خروجی نهایی سیستم شناسایی ارقام را تشکیل می‌دهد.

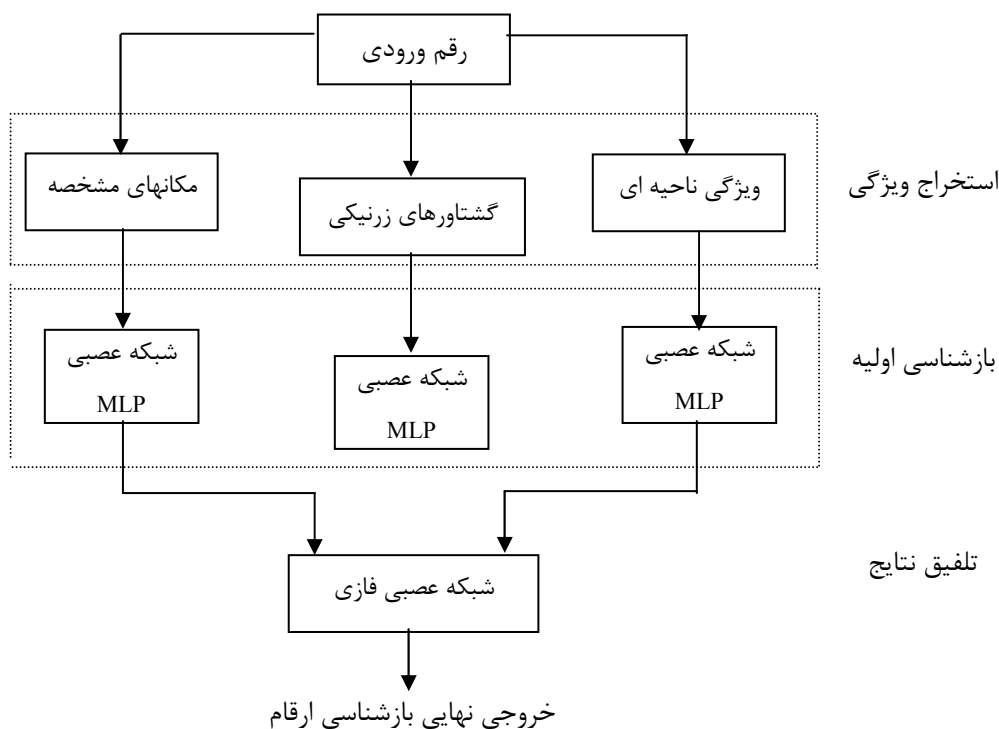
روش بازشناسی ارقام ارایه شده در این مقاله شامل سه مرحله ی زیر است.

۱- استخراج ویژگی ۲- طبقه‌بندی ۳- تلفیق نتایج طبقه بندها
 ساختار مقاله شامل بخشهای زیر است. در بخش ۲ ساختار کلی سیستم پیشنهادی مورد نظر بیان می‌شود. بخش ۳ به نحوه استخراج ویژگیها اختصاص دارد. بخش ۴ به بررسی ساختار شبکه‌های عصبی استفاده شده می‌پردازد. بخش ۵ روش تلفیق نتایج طبقه بندها را بیان می‌کند. بخش ۶ نتایج عملی شناسایی ارقام را بیان می‌کند و بخش پایانی به نتیجه گیری اختصاص دارد.

۲- ساختار کلی سیستم بازشناسی ارقام

ساختار کلی سیستم بازشناسی ارقام در شکل ۱ آمده است.

چنانکه شکل ۱ نشان می‌دهد این ساختار شامل سه مرحله است. مرحله اول شامل استخراج ویژگیهای مکان مشخصه، گشتاورهای زرنیکی و ویژگیهای ناحیه‌ای است. در مرحله دوم این ویژگیها به شبکه عصبی پرسپترون چهارلایه اعمال شده و بازشناسی اولیه ارقام صورت می‌گیرد. در مرحله سوم، نتایج شناسایی اولیه توسط شبکه عصبی - فازی ترکیب شده و بازشناسی نهایی صورت می‌گیرد.



