علوم و مهندسی کامپیوتر
نشریه علمی پژوهشی انجمن کامپیوتر ایران
مجلد ۵ شماره ۱ (الف)، ۱۳۸۶
صفحات ۱-۹
مقاله کوتاه

تعیین هویت نویسنده مبتنی بر دست‌نوشته فارسی با استفاده از روشهای تحلیل بافت

فاطمه شهابی نژاد محمد رحمتی

دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران

چکیده

تعیین هویت نویسنده به کمک متون دست‌نویس، بعنوان یک موضوع تحقیقاتی در طی سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است. اغلب تحقیقات انجام شده با فرض ثابت بودن متن دست‌نویس و بر روی زبان انگلیسی متمرکز است و تا کنون مطالعاتی در زمینه متون دست‌نویس فارسی یا عربی گزارش نشده است. بنابراین در این مقاله روشی برای تعیین هویت نویسنده براساس متن دست‌نویس فارسی پیشنهاد شده است که بصورت برون خط انجام شده و متن نوشته شده نیز ثابت نمی باشد. براساس ایده مطرح شده در مطالعات قبلی، در این روش تصویر متن دست‌نویس بصورت یک بافت در نظر گرفته شده و با کمک فیلترهای گابور چند کانالی ویژگیهای متن نرمال سازی شده استخراج و تعیین هویت نویسنده براساس آنها انجام می شود. در واقع ویژگی روش پیشنهادی استفاده از بانک فیلتری است که با ساختار متون دست‌نویس فارسی و همچنین سیستم بینایی تناسب بیشتری دارد. این روش به همراه دو روش ماتریس هم وقوعی و روشی دیگر که براساس فیلترهای گابور می باشد، پیاده سازی شده و نتایج اجرای آنها بر روی تصاویر دستخط ۲۵ نفر نشان می دهد که روش پیشنهادی از کارایی بالاتری برای متون دست‌نویس فارسی برخوردار است

کلمات کلیدی: تعیین هویت، تحلیل بافت، دست‌نوشته ، فیلترهای گابور چند کانالی، ماتریس هم وقوعی.

۱- مقدمه

عیین هویت براساس اطلاعات بیومتریک، یک زمینه تحقیقاتی فعال است که در دهۀ اخیر مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. ویژگیهای بیومتریک را می توان به دو دسته عمده تقسیم کرد:

- ویژگیهای فیزیولوژی مثل چهره, الگوی عنبیه و اثر انگشت
- ویژگیهای رفتاری مثل صدا, دستخط و طرز راه رفتن فرد

در بین ویژگیهای رفتاری دستخط افراد به راحتی قابل حصول است و علاوه بر این مطالعات نشان می دهند که افراد مختلف دارای دستخط‌های متفاوتی نیز می باشند [۱, ۲]. به همین دلیل تعیین هویت افراد به کمک متون دست‌نویس آنها، بعنوان یک موضوع تحقیقاتی در طی سالهای اخیر مورد توجه قرار گرفته است و کاربرد آن در زمینه مسائل امنیتی, حقوقی, کنترل دسترسی به سیستمها و فعالیتهای مالی می باشد. در مسئله تعیین هویت هدف این است که با داشتن یک متن دست‌نویس، هویت نویسنده آن را مشخص کنیم که البته این تصمیم گیری با توجه به نمونه هایی از دستخط افراد مختلف انجام می شود.

در حالت کلی از متخصصان خط شناسی برای تحلیل و بررسی متون دست‌نویس استفاده می شود. مداخله انسان در حل این مسئله هر چند روشی مؤثر است اما هزینه بر بوده و بنابر طبیعت انسان امری ملال آور می باشد. هدف مقاله این است که با ترکیب روشهای پردازش تصویر و شناسایی الگو راه حلی ماشینی برای تعیین هویت نویسنده ارایه دهد. این روشها را می توان به دو دسته کلی زیر تقسیم کرد:

۱- روشهای برون خط (off line): در این روشها فقط تصویر متن دست‌نویس در دسترس است و ویژگیها با توجه به کل تصویر یا ساختار کلمه ها و نویسه ها استخراج شده و سپس تعیین هویت نویسنده با کمک روشهای شناسایی الگو انجام می شود. در این روشها بسیاری از اطلاعات دینامیکی که مربوط به طرز نوشتن افراد است و اهمیت اساسی در روند تعیین هویت نویسنده دارند, از دست می رود و این امر کار را نسبت به روشهای برخط مشکلتر می سازد. روشهای برون خط را

می توان به به دو گروه کلی وابسته به متن و مستقل از متن نیز دسته بندی کرد. در روشهای وابسته به متن, باید متن ثابتی توسط نویسنده نوشته شود تا بتوان هویت وی را مشخص نمود اما در روشهای مستقل از متن این محدودیت وجود ندارد و با استفاده از هر نوع متنی هویت نویسنده آن مشخص می گردد.

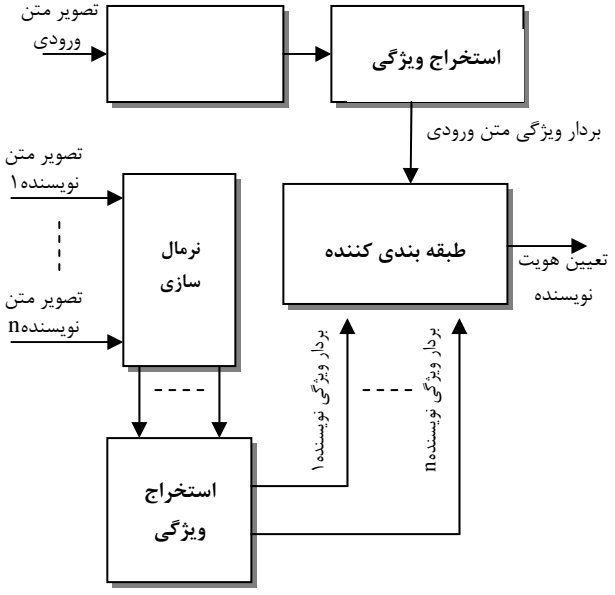
۲- روشهای برخط (on line): در این روشها علاوه بر ویژگیهای برون خط از اطلاعات دینامیکی مثل فشار قلم, ترتیب نوشتن, سرعت نوشتن, نحوه ضربه های قلم و غیره نیز استفاده می شود. بنابراین به دلیل داشتن اطلاعات بیشتر, تعیین هویت آسانتر بوده و با دقت بیشتری انجام می شود اما این روشها کاربردهای محدودتری را شامل می شوند.

