



طبقه بندی تصاویر اثر انگشت با شبکه های عصبی

حسین پورقاسم و حسن قاسمیان

تهران- دانشگاه تربیت مدرس، بخش مهندسی برق و کامپیوتر، ص پ ۱۱۱-۱۴۱۱۵

ghassemi@modares.ac.ir

است. از دیگر محاسن این الگوریتم می توان به غیر حساس بودن آن نسبت به انتقال تصاویر ورودی اشاره کرد.
کلمات کلیدی: اثر انگشت، طبقه بندی، شبکه عصبی، استخراج ویژگی.

۱- مقدمه

با توجه به کاربردهای شناسایی و تشخیص هویت افراد محققین بسیاری به دنبال روشهایی با دقت بالا و کم هزینه جهت رسیدن به این هدف بوده اند. در این میان اثر انگشت به علت دارا بودن ویژگیهایی همچون تغییر ناپذیری، منحصر بفرد بودن، قابلیت طبقه بندی و غیر تهاجمی بودن، جایگاه ویژه ای دارد. در یک سیستم خودکار شناسایی افراد که بر اساس اثر انگشت کار می کند، لازم است که تصویر اثر انگشت ورودی با تک تک تصاویر موجود در مجموعه تصاویر تطابق داده شود. با توجه به اینکه معمولاً تعداد این تصاویر خیلی زیاد است زمان جستجو و شناسایی تصویر ورودی به طور قابل ملاحظه ای بالا می رود. در این راستا برای کاهش زمان جستجو، طبقه بندی تصاویر اثر انگشت در کلاسهای مختلف ضروری به نظر می رسد. واضح است که هر چه تصاویر در کلاسهای بیشتری طبقه بندی گردند، زمان جستجو و تطابق به مراتب کاهش می یابد.

چکیده: اثر انگشت یکی از مهمترین معیارهایی است که برای شناسایی و تأیید هویت افراد بکار می رود. در سالهای اخیر با افزایش تعداد افراد جوامع و گسترش بانکهای اطلاعاتی مربوط به اثر انگشت، خودکارسازی عمل شناسایی غیر قابل اجتناب گردیده است. در این راستا طبقه بندی یک مجموعه بزرگ از تصاویر اثر انگشت به چند زیرکلاس، زمان جستجو و شناسایی یک تصویر ناشناخته در آن مجموعه را کاهش می دهد. تصاویر در ۶ کلاس حلقه ای راست، حلقه ای چپ، حلقه ای دوقلو، کمانی، کمانی خیمه ای و گردابی ساده طبقه بندی می شوند. در این تحقیق با استفاده از یک نوع موزائیک بندی خاص ویژگیهایی از طیف دامنه تصویر اثر انگشت استخراج می گردد. ویژگیهای مستخرج در عین حال که دارای بیشترین اطلاعات هستند، کمترین حجم را اشغال می کنند. این ویژگیها علاوه بر اینکه اطلاعاتی از تراکم رگه ها در واحد سطح در اختیار دارند، اطلاعات با ارزشی در مورد جهت رگه ها به همراه دارند که این امر مدیون نحوه استخراج آنها از طیف تصویر می باشد. این ویژگیها با چند شبکه عصبی طبقه بندی می شود. برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از مجموعه ۶۰۰ تصویر اثر انگشت استاندارد *FVC2000* و *FVC2002* استفاده شد. این الگوریتم طبقه بندی به دلیل هزینه محاسباتی و زمانی پایین و همچنین صحت طبقه بندی قابل توجهی که فراهم کرده است، نسبت به الگوریتمهای رایج بسیار مناسب تر



شکل ۱- نمونه ای از چند تصویر اثر انگشت در ۶ کلاس، الف- کمانی ساده، ب- کمانی خیمه ای، ج- حلقه ای چپ، د- حلقه ای راست، ه- گردابی ساده، و- حلقه ای دوقلو.