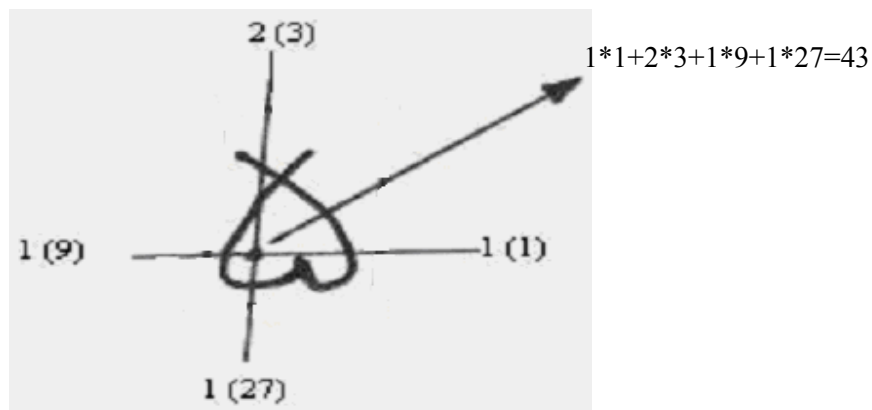
شکل ۱- ساختار کلی سیستم بازشناسی ارقام

۳- استخراج ویژگی

برای شناسایی حروف و ارقام روشهای متعددی پیشنهاد شده است. انتخاب روش استخراج ویژگی به عنوان مهمترین فاکتور در کارایی سیستم شناسایی الگو مطرح است [۴]. برای شناسایی حروف و ارقام ویژگیهای ویژگیهای ناحیه ای [۶]، گشتاورهای هندسی [۴] (Geometric Moments)، گشتاورهای زرنیکی (Zernike Moments) [۷]، توصیفگرهای فوریه [۸]، ثابتهای گشتاوری (Invariant Moments) [۹]، هیستوگرام نما و توصیف گراف پیشنهاد شده اند. انتخاب نوع ویژگی به کاربرد وابسته است. معمولا با یک ارزیابی تجربی از داده های مورد نظر، ویژگیهای مناسب تر مشخص می شوند [۴]. در این تحقیق ویژگیهای مکان مشخصه، گشتاورهای زرنیکی و ویژگیهای ناحیه ای به عنوان ویژگیهای مناسب انتخاب شده اند.

۳-۱- ویژگی مکان مشخصه

استفاده از ویژگی مکان مشخصه در شناسایی حروف نتایج خوبی را به همراه داشته است [۱۰]. ویژگیهای مکان مشخصه معمولا در راستاهای عمودی، افقی و یا زوایای ۴۵ و ۱۳۵ درجه تعریف می شوند. بردار ویژگی مکانهای مشخصه برای هر تصویر به این صورت محاسبه می شود که به هر نقطه از زمینه تصویر، یک عدد نسبت می دهیم که این عدد با توجه به اینکه خطوط عمودی و افقی رسم شده از آن نقطه در جهت های چهار گانه بالا، پایین، راست و چپ بدنه رقم را در چند نقطه قطع می کنند، محاسبه می شود. اگر تعداد تقاطع ها با بدنه رقم را به ۲ محدود کنیم، می توان از یک عدد چهار رقمی در مبنای ۳ برای نمایش نقاط مختلف نواحی زمینه استفاده کرد (شکل ۲). بردار ویژگی مکانهای مشخصه در این حالت دارای ۸۱ مولفه است که هر کدام فراوانی نسبی عدد مربوط به خود را در تصویر ورودی نشان می دهند [۱۱]. برای آنکه عناصر بردار ویژگی مقادیری بین صفر تا یک داشته باشند، مقادیر بردار ویژگی بر تعداد نقاط سفید زمینه تقسیم می شوند.



