Archive of SID

مقدمه

تحقیقات گسترده‌ای در زمینه بازشناسی نوشتار انجام شده و می‌شود. بازشناسی نوشتار با توجه به نحوهٔ اخذ اطلاعات به دودستهٔ اصلی برون‌خط (Off-line) و برخط (on line) تقسیم می‌شود. بازشناسی برون خط هم شامل بازشناسی نوشتار تایپی وهم نوشتار دستنویس می‌شود ولی بازشناسی برخط فقط در بازشناسی دستنوشته کاربرد دارد. در بازشناسی برون‌خط، تصویرروبش شدهٔ نوشتار به عنوان ورودی در نظر گرفته می‌شود، ولی در بازشناسی برخط، مختصات نقاط مسیرحرکت قلم و فشار قلم، ورودی سیستم است. در این حالت وسیلهٔ ارتباط انسان با کامپیوتر معمولاً یک قلم و یک صفحهٔ رقومی‌کننده(Tablet digitizer) است[1-4].

بازشناسی برخط نوشتار به دلیل راحت‌تر بودن نوشتن از تایپ کردن، عدم امکان تایپ در بعضی جاها، عدم وجود یک صفحه‌کلید کامل روی کامپیوترهای کوچک، و سخت بودن تایپ نویسه‌ها در بعضی زبان‌ها به دلیل تعداد زیاد آنها، مورد توجه خاصی قرار گرفته‌است.

بعضی از سیستم‌های بازشناسی برخط فقط نویسه‌های خاص را بازشناسی می‌کنند. از این سیستم‌ها بیشتر روی کامپیوترهای کوچک که صفحه‌کلید کاملی ندارند و دقت بازشناسی زیادی لازم است، استفاده می‌شود. نمونه‌ای از این نویسه‌ها را که به Graffiti موسوم است، در شکل(۱) می‌بینید. در مواردی مثل K، T و 4 نویسه‌ای که به جای یک حرف یا رقم استفاده می‌شود، شباهتی با آن حرف یا رقم ندارد. سیستم‌هایی نیز وجود دارند که نوشتار پیوستهٔ لاتین یا سایر زبان‌ها مثل چینی و ژاپنی را نیز بازشناسی می‌کنند[5,6]. کامپیوترهای شخصی صفحه‌ای (Tablet PCs) می‌توانند اطلاعات را از طریق دستنوشته دریافت کنند. در محیط Office XP نیز امکان بازشناسی صحبت و دستنوشته وجود دارد. در زمینه بازشناسی برون‌خط نوشتار فارسی و عربی تحقیقات زیادی انجام شده است[7-14]، ولی در زمینهٔ بازشناسی دستنوشته‌های برخط فارسی و عربی تحقیقات چندانی صورت نگرفته است [15-25]. تحقیقات انجام شده بیشتر روی بازشناسی نویسه‌ها (شامل ارقام، حروف مجزا و علائم) است. در زمینهٔ بازشناسی کلمات دستنویس برخط تحقیقات بسیار کمی و با محدودیت‌هایی در نحوهٔ نوشتن و در تعداد کلمات معتبر انجام شده است .