روشهای مختلفی برای طبقه بندی خودکار تصاویر اثر انگشت وجود دارد. این روشها را می توان در ۴ دسته کلی تقسیم بندی کرد:

۱- طبقه بندی بر اساس مدل (*model-based*)

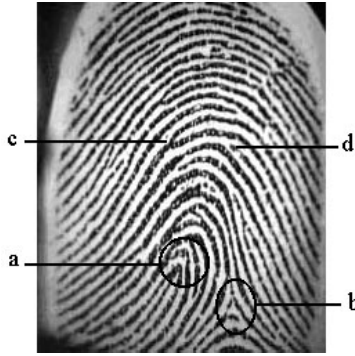
۲- طبقه بندی بر اساس ساختار (*structure-based*)

۳- طبقه بندی نحوی (*syntactic*)

۴- طبقه بندی ترکیبی .

در روش طبقه بندی بر اساس مدل، نقاط منفرد در تصویر شناسایی می شود و بر اساس تعداد نقاط منفرد و موقعیت آنها نسبت به یکدیگر طبقه بندی انجام می گیرد [۱]. در طبقه بندی بر اساس ساختار از جهت محلی رگه ها در تصویر اثر انگشت برای کلاس بندی تصاویر استفاده می شود [۵-۲]. صحت طبقه بندی گزارش شده در [۲] برای طبقه بندی ۵ کلاس ۹۰٪ (با ۱/۸٪ ردی) و در [۳] برای طبقه بندی ۴ کلاس ۹۱/۵٪ بوده است. در طبقه بندی نحوی از یک گرامر جهت جایگزینی

تصاویر اثر انگشت از یک سری خطوط سیاه تشکیل شده است. این خطوط سیاه اثر برجستگیهای روی پوست انگشتان است که در اثر آغشته شدن به جوهر این آثار را بر جای می گذارد. به هر یک از این خطوط سیاه، رگه (*ridge*) و به فضای خالی سفید رنگ بین دو رگه، شیار (*furrow*) می گویند. طرز قرار گرفتن رگه ها و شیارها نقوش مختلفی را شکل می دهد که بر اساس آنها تصاویر در کلاسهای مختلفی قرار می گیرند. شکل ۱ چند تصویر اثر انگشت در کلاسهای مختلف را نشان می دهد. علاوه بر این نقوش کلی، دو دسته دیگر از مشخصه ها توسط رگه ها و شیارها شکل می گیرد: الف- نقاط منفرد (*singular point*) که شامل نقطه قلب (*core*) و نقطه دلتا (*delta*) می شود. ب- ویژگیهای ظریف (*minutiae*) که مهمترین آنها دوشاخه ای (*bifurcation*) و نقطه انتهایی (*endpoint*) است. شکل ۲ نمونه ای از نقاط منفرد و ویژگیهای ظریف را بر روی تصویر اثر انگشت نشان می دهد.



شکل ۲- نمونه ای از نقاط منفرد و ویژگیهای ظریف را بر روی تصویر اثر انگشت نشان می دهد. *a*- نقطه قلب، *b*- نقطه دلتا، *c*- ویژگی دوشاخه ای و *d*- ویژگی نقطه انتهایی.

$$F(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \exp \left[-j2\pi \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N} \right) \right] \quad (1)$$

$$u = 0, 1, \dots, M-1; \quad v = 0, 1, \dots, N-1$$

رابطه بالا $f(x, y)$ ماتریس تصویر و N, M ابعاد تصویر می باشند. $F(U, V)$ تبدیل فوری در دو بعد u, v است که u فرکانس در امتداد محور x تصویر و v فرکانس در امتداد محور y می باشد. تبدیل فوری در دو بعدی یک تصویر، یک ماتریس هم اندازه ماتریس تصویر تولید می کند که دارای اطلاعات فاز و دامنه تصویر اثر انگشت است. طیف دامنه و فاز تبدیل فوری در دو بعدی تصویر از دو رابطه زیر بدست می آید:

$$|F(u, v)| = \left[R^2(u, v) + I^2(u, v) \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$\Phi(u, v) = \tan^{-1} \left[\frac{I(u, v)}{R(u, v)} \right] \quad (3)$$