اکثر مطالعات انجام شده در زمینه تعیین هویت نویسنده بصورت برون خط می باشند و روشهای برخط در زمینه تعیین هویت براساس امضاء کاربرد متداولتری دارند. فرض منحصر به فرد بودن دستخط افراد، به صورت علمی توسط سِری هری[۱] و همکارانش در دانشگاه بوفالو بررسی شده است [۱, ۲]. در این مطالعه ۱۵۰۰ نفر از بین جمعیت چندین ایالت مختلف آمریکا و براساس تفاوت سن, نژاد, تحصیلات و جنسیت انتخاب شدند و از آنها خواسته شد که متن مشخصی را سه مرتبه و بر روی یک کاغذ بدون خط و با خودکار مشکی بنویسند. سپس ویژگیهایی در سطح کل متن، پاراگراف، خط و کلمه از متون دست‌نویس استخراج شده و با کمک فاصله اقلیدسی نرخ تعیین هویت ۹۸٪ بدست آمده است. سِد[۲] و همکارانش در [۳] یک روش مستقل از متن ارایه نموده اند که براساس آن متن دست‌نویس بصورت یک بافت در نظر گرفته می شود و سپس با کمک روشهای تحلیل بافت ویژگیهای سراسری از متن استخراج شده و تعیین هویت نویسنده انجام می شود. در [۴] بنسِفیا[۳] و همکارانش متن دست‌نویس را براساس شبه حرف یا گرافم ها[۴] قطعه بندی نموده و سپس براساس یک مدل بازیابی اطلاعات، ویژگیها را از گرافم ها استخراج نموده و به کمک این مدل هویت نویسنده متن را تعیین می کنند. اسکومیکر[۵] و همکارش در [۵] رویکردی جدید پیشنهاد نموده اند که براساس آن ویژگیهایی از منحنی پیرامون اجزاء متصل دست نوشته استخراج شده و سپس این ویژگیها خوشه بندی می شوند. براساس این خوشه ها، یک تابع توزیع برای هر نویسنده محاسبه شده و تعیین هویت نویسنده به کمک این توابع توزیع و یک معیار فاصله انجام می شود. در [۶] نیز توسط اِسکلپ بچ[۶] و همکارش روشی برون خط و براساس مدل مخفی مارکوف[۷] (HMM) پیشنهاد شده است. در این روش برای هر نویسنده یک مدل HMM در نظر گرفته می شود که مدل HMM هر نویسنده با نمونه هایی از دستخط های وی آموزش می بیند. به این ترتیب هر مدل HMM شبیه یک فرد خبره است که قادر می باشد دستخط فرد بخصوصی را تشخیص دهد. بیولاکو[۸] و همکارانش در [۷] روشی را معرفی کرده اند که با استفاده از اطلاعات لبه و هیستوگرام آن، ویژگیها از متن استخراج می شوند. ویژگیهای معرفی شده بیانگر نحوه توزیع جهت لبه ها و تغییرات جهت در طول فرایند نوشتن می باشند که با استفاده از روش نزدیکترین همسایگی تعیین هویت نویسنده انجام می شود. در [۸] مارتی[۹] و همکارانش ویژگیهایی را مورد بررسی قرار داده اند که بر مبنای مشخصه های ظاهری دست‌نوشته می باشند. برای این منظور هر خط متن به سه ناحیه تقسیم شده و سپس ویژگیهای مورد نظر در هر کدام از این نواحی محاسبه می شوند. از جمله این ویژگیها می توان به زاویه نوشتن، میزان خوانایی، ارتفاع و پهنای کلمات اشاره نمود. زویس[۱۰] و همکارش در [۹] منحنی نمای نیم رخ افقی[۱۱] تصویر متن را با استفاده از عملگرهای ریخت شناسی[۱۲] پردازش نموده و ویژگیهای آنرا استخراج می کنند سپس این ویژگیها با کمک روش بیز یا شبکه های عصبی طبقه بندی شده و تعیین هویت نویسنده انجام می شود.

در حال حاضر اکثر تحقیقات انجام شده در زمینه تعیین هویت نویسنده بر روی زبان انگلیسی متمرکز است و تاکنون مطالعاتی در زمینه متون دست نویس فارسی یا عربی گزارش نشده است. بر همین اساس در این مقاله روشی را برای تعیین هویت نویسنده مبتنی بر متون دست‌نویس فارسی ارایه نموده ایم که بصورت برون خط و مستقل از متن انجام می شود. چون هدف ما ارایه روشی خودکار جهت تعیین هویت نویسنده بوده و همچنین هیچ محدودیتی برای دستخط‌های مورد بررسی قرار نداده ایم، بنابراین استفاده از روشهایی که نیازمند تقطیع خودکار متن به کلمات و حروف می باشند، موردنظر نیست. براساس ایده مطرح شده در [۳]، در روش پیشنهادی متن دست‌نویس را بصورت بافت در نظر گرفته و مسئله تعیین هویت نویسنده به مسئله طبقه بندی بافت تبدیل می گردد. پس از مرحله نرمال سازی متن، بانکی از فیلترهای گابور به تصویر اعمال شده و سپس ویژگیهای مورد نظر محاسبه می شوند. در واقع ویژگی روش پیشنهادی استفاده از فیلترهایی است که با ساختار متون دست‌نویس فارسی و همچنین سیستم بینایی تناسب بیشتری دارند. در بخش دوم مقاله مراحل روش پیشنهادی را شرح خواهیم داد. همچنین روش پیشنهادی به همراه دو روش دیگر که براساس ماتریس هم وقوعی و روش Said می باشند، پیاده سازی شده که نتایج ارزیابی آنها در بخش سوم مقاله مقایسه و بررسی می شوند.

۲- روش پیشنهادی

در این روش از ایده مطرح شده در [۳] استفاده شده و تصویر متن دست‌نویس بصورت یک بافت در نظر گرفته شده است. بنابراین با اعمال روشهای تحلیل بافت، می توان ویژگیهای متن دست‌نویس را استخراج نمود. برای این منظور ابتدا مراحل نرمال سازی بر روی تصویر متن انجام شده و سپس ویژگیهای متن به کمک بانکی از فیلترهای گابور استخراج می شوند. با کمک این ویژگیها و یک طبقه بندی کننده هویت متن دست نویس ورودی تعیین خواهد شد که در این مقاله دو طبقه بندی کننده فاصله اقلیدسی وزن دار و فاصله χ^2 مورد بررسی قرار گرفته اند. در شکل ۱ ساختار کلی روش پیشنهادی را مشاهده می کنیم که در ادامه این بخش به شرح هر یک از این مراحل خواهیم پرداخت.



شکل ۱- ساختار کلی روش پیشنهادی

۲-۱ نرمال سازی تصویر

روشهای تحلیل بافت را نمی توان مستقیماً برای تصویر متن دست‌نویس به کار گرفت و ابتدا باید تصویر را نسبت به تأثیر عواملی مثل فاصله خطوط، فاصله

کلمات و کجی خطوط نرمال سازی نمود تا یک بلوک یکنواخت از متن دست‌نویس مورد نظر حاصل شود. مراحل نرمال سازی تصویر متن دست‌نویس عبارتند از:

(الف) به منظور استخراج خطوط و کلمات موجود در متن، معمولاً از منحنی نمای نیم رخ تصویر باینری استفاده می شود [۱۰]. ما در این مقاله نسخه ای تغییر یافته از این الگوریتم که برای تصاویر سطوح خاکستری پیشنهاد شده است [۱۱]، را مورد استفاده قرار داده ایم. برای این منظور ابتدا نمای نیم رخ افقی تصویر محاسبه شده و سپس با یک فیلتر پایین گذر گاسین هموارسازی می شود. این هموارسازی بیشینه های محلی را حذف نموده و حساسیت به نویز را نیز کاهش می دهد. در شکل ۲ تصویر یک متن دست‌نویس، منحنی نیم رخ افقی و منحنی هموار سازی شده متناظر با آن را مشاهده می کنیم. در منحنی هموارسازی شده قله ها متناظر با فاصله بین خطوط و دره ها متناظر با مرکز خطوط متن هستند که برای یافتن قله ها یا خطوط متن می توان نقاط صفر در مشتق منحنی را محاسبه نمود. چون کانولوشن یک عملگر خطی است، بنابراین هموارسازی و مشتق گیری را می توان در یک مرحله انجام داد پس برای یافتن خطوط متن کافی است که منحنی نمای نیم رخ افقی را با مشتق تابع گاسین فیلتر نماییم:

$$d/dy * g(y;\delta) * P(y) = \frac{dg(y;\delta)}{dy} * P(y) \qquad (۱)$$

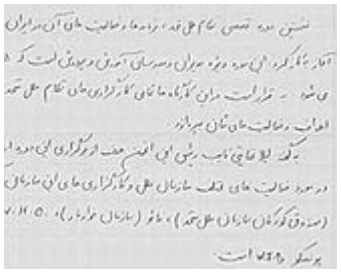
در این رابطه $P(y)$ منحنی نمای نیم رخ افقی و $g(y;\delta)$ نیز تابع گاسین یک بعدی است.