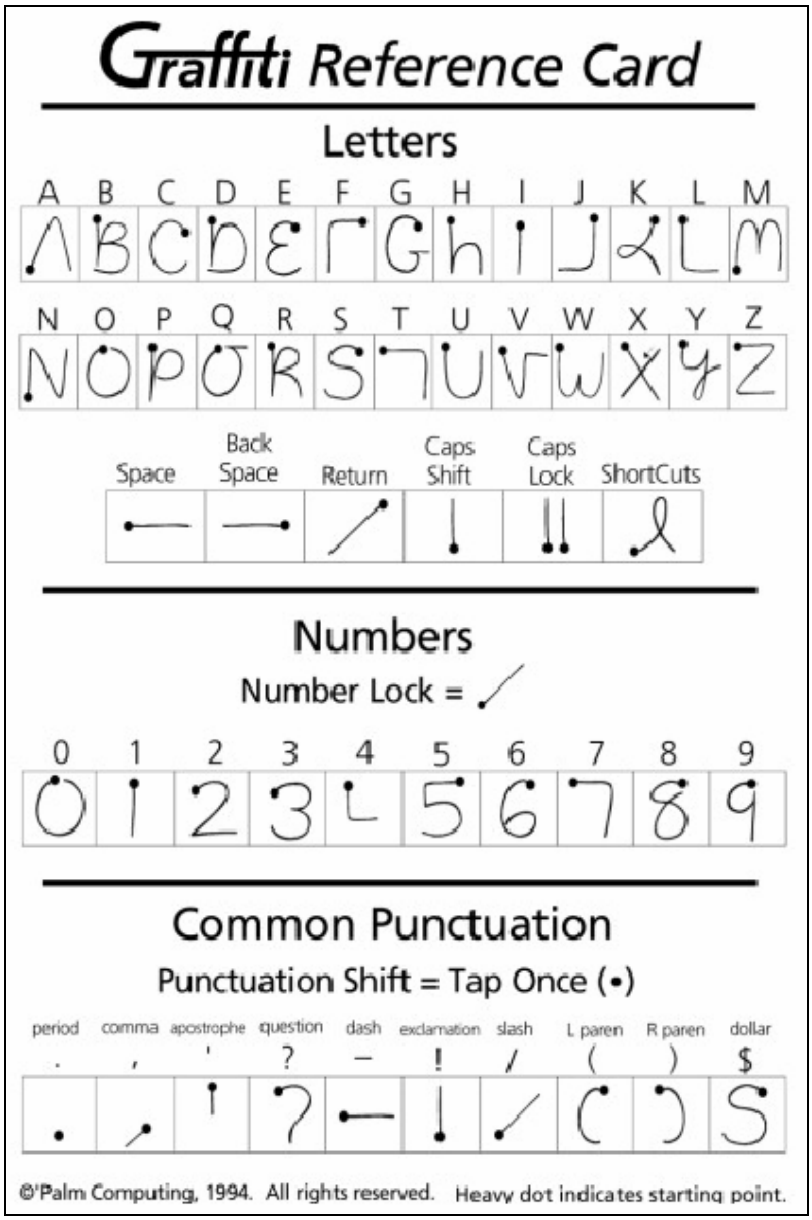
در یک تحقیق برای بازشناسی نویسه‌های برخط عربی از یک روش ساختاری استفاده شده است. در تحقیق یاد شده از شکل بدنهٔ اصلی نویسه، تعداد بخش‌ها و طبیعت زیگزاگی بعضی حروف، نقطهٔ شروع بدنهٔ اصلی حرف و انحنای بدنهٔ اصلی حروف در بازشناسی استفاده شده است. در بهترین حالت میزان بازشناسی ۹۵/٤٪ گزارش شده است[15].

در مرجع[16] برای بازشناسی برخط کلمات دستنویس از یک فرهنگ شامل ٤۰۰ کلمهٔ معتبر استفاده شده است؛ یعنی تعداد کلماتی را که سیستم بازشناسی می‌کند فقط ٤۰۰ کلمه است و نرخ بازشناسی برای همین ٤۰۰ کلمه ۸۰٪ گزارش شده است.

در تحقیق دیگری از ٤ کلمهٔ عربی {زقاق، دار، محله، حی} که ۳ بار توسط ۱۰ نویسنده نوشته شده‌اند، ۱۳ حرف در موقعیت‌های مختلف استخراج می‌شود و سیستم با آنها آموزش می‌بیند. برای بازشناسی درست باید کلمات به صورتی خیلی تمیز نوشته شوند تا جداسازی به حروف براحتی انجام شود. نویسنده‌ای ۵۰ کلمه را که از ترکیب ۱۳ حرف یاد شده بدست آمده‌اند، می‌نویسد و سیستم ٤۳ کلمه را بدرستی تشخیص می‌دهد. همین نویسنده وقتی با قواعد سیستم آشنا می‌شود همان ۵۰ کلمه را دوباره می‌نویسد و سیستم همه را تشخیص می‌دهد. این مطلب نشان می‌دهد که در سیستم‌های بازشناسی برخط نویسنده می‌تواند خود را با سیستم سازگار کند[17].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱ مجموعهٔ کاراکترهای Graffiti [2].