در دو رابطه بالا $R(U, V)$ و $I(U, V)$ به ترتیب قسمت‌های حقیقی و موهومی تبدیل فوری در دو بعدی هستند و $|F(u, v)|$ طیف دامنه و $\Phi(u, v)$ طیف فاز تصویر هستند. برای استفاده از اطلاعات دامنه لازم است که طیف فرکانسی تصویر تولید گردد. در شکل ۳ تصویر اثر انگشت به همراه طیف فرکانسی آن نشان داده شده است. همانگونه که در شکل نیز مشخص است، طیف تصویر حول مرکز طیف متقارن است که این مسأله در سیگنالهای حقیقی امری طبیعی است. از این ویژگی طیف، جهت کاهش حجم ویژگیهای مستخرج از تصویر استفاده می شود.

تصویر اثر انگشت و به دنبال آن طبقه بندی آنها استفاده می شود [۶ و ۷]. در روشهای ترکیبی طبقه بندی، از ترکیب دو روش از روشهای ذکر شده به عنوان معیار طبقه بندی استفاده می شود [۸-۱۰]. بهترین صحت طبقه بندی گزارش شده در [۸] ۹۵/۶٪ (با ۲۰٪ زدی) برای طبقه بندی در ۵ کلاس بوده است.

در این مقاله یک روش جدید برای استخراج ویژگی براساس اطلاعاتی که در طیف فرکانسی تصویر وجود دارد، پیشنهاد شده است (شکل ۳). در این روش استخراج ویژگی به کمک یک نوع موزائیک بندی خاص از طیف انجام می شود. در این روش نیازی به شناسایی نقاط منفرد و همچنین تعیین محلی رگه های تصویر وجود ندارد. مراحل طبقه بندی تصاویر با الگوریتم پیشنهادی را می توان در ۴ بخش زیر خلاصه کرد:

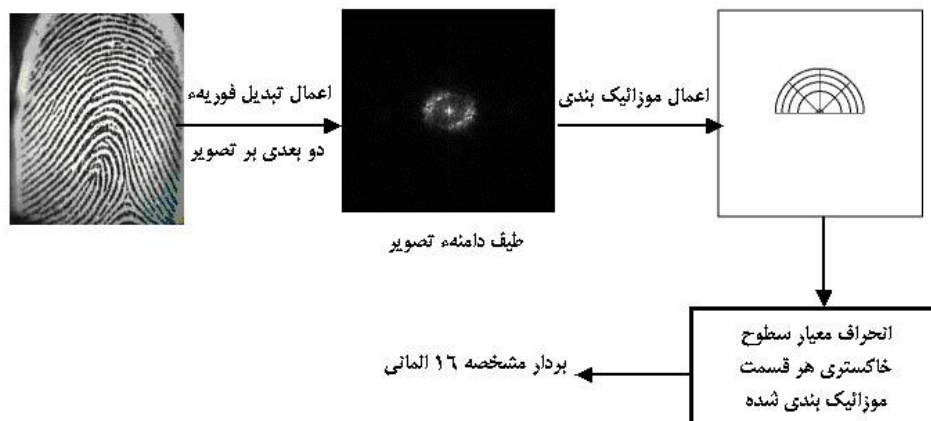
- ۱- تولید طیف فرکانسی تصویر اثر انگشت.
- ۲- اعمال موزائیک بندی طراحی شده بر طیف.
- ۳- استخراج ویژگی از موزائیک بندی و تولید بردار مشخصه.

۴- طبقه بندی بردارهای مشخصه با شبکه عصبی.

در ادامه در بخش ۲ نحوه استخراج ویژگی توضیح داده می شود. در بخش ۳ طبقه بندی کننده های شبکه عصبی معرفی می شود. در بخش ۴ نتایج طبقه بندی تصاویر اثر انگشت *FVC2000* و *FVC2002* [۱۱] با الگوریتم پیشنهادی آورده می شود. نتیجه گیری و بحث در مورد تحقیق صورت گرفته در بخش آخر ارائه می شود.