(ب) هر یک از خطوط متن که در مرحله قبل پیدا شدند، با کمک الگوریتم Otsu [۱۲] باینری شده و سپس نمای نیم رخ عمودی مربوط به آن محاسبه می شود. با کمک این منحنی فاصله های بین کلمات را پیدا می کنیم و فاصله هایی که اندازه آنها از ۵ نقطه بیشتر باشد را با مقدار ۵ نقطه نرمال می کنیم. به این ترتیب فاصله کلمات حداکثر ۵ نقطه خواهد بود و فاصله های کمتر از ۵ نقطه نیز بعنوان فاصله های بین حروف در نظر گرفته می شوند. همچنین در صورتی که انتهای خط خالی باشد، با تکرار مجدد آنرا به حدی پر می کنیم که طول خط به اندازه مشخصی (در این مقاله ۲۵۶ نقطه) برسد. همچنین فاصله بین خطوط متن را با مقدار مشخصی تنظیم می کنیم. مرحله نرمال سازی فاصله بین کلمات، نرمال سازی فاصله بین خطوط و پر کردن خطوط برای متن شکل ۲- (الف) انجام شده و نتیجه آنرا در شکل ۳-(الف) مشاهده می نماییم.

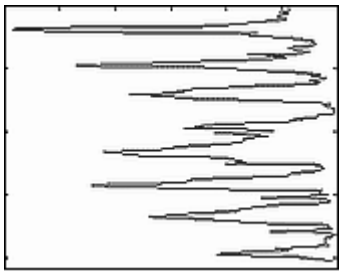
(ج) در صورت خالی بودن بخش انتهایی تصویر، آنرا با تکرار مجدد خطوط ابتدای تصویر به نحوی پر می کنیم که طول تصویر به اندازه مشخصی (در این مقاله ۲۵۶ نقطه) برسد به این ترتیب یک تصویر یکنواخت با اندازه ۲۵۶×۲۵۶ بدست خواهد آمد. تصویر نرمال سازی شده نهایی مربوط به متن شکل ۲-(الف) را در شکل ۳-(ب) مشاهده می کنیم. از تصویر نرمال سازی شده چهار بلوک با اندازه ۱۲۸×۱۲۸ که با یکدیگر هم پوشانی ندارند، استخراج شده و این بلوکها برای محاسبه ویژگیها در مرحله بعدی مورد استفاده قرار می گیرند.

۲-۲ استخراج ویژگی

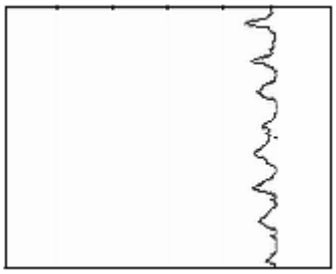
به منظور ارایه روشی کارا جهت تعیین هویت نویسنده، باید ویژگیهایی را در نظر گرفت که بیانگر تفاوت دستخطهای مختلف می باشند. بنابراین در این مقوله استفاده از ویژگیهای معرفی شده در مطالعات OCR مناسب به نظر نمی رسد زیرا هدف طراحی این ویژگیها، تشخیص کلمات و حروف مستقل از تفاوت دستخطهای مختلف می باشد. در واقع با داشتن بلوکهای یکنواختی از متن دست‌نویس، هر یک از تکنیکهای تحلیل بافت را به منظور استخراج ویژگیها می توان به کار برد.



(الف)

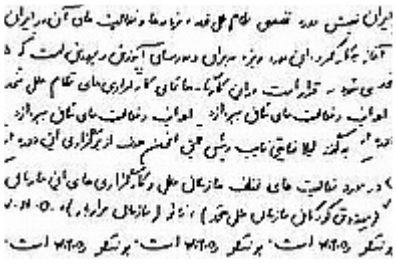


(ب)



(ج)

شکل ۲- استخراج خطوط متن الف) تصویر متن دست‌نویس ب) منحنی نیم رخ افقی تصویر ج) منحنی نیم رخ افقی پس از هموارسازی



(الف)

(ب)

شکل ۳- الف) نرمال سازی فاصله بین کلمات, فاصله خطوط و پرکردن انتهای خطوط ب) پرکردن بخش انتهایی تصویر (تصویر نهایی)

بدلیل کارایی خوب فیلترهای گابور در مبحث تحلیل بافت و کاربردهای مشابه [۳، ۱۳، ۱۴]، در این مقاله محاسبه ویژگیها را براساس این فیلترها انجام داده ایم.

همچنین ویژگیهای استخراج شده از ماتریس هم وقوعی و روش ارایه شده توسط سِد [۳] را که براساس بانکی از فیلترهای گابور استوار است، بعنوان دو روش مقایسه ای مورد بررسی قرار داده ایم.

تحقیقات علم فیزیولوژی نشان می دهد که پردازش اطلاعات تصویری در سیستم بینایی، توسط مجموعه ای از مکانیسم های موازی به نام کانالها انجام می شود به طوریکه هر کانال برای یک باند فرکانسی کم پهنا و با جهت مشخص تنظیم می گردد. به لحاظ ریاضی هر یک از این کانالها با یک جفت فیلتر میان گذر گابور مدلسازی می شوند. داگمن[۱۳] [۱۵] جزو اولین کسانی بود که عملکرد سلولهای ساده قشر بینایی مغز پستانداران را با کمک فیلترهای گابور مدلسازی نمود. ما در روش پیشنهادی از فیلترهای گابور چند کانالی که در [۱۶] معرفی شده اند، استفاده کرده ایم. ویژگی این فیلترها در نظر گرفتن یافته های تجربی در طراحی آنهاست و با رابطه زیر تعریف می شوند:

$$g_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,\varphi}(x,y)=\exp\left(-\frac{x'^2+\gamma^2 y'^2}{2\sigma^2}\right)\cos\left(2\pi\frac{x'}{\lambda}+\varphi\right)$$
$$x'=(x-\varepsilon)\cos\theta-(y-\eta)\sin\theta \qquad (۲)$$
$$y'=(x-\varepsilon)\sin\theta+(y-\eta)\cos\theta$$