شکل ۲- نحوه محاسبه ویژگی مکانهای مشخصه

۳-۲- گشتاورهای زرنیکی

گشتاورهای هندسی، ثابتهای گشتاوری و گشتاورهای زرنیکی همگی در شناسایی حروف و ارقام استفاده شده اند. در بین این گشتاورها، گشتاورهای زرنیکی بهتر از بقیه هستند. علت این برتری، عمودبودن توابع پایه این گشتاورها بر یکدیگر است. چون توابع پایه این گشتاورها یک فضای کامل متعامد را تشکیل می دهند گشتاورهای حاصله نسبت به بقیه گشتاورها حاوی

اطلاعات بیشتری بوده و افزونگی اطلاعات (Information Redundancy) ندارند. علاوه بر این، گشتاورهای زرنیکی، حساسیت کمتری به نویز داشته و دوباره سازی تصویر با آنها به سادگی صورت می گیرد [۹].

گشتاورهای زرنیکی، تصویر یک تابع دوبعدی به چند جمله ایهای مختلط عمودبرهم (Complex Orthogonal Polynomials) هستند. این چندجمله ایها داخل دایره واحد ($r^2 = x^2 + y^2 \leq 1$) تعریف می شوند و یک مجموعه کامل متعامد را تشکیل می دهند. مجموعه این چندجمله ایها با $\{V_{pq}(r, \theta)\}$ نشان داده شده و به صورت زیر تعریف می شوند.

$$V_{pq}(r, \theta) = R_{pq}(r)e^{jq\theta} \quad r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad \theta = \text{tg}^{-1}\left(\frac{y}{x}\right), \quad |r| \leq 1$$

$$R_{pq}(r) = \sum_{k=0}^{\frac{p-|q|}{2}} (-1)^k \cdot \frac{(p-k)!}{k! \left[\frac{p+|q|}{2} - k \right]! \left[\frac{p-|q|}{2} - k \right]!} \cdot r^{p-2k}$$

در روابط فوق p, q به ترتیب مرتبه (Order) و تکرار (Repetition) نامیده می شوند. P عددی صحیح و بزرگتر یا مساوی صفر است. q عددی صحیح (مثبت یا منفی) با شرایط $|q| \leq p$ و زوج $p - |q|$ است. چون در روابط فوق $|r| \leq 1$ است برای محاسبه گشتاورهای زرنیکی ابتدا کوچکترین دایره ای که می توان تصویر رقم دستنویس را در آن قرار داد پیدا کرده، مرکز این دایره را مبدا مختصات و شعاع آن را برابر واحد می گیریم. در مورد تصویر گسسته $f(x, y)$ داریم:

$$Z_{pq} = \frac{p+1}{\pi} \sum_x \sum_y f(x, y) \cdot V_{pq}^*(x, y) \quad x^2 + y^2 \leq 1$$

گشتاورهای زرنیکی را به کمک گشتاورهای هندسی و گشتاورهای شعاعی نیز می توان بدست آورد [۷].

گشتاورهای زرنیکی در حالت کلی مختلط هستند. گشتاورهای زرنیکی در مقالات مختلف به صورتهای متفاوتی استفاده شده اند. ختن زاد و هانگ دامنه گشتاورهای زرنیکی را به عنوان ویژگی در نظر گرفته اند. شیرعلی و ختن زاد در مرجع [۷] بخشهای حقیقی و موهومی را به عنوان دو ویژگی مستقل استفاده کرده اند. در این مقاله، اندازه این گشتاورها به عنوان ویژگی در نظر گرفته شده است. ۲۵ نوع گشتاور زرنیکی برای هر کدام از ارقام دستنویس استخراج می شود. گشتاورهای زرنیکی استفاده شده در جدول شماره یک آمده است.