۲- استخراج ویژگی

استخراج ویژگی در این روش در حوزه فرکانس و از روی طیف فرکانسی تصویر اثر انگشت انجام می شود. در این روش از یک موزائیک بندی با ساختار خاص جهت استخراج ویژگی از طیف دامنه تصویر استفاده می شود. برای این منظور در ابتدا بدون هیچ پردازشی تبدیل فوری در دو بعدی بر روی تصویر اعمال می گردد. تبدیل فوری در دو بعدی به صورت زیر تعریف می شود:



شکل ۳- روند نمای استخراج ویژگی از تصویر اثر انگشت با الگوریتم پیشنهادی

مورد استفاده جهت استخراج ویژگی فقط شامل نیم دایره های بالایی طیف می شود و اضافه کردن نیم دایره های پایینی به علت تکراری بودن اطلاعات آنها چیزی جزء افزایش ابعاد بردار مشخصه را به دنبال ندارد. بنابراین با توجه به نکات بالا طیف دامنه تصویر در فاصله ۴ تا ۶۴ پیکسلی از مرکز تصویر با ۵ نیم دایره متحدالمرکز و کمانهای ۴۵ درجه ای به ۱۶ قسمت هم مساحت تقسیم می شود. انتخاب این تقسیم بندی ۱۶ گانه از بین تقسیم بندیهای ۲۴، ۲۰، ۱۶، ۱۲ گانه و با توجه به دارا بودن بیشترین اطلاعات صورت گرفته است. با اعمال این موزائیک بندی بر طیف تصویر، انحراف معیار سطوح خاکستری پیکسلها در هر یک از ۱۶ قسمت به عنوان یک المان از بردار مشخصه در نظر گرفته می شود. با توجه به اینکه هر یک از این قسمتها دارای تعداد پیکسلهای برابر هستند، بنحوی باعث نرمالیزه شدن بردار مشخصه می گردد که به دنبال آن ارزش ویژگیهای مستخرج از طیف تصویر بالا می رود.

۳- طبقه بندی کننده های شبکه عصبی

یکی از پرکاربردترین طبقه بندی کننده ها، طبقه بندی کننده های شبکه عصبی است که کاربرد فراوانی در شناسایی الگو

موزائیک بندی استفاده شده جهت استخراج ویژگی در شکل ۳ نشان داده شده است. در این موزائیک بندی با استفاده از چند نیم دایره متحدالمرکز در حول مرکز طیف، قسمتهای هم مساحتی با کمان ۴۵ درجه تشکیل می شود. با توجه به ابعاد تصویر و رزولوشن تصاویر اثر انگشت مورد استفاده (500dpi) و همچنین حداکثر تعداد رگه و شیار (۶۰ رگه و شیار) در تصویر عملاً مشاهده می شود که پیکسلهایی که در فاصله بیش از ۶۰ پیکسل از مرکز طیف قرار دارند، اطلاعاتی به همراه ندارند. به این دلیل از این قسمت طیف جهت استخراج ویژگی استفاده نمی شود. از طرف دیگر پیکسلهای نزدیک مرکز طیف نیز به دلیل بی ارزش بودن اطلاعات آنها مورد استفاده قرار نمی گیرد. این پیکسلها حاوی اطلاعات فرکانس پایین تصویر هستند که مربوط به تجمع یا پخش شدگی جوهر در ناحیه ای از تصویر اثر انگشت است. استخراج ویژگی از طیف به این شکل به نحوی باعث حذف نویزهای فرکانس بالا و همچنین نویزهای نزدیک dc می گردد. بدین ترتیب ویژگیهای مستخرج نسبت به طیف وسیعی از نویزها مقاوم خواهند بود.

استخراج ویژگی به این روش حجم بردار ویژگی را به طور قابل ملاحظه ای کاهش می دهد، دلیل این کاهش تقارن مرکزی طیف فرکانسی است. با این استدلال موزائیک بندی

دارد. طبقه بندی ویژگیهای مستخرج با استفاده از چند شبکه عصبی که در زمینه طبقه بندی تخصص یافته اند، انجام می شود. برای این منظور از شبکه های پرسپترون چند لایه (*Multi Layer Perceptron*) احتمالی (*Probabilistic Neural Network*)، تابع پایه شعاعی (*Radial Basis Function*) و یادگیری کوانتیزه نمودن برداری (*Learning Vector Quantization*) استفاده شد. برای استفاده از این شبکه ها لازم است که ساختار آنها مشخص گردد. در تمام شبکه ها تعداد نرونهای لایه ورودی و خروجی به ترتیب برابر تعداد المانهای بردار مشخصه و تعداد کلاسه های طبقه بندی تصاویر است. به غیر از این دو پارامتر، پارامترهای دیگری است که باید در مورد هر شبکه مشخص گردد.

برای طبقه بندی با شبکه *MLP*، با توجه به پیچیدگی مسأله از یک شبکه سه لایه ای با الگوریتم آموزشی پس انتشار خطا استفاده شده است. قاعده مشخصی برای تعیین تعداد نرونهای لایه میانی این شبکه وجود ندارد و از روش سعی و خطا جهت تعیین تعداد بهینه نرونها استفاده می شود. برای این منظور لازم است عملکرد شبکه به ازای تعداد نرونهای مختلف در لایه میانی مورد ارزیابی قرار گیرد.

شبکه *PNN*، یک شبکه سه لایه است که لایه دوم آن یک لایه تابع پایه شعاعی است. این لایه فاصله بردار ورودی با بردار وزن این لایه را به صورت یک عدد به لایه سوم تحویل می دهد. لایه سوم (لایه رقابتی) نیز خروجی شبکه را تولید می کند. در لایه دوم این شبکه، برای مشخص کردن فاصله بین بردار ورودی با بردار وزن این لایه از یک تابع گوسین استفاده می شود. مقدار σ در این تابع با توجه به الگوهای ورودی مشخص می گردد. قاعده مشخصی جهت تعیین مقدار بهینه آن وجود ندارد و با روش سعی و خطا مقدار بهینه σ تعیین می گردد. به این منظور عملکرد شبکه به ازای مقادیر مختلف σ مورد ارزیابی قرار می گیرد.

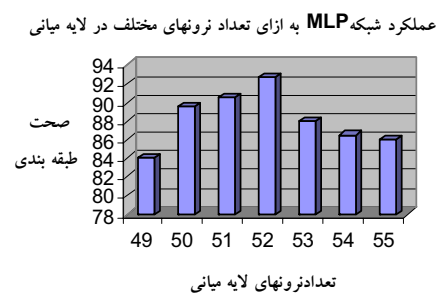
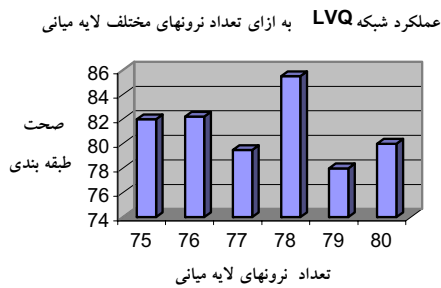
شبکه *RBF* نیز همانند *PNN* یک شبکه سه لایه است که لایه دوم آن یک لایه تابع پایه شعاعی است. این لایه نیز فاصله

بردار ورودی با بردار وزن این لایه را به صورت یک عدد به لایه دوم تحویل می دهد. لایه سوم شبکه *RBF* برخلاف شبکه *PNN*، یک لایه خطی است. در این شبکه نیز همانند *PNN* می بایست پارامتر σ در تابع گوسین لایه دوم مشخص گردد. بدین منظور عملکرد شبکه به ازای مقادیر مختلف σ مورد ارزیابی قرار می گیرد.

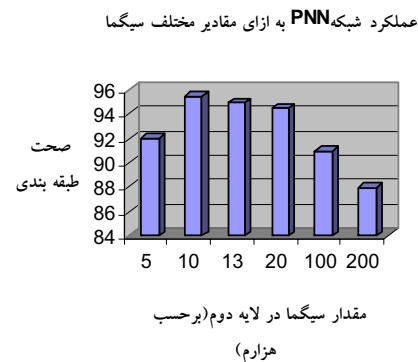
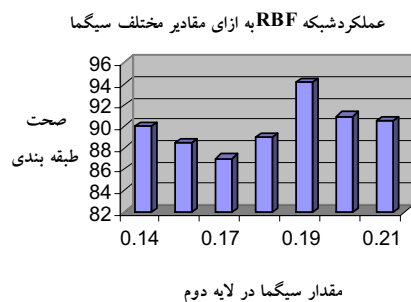
شبکه *LVQ* شبکه ای ترکیبی است. این شبکه متشکل از هر دو نوع یادگیری بانظر و بدون نظر است. لایه دوم این شبکه سه لایه ای، یک لایه رقابتی است که زیرکلاس الگوی ورودی را مشخص می کند و به دنبال آن لایه سوم شبکه (لایه خطی) است که کلاس آن را تعیین می کند. در این شبکه نیز همانند شبکه *MLP*، می بایست تعداد نرونهای لایه میانی را مشخص کرد. با توجه به اینکه در این شبکه نیز قاعده مشخصی جهت تعیین تعداد نرونهای لایه میانی وجود ندارد، از روش سعی و خطا استفاده می شود. بدین منظور عملکرد شبکه به ازای تعداد نرونهای مختلف در لایه میانی مورد بررسی قرار می گیرد.

۴- نتایج

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی جهت طبقه بندی تصاویر اثر انگشت از مجموعه تصاویر استاندارد *FVC2000* و *FVC2002* استفاده شده است. از کل ۶۰۰ تصویری که در اختیار است ۶۰٪ آنها را برای آموزش شبکه ها و ۴۰٪ باقی مانده برای آزمایش شبکه ها استفاده می شود. بدین منظور با الگوریتم پیشنهادی که در بخش ۲ توضیح داده شد، از تصاویر استخراج ویژگی می شود و به کمک شبکه های عصبی که در بخش ۳ معرفی شدند، طبقه بندی در ۶۵ کلاس صورت می گیرد. همانگونه که در بخش قبل گفته شد، برای استفاده از شبکه *MLP* و *LVQ* نیاز است که تعداد نرونهای بهینه در لایه میانی آنها مشخص گردد. به این منظور نمودار عملکرد شبکه های *MLP* و *LVQ* به ازای تعداد نرونهای مختلف در لایه میانی برای طبقه بندی ۶ کلاسه در دو نمودار شکل ۴ آورده شده است. شبکه *MLP* با ۵۲ نرون و شبکه *LVQ* با ۷۸ نرون در لایه میانی دارای بیشترین مقدار صحت طبقه بندی است. به



شکل ۵- نمودار عملکرد شبکه های *LVQ* و *MLP* به ازای تعداد نرونهاى مختلف در لایه میانی برای طبقه بندى ۶ کلاس



شکل ۶- نمودار عملکرد شبکه های *LVQ* و *PNN* به ازای مقادیر مختلف سیگما برای طبقه بندى ۶ کلاس

حلقه ای دوقلو و گردابی در یک کلاس قرار می گیرند) این میزان به $97/8\%$ افزایش می یابد. جدول ۲ نتایج طبقه بندى تصاویر با شبکه *PNN* را برای هر ۶ کلاس بطور مجزا نشان می دهد.