در این رابطه x و y مشخص کننده مقدار فیلتر در مکان متناظر با نقطه (x,y) تصویر است و زوج (ε,η) که مرکز فیلتر را مشخص می کند، دامنه مقادیری مشابه با دامنه مقادیر (x,y) را اختیار می کند. پارامتر σ نیز انحراف معیار تابع گاسین را مشخص می کند. پارامتر γ شکل کشیدگی توابع را مشخص می کند مثلاً برای مقدار $\gamma=1$ شکل توابع بصورت دایره و برای مقادیر $\gamma<1$ بصورت بیضی خواهد بود. پارامتر λ طول موج تابع cos و مشخص کننده فرکانس مکانی $1/\lambda$ مربوط به کانال مورد نظر می باشد. همچنین برای جلوگیری از تأثیرات ناخواسته در حاشیه های تصویر، مقدار این پارامتر باید از ۱/۵ اندازه تصویر مورد نظر کوچکتر باشد. پارامتر θ که مقداری بین 0 و π اختیار می کند، جهت مربوط به کانال را تعیین می نماید در واقع دو پارامتر θ و λ مشخص کننده مکان کانال مربوطه در نقشه فرکانسی می باشند. پارامتر φ نیز مشخص کننده فاز است و به ازای مقادیر $\varphi=0$ و $\varphi=\pi$ تابع g متقارن و به ازای مقادیر $\varphi=\pi/2$ و $\varphi=-\pi/2$ پادمتقارن خواهد بود. براساس نتایج تجربی، پهنای باند فرکانسی برای سلولهای ساده قشر بینایی در حدود ۱ اکتاو است [۱۷]، بنابراین نسبت σ/λ که تعیین کننده پهنای باند فرکانسی است با مقدار ثابت ۰/۵۶ مقداردهی می شود بطوریکه پهنای باند هر کانال برابر ۱ اکتاو شود:

$$\frac{\sigma}{\lambda}=\frac{1}{\pi}\sqrt{\frac{\ln 2}{2}}\cdot\frac{2^b+1}{2^b-1} \qquad (۳)$$

که در این رابطه b پهنای باند براساس واحد اکتاو است. در شکل های ۴-(الف) و ۴-(ب) مثالی از یک تابع گابور با پارامترهای $\theta=45$,$\lambda=8$,$\varphi=0$ و $\gamma=0.3$ را در دو حوزه مکان و فرکانس مکانی مشاهده می کنیم.

پاسخ فیلتر گابور از کانولوشن تابع معرفی شده در رابطه (۲) با تصویر بلوک مورد نظر بدست خواهد آمد:

$$r_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,\varphi}(x,y)=f(x,y)*g_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,\varphi}(x,y) \qquad (۴)$$

در این رابطه $r_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,\varphi}$ پاسخ فیلتر گابور و $f(x,y)$ نیز تصویر بلوک مورد نظر می باشد. به منظور استخراج ویژگیهای بلوک مورد نظر آنرا با مجموعه ای از فیلترهای گابور در جهت ها و فرکانسهای مکانی مختلف فیلتر نموده و سپس پاسخ هر فیلتر را به ازای دو فاز $\varphi=0$ و $\varphi=-\pi/2$ توسط رابطه زیر ترکیب می کنیم:

$$E_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta}=\sqrt{r^2{}_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,0}+r^2{}_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,(-\pi/2)}} \qquad (۵)$$

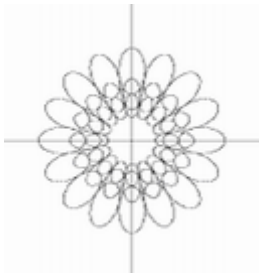
در این رابطه $r_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,0}$ و $r_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta,(-\pi/2)}$ پاسخ فیلتر گابور متقارن و پادمتقارن (anti-symmetric) در جهت θ و فرکانس مکانی $1/\lambda$ می باشد. $E_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta}$ با عنوان مقدار انرژی فیلتر گابور شناخته می شود که در بسیاری از روشهای تحلیل بافت مورد استفاده قرار می گیرد. در واقع انرژی گابور که از ترکیب پاسخ یک جفت سلول ساده با اختلاف فاز $\pi/2$ بدست می آید، رفتار سلولهای پیچیده سیستم بینایی را مدلسازی می کند.

(ب) (الف)

شکل ۴- مثالی از فیلتر گابور در حوزه الف) مکان، ب) فرکانس مکانی

۲-۲-۱ استخراج ویژگی روش پیشنهادی

براساس مطالعاتی که هیوبِل[۱۴] و ویزِل[۱۵] [۱۸] انجام داده اند، سلولهای ساده در راستای جهت های خاصی با پهنای باند تقریبی ۳۰° حساس هستند. بنابر این در روش پیشنهادی برای هشت جهت ($\theta=k(\pi/8),\ k=1,2,...8$) و همچنین سه فرکانس مکانی ($\lambda=2.7$,$\lambda=4.1$ و $\lambda=5.4$) مقدار انرژی گابور را محاسبه نموده ایم که به این ترتیب ۲۴ تصویر پاسخ بدست می آید. انتخاب فرکانسها و جهتها نیز باید به نحوی صورت گیرد که دامنه فرکانس مکانی پوشش داده شود. در شکل ۵ دامنه فرکانس مکانی که توسط مجموعه ۲۴ فیلتر انتخابی پوشش داده شده است، را مشاهده می کنیم. در واقع با این روش تصویر ورودی به ۲۴ کانال با جهتها و فرکانسهای مکانی مختلف تجزیه شده بطوریکه هر یک از ۲۴ تصویر پاسخ، مدلی از پاسخ سلولهای سیستم بینایی در کانال مربوطه می باشد.



شکل ۵- دامنه فرکانس مکانی پوشش داده شده با ۲۴ فیلتر انتخابی

در شکل ۷ نتیجه اعمال ۲۴ فیلتر گابور انتخابی را برای تصویر بلوک ورودی مشاهده می کنیم. چون شکل هیستوگرام تصاویر پاسخ اغلب شبیه به یک تابع گاسین است [۱۳] بنابراین میانگین و انحراف معیار هر ۲۴ تصویر پاسخ را محاسبه نموده و به عنوان ویژگی مورد استفاده قرار می دهیم. به این ترتیب برای تصویر بلوک ورودی یک بردار ویژگی ۴۸ تایی بدست خواهد آمد.

تان[۱۶] [۱۹] مجموعه ای از ویژگیهایی را پیشنهاد نمود که براساس تبدیل فوریه انرژی گابور محاسبه شده و نسبت به چرخش نیز حساس نمی باشند. برهمین اساس علاوه بر ویژگی انرژی گابور، این ویژگیها را نیز مورد بررسی قرار داده ایم. در این روش ابتدا مقدار متوسط $Q(\lambda,\theta)$ برای انرژی گابور $E_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta}$ با رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$Q(\lambda,\theta)=\frac{1}{\Omega}\iint_{\Omega}E_{\varepsilon,\eta,\lambda,\theta}(x,y)dxdy \qquad (۶)$$

که در این رابطه Ω مساحت تصویر پاسخ انرژی گابور است. ویژگی $Q(\lambda,\theta)$ نسبت به چرخش حساس است بنابراین برای یک فرکانس ثابت $1/\lambda$، تبدیل فوریه $Q(\lambda,\theta)$ یا بسادگی $Q(\theta)$ محاسبه شده و ضرایب فوریه بعنوان ویژگی بکار می روند. چون چرخش تصویر ورودی متناظر با انتقال $Q(\theta)$ است و از طرفی تبدیل فوریه نسبت به انتقال حساس نیست، بنابراین ویژگیهای حاصل نسبت به چرخش حساس نمی باشند. قابل ذکر است که اگر تعداد جهت ها در یک فرکانس مشخص برابر M باشد، آنگاه حداکثر تعداد ویژگیهای مستقل با توجه به گسسته بودن تابع $Q(\theta)$، برابر $M/2+1$ خواهد بود. این ویژگیها برای بانک فیلتر پیشنهادی محاسبه شده و برای هر فرکانس ۵ ویژگی و در مجموع برای تصویر بلوک ورودی ۱۵ (۵×۳) ویژگی بدست خواهد آمد.