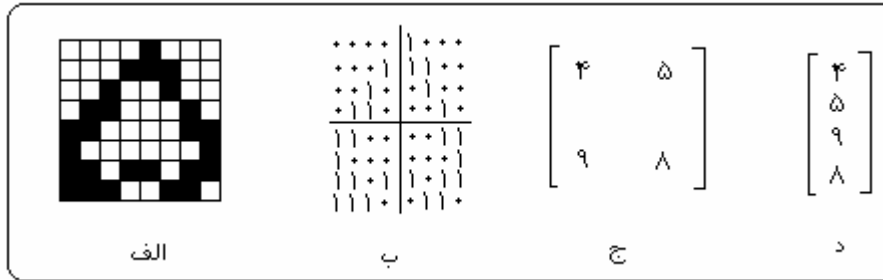
جدول ۱- گشتاورهای زرنیکی استفاده شده

n	Z _{pq}	No. of Moments
0	Z ₀₀	1
1	Z ₁₁	1
1	Z ₂₀ , Z ₂₂	2
3	Z ₃₁ , Z ₃₃	2
4	Z ₄₀ , Z ₄₂ , Z ₄₄	3
5	Z ₅₁ , Z ₅₃ , Z ₅₅	3
6	Z ₆₀ , Z ₆₂ , Z ₆₄ , Z ₆₆	4
7	Z ₇₁ , Z ₇₃ , Z ₇₅ , Z ₇₇	4
8	Z ₈₀ , Z ₈₂ , Z ₈₄ , Z ₈₆ , Z ₈₈	5

۳-۳- ویژگیهای ناحیه ای

ویژگیهای ناحیه ای در شناسایی حروف و ارقام استفاده شده اند [۶]. در این روش ابتدا تصویر (تصویر اسکن شده ارقام دستنویس فارسی) نرمالیزه شده و سپس به پنجره هایی تقسیم می شود. تعداد نقاط سیاه موجود در هر پنجره به عنوان ویژگی آن پنجره در نظر گرفته می شود. به عنوان مثال اگر تصویر به ابعاد 64×64 نرمالیزه شده باشد و از پنجره های 8×8

استفاده شود تصویر به 64×8 قسمت تقسیم خواهد شد و 64 ویژگی خواهیم داشت که مقدار این ویژگیها می تواند از صفر تا 64 تغییر کند. بنابراین برای هر نمونه از ارقام دستنویس یک بردار ویژگی با 64 مؤلفه استخراج می شود. این بردار ویژگی به عنوان ورودی طبقه بند شبکه عصبی مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۳ روش استخراج ویژگی ناحیه ای برای یک تصویر 8×8 که به پنجره های 4×4 تقسیم شده است را نشان می دهد. در بخش الف تصویر اصلی رقم ۵، در بخش ب تصویر نرمالیزه شده با اندازه 8×8 و در بخش ج ماتریس تصویر نرمالیزه شده دیده می شود. در این ماتریس عدد یک نماینده نقطه سفید و عدد صفر نماینده نقطه سیاه در تصویر است. بخش د شکل ۳ ماتریس ویژگی را نشان می دهد که هر عضو آن نماینده تعداد نقاط سیاه موجود در یک پنجره 4×4 یا تعداد صفرهای متناظر نقاط سیاه تصویر در ماتریس بخش ج می باشد.



شکل ۳- نحوه محاسبه ویژگی های ناحیه ای

۴- بازشناسی اولیه

شبکه های عصبی به خاطر اینکه به سادگی می توانند الگوهای تازه را یادگیری کنند برای مسایل تشخیص الگو مناسب هستند و لذا در کاربردهای زیادی از تشخیص الگو به عنوان طبقه بندی کننده به کار گرفته شده اند [۶]. نتایج مقایسه عملکرد شبکه های عصبی با بسیاری از طبقه بندی کننده های متداول نشان داده است که بازدهی شبکه های عصبی در بسیاری از موارد بهتر و در سایر موارد مانند دیگر طبقه بندی کننده ها می باشد [۱۲].