در تحقیقات دیگر ازمدل مخفی مارکف، برنامه نویسی پویا، روش عصبی- فازی، ترکیب قواعد فازی و روش ساختاری و شبکه عصبی کوهنن برای بازشناسی برخط حروف و ارقام عربی استفاده شده است[22-18]. در تحقیق دیگری که برای بازشناسی برخط ارقام وعلائم فارسی از روش‌های ساختاری استفاده شده است، عناصر ابتدایی مثل نقطهٔ شروع، نقطهٔ پایان، نقطهٔ شکست، خط راست، کمان ساعتگرد و کمان پادساعتگرد با یک سری قواعد تشخیص داده می‌شوند. ارقام و علائم نیز با استفاده از یک گرامر تشخیص داده می‌شوند. میزان بازشناسی درست برای نویسه‌های ۱، ۲، ٤، ۷ و ۸ بالای ۹۰٪، برای نویسه‌های /، +، ۵، ۳، ۹ و ٦

www.SID.ir

Archive of SID

حدود ۸۰٪ و برای نویسه‌های . و × حدود ۷۰٪ گزارش شده است[23].

در تحقیق دیگری نویسه‌های برخط فارسی با یک درخت تصمیم باینری و با استفاده از ویژگی‌های پویا و ایستا بازشناسی می‌شوند. ویژگی‌های استفاده شده در این تحقیق، تعداد، موقعیت مکانی و ترتیب زمانی بیشینه‌ها وکمینه‌های محلی برای x(t) و y(t)، موقعیت مکانی ابتدا و انتهای بدنهٔ اصلی حرف، تعداد حرکات قلم، موقعیت مکانی بخش‌های ثانوی نسبت به بخش اصلی و نسبت پهنا به ارتفاع بدنهٔ اصلی حرف می‌باشند. از پاره‌خط‌های افقی، عمودی و مورب، منحنی بسته، زیرحرف S، و کمان‌هایی با گودی در جهت‌های x و y بعنوان الگوهای پایه در بازشناسی استفاده می‌شوند. برای بازشناسی نقاط و علائم حروف، از میزان انحنا و موقعیت نسبی آنها نسبت به بدنهٔ اصلی استفاده شده است. میزان بازشناسی برای ۵۰ نمونه از هر حرف ۹۴/۷٪ گزارش شده است[25-24].

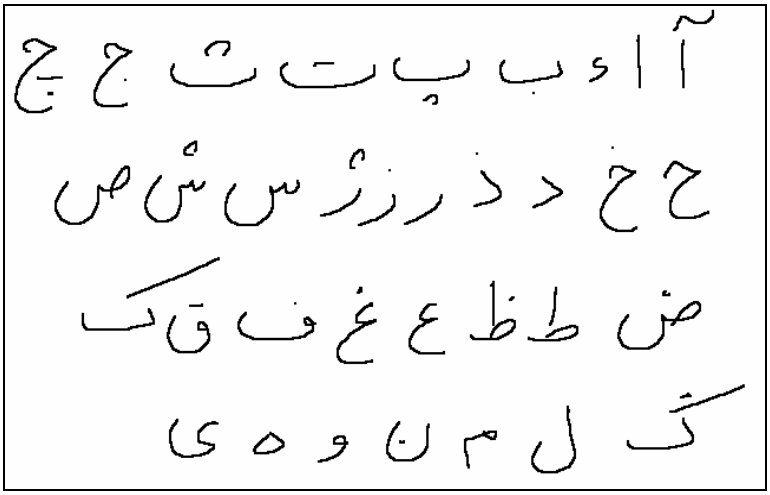
با توجه به مطالب فوق انجام تحقیقات در زمینه بازشناسی برخط نوشتار فارسی ضروری به نظر می‌رسد. در این تحقیق روشی ساده برای بازشناسی حروف مجزای فارسی ارائه می‌شود.