۲-۲-۱ استخراج ویژگی روش سِد

در این مقاله ویژگیهایی که توسط سِد و همکارانش [۳] برای متون دست‌نویس انگلیسی پیشنهاد شده اند را نیز مورد بررسی قرار داده ایم. در این روش از فیلترهای گابوری که در [۲۰] معرفی شده اند، استفاده شده و هر کانال توسط یک جفت فیلتر گابور h_e و h_o مدل سازی می شود:

$$\begin{aligned}h_e(x,\,y;f,\theta)&=g(x,y)\cos(2\pi f(x\cos\theta+y\sin\theta))\\ h_o(x,\,y;f,\theta)&=g(x,y)\sin(2\pi f(x\cos\theta+y\sin\theta))\end{aligned} \qquad (۷)$$

در این رابطه $g(x,y)$ تابع گاسین دوبعدی، f و θ نیز به ترتیب فرکانس و جهت کانال مربوطه می باشند. بنابراین مقدار انرژی گابور توسط این جفت فیلتر متقارن و پادمتقارن و براساس رابطه زیر محاسبه می شود:

$$q(x,y)=\sqrt{q_e^2+q_o^2} \qquad (۸)$$

که q_e و q_o به ترتیب پاسخ کانولوشن تصویر ورودی با فیلترهای h_e و h_o می باشند. مقدار انرژی به ازای چهار جهت $0,\ 45,\ 90,\ 135^\circ$ و چهار فرکانس مختلف $f=32,\ 16,\ 8,\ 4$ محاسبه شده و میانگین و انحراف معیار آن بعنوان ویژگی مورد استفاده قرار می گیرند. با اعمال این روش نیز یک بردار ویژگی ۳۲ تایی برای هر تصویر بلوک ورودی بدست خواهد آمد.

۲-۲-۲ استخراج ویژگی با ماتریس هم وقوعی

در کنار روشهای فیلتر گابور چند کانالی، ماتریس هم وقوعی نیز بعنوان یک روش سنتی در بحث تحلیل بافت پیاده سازی شده [۲۱] و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفته اند. ماتریس هم وقوعی تصویر بلوک مورد نظر به ازای چهار جهت $0,\ 45,\ 90,\ 135^\circ$ و پنج فاصله $d=1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5$ محاسبه شده و با توجه به باینری بودن تصاویر، یک ماتریس هم وقوعی ۲×۲ به ازای هر جهت و فاصله مشخص بدست می آید. به دلیل تقارن قطری ماتریسها، سه عنصر از چهار عنصر هر ماتریس بعنوان ویژگی در نظر گرفته می شوند که در نهایت برای هر تصویر بلوک ورودی ۶۰ ویژگی بدست خواهد آمد.

۲-۳ تعیین هویت

در مسئله تعیین هویت نویسنده، استفاده از روشهایی چون ماشین بردار پشتیبان[۱۷] یا شبکه های عصبی چند لایه چندان مناسب بنظر نمی رسد زیرا بار محاسباتی این روشها برای داده های واقعی توجیه پذیر نخواهد بود. بنابراین در این مرحله از دو طبقه بندی کننده فاصله اقلیدسی وزن دار و فاصله χ^2 جهت تعیین هویت متن مورد نظر استفاده نموده ایم. برای این منظور در مرحله آموزش برای هر نویسنده چندین بلوک متنی نرمال سازی شده را در نظر گرفته و ویژگیهای آنها را استخراج نموده و سپس میانگین و انحراف معیار هر یک از ویژگیها را محاسبه می نماییم. برای متن ورودی نیز بردار ویژگیها را استخراج کرده و براساس معیار فاصله مورد نظر، آنرا با ویژگیهای تمامی نویسندگان مقایسه می نماییم. نویسنده ای که ویژگیهایش کمترین فاصله را با ویژگیهای متن ورودی داشته باشد، بعنوان هویت نویسنده متن ورودی تشخیص داده می شود. فاصله χ^2 با رابطه زیر تعریف می شود:

$$\chi_{ij}^{\,2}=\sum_{k=1}^{n}\frac{(f_{ki}-m_{kj})^2}{(f_{ki}+m_{kj})} \qquad (۹)$$

در این رابطه f_{ki} ویژگی kام متن ورودی iام و m_{kj} میانگین ویژگی kام نویسنده jام است که با استفاده از بلوکهای آموزشی مربوط به وی محاسبه می شود. همچنین تعریف فاصله اقلیدسی وزن دار بصورت زیر است که:

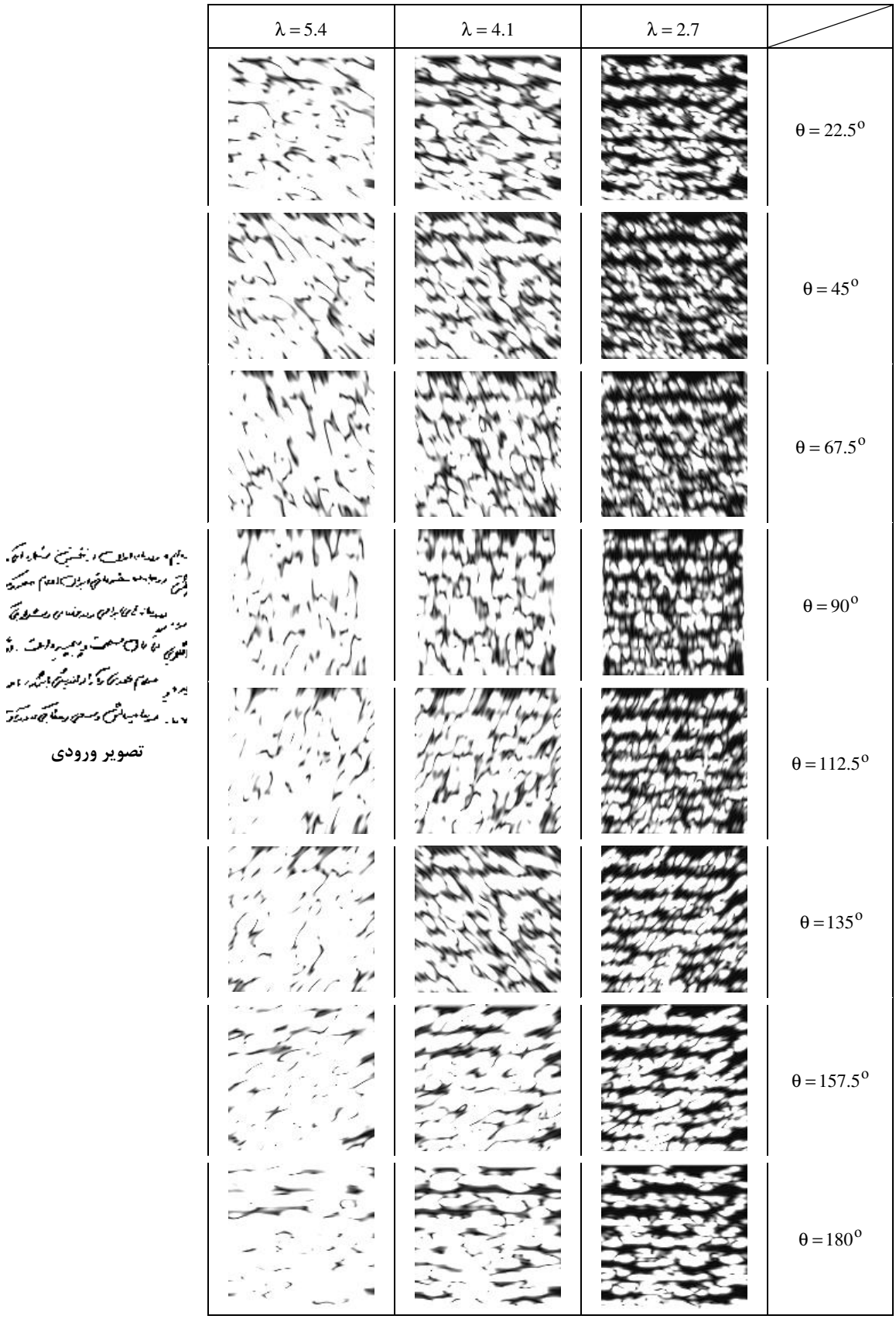
$$d_{ij}=\sum_{k=1}^{n}\frac{(f_{ki}-m_{kj})^2}{(v_{kj})^2} \qquad (۱۰)$$

v_{kj} انحراف معیار ویژگی kام نویسنده jام است که با استفاده از بلوکهای آموزشی مربوط به وی محاسبه می شود.

۳- نتایج تجربی

به منظور ارزیابی نتایج روش پیشنهادی از ۲۵ فرد با تحصیلات، سن و جنسیت مختلف خواسته شد که متن دلخواهی را بر روی یک برگه کاغذ A4 بنویسند.

شکل ۶- چند نمونه از متون دست‌نویس افراد مختلف



شکل ۷- نتیجه تصاویر خروجی ۲۴ کانال در اثر اعمال فیلترهای گابور و محاسبه انرژی آن در هر کانال

سپس متون دست‌نویس را با دقت 300dpi جاروب نموده و مراحل باینری کردن و نرمال سازی را بر روی این تصاویر انجام می دهیم که در نتیجه برای هر نویسنده یک تصویر با اندازه ۲۵۶×۲۵۶ بدست خواهد آمد. تصویر حاصل را به چهار بلوک ۱۲۸×۱۲۸ که با همدیگر هم پوشانی ندارند، تقسیم نموده و سه بلوک را برای مرحله آموزش و یک بلوک را برای مرحله آزمایش در نظر می گیریم. در شکل ۶ نمونه ای از متون نوشته شده توسط افراد مختلف را مشاهده می کنیم.

همانطور که قبلاً اشاره شد در روش پیشنهادی ویژگی انرژی گابور و ویژگی تبدیل فوریه انرژی گابور را مطرح کردیم. ویژگی انرژی گابور برای بانک فیلتر پیشنهادی محاسبه شده و با ارزیابی آن برای نمونه های آزمایشی، نتایج نرخ تعیین هویت صحیح در جدول ۱ آورده شده است. در این جدول همچنین ترکیب های مختلف ویژگیها را برای دو فاصله اقلیدسی وزن دار و فاصله χ^2 بررسی نموده و به این نتیجه رسیدیم که تعیین هویت به ازای λ های کوچکتر یا به عبارتی فرکانس های بالاتر، با صحت بیشتری انجام شده است. همچنین ویژگی میانگین نسبت به ویژگی انحراف معیار حاوی اطلاعات بیشتری در مورد مشخصه های دستخط افراد است.

جدول ۱- نتایج نرخ تعیین هویت صحیح (درصد) برای روش پیشنهادی با ویژگی انرژی گابور

نوع ویژگی	طول بردار ویژگی	فاصله اقلیدسی وزندار		فاصله χ^2	
		فهرست برخورد ۱	فهرست برخورد ۳	فهرست برخورد ۱	فهرست برخورد ۳
تمامی ویژگیها	۴۸	۶۸	۸۸	۸۸	۹۲
فقط ویژگی انحراف معیار	۲۴	۲۸	۶۸	۴۴	۶۸
فقط ویژگی میانگین	۲۴	۴۴	۷۶	۸۴	۹۲
ویژگی در $\lambda = 2.7$	۱۶	۵۶	۸۴	۷۶	۹۲
ویژگی در $\lambda = 4.1$	۱۶	۵۲	۷۶	۷۲	۹۲
ویژگی در $\lambda = 5.4$	۱۶	۴۰	۶۸	۶۸	۸۸
ویژگی در $\lambda = 2.7, 4.1$	۳۲	۶۰	۷۲	۸۰	۹۲
ویژگی در $\lambda = 4.1, 5.4$	۳۲	۴۴	۷۲	۸۰	۸۸
میانگین		۴۹	۷۵/۵	۷۴	۸۸

جدول ۲- نتایج نرخ تعیین هویت صحیح (درصد) برای روش پیشنهادی با ویژگی تبدیل فوریه انرژی گابور

نوع ویژگی	طول بردار ویژگی	فاصله اقلیدسی وزندار		فاصله χ^2	
		فهرست برخورد ۱	فهرست برخورد ۳	فهرست برخورد ۱	فهرست برخورد ۳
۵ ضریب فوریه	۱۵	۵۲	۸۰	۸۰	۹۲
۵ ضریب در $\lambda = 2.7$	۵	۵۲	۷۲	۷۶	۸۴
۵ ضریب در $\lambda = 4.1$	۵	۲۸	۶۴	۶۴	۸۸
۵ ضریب در $\lambda = 5.4$	۵	۴۴	۷۲	۵۲	۸۰
۴ ضریب در $\lambda = 2.7$	۴	۴۴	۷۲	۵۶	۸۴
۴ ضریب در $\lambda = 4.1$	۴	۳۲	۶۴	۵۲	۸۴
۴ ضریب در $\lambda = 5.4$	۴	۴۴	۶۸	۵۲	۷۶
میانگین		۴۲/۳	۷۰/۳	۶۱/۸	۸۴

قابل ذکر است که در جدول ۱ نتایج به ازای دو فهرست برخورد[۱۸] با اندازه ۱ و ۳ بررسی شده اند که منظور این است که نویسنده در یک یا سه انتخاب اول بدرستی تشخیص داده شده است. واضح است که نتایج فاصله χ^2 دارای دقت بالاتری نسبت به فاصله اقلیدسی وزن دار می باشد و بهترین نرخ تعیین هویت صحیح یعنی ٪۹۲ در فهرست برخورد با اندازه ۳ و ٪۸۸ در فهرست برخورد با اندازه ۱، و به ازای تمامی تمام ویژگیها بدست آمده است.

همچنین روش پیشنهادی به همراه ویژگی تبدیل فوریه انرژی گابور بررسی شده و نتایج آن که در جدول ۲ خلاصه شده است، به نتایج انرژی گابور نزدیک می باشد. هر چند نرخ تعیین هویت صحیح برای ویژگی تبدیل فوریه کمتر از ویژگی انرژی گابور است اما باید در نظر داشت که طول بردار ویژگی کوچکتر و حساس نبودن نسبت به چرخش از امتیازات آنهاست.