در این مقاله از یک شبکه عصبی پرسپترون جلوسو با روش آموزش پس انتشار خطا استفاده شده است. خروجی هر نرون در این شبکه، تابعی غیر خطی از مجموع ورودیهای آن است. این تابع غیر خطی، تابع مشتق پذیر سیگموئید انتخاب شده است. بازشناسی اولیه توسط سه شبکه عصبی پرسپترون صورت می گیرد. هر شبکه عصبی یک لایه ورودی، دو لایه پنهان و یک لایه خروجی دارد. تعداد نرونهای لایه ورودی مساوی بعد بردار ویژگی، n ، به علاوه یک نرون بایاس است. تعداد نرونهای لایه های مخفی اول و دوم (با سعی و خطا) به ترتیب ۷ و ۶ و تعداد نرونهای لایه خروجی ده عدد، به تعداد کلاسها، انتخاب شده است. در شبکه عصبی اول که از ویژگی مکان مشخصه استفاده می کند $n = 81$ ، در شبکه عصبی دوم با ویژگی گشتاورهای زرنیکی $n = 25$ و در شبکه عصبی سوم با ویژگی ناحیه ای $n = 64$ می باشد. برای بازشناسی اولیه یک رقم، بردار ویژگی مورد نظر استخراج شده و به شبکه عصبی مربوطه اعمال می شود. خروجی های این سه شبکه عصبی توسط شبکه عصبی - فازی با یکدیگر ادغام شده و خروجی نهایی سیستم شناسایی ارقام را تشکیل می دهد.

۵- تلفیق نتایج طبقه بندها (Classifier Fusion)

به منظور بهبود نتایج طبقه بندی در شناسایی الگو، روشهای متعددی برای ترکیب نتایج طبقه بندها پیشنهاد شده است. از جمله این روشها استفاده از شبکه عصبی کوهنن در مرجع [۱۳] و انتگرال فازی در مرجع [۱۴] را می توان نام برد. مدل کردن سیستم ها با ابزار ریاضی در مورد سیستمهای نامعین و بدتعریف (ill-defined) مناسب نیست. ولی استفاده از مدل های استنتاج فازی که از قواعد اگر- آنگاه در مدل کردن چنین سیستمهایی استفاده می کنند کارایی خوبی نشان داده است. به منظور ایجاد سیستمهای فازی مشکلاتی وجود دارد که از آن جمله می توان [۱۵]:

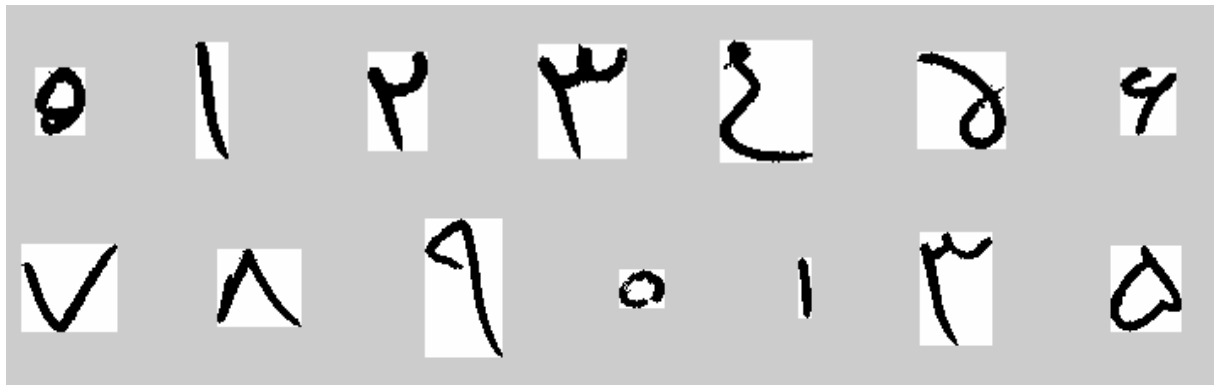
۱- نبودن روش استاندارد برای تبدیل دانش انسانی یا آزمایشات به قواعد فازی