برخلاف حروف لاتین که هرکدام از حروف شکل خاصی دارند و معمولاً نقطه (در این تحقیق کلمهٔ نقطه با دو معنی استفاده شده یکی به معنی نقطهٔ بالا یا نقطه پایین حرف مثل یک نقطه در پایین (ب) ودیگری یک نقطه که موقع نمونه‌برداری از دستخط مختصات آن توسط صفحهٔ رقومی‌کننده دریافت می‌شود) یا علامتی در بالا یا پایین آنها قرار نمی‌گیرد (فقط روی حروف کوچک i و j یک نقطه وجود دارد)، حروف فارسی را می‌توان به گروه‌هایی تقسیم کرد که در هر گروه بدنهٔ اصلی حروف یکسان است و فقط در تعداد نقاط بالا یا پایین یا علائمی مثل سرکش و دسته (حروف ک وگ سرکش و حروف ط و ظ دسته دارند.) متفاوتند. مثلا حروف {ب، پ، ت، ث} در نوشتار تایپی بدنهٔ یکسانی دارند. در نوشتار دستنویس گاهی حروف {ک، گ} نیز با بدنه‌ای شبیه مجموعه یاد شده نوشته می‌شوند، شکل(۲) را ببینید. در هر مسئلهٔ بازشناسی حروف، تنها با شناختن بدنهٔ حرف نمی‌توان حرف را تشخیص داد و باید نقاط و علائم آن را نیز تشخیص داد تا حرف به صورت کامل بازشناسی شود. در صورتی که ابتدا نقاط و علائم را تشخیص دهیم بازشناسی بدنه ساده‌تر می‌شود. مثلاً اگر تشخیص دهیم که سه نقطه در زیر حرف وجود دارد، حرف ناشناخته ‘پ یا چ’ خواهد بود. بین بدنهٔ ‘پ و چ’ از نظر شکلی تفاوت خیلی زیادی وجود دارد و با روش‌های سادهٔ مقایسه از هم قابل تشخیص هستند. یا اگر در یک حرف تشخیص دهیم که یک دسته روی آن وجود دارد این حرف ‘ط’ خواهد بود و نیازی به شناخت بدنهٔ آن وجود ندارد.

در این تحقیق حروف مجزای فارسی براساس نقاط و علائم بالا یا پایین بدنهٔ اصلی به ۱۲ گروه تقسیم شده‌اند. نخست نقاط و علائم بالا یا پایین هر حرف با یک شبکه عصبی تشخیص داده می‌شود و سپس با توجه به آن، گروهی که حرف ناشناخته در آن قرار می‌گیرد تعیین می‌گردد. در صورتی‌که در گروه مربوطه فقط یک حرف وجود داشته باشد، آن حرف به حرف ناشناخته نسبت داده می‌شود و گرنه بدنهٔ حرف ناشناخته با بدنه‌های حروفی از پایگاه داده که با حرف ناشناخته هم‌گروه هستند مقایسه می‌شود و با طبقه‌بندی کمترین فاصله بازشناسی انجام می‌گیرد. در بخش‌های بعدی الگوریتم پیشنهادی برای بازشناسی برخط حروف مجزای فارسی همراه با آزمایش‌ها و نتایج بدست آمده آورده می‌شود. در ادامه روش پیشنهادی با دو روش دیگر مقایسه می‌گردد و در پایان نتیجه‌گیری و پیشنهادات ارائه می‌گردد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲ نمونه‌ای از حروف مجزای دستنویس فارسی