با استفاده از روش سِد برای هر بلوک ورودی یک بردار ویژگی ۳۲ تایی (چهار فرکانس و چهار جهت) بدست می آید که با اجرای آن برای نمونه های آزمایشی، نتایج نرخ تعیین هویت صحیح همانند جدول ۳ می باشد. همانطور که از نتایج مشخص است در این روش نیز تعیین هویت برای فرکانس های بالاتر و همچنین ویژگی میانگین با دقت بیشتر انجام شده است. در این روش نیز بهترین نرخ تعیین هویت صحیح یعنی ٪۶۸ در فهرست برخورد با اندازه ۳ و ٪۶۴ در فهرست برخورد با اندازه ۱، و به ازای هر ۳۲ ویژگی بدست آمده است که البته نرخ تشخیص فقط ویژگی میانگین و تمامی ویژگیها به ازای $f= 32, 16$ نیز به این نتیجه نزدیک است.

روش ماتریس هم وقوعی را با استفاده از بردار ویژگی ۶۰ تایی (چهار جهت و پنج فاصله) پیاده سازی کرده و آنرا برای نمونه های آزمایشی ارزیابی نموده ایم. نتیجه این ارزیابی را در جدول ۴ مشاهده می کنیم. در این جدول همچنین نتیجه نرخ تعیین هویت صحیح برای ترکیب فاصله های مختلف آورده شده است. بررسی ها نشان می دهند که استخراج ویژگی با استفاده از فاصله های کوچکتر نتایج بهتری داشته است. بهترین نرخ تعیین هویت صحیح برای ماتریس هم وقوعی ٪۷۶ در فهرست برخورد با اندازه ۳ و ٪۶۴ در فهرست برخورد با اندازه ۱، و به ازای $d= 1, 2$ بوده است که این نتایج نسبت به هر دو روش قبلی که براساس فیلترهای گابور طراحی شده اند، ضعیفتر است.

با بررسی نتایج هر سه روش مشخص می شود که روش پیشنهادی با ویژگی انرژی گابور، از کارایی بهتری برای متون دست‌نویس فارسی برخوردار است البته باید در نظر داشت که هدف ما مقایسه روش سِد و روش پیشنهادی نیست زیرا در روش سِد از فیلترهای گابوری استفاده شده که برای متون دست‌نویس انگلیسی کارایی دارند و بنابراین ویژگی روش پیشنهادی متناسب بودن فیلترهای گابور انتخابی با ساختار متون دست‌نویس فارسی و ارایه ویژگیهایی کاراتر می باشد. اما در مجموع می توان نتیجه گیری کرد که کارایی روش پیشنهادی به دو دلیل بهتر از روش سِد بوده است: اول اینکه مشخصات بانک فیلتر روش پیشنهادی با نتایج تجربی در مورد سیستم بینایی سازگارتر است و بهتر توانسته پاسخ سلولهای ساده را مدلسازی کند. دوم اینکه تنوع جهت در دست‌نوشته های فارسی نسبت به انگلیسی کمتر است و معمولاً به دلیل سرکش ها و زیرکش ها یک جهت غالب را در متون دست‌نویس فارسی نمی توان یافت. به همین دلیل نتایج روش سِد بر روی متون دست‌نویس فارسی ضعیف تر از نتایجی است که با همین روش برای متون انگلیسی حاصل شده است [۳]. در واقع در روش پیشنهادی با در نظر گرفتن جهت های بیشتر، اطلاعات بیشتری در مورد جهت دست‌نوشته استخراج شده و نرخ تعیین هویت بالاتری بدست می آید.

همچنین نتایج بیانگر این مطلب است که روشهایی که براساس فیلتر گابور و مفهوم تجزیه چند کانالی پیاده سازی شده اند نسبت به روشهای سنتی مثل ماتریس هم وقوعی، کارایی بهتری دارند. قابل ذکر است که در [۱۴] نیز از فیلترهای گابور و روش مشابهی با روش سِد به منظور بازشناسی نوع قلم استفاده

شده و نتایج نشان می دهند که فیلترهای گابور در مقایسه با روشهای دیگر موفق تر بوده و نسبت به عواملی مثل نویز و تغییرات دقت تصویر حساس نمی باشند.

جدول ۳- نتایج نرخ تعیین هویت صحیح (درصد) برای روش Said

نوع ویژگی	طول بردار ویژگی	فاصله اقلیدسی وزندار		فاصله χ^2	
		فهرست برخورد ۱	فهرست برخورد ۳	فهرست برخورد ۱	فهرست برخورد ۳
تمامی ویژگیها	۳۲	۵۲	۶۸	۶۴	۶۸
فقط ویژگی انحراف معیار	۱۶	۴۴	۵۶	۵۲	۵۶
فقط ویژگی میانگین	۱۶	۴۸	۶۴	۶۰	۶۴
ویژگیها در $f= 32$	۸	۴۴	۶۰	۵۶	۶۰
ویژگیها در $f= 16$	۸	۴۴	۵۶	۵۲	۵۶
ویژگیها در $f= 8$	۸	۴۰	۵۲	۴۸	۵۲
ویژگیها در $f= 4$	۸	۲۴	۴۸	۴۴	۴۸
ویژگیها در $f= 32,16$	۱۶	۴۸	۶۴	۶۰	۶۴
میانگین		۴۲	۵۸/۵	۵۴/۵	۶۰

جدول ۴- نتایج نرخ تعیین هویت صحیح (درصد) ماتریس هم وقوعی

نوع ویژگی	طول بردار ویژگی	فاصله اقلیدسی وزندار		فاصله χ^2	
		فهرست برخورد۱	فهرست برخورد۳	فهرست برخورد۱	فهرست برخورد۳
تمامی ویژگیها	۴۸	۳۲	۶۴	۶۴	۷۲
d= 1, 2, 3	۳۶	۳۶	۶۴	۶۴	۷۲
d= 1, 2	۲۴	۲۸	۶۸	۶۴	۷۶
d= 1	۱۲	۳۲	۴۸	۵۲	۷۲
d= 2	۱۲	۲۸	۴۰	۶۴	۷۲
d= 4	۱۲	۱۲	۲۸	۴۰	۶۴
میانگین		۲۸	۵۰/۷	۵۸	۷۱/۳

برای تمامی روشها نتایج نرخ تعیین هویت بالاتری توسط فاصله χ^2 بدست آمده است. در واقع در فاصله χ^2 تفاوت ویژگیهای کوچک نسبت به فاصله اقلیدسی وزن دار دارای اهمیت بیشتری است. همچنین نتایج فیلترهای گابور و ماتریس هم وقوعی بیانگر این مطلب است که در حوزه فرکانس به ازای فرکانس های بالاتر و در حوزه مکان به ازای همسایگی های نزدیکتر، نرخ تعیین هویت صحیح بهتری به دست می آید بنابراین احتمالاً در نظر گرفتن ویژگیهایی از بافت تصویر که جزییات بافت را شامل می شوند، نتایج بهتری خواهد داشت. ویژگیهای معرفی شده در این مقاله از نوع ویژگیهای سراسری هستند که انتظار داریم با ترکیب آنها به همراه ویژگیهای محلی، نتایج بهتری را بدست آوریم. ویژگیهای محلی را می توان در سطح کل متن، پاراگراف، خط، کلمه و یا نویسه استخراج نمود که اغلب براساس اطلاعات آماری یا ساختاری دست‌نوشته محاسبه می شوند [۱، ۲، ۷، ۸].