۲- نبودن روشهای موثر و مناسب برای تنظیم پارامترهای توابع عضویت فازی

را نام برد. در این مقاله از شبکه عصبی - فازی (ANFIS (Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference system) ، برای ترکیب نتایج سه طبقه بند مستقل استفاده شده است. ANFIS ، برای تعیین پارامترهای توابع عضویت از یک الگوریتم یادگیری مختلط (Hybrid Learning Algorithm) استفاده می‌کند. این شبکه به منظور برآزش یک مدل بر داده‌های ورودی - خروجی از توابع عضویت فازی استفاده می‌کند. شبکه عصبی - فازی ترکیبی از روشهای حداقل نمودن مربعات خطا و گرادینان نزولی را برای یادگیری پارامترهای تابع عضویت سیستم استنباط فازی به کار می‌گیرد [۷]. شبکه عصبی - فازی استفاده شده ابتدا با استفاده از بردار سی بعدی ورودی (سه بردار ده بعدی طبقه‌بندهای مرحله قبل) و بردار ده بعدی خروجی، یکسری قواعد فازی برای سیستم استنتاج فازی خود استخراج می‌کند و سپس پارامترهای سیستم استنتاج فازی خود را، در مراحل بعد تنظیم می‌کند. این تنظیم در هر مرحله بر اساس مربع خطای بین خروجی سیستم استنتاج فازی و داده‌های آموزشی صورت می‌گیرد.

۶- نتایج تجربی (Experimental Results)

دیتابیس ارقام استفاده شده شامل ۱۴۳۵ نمونه از ارقام دست نویس است که توسط افرادی با تحصیلات متفاوت نوشته شده است. هفتاد و پنج درصد این نمونه‌ها جهت آموزش شبکه و بیست و پنج درصد دیگر جهت آزمایش (تست) شبکه استفاده شده است. شکل ۴ تعدادی از این ارقام را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تعدادی از ارقام دیتا بیس استفاده شده

در مرحله استخراج ویژگی از نمونه‌های دیتابیس سه نوع ویژگی (مکان‌های مشخصه، گشتاورهای زرنیکی و ویژگی‌های ناحیه‌ای) استخراج شده و این بردارهای ویژگی به عنوان ورودی شبکه‌های عصبی (طبقه‌بندها) استفاده شده است. جداول شماره ۳، ۲ و ۴ ماتریس کارایی (Performance Matrix or Confusion Matrix) هر کدام از شبکه‌های عصبی و جدول ۵ ماتریس کارایی کل سیستم را (بر روی ۳۵۹ نمونه تست) در ضمیمه ۱ نشان می‌دهند. با بررسی ماتریس کارایی هر کدام از شبکه‌های عصبی و شبکه عصبی فازی ANFIS نتایج زیر حاصل می‌شود.

- شبکه عصبی با ویژگی مکان مشخصه دارای نرخ شناسایی 89.7% است.
- شبکه عصبی با ویژگی گشتاورهای زرنیکی دارای نرخ شناسایی 76.6% است.
- شبکه عصبی با ویژگی ناحیه‌ای دارای نرخ شناسایی 89.98% است.
- شبکه عصبی فازی (خروجی نهایی سیستم شناسایی ارقام) دارای نرخ شناسایی 95% است.

یکی از دلایل پایین بودن نرخ شناسایی شبکه عصبی با ویژگی گشتاورهای زرنیکی کم بودن تعداد گشتاورهای انتخاب شده است. در مرجع [۷] تعداد گشتاورهای انتخاب شده جهت شناسایی ارقام ۴۶ عدد در نظر گرفته شده است. با افزایش تعداد

گشتاورها به ۴۰ عدد، نرخ شناسایی صحیح حدود ۸۷٪ توسط همین شبکه قابل دستیابی است. دلیل دیگر برای پایین بودن نرخ شناسایی این است که چون ویژگی گشتاور زرنیکی به چرخش حساس نمی باشد لذا در شناخت صحیح برخی نمونه های ۷ با ۸ و ۸ یا ۸ با ۷ اشتباه می کند.