الگوریتم پیشنهادی بازشناسی برخط حروف مجزای فارسی

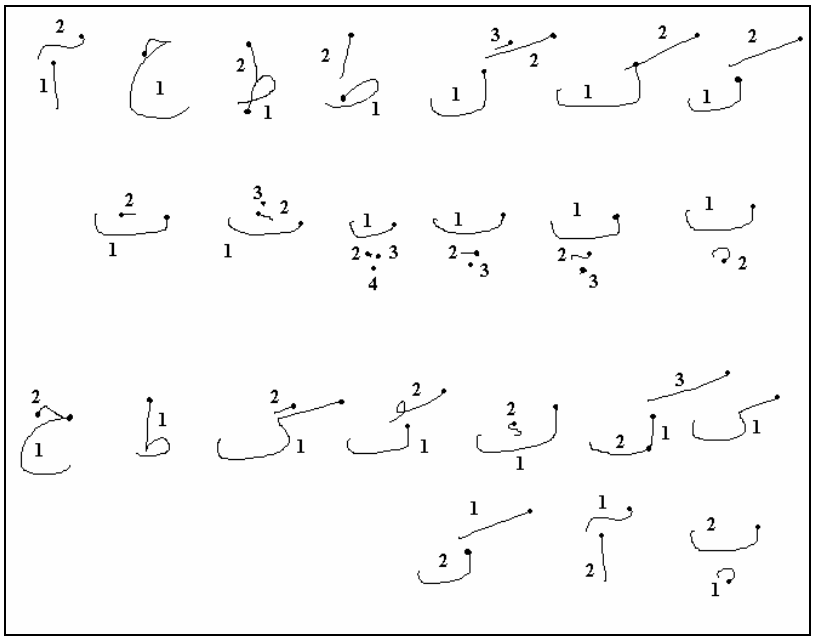
در این تحقیق حروف دستنویس مجزای فارسی بر اساس علائم آنها به ۱۲ گروه تقسیم شده‌اند که در جدول ۱ آمده‌اند. فرض بر این است که نویسنده ابتدا بدنهٔ اصلی حرف را در یک حرکت قلم و سپس علائم آن را بنویسد. در نحوهٔ نوشتن نقاط هیچ محدودیتی در نظر گرفته نشده است. دو سرکش ‘گ’ باید با دو حرکت قلم نوشته شوند. دستهٔ ‘ط و ظ’ و سرکش ‘ک’ باید در حرکتی بجز حرکت بدنهٔ اصلی نوشته شود یعنی حروف ‘ط و ک’ باید در دو حرکت و حرف ‘ظ’ در سه حرکت قلم نوشته شوند. در شکل(۳)، ردیف‌های یک و دو نمونه‌هایی قابل قبول را نشان می‌دهند ولی نمونه‌های ردیف‌های سه و چهار نمونه‌هایی هستند که اگر به سیستم بازشناسی داده شوند به درستی بازشناسی نخواهند شد. تعداد این نمونه‌ها در پایگاه داده‌ای که جمع‌آوری شده است کمتر از ۲٪، ۷۳ مورد در ٤١٤٤ حرف، است. در سیستم‌های تجاری معمولاً رسم‌الخطی خاص برای نوشتن نویسه‌ها پیشنهاد می‌کنند. در این سیستم محدودیت زیادی در نحوه نوشتن علائم حروف اعمال نشده است. در مرجع [٢٦] برای بازشناسی بهتر، در نحوه نوشتن نقاط وعلائم محدودیت‌هایی قرار داده‌ایم. مثلاً محدودیتی که برای سه‌نقطه قرار داده شده این است که سه‌نقطه یک حرف مثل (چ) در یک حرکت قلم نوشته شود.

جدول۱ تقسیم حروف به ۱۲ گروه بر اساس علائم آنها

شمارهٔ گروه	حروف موجود در گروه	نوع علامت
۱	آ	یک مد بالا
۲	ا ء ح د ر س ص ع ل م و ه ی	بدون علامت
۳	ب ج	یک‌نقطه پایین
٤	خ ذ ز ض غ ف ن	یک‌نقطه بالا
٥	ت ق	دونقطه بالا
۷	ث ژ ش	سه‌نقطه بالا
۸	پ چ	سه‌نقطه پایین
۹	ک	یک‌سرکش بالا
۱۰	گ	دوسرکش بالا
۱۱	ط	یک‌دسته بالا
۱۲	ظ	یک‌دسته و یک‌نقطه بالا

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۳ ردیف‌های ۱و۲ نمونه‌هایی قابل قبول برای سیستم بازشناسی هستند ولی ردیف‌های ۳و٤ نمونه‌هایی غیر قابل قبول می‌باشند. نقاط سیاه پررنگ نقطهٔ اول هر حرکت قلم رانشان می‌دهد. شماره‌های کنار هر حرکت نشان دهندهٔ ترتیب نوشتن حرکات است. اگر ترتیب حرکاتی که با اعداد بزرگتر از ۱ مشخص شده‌اند، جابه‌جا شود مشکلی پیش نمی‌آید.

الگوریتم استفاده شده در این تحقیق شامل مراحل مختلفی است. شکل(٤) فلوچارت این الگوریتم را نشان می‌دهد.