۴- جمع بندی

در این مقاله روشی برای تعیین هویت نویسنده براساس متون دست‌نویس فارسی پیشنهاد شد که بصورت برون خط انجام شده و مستقل از متن می باشد. در این روش تصویر متن دست‌نویس بصورت یک بافت در نظر گرفته شده و بنابراین پس از نرمال سازی تصویر، با کمک فیلترهای گابور چند کانالی ویژگیهای متن استخراج شده و تعیین هویت براساس فاصله اقلیدسی وزن دار و فاصله χ^2 انجام می شود. روش پیشنهادی به همراه دو روش ماتریس هم وقوعی و روشی دیگر که براساس فیلترهای گابور می باشد، پیاده سازی شده و نتایج اجرای آنها بر روی تصاویر دستخط ۲۵ نفر نشان می دهد که روش پیشنهادی کارایی بهتری دارد. چون مسئله تعیین هویت نویسنده با استفاده از متن دست‌نویس فارسی اولین بار انجام می شود، این نتایج امیدوار کننده است و با بهبود مراحل پیش پردازش و نرمال سازی تصویر مثلاً تصحیح کجی خطوط، می توان به نتایج بهتری دست یافت. علاوه بر این ویژگیهای مطرح شده در این مقاله ویژگیهایی سراسری هستند که با استخراج ویژگیهای محلی و ترکیب آنها با یکدیگر می توان نتایج را بهبود بخشید.

قدردانی و تشکر

این تحقیق براساس قرارداد شماره ۵۰۰/۶۰۷۷/ت بوسیله حمایت‌های مالی مرکز تحقیقات مخابرات ایران پشتیبانی شده و نویسندگان مقاله برای این مساعدت‌ها کمال سپاسگزاری را دارند.

مراجع

[1] S. N. Srihari, H. Arora, S. H. Cha and Sangjik Lee, "Individuality of handwriting," *Journal of Forensic Sciences*, vol. 47, no. 4, pp. 1-17, 2002.

[2] S. N. Srihari, H. Arora, S. H. Cha and Sangjik Lee, "Individuality of handwriting: a validation study," *Proc. Of 6th IEEE Conf. on Document Analysis and Recognition*, pp. 106-109, 2001.

[3] H. E. Said, T. N. Tan and K. D. Baker, "Personal identification based on handwriting," *Pattern Recognition*, vol. 33, no. 1, pp. 149-160, 2000.

[4] A. Bensefia, T. Paquet and L. Heutte, "A writer identification and verification system," *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, issue 13, pp. 2080-2092, 2005.

[5] L. Schomaker and M. Bulacu, "Automatic writer identification using connected-component contours and edge-based features of upper-case western script," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 26, no. 6, pp. 787-798, 2004.

[6] A. Schlapbach and H. Bunke, "Using HMM based recognizers for writer identification and verification," *IEEE Proc. Of 9th Int. Workshop on Frontiers in Handwriting Recognition*, pp. 167-172, 2004.

[7] M. Bulacu, L. Schomaker, and L. Vuurpijl, "Writer identification using edge-based directional features," *In Seventh Int. Conf. on Document Analysis and Recognition*, pp. 937-941, 2003.

[8] U.V. Marti, R. Messerli and H. Bunke, "Writer identification using text line based features," *IEEE Proc. of 6th Int. conf. on Document Analysis and Recognition*, pp. 101-105, 2001.

[9] E.N. Zois and V. Anastassopoulos, "Morphological waveform coding for writer identification," *Pattern Recognition*, vol. 33, pp. 385-398, 2000.

[10] J. Ha, R.M. Haralick and I.T. Phillips, "Document page decomposition by the bounding-box projection techniques," *Proc. Int. Conf. on Document Analysis and Recognition*, pp. 1119-1122, 1995.

[11] R. Manmatha and L. Rothfeder, "A scale space approach for automatically segmentation words from historical handwritten documents," *IEEE Trans. On Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 27, no. 8, pp. 1212-1225, 2005.

[12] N. Otsu, "A threshold selection method for gray-level histogram," *IEEE Trans. On Systems, Man and Cybernetics*, vol. 9, no. 1, pp. 62-66, 1979.

[13] G.S. Peake, T.N. Tan, "Script and language identification from document images," *In Proc. of the BMVC '97*, vol. 2, pp. 610-619, 1997.

[14] Y. Zhu, T.N. Tan and Y. Wang, "Font recognition based on global texture analysis," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 23, no. 1, pp. 1192-1200, 2001.

[15] J. G. Daugman, "Uncertainty relation for resolution in space, spatial frequency and orientation optimized by two-dimensional visual cortical filters," *J. Opt. Soc. Amer.*, vol. 2, pp. 1160–1169, 1985.

[16] P. Kruizinga and N. Petkov, "Nonlinear operator for oriented texture," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 8, no. 10, pp. 1395-1407, 1999.

[17] D.A. Pollen and S.F. Ronner, "Visual cortical neurons as localized spatial frequency filters," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 13, no. 5, pp. 907-916, 1983.

[18] D.H. Hubel and T.N. Wiesel, "Receptive fields and functional architecture in two nonstriate visual areas 18 and 19 of the cat," *J. of Neurophysiology*, vol. 28, pp. 229-289, 1956.

[19] T.N. Tan, "Rotation invariant texture features and their use in automatic script identification," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 7, pp. 751-756, 1998.

[20] T.N. Tan, "Texture feature extraction via visual cortical channel modeling," *Proc. of 11th IAPR Int. conf. Pattern Recognition*, vol. 3, pp. 607-610, 1992.

[21] R. Haralick, K. Shanmugam and I. Dinstein, "Textural features for image classification," *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3, no. 6, pp. 610-621, 1973.

فاطمه شهابی نژاد کارشناسی خود را در سال ۱۳۷۹ در رشته مهندسی کامپیوتر- نرم افزار از دانشگاه اصفهان و با کسب رتبه فارغ التحصیل ممتاز دریافت نمود. وی در سال ۱۳۸۱ در چهارمین جشنواره جوان خوارزمی موفق به دریافت جایزه سوم کشوری در گروه فنی و مهندسی گردید. وی سپس در دانشگاه صنعتی امیرکبیر، کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی کامپیوتر گرایش هوش مصنوعی به اتمام رساند (۱۳۸۳). عنوان پایان نامه ایشان "تعیین و تأیید هویت نویسنده مبتنی بر متون دستنویس فارسی" می باشد و زمینه های پژوهشی مورد علاقه وی، پردازش تصویر، بینایی ماشین و بازشناسی الگو می باشد.

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارتست از:

fa_shahabi@yahoo.com

محمد رحمتی در سال ۱۳۷۳ مدرک دکترا در مهندسی برق و کامپیوتر را از دانشگاه کنتاکی آمریکا دریافت نمود. وی از سال ۱۳۷۳ تاکنون به عنوان عضو هیات علمی در دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه صنعتی امیرکبیر مشغول به کار می باشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان پردازش تصاویر ساکن و متحرک، شناسایی الگو، بینایی ماشین و داده کاوی می باشد.

آدرس پست الکترونیکی ایشان عبارتست از:

rahmati@aut.ac.ir

---

[1] Srihari
[2] Said
[3] Bensefia
[4] Grapheme
[5] Schomaker
[6] Schlapbach
[7] Hidden Markov Model
[8] Bulacu
[9] Marti
[10] Zois
[11] Horizontal Projection Profile
[12] Morphology
[13] Daugman
[14] Hubel
[15] Wiesel
[16] Tan
[17] Support Vector Machine (SVM)
[18] Hit List