

بازشناسی حروف برخط فارسی با استفاده از مدل مخفی مارکوف

وحید قدس^۱، احسان‌اله کبیر^۲

^۱ دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان، سمنان

Email: v.ghods@semnaniau.ac.ir

^۲ دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس، تهران

Email: kabir@modares.ac.ir

چکیده

در این مقاله، روشی برای بازشناسی حروف برخط فارسی که به صورت تنها نوشته شده‌اند، معرفی شده است. با توجه به شکل و ساختار بدنه اصلی، حروف فارسی به ۱۷ گروه تقسیم می‌شوند. ابتدا، با استفاده از روش آماری مدل مخفی مارکوف به بازشناسی بدنه اصلی پرداخته شده است. در گام بعدی، بازشناسی نهایی در هر گروه با توجه به موقعیت علائم، نقاط و مدل مخفی مارکوف آن‌ها انجام شده است. روش پیشنهادی بر روی مجموعه داده «حروف برخط دانشگاه تربیت مدرس» اجرا شده و گروه‌بندی درست با دقت ۹۶٪ و بازشناسی حروف با دقت ۹۴٪ به دست آمده است.

کلمات کلیدی

دست‌نوشته برخط، فارسی، بازشناسی، مدل مخفی مارکوف.

است. این روش‌ها برای حروف تنها که به صورت برخط نوشته شده باشند، مناسب هستند.

۱ - مقدمه

گروه‌بندی و بازشناسی حروف تنهای فارسی با استفاده از ویژگی‌های ساختاری آن‌ها توسط مرجع [۱۳] ارائه شده است. در این مقاله ۲۴ ویژگی برخط جدید ارائه شده است. در مرجع [۹] حروف مجزای فارسی با یک الگوریتم سلسله مراتبی تکه‌بندی می‌شوند و با یک روش فازی بازشناسی می‌شوند. دقت سیستم برای نمونه‌های آموزشی ۹۳/۴٪ و برای نمونه‌های آزمایش ۹۰/۲٪ است. پایگاه مورد استفاده برای آموزش و آزمون این روش، مجموعه داده «حروف برخط دانشگاه تربیت مدرس» است [۱]. نمونه‌های ۷۰ نویسنده اول برای آموزش و نمونه‌های دیگر نویسنده‌ها (۵۴ نویسنده) برای آزمون به کار گرفته شده است.

در یکی از آخرین تحقیقات در زبان فارسی ابتدا گروه‌بندی بر اساس نقاط و سرکش‌ها و علائم کوچک به کمک شبکه عصبی انجام می‌شود و سپس در هرگروه با استفاده از معیار حداقل فاصله برای بدنه اصلی، شناسایی حرف و زیرکلمه صورت می‌گیرد [۳، ۲]. در [۱۰]، بدنه‌های اصلی حروف بر اساس شکل و ساختار نوشتاری آن‌ها به ۹ گروه تقسیم می‌شوند. پس از

با توجه به نحوه دریافت اطلاعات، بازشناسی دست‌نوشته به صورت برون‌خط، offline، و برخط، online، صورت می‌پذیرد [۱۱]. در زمینه بازشناسی برون‌خط دست‌نوشته فارسی تحقیقات زیادی صورت پذیرفته است، ولی در زمینه بازشناسی برخط دست‌نوشته تحقیقات کمتری انجام شده است [۵-۱].

در بازشناسی برخط، مختصات نقاط مسیر حرکت قلم، تعداد حرکات قلم و فشار قلم در دسترس هستند. بازشناسی برخط نوشتار به دلیل راحت‌تر بودن نوشتن از تایپ کردن، عدم امکان تایپ در بعضی از موقعیت‌ها، عدم وجود یک صفحه کلید کامل روی کامپیوترهای کوچک و سخت بودن تایپ حروف در بعضی زبان‌ها به دلیل تعداد زیاد حروف آن‌ها، مورد توجه خاصی قرار گرفته است.

معمولاً از مدل مخفی مارکوف [۷، ۶، ۴]، برنامه نویسی پویا و شبکه عصبی برای بازشناسی حروف و ارقام فارسی استفاده می‌شود. در [۱۲] با یک روش فازی، بازشناسی کلمات فارسی برخط انجام شده است. در [۸]، دو روش ساده و کارا برای آشکارسازی دایره‌ی حروف به منظور گروه‌بندی آن‌ها ارائه شده

دانشگاه سمنان - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

انتخاب و استخراج ویژگی‌ها، گروه‌بندی با استفاده از درخت تصمیم انجام می‌شود.