دریافت اطلاعات ورودی. یک حرف توسط یک نویسنده با قلم مغناطیسی روی صفحهٔ رقومی‌کننده نوشته می‌شود و مختصات نقاط مسیر حرکت قلم و همچنین اطلاعات گذاشت و برداشت قلم به عنوان اطلاعات ورودی دریافت می‌شود. این اطلاعات که می‌تواند قبلاً دریافت و در فایلی ذخیره شده باشد، اطلاعات ورودی سیستم بازشناسی است. برای هر حرف تعداد حرکات قلم، تعداد نقاط نمونه‌برداری شده در هر حرکت و مختصات آنها در اختیار است. فرض بر این است که در اولین حرکت قلم، بدنهٔ اصلی حرف نوشته می‌شود و حرکات بعدی، در صورت وجود، مربوط به نقاط و علائم حرف است. از این به بعد به حرکات مربوط به نقاط وعلائم اجزای کوچک می‌گوییم.

اطلاعات دریافت شده حاصل از نوشتن حرف 'ژ' در شکل(٥) به قرار زیر است :

تعداد حرکات قلم =۳

۱۲ نقطه در حرکت اول با مختصات

{ (۳۷۱,٤۲٤) , (۳۷۱,٤۲۷) , (۳۷۱,٤۲۸) , (۳۷۱,٤۳۰) ,
(۳۷۱,٤۳۲) , (۳۷۰,٤۳٤), (۳٦۹,٤۳٦) , (۳٦۷,٤۳۸) ,
(۳٦٥,٤٤۰) , (۳٦۱,٤٤۲) , (۳٥۷,٤٤۳) , (۳٥۲,٤٤٤) }

٦ نقطه در حرکت دوم با مختصات

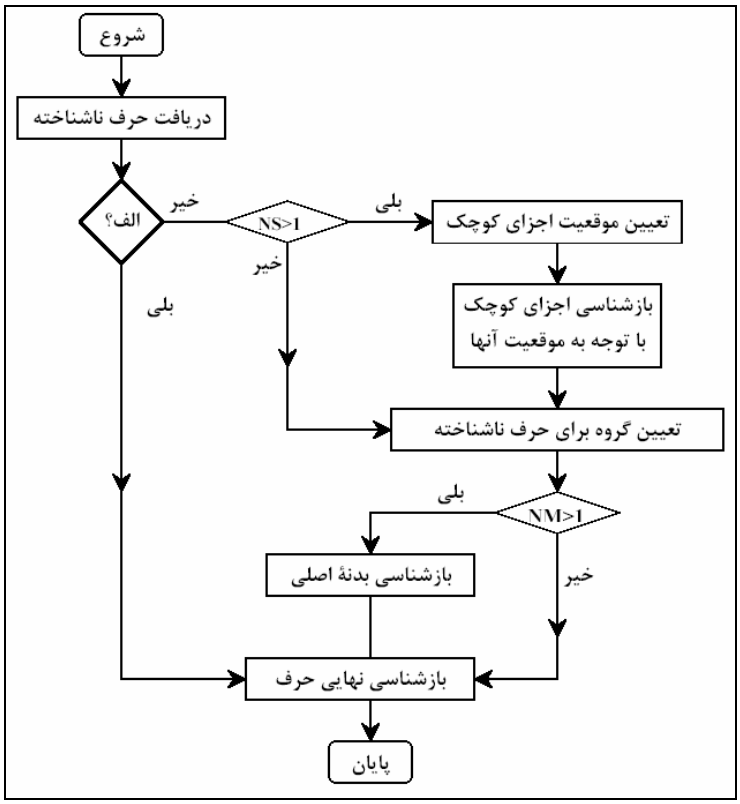
{(۳٦۳,٤۱٤) , (۳٦٦,٤۱۳) , (۳٦۹,٤۱۳) , (۳۷۱,٤۱۳) ,
(۳۷۲,٤۱۳) , (۳۷٤,٤۱۳) }

۱ نقطه در حرکت سوم با مختصات

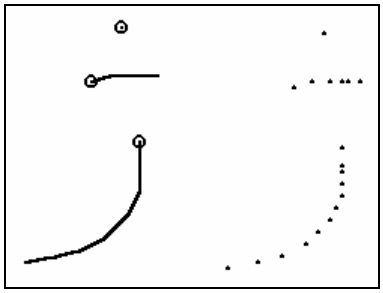
{(۳٦۸,٤۰٥)}

www.SID.ir

Archive of SID



شکل٤ فلوچارت بازشناسی حروف مجزای فارسی: NS تعداد حرکات قلم و NM تعداد اعضای گروه است. برای تشخیص حرف ' الف' نسبت ارتفاع به پهنای بدنهٔ اصلی حرف محاسبه می‌شود که اگر کمتر از ۳ بوده و حرف با یک حرکت قلم نوشته شده باشد، حرف 'ا' و اگر با دو حرکت قلم نوشته شده باشد، حرف 'آ' است.