۵- نتیجه گیری

در این تحقیق یک روش جدید جهت استخراج ویژگی ارائه شد. طبقه بندى ویژگیهای مستخرج با این الگوریتم نتایج بهتری نسبت به کارهای قبلی به همراه داشت. بردار مشخصه تولیدی در این روش در عین حال که دارای اطلاعات با ارزشی از تراکم رگه ها در واحد سطح است، اطلاعاتی نیز از

طور مشابه برای شناسایی مقدار بهینه σ در شبکه های *PNN* و *RBF*، نمودار عملکرد شبکه های *PNN* و *RBF* به ازای مقادیر مختلف σ در لایه دوم برای طبقه بندى ۶ کلاس در دو نمودار شکل ۵ آورده شده است. شبکه *PNN* با $\sigma = 0.01$ و شبکه *RBF* با $\sigma = 0.19$ دارای بیشترین مقدار صحت طبقه بندى است. نتایج طبقه بندى تصاویر اثر انگشت با شبکه های عصبی به همراه درصد ردی هر یک برای ۶ کلاس در جدول ۱ آورده شده است. همانگونه که در جدول ۱ مشاهده می کنید، شبکه *PNN* با $95/5\%$ صحت طبقه بندى دارای بهترین عملکرد در بین چهار شبکه است. در صورتی که طبقه بندى در ۵ کلاس صورت گیرد (کلاسهای

جدول ۱- نتایج طبقه بندی تصاویر با شبکه های عصبی در ۶ کلاس

درصد ردی در کلاس ۶	صحت طبقه بندی در کلاس ۶	درصد ردی در کلاس ۵	صحت طبقه بندی در کلاس ۵	شبکه طبقه بندی کننده
٪۱/۹	٪۹۲/۷۵	٪۲/۳	٪۹۵/۴	شبکه MLP
٪۲	٪۹۵/۵	٪۲/۲	٪۹۷/۸	شبکه PNN
٪۲	٪۹۴/۲	٪۲/۹	٪۹۶/۱	شبکه RBF
٪۲/۲	٪۸۵/۵	٪۲/۵	٪۸۹/۵	شبکه LVQ

جدول ۲- نتایج طبقه بندی تصاویر در هر ۶ کلاس با شبکه PNN

تعداد تصاویر در هر کلاس	طبقه بندی تصاویر ورودی در کلاسها						تصاویر رد شده	صحت
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆		
C ₁ ۵۷	۵۵	۰	۱	۱	۰	۰	۱	٪۹۶/۵
C ₂ ۵۴	۰	۵۲	۰	۱	۱	۰	۰	٪۹۶/۳
C ₃ ۶۹	۰	۰	۶۶	۰	۱	۲	۱	٪۹۵/۶
C ₄ ۲۳	۰	۱	۰	۲۱	۱	۰	۱	٪۹۱/۳
C ₅ ۲۱	۰	۰	۰	۱	۲۰	۰	۱	٪۹۵/۲
C ₆ ۲۱	۰	۰	۱	۰	۰	۲۰	۱	٪۹۵/۲

جدول ۳- مقایسه کارهای قبلی با الگوریتم پیشنهادی

الگوریتم مورد استفاده جهت طبقه بندی	صحت طبقه بندی	ردی طبقه بندی
بهترین نتیجه گزارش شده در ۴ کلاس [۴]	٪۹۸	٪۴
بهترین نتیجه گزارش شده در ۵ کلاس [۵]	٪۹۴/۸	٪۴/۲
الگوریتم پیشنهادی در ۵ کلاس	٪۹۷/۸	٪۲/۲
الگوریتم پیشنهادی در ۶ کلاس	٪۹۵/۵	٪۲

Shah et al. (با ٪۴/۲ ردی) گزارش کرده است. علاوه بر این در [۴] صحت طبقه بندی در ۴ کلاس را ٪۹۸ (با ٪۴ ردی) گزارش کرده است. این مقدار صحت نیز با صرف هزینه محاسباتی و زمانی بالایی بدست آمده است. جدول ۳ مقایسه ای بین عملکرد الگوریتم پیشنهادی با بهترین نتایج گزارش شده کارهای قبلی ارائه می دهد. جهت بهبود عملکرد الگوریتم پیشنهادی می توان از طبقه بندی کننده های ترکیبی جهت افزایش صحت طبقه بندی استفاده کرد. به عنوان نمونه استفاده همزمان از KNN با شبکه MLP جهت طبقه بندی پیشنهاد می گردد. همچنین می توان با شناسایی و رد کردن تصاویری که اطلاعات کاملی از اثر انگشت به همراه ندارد