پیوسته ۱ استفاده شده است. تعداد حالت‌ها و مخلوط‌ها به ترتیب ۱۶ و ۴ در نظر گرفته شده است.

ویژگی‌های برخط که برای استخراج ویژگی‌های مربوط به بدنه اصلی حروف به کار گرفته شد به قرار زیر است [۱۵]:

- مختصات x نرمالیزه شده؛ - مختصات y نرمالیزه شده؛ زاویه θ ، زاویه بین خط میان دو نقطه نمونه برداری شده متوالی و محور x ها؛ - اختلاف زاویه θ فعلی با قبلی، $\Delta\theta$ ؛ - $2 \sin(\theta)$ ؛ - $2 \cos(\theta)$ ؛ - $3 \sin(\Delta\theta)$ ؛ - $3 \cos(\Delta\theta)$ ؛ - سرعت در راستای محور x ها، V_x ؛ - سرعت در راستای محور y ها، V_y ؛ - Vicinity Aspect؛ - Vicinity Slope؛ - فاصله اقلیدسی هر نمونه تا خط میان نمونه اول و آخر.

گروه‌های تک عضوی (گروه‌های ۱۰ الی ۱۷) در این مرحله بازشناسی نهایی شده‌اند. گروه‌های دو عضوی (گروه‌های ۱، ۴، ۶، ۷، ۸، ۹) با توجه به تعداد حرکت‌های قلم تعیین وضعیت و بازشناسی می‌شوند. مثلاً؛ اگر حرف ورودی در گروه ۶ طبقه‌بندی شود، اگر اجزای کوچک وجود نداشته باشد (تعداد حرکت‌های قلم «۱» باشد)، حرف «س» و اگر اجزای کوچک وجود داشته باشد (تعداد حرکت‌های قلم بیشتر از «۱» باشد)، حرف «ش» پاسخ نهایی بازشناسی است. الگوریتم ارائه شده در شکل (۱) نشان داده شده است.

مرجع [۱۴]، به بررسی اثر اجزای کوچک بر بازشناسی زیرکلمات برخط فارسی با استفاده از تعداد، موقعیت و ترتیب نقاط و علائم پرداخته است. در ارتباط با پایگاه داده دستنوشته برخط فارسی اطلاعات محدودی وجود دارد. مهمترین پایگاه داده ارائه شده مرجع [۱] است که در سال ۱۳۸۳ تولید شد.

در این مقاله، به منظور بازشناسی حروف فارسی در گام اول با استفاده از مدل مخفی مارکوف بدنه اصلی، گروه‌بندی حروف انجام می‌شود. در مرحله بعد، استفاده از تعداد و موقعیت اجزای کوچک و مدل آن‌ها (در صورت نیاز) به بازشناسی نهایی منجر می‌گردد. آزمایشات بر روی پایگاه داده [۱] صورت پذیرفته است.

در بخش دوم مقاله به گروه‌بندی بر اساس بدنه اصلی و سپس بازشناسی نهایی به کمک اجزای کوچک پرداخته می‌شود. در بخش سوم نتایج تجربی بر روی بیش از ۴۰۰۰ حرف برخط فارسی بیان شده است. در بخش چهارم نتیجه‌گیری مقاله آمده است.

۲- گروه‌بندی و بازشناسی حروف

بر اساس تنوع شکل در نوشتن حروف تنهای فارسی، ۱۷ گروه که بدنه اصلی اعضای هر گروه دارای شکل و ویژگی‌های یکسان است، تشکیل می‌دهیم. اعضای این گروه‌ها به قرار جدول (۱) است.

جدول (۱): گروه‌های تعیین شده برای حروف

| | | | | | |
|--------|------------------|---------|------|---------|---|
| گروه ۱ | ا، آ | گروه ۷ | ص، ض | گروه ۱۳ | م |
| گروه ۲ | ب، پ، ت، ث، ک، گ | گروه ۸ | ط، ظ | گروه ۱۴ | ن |
| گروه ۳ | ج، چ، ح، خ | گروه ۹ | ع، غ | گروه ۱۵ | و |
| گروه ۴ | د، ذ | گروه ۱۰ | ف | گروه ۱۶ | ه |
| گروه ۵ | ر، ز، ژ | گروه ۱۱ | ق | گروه ۱۷ | ی |
| گروه ۶ | س، ش | گروه ۱۲ | ل | | |

در این مرحله، با توجه به یکسان بودن بدنه اصلی گروه‌ها و داشتن نمونه کافی از هر گروه از روش مدل مخفی مارکوف

در مرحله بعد، پس از کنترل حرف وارد شده (با توجه به تعداد حرکات اجزای کوچک و بالا، وسط یا پایین بودن آن‌ها) و انتخاب گروه‌های مناسب برای آن حرف، بازنشاسی نهایی حروف به کمک مدل اجزای کوچک برای گروه‌های ۲، ۳ و ۵ انجام می‌شود.

۳- نتایج تجربی

در این تحقیق، از مجموعه داده مرجع [۱] با حدود ۴۰۰۰ حرف دست‌نوشته برخط فارسی که توسط ۱۲۰ نویسنده نوشته شده است استفاده گردید؛ در این مجموعه، ۱۱۷ نمونه برخط از هر حرف موجود است. برای جمع آوری داده‌ها از قلم و صفحه WACOM GRAPHIRE استفاده شده است.

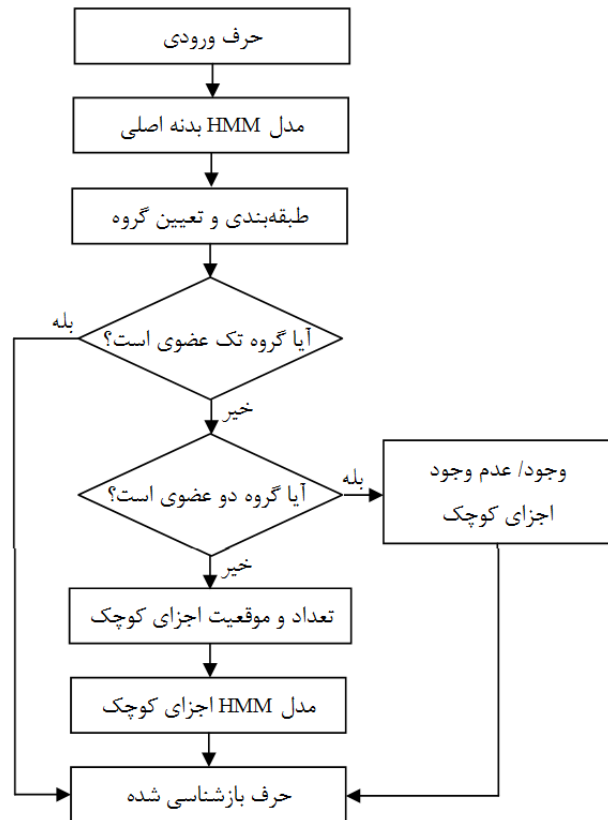
۶۰ نمونه از هر حرف (۵۱٪) به عنوان مجموعه تمرین و سایر نمونه‌ها (۵۷ نمونه) به عنوان مجموعه آزمایش در نظر گرفته شد. نتایج اجرای روش ارائه شده برای تعیین تعلق نمونه‌های آزمایش به گروه مناسب خود با توجه به گروه‌های جدول (۱) و بازنشاسی نهایی حروف به ترتیب در جدول‌های (۲) و (۳) آمده است. این جدول‌ها به صورت ماتریس سردرگمی ارائه شده است.

جدول (۲): ماتریس سردرگمی مربوط به گروه‌بندی

(۹۶٪ گروه‌بندی درست)

| Out In | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ | ۱۱ | ۱۲ | ۱۳ | ۱۴ | ۱۵ | ۱۶ | ۱۷ |
|--------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| ۱ | ۱۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | ۰ | ۳۲۷ | ۰ | ۱ | ۱ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۲ | ۲ | ۰ | ۰ | ۶ | ۰ | ۰ | ۱ |
| ۳ | ۰ | ۰ | ۳۲۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ |
| ۴ | ۰ | ۱ | ۰ | ۱۱۲ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۵ | ۱ | ۴ | ۰ | ۳ | ۱۶۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۶ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۱۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳ |
| ۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱۱۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۰۷ | ۰ | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴ |
| ۹ | ۰ | ۰ | ۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۰ | ۰ | ۲ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۵۳ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۲ | ۰ | ۰ | ۱ | ۵۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۲ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ |
| ۱۳ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵۶ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۴ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳ | ۱ | ۰ | ۵۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ |
| ۱۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵۶ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۱۶ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵۲ | ۰ | ۰ |
| ۱۷ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵۳ |

جدول (۳): ماتریس سردرگمی مربوط به دقت بازنشاسی (۹۴٪ بازنشاسی درست)

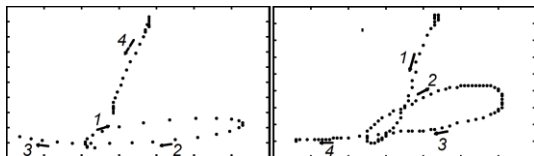


شکل (۱): روندنمای بازنشاسی یک حرف ورودی ناشناخته

اگر حرف ورودی در گروه‌های ۲، ۳ و ۵ طبقه‌بندی شود، برای بازنشاسی نهایی به سراغ مدل مخفی مارکوف اجزای کوچک حروف (علائم و نقاط) می‌رویم. در این مرحله نیز از روش مدل پیوسته استفاده شده است. تعداد حالت‌ها و مخلوط‌ها با توجه به پیچیدگی کمتر اطلاعات اجزای کوچک به ترتیب ۴ و ۲ در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های برخط که برای استخراج ویژگی‌های مربوط به اجزای کوچک حروف به کار گرفته شد به قرار زیر است [۱۵]:

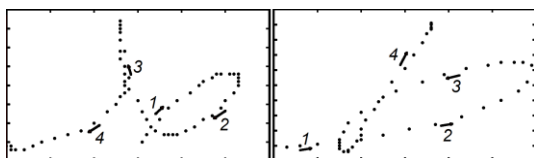
- مختصات x نرمالیزه شده؛ - مختصات y نرمالیزه شده؛ - زاویه θ ، زاویه بین خط میان دو نقطه نمونه برداری شده متوالی و محور x ها؛ - اختلاف زاویه θ فعلی با قبلی، $\Delta\theta$ ؛ - $\sin(\theta)$ ؛ - $\cos(\theta)$ ؛ - $\sin(\Delta\theta)$ ؛ - $\cos(\Delta\theta)$ ؛ - سرعت در راستای محور x ها، V_x ؛ - سرعت در راستای محور y ها، V_y ؛ - Vicinity Aspect؛ - Vicinity Slope؛ - مساحت اشغالی جزء کوچک نرمالیزه شده؛ - نسبت مساحت جزء کوچک به مساحت بدنه اصلی.

| Out | ا | ب | پ | ت | ث | ج | چ | ح | خ | د | ذ | ر | ز | س | ش | ص | ض | ط | ظ | ع | غ | ف | ق | ک | گ | ل | م | ن | و | ی | Acc% |
|-----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|---|----|----|---|---|---|------|
| ا | ۵۶ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۸ |
| ب | | ۵۵ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۶ |
| پ | | | ۵۱ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۵ |
| ت | | | | ۵۰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۶ |
| ث | | | | | ۵۰ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۵ |
| ج | | | | | | ۵۱ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۸۹ |
| چ | | | | | | | ۵۱ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۶ |
| ح | | | | | | | | ۵۵ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۶ |
| خ | | | | | | | | | ۵۱ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۵ |
| د | | | | | | | | | | ۵۶ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۸ |
| ذ | | | | | | | | | | | ۵۶ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۸ |
| ر | | | | | | | | | | | | ۵۵ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۶ |
| ز | | | | | | | | | | | | | ۵۲ | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۱ |
| س | | | | | | | | | | | | | | ۵۱ | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۵ |
| ش | | | | | | | | | | | | | | | ۵۱ | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۵ |
| ص | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۶ | | | | | | | | | | | | | | | ۹۸ |
| ض | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۶ | | | | | | | | | | | | | | ۹۸ |
| ط | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۲ | | | | | | | | | | | | | ۹۶ |
| ظ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۲ | | | | | | | | | | | | ۹۱ |
| ع | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۰ | | | | | | | | | | | ۸۸ |
| غ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۰ | | | | | | | | | | ۹۶ |
| ف | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۶ | | | | | | | | | ۹۸ |
| ق | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۴ | | | | | | | | ۹۳ |
| ک | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۳ | | | | | | | ۹۳ |
| گ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۱ | | | | | | | ۸۹ |
| ل | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۶ | ۱۳ | | | | | ۷۵ |
| م | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۱ | ۵۵ | | | | ۹۶ |
| ن | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۵۶ | | | | ۹۸ |
| و | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۸ |
| ی | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۱ |
| ی | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ۹۳ |



(ب)

(الف)



(د)

(ج)

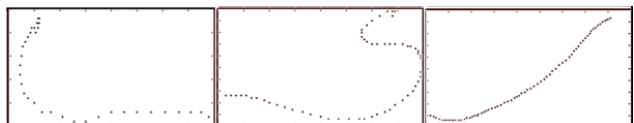
شکل (۳): تنوع ترتیب نوشتن اجزای حرف «ط» [۱۰]

نوع دیگری از اشکالات در تشخیص نقاط رخ داده است که در شکل (۴) دیده می‌شود. در شکل (۴) (الف) نویسنده هنگام نوشتن تک نقطه حرف «ب»، قلم را یک دور چرخانده است که در بازشناسی به اشتباه سه نقطه تشخیص داده شده است. در شکل (۴) (ب) به دلیل انحنای زیاد در نوشتن، دو نقطه به اشتباه سه نقطه تشخیص داده شده است. در شکل (۴) (ج)، هنگام نوشتن تک نقطه حرف «ز» قلم لغزیده است و در بازشناسی به اشتباه سه نقطه تشخیص داده شده است.

همان طوری که مشاهده می‌شود، دقت بازشناسی گروه‌ها ۹۶٪ و بازشناسی نهایی ۹۴٪ به دست آمده است.

نمونه‌هایی از اشکالاتی که در شناسایی تعلق بدنه اصلی حروف به گروه مناسب رخ داده است، در زیر بررسی می‌شود.

در شکل (۲) نمونه‌های حرف «ی» نشان داده شده است که عضو گروه ۱۷ هستند؛ ولی درست تشخیص داده نشده‌اند. در این کار، این نوع دست‌نوشته‌های غیر معمول را در نظر نگرفته‌ایم.



شکل (۲): نمونه‌های حرف «ی» که عضو گروه ۱۷ است ولی درست گروه‌بندی نشده است.

مسئله‌ای که در شناسایی گروه ۸ («ط» و «ظ») رخ می‌دهد تنوع نوشتن این دو حرف توسط افراد مختلف است. در نمونه‌های مجموعه داده، ۴ نوع نوشتن متفاوت دیده شد که در شکل (۳) آورده شده است. در این تحقیق، فقط شکل (۳) (ب) آموزش داده شده است.

[۲] س. م. رضوی و ا. کبیر، "روشی ساده برای بازشناسی برخط حروف مجزای فارسی"، مجله دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۴.

[۳] س. م. رضوی و ا. کبیر، "روشی ساده برای بازشناسی برخط زیر-کلمات فارسی"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ۷۲، پاییز وزمستان-۱۳۸۴، ایران، سال ۲، شماره ۲، صص ۶۳-۷۲.

[۴] ه. ساجدی، م. جم زاد، ح. ثامتی و ب. باباعلی، "ارائه یک روش مبتنی بر گروه‌بندی برای بازشناسی حروف مجزای برخط فارسی به کمک مدل مخفی مارکوف"، دوازدهمین کنفرانس بین المللی انجمن کامپیوتر ایران، صص ۴۲۵-۴۱۹، ۱۳۸۵.

[۵] ک. عباسیان و ا. کبیر، "بازشناسی برخط نویسه های فارسی"، مجموعه مقالات ششمین ۱۴۶، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، - کنفرانس مهندسی برق ایران، جلد ۳، صص ۱۳۷۷-۱۴۱.

[۶] م. ا. مهرعلیان، ک. فولادی، "بازشناسی برخط حروف مجزای دست نویس فارسی بر اساس تشخیص گروه اصلی بدنه با استفاده از مدل مخفی مارکوف"، پانزدهمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، تهران، ۱۳۸۸.

[۷] فرکی، م.، پالهنک، م.، "بازشناسی برخط حروف فارسی بر پایه مدل مخفی مارکوف"، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۰، شماره ۱، ۱۳۹۰.

[۸] و. قدس، ا. کبیر، "گروه‌بندی حروف برخط با آشکارسازی کاسه آن‌ها"، پانزدهمین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، تهران، ۱۳۸۸.

[۹] م. سلیمانی باغشاه، س. باقری شورکی و ش. کسائی، "بازشناسی و یادگیری حروف مجزای برخط فارسی به روش فازی"، چهاردهمین کنفرانس بین المللی مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، ایران، ۱۳۸۵.

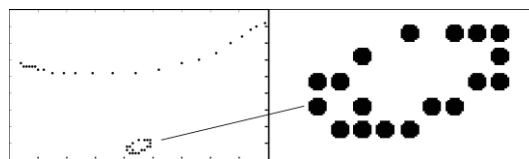
[۱۰] قدس، و.، کبیر، ا.، "استخراج ویژگی‌های حروف برخط فارسی به منظور گروه‌بندی آن‌ها با استفاده از درخت تصمیم" ششمین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، دانشگاه اصفهان، آبان ۱۳۸۹.

[11] R. Plamondon, N. Srihari, "On-line and Off-line Handwriting Recognition: A Comprehensive Survey", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 1, pp. 63-84, 2000.

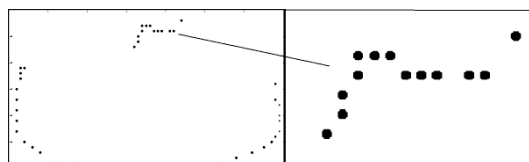
[12] R. Halavati and S. Bagheri Shouraki, "Recognition of Persian Online Handwriting Using Elastic Fuzzy Pattern Recognition", International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol. 21, No. 12, pp. 491-513, 2007.

[13] V. Ghods, E. Kabir, "Feature Extraction for Online Farsi Characters", 12th Int. Conf. on Frontiers in Handwriting Recognition (ICFHR), India, 2010.

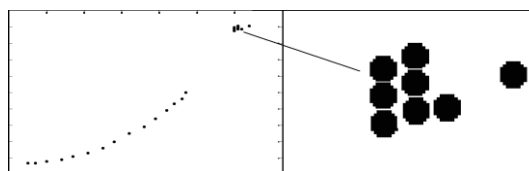
[14] Ghods, V., Kabir, E., "Lexicon Reduction Using Delayed Strokes for the Recognition of Online Farsi Subwords, Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Engineering and Technology (ICCET). ASME Press, Malaysia, pp. 125-129, 2011.



(الف) تک نقطه در حرف «ب»



(ب) دو نقطه سرهم در حرف «ت»



(ج) تک نقطه در حرف «ز»

شکل (۴): نمونه‌های بازشناسی اشتباه در نقاط

در مقایسه روش پیشنهادی این مقاله با مراجع [۷،۶] باید بیان کرد که در این روش، با توجه به تعداد حرکات اجزای کوچک و بالا، وسط یا پایین بودن آن‌ها، در جای مناسب (در چند گروه) از مدل مخفی مارکوف اجزای کوچک (نقاط و علائم) جهت بهینه کردن سیستم بازشناسی کمک گرفته شده است. نتیجه بازشناسی مرجع [۷] بر روی ۴۳۱ حرف که توسط ۸ نفر نوشته شده است، ۹۴٫۱٪ گزارش شده است.

۴- نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی کارا برای گروه‌بندی و بازشناسی حروف تنهای فارسی ارائه شده است. در الگوریتم بیان شده از حرکت اول قلم (بدنه اصلی حرف) به منظور گروه‌بندی و از حرکت دوم به بعد (اجزای کوچک حرف) به منظور بازشناسی نهایی استفاده شده است. نتایج اولیه اجرای الگوریتم، دقت بالای ۹۴٪ را در بازشناسی حروف فارسی حاصل داد.

مراجع

[۱] س. م. رضوی و ا. کبیر، "یک پایگاه داده برای بازشناسی دست‌نوشته های برخط فارسی"، ششمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند، کرمان، آذرماه ۱۳۸۳.



نخستین کنفرانس بین المللی پردازش خط و زبان فارسی

۱۵ و ۱۶ شهریور ۱۳۹۱

دانشگاه سمنان - دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

[15] Liwicki, M., Bunke, H., 2009. Feature Selection for HMM and BLSTM based Handwriting Recognition of Whiteboard Notes. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, Vol. 23, 907-923.

¹ Continuous hidden Markov model

² Writing Direction

³ Curvature