شکل۵ تصویر یک حرف 'ژ' همان طور که در شکل سمت چپ مشخص است این حرف با سه حرکت قلم نوشته شده که نقطه شروع هر حرکت با دایره مشخص شده است. نقاطی که مختصات آن ذخیره شده در سمت چپ دیده می‌شوند.

تعیین موقعیت اجزای کوچک نسبت به بدنهٔ اصلی حرف. در این مرحله باید مشخص شود که اجزای کوچک در بالای بدنهٔ اصلی حرف قرار گرفته‌اند یا در پایین آن. با توجه به جدول (۱)، اگر فقط موقعیت یکی از اجزای کوچک نسبت به بدنهٔ اصلی مشخص شود، بقیهٔ اجزای کوچک نیز همان موقعیت را نسبت به بدنه اصلی خواهند داشت. بنابراین فقط موقعیت اولین جزء کوچک (در موقع نوشتن حرف این جزء در دومین حرکت قلم نوشته می‌شود) را بدست می‌آوریم و موقعیت بقیهٔ اجزای کوچک را نیز با این جزء یکسان در نظر می‌گیریم.

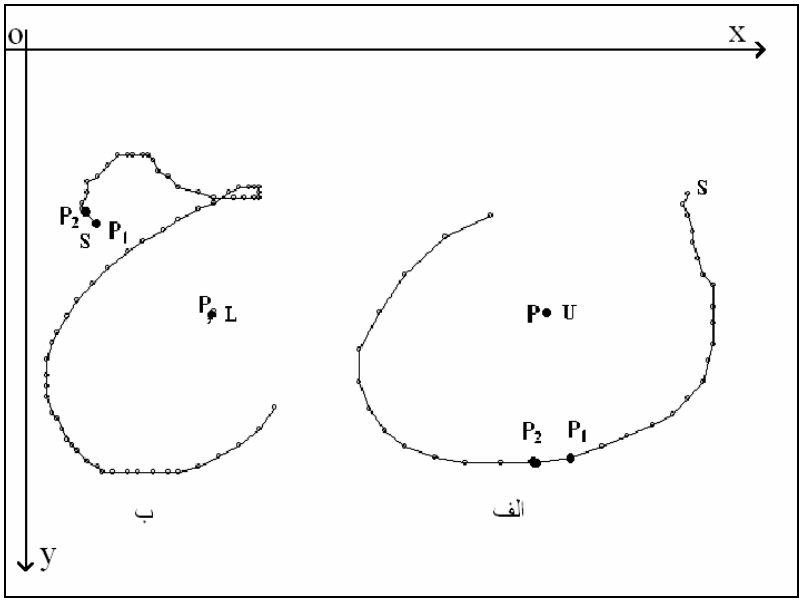
برای این منظور ابتدا چارچوب بدنهٔ اصلی و این

www.SID.ir

Archive of SID

جزء کوچک و مختصات مرکز هر چارچوب مشخص می‌شود. اگر مرکز چارچوب جزء کوچک بالاتر یا پایین‌تر از چارچوب بدنهٔ اصلی باشد، موقعیت آن به ترتیب بالا یا پایین در نظر گرفته می‌شود. در غیر این صورت روی نقاط بدنهٔ اصلی حرکت می‌کنیم. فرض کنیم مرکز چارچوب جزء کوچک نقطهٔ $P(x_m, y_m)$ باشد، برای دونقطهٔ $P_1(x_1, y_1)$ و $P_2(x_2, y_2)$ از بدنهٔ اصلی اگر $x_m > \min(x_1, x_2)$ باشد، اگر $y_m < \min(y_1, y_2)$ موقعیت بالا و اگر $y_m > \max(y_1, y_2)$ موقعیت پایین به این جزء و اجزای دیگر نسبت داده می‌شود. به عبارت دیگر اگر مرکز چارچوب در سمت راست نقطهٔ سمت چپ باشد ومرکز چارچوب بالای نقطهٔ بالا باشد موقعیت بالا واگر پایین نقطهٔ پایین باشد موقعیت پایین نسبت داده می‌شود.