جهت رگه ها در خود نهفته دارد. علاوه بر این، بردار مشخصه ها نه تنها در مقابل نویز مقاوم هستند، بلکه نسبت به انتقال تصویر ورودی غیر حساس هستند. جالب اینکه تمام این محاسن با هزینه های محاسباتی و زمانی پائینی حاصل شده است. مدت زمان لازم جهت استخراج ویژگی یک تصویر با یک پردازنده 2.4GHZ، در محیط نرم افزار متلب ۰/۱۴ ثانیه است. بهترین صحت طبقه بندی تصاویر در ۶ کلاس نیز با شبکه PNN حاصل شد. این شبکه ٪۹۵/۵ صحت و ٪۲ ردی به همراه داشت. بهترین صحت طبقه بندی در ۵ کلاس نیز (٪۹۷/۸ با ٪۲/۲ ردی) با شبکه PNN حاصل شد. در صورتی که Chang et al. [۵] صحت طبقه بندی در ۵ کلاس را ٪۹۴/۸

میزان صحت طبقه بندی را افزایش داد.

- pp.3066-3071, 2003.
- [8] Y.Yao, G.Marcialis, M.Pontil, “ Combining Flat and Structured Representations for Fingerprint Classification with Recursive Neural Networks and Support Vector Machines ”, Pattern Recognition, vol.36, pp.397-406, 2003.
- [9] A.Senior, “A Combination Fingerprint Classifier”, IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.23, no.10, pp.1165-1175, 2001.
- [10] O.Zhang, H.Yan, “Fingerprint classification based on extraction and analysis of singularities and pseudo ridges”, Pattern Recognition, vol.37, Issue11, pp.2233-2243, November 2004.
- [11] [http:// bias.csr.unibo.it/ FVC2000](http://bias.csr.unibo.it/FVC2000) and [FVC2002/ databases.asp](http://bias.csr.unibo.it/FVC2002/databases.asp).

قدردانی

در پایان جا دارد از مرکز تحقیقات مخابرات ایران که حامی تحقیقات منجر به تهیه این مقاله بوده است صمیمانه سپاسگذاری شود.

مراجع

- [1] H.Ghassemian, “An automatic fingerprint algorithm”, Esteghlal Journal of Engineering, vol.18, no.1, pp.1-11, 1999.
- [2] A.K.Jain, S.Prabhakar, L.Hong, “A Multichannel Approach to Fingerprint Classification”, IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol.21, no.4, pp.348-358, 1999.
- [3] S.Wang, W.Zhang, “Fingerprint Classification by Directional Fields”, Proc. 4th IEEE Int. Conf. Multimodal Interface, Pittsburgh, pp.395-398, 2002.
- [4] Sh.Shah, P.S.Sastry, “Fingerprint Classification using a Feedback-Based Line Detector”, IEEE Trans. on Systems-Man and Cybernetics, vol.34, pp. 1-10, February 2004.
- [5] J.H.Chang, K.Fan, “A new model for fingerprint classification by ridge distribution sequences”, Pattern Recognition, vol.35, Issue 6, pp.1209-1223, June 2002.
- [6] K.A.Nagaty, “Fingerprint Classification using Artificial Neural Network: A Combination Structural and Statistical Approach”, Neural Networks, vol.14, pp.1293-1305, 2001.
- [7] J.Gao, H.M.Dong, A.Chen, “Research on Syntactic Fingerprint Classification and Matching”, Proc. of the second Int. Con. on Machine Learning and Cybernetics, vol.3,