۷- نتیجه گیری (Conclusion)

با تلفیق نتایج طبقه‌بندهای مختلف می‌توان علاوه بر افزایش نرخ بازشناسی کل سیستم، پایداری سیستم تشخیص الگو را در مقابل نویز افزایش داد. نرخ بازشناسی درست روی نمونه‌های تست برابر ۹۵٪ می‌باشد. بخشی از خطاهایی که وجود دارد مربوط به وجود نمونه‌هایی با دقت تصویر برداری کم و بخشی دیگر مربوط به نامناسب بودن نمونه‌های نوشته شده است بطوریکه حتی برای انسان نیز تشخیص صحیح برخی از آنها امکان پذیر نمی باشد. با کنار گذاشتن این نمونه‌ها می‌توان نرخ شناسایی درست را به حدود ۹۸.۶٪ رساند. البته باید توجه داشت که تلفیق نتایج خروجی چند طبقه‌بند زمانی نتایج خوبی را حاصل می کند که طبقه‌بندها دارای نرخ خطای کمی باشند و علاوه بر آن خطاهای آنها با یکدیگر متفاوت باشد یعنی الگوهایی که توسط یک طبقه‌بند بدرستی طبقه‌بندی نشده‌اند توسط طبقه‌بند دیگری به صورت صحیح طبقه بندی شوند. با ملاحظه ماتریس کارایی این سه طبقه بند، می توان دریافت که این نکته تا حدود زیادی رعایت شده است.

مراجع

- [1] S. Impedovo, P. Wang, and H. Bunke, editors, "Automatic Bankcheck Processing," World Scientific Publ. Co, Singapore, 1997.
- [2] Nadal, C., R. Legault and C.Y. Suen, "Complementary Algorithms for Recognition of totally Unconstrained Handwritten Numerals," Proc. 10th Int. Conf. Pattern Recognition, Vol. A, pp. 434-449, 1990.
- [3] Xu, L., Adam Krzyzak and Ching Y. Suen, "Methods of Combining Multiple Classifier and their Applications to Handwriting Recognition," IEEE Trans. SMC, Vol. 22, No. 3, pp. 418-435, , 1992.
- [4] Ivind Due Trier, Anil K. Jain, "Feature extraction Methods for Character Recognition- A Survey," Pattern Recognition, Vol. 29, No. 4, pp. 641-662, 1996.
- [5] Luis O. Jimenez, Anibal Morales-Morell, "Classification of Hyperdimensional Data Based on Feature and Decision Fusion Approachs Using Projection Pursuit, Majority Voting, and Neural Networks," IEEE Trans. On Geoscience and Remote Sensing, Vol. 37, No. 3, May 1999.
- [6] H. Takahashi, "A Neural Net OCR using geometrical and zonal patter features," in proceedings of the first International Conference on Document Analysis and Recognition, pp. 821-828, 1991.
- [۷] شیرعلی شهرضا- محمد حسن، ختن زاد- علیرضا، "تشخیص اعداد چاپی مستقل از اندازه و جابجایی با استفاده ه از گشتاورهای زرنیکی و به کمک شبکه‌های عصبی"، دومین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۲۴ الی ۳۰ اردیبهشت ۱۳۷۳، جلد ۵، صفحات ۴۱۷ الی ۴۲۴.
- [۸] عزمی - رضا، کبیر- احسان الله، بدیع - کامبیز، "بازشناسی حروف چاپی با استفاده از ویژگیهای منحنی پیرامونی"، نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران، مجلد ۱، شماره ۱، بهار ۱۳۸۲، صفحات ۲۹ الی ۳۷.
- [9] Y. Li. , "Reforming the theory of invariant moments for Pattern recognition ," Pattern Recognition Letters, Vol. 25, pp. 723-730, July 1992.
- [10] H.A. Glucksman, " Multicategory of Patterns Represented by High-Order Vectors of Multilevel Measurement, " IEEE Transaction Computer, pp. 1593-1598, Dec. 1971.
- [۱۱] کبیر- احسان الله، بهاری- کوروش، احمدزاده- محمدرضا، "بازشناسی متون تایپ شده فارسی"، اولین کنفرانس مهندسی برق ایران، اردیبهشت ۱۳۷۲، جلد دوم، صفحات ۲۸۵ الی ۲۹۴.

[۱۲] حدادنیا- جواد، "شناسایی چهره"، دانشکده برق، دانشگاه پلی تکنیک، رساله دکتری، ۱۳۸۲

[13] Y. H. Wang, S. D. Ma and T. N. Tan, "Combination of Multiple Classifiers with Neural Networks," Proc. IFAC 19th International Conference Automatic Control, Beijing, China, 1999.

[14] S.B. Cho and J.H. Kim, "Combining Multiple Neural Networks by Fuzzy Integral for Robust Classification," IEEE Transaction Systems, Man and Cybernetics, Vol. 25, No. 2, pp. 380-384, 1995.

[15] J-S. Roger Jang, "ANFIS: Adaptive-Network-Based Fuzzy Inference system," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 23, NO. 3, May/June 1993.

ضمیمه الف - ماتریس‌های کارایی سیستم بازشناسی ارقام

جدول ۲- ماتریس کارایی شبکه عصبی با ویژگی مکان مشخصه

ورودی کلاس	0	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعداد خطا	درصد خطا
0	24	2	0	1	0	4	0	0	0	0	7	22.5
۱	1	30	0	0	2	0	0	3	0	1	7	18.9
۲	0	0	28	2	0	0	0	2	0	0	4	12.5
۳	0	0	1	38	2	0	0	0	0	0	3	7.3
۴	0	0	1	1	27	0	0	0	0	2	4	12.9
۵	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0
۶	0	6	0	3	1	0	22	0	1	0	11	33.3
۷	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0
۸	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0
۹	0	1	0	0	0	0	0	0	0	37	1	2.6

جدول ۳- ماتریس کارایی شبکه عصبی با ویژگی ناحیه ای

ورودی کلاس	0	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعداد خطا	درصد خطا
0	27	2	1	0	0	1	0	0	0	0	4	12.9
۱	4	31	0	0	0	0	0	0	2	0	6	16.2
۲	0	2	28	1	0	0	0	1	0	0	4	12.5
۳	0	0	2	38	0	0	1	0	0	0	3	7.3
۴	0	0	0	1	27	0	0	1	0	2	4	12.9
۵	2	0	0	0	0	39	2	0	0	0	4	9.3
۶	0	0	1	0	1	0	26	0	4	1	7	21.2
۷	0	0	0	0	0	0	2	37	0	0	2	5.1
۸	0	0	0	0	0	0	0	1	33	0	1	2.9
۹	0	1	0	0	0	0	0	0	0	37	1	2.6

جدول ۴- ماتریس کارایی شبکه عصبی با ویژگی گشتاورهای زرنیکی

ورودی	0	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعداد خطا	درصد خطا
کلاس	0	26	3	0	1	1	0	0	0	0	5	16.1
۱	1	33	0	0	0	0	2	1	0	0	4	10.8
۲	0	0	23	2	2	0	0	2	3	0	9	28.1
۳	0	0	2	32	1	0	3	1	0	2	9	21.9
۴	0	0	1	2	21	0	4	0	2	1	10	32.2
۵	3	0	0	0	2	32	0	1	0	5	11	25.6
۶	0	1	3	0	4	1	22	1	0	1	11	33.3
۷	0	0	1	1	2	0	0	27	6	2	12	30.7
۸	0	0	0	0	1	0	0	7	26	0	8	23.5
۹	1	0	1	0	0	2	0	0	1	33	5	13.1

جدول ۵- ماتریس کارایی شبکه عصبی فازی (تلفیق کننده نتایج طبقه‌بندها)

ورودی	0	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	تعداد خطا	درصد خطا
کلاس	0	27	1	0	1	0	2	0	0	0	4	12.9
۱	1	33	0	0	1	0	0	1	0	1	4	10.8
۲	0	0	30	2	0	0	0	0	0	0	2	6.2
۳	0	0	1	40	0	0	0	0	0	0	1	2.4
۴	0	0	1	1	29	0	0	0	0	0	2	6.4
۵	0	0	0	0	0	43	0	0	0	0	0	0
۶	0	3	0	0	1	0	28	0	1	0	5	15.6
۷	0	0	0	0	0	0	0	39	0	0	0	0
۸	0	0	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0
۹	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37	0	0