در شکل(۵) مربوط به حرف 'ژ' مر کز چارچوب اولین جزء کوچک که دونقطه است بالاتر از چارچوب بدنهٔ اصلی است بنابراین، موقعیت بالا به آن نسبت داده می‌شود. در شکل(٦) برای حروف 'ن و ج' مرکز چارچوب جزء کوچک داخل چارچوب بدنهٔ اصلی قرار گرفته است . نقطهٔ شروع حرکت قلم در بدنهٔ اصلی با S مشخص شده است. وقتی روی بدنهٔ اصلی حرکت می‌کنیم به دو نقطهٔ P1 و P2 که برسیم مرکز چارچوب جزء کوچک (نقطهٔ P) سمت راست نقطهٔ P2 قرار می‌گیرد. در مورد حرف 'ج' این دونقطه (P1 و P2) در ابتدای مسیر حرکت قلم و در مورد حرف 'ن' در اواسط مسیر حرکت انتخاب شده اند. زیرا در مورد حرف 'ج' وقتی دو نقطه اول را در نظر بگیریم، نقطهٔ P سمت راست یا بین این دونقطه قرار می‌گیرد یعنی شرط $x_m > \min(x_1, x_2)$ برقرار می‌شود. ولی در مورد حرف 'ن' برای دونقطهٔ اول این شرط برقرار نیست. برای دونقطهٔ سوم و چهارم در طول مسیر، نیز این شرط برقرار نیست. اگر به همین ترتیب ادامه دهیم می‌بینیم که برای دو نقطهٔ نوزدهم و بیستم شرط $x_m > \min(x_1, x_2)$ برقرار می‌شود بنابراین، این دونقطه انتخاب می‌شوند. در حرف 'ن' نقطهٔ P بالاتر از P1 و P2 است و موقعیت بالا (U)، و در حرف 'ج' این نقطه پایین‌تر از P1 و P2 است و موقعیت پایین (L) به آن نسبت داده می‌شود.



شکل٦ تعیین موقعیت اجزای کوچک.

www.SID.ir

Archive of SID

بازشناسی اجزای کوچک با شبکهٔ عصبی. اجزای کوچک می‌توانند یک‌نقطه، دونقطه، سه‌نقطه، سرکش بزرگ، سرکش کوچک(سرکش بزرگ سرکش روی 'ک' و اولین سرکشی که روی 'گ' قرار می‌گیرد و سرکش کوچک سرکش دوم روی 'گ' است که معمولاً کوچکتر از سرکش اول است)، دسته یا مد باشند، که باید بازشناسی شوند. شاید تصور شود که با استفاده از ویژگی‌های سادهٔ اندازه و چند قاعده بتوان این علائم را بازشناسی کرد ولی این علائم خیلی متنوع نوشته می‌شوند و بازشناسی آنها خیلی ساده نیست؛ حتی در بازشناسی متون تایپی نیز یکی از مشکلات موجود بازشناسی همین اجزای کوچک است. در تحقیق حاضر برای این کار از شبکهٔ عصبی استفاده کرده‌ایم. بازشناسی اجزاء کوچک تنها در صورتی انجام می‌شود که تعداد اجزای کوچک یک یا دو باشد. در صورتی‌که سه جزء کوچک در حرفی وجود داشته باشد، به عنوان سه‌نقطه در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر اجزاء کوچک در زیر حرف باشند تنها در صورتی بازشناسی انجام خواهد شد که فقط یک جزء کوچک وجود داشته باشد. در صورتی‌که دو یا سه جزء وجود داشته باشد به عنوان سه‌نقطه در نظر گرفته می‌شود. در حروف مجزای فارسی حرفی با دو نقطه در پایین وجود ندارد.

روش به این ترتیب است که اگر تعداد نقاط موجود در جزء کوچک یک یا دو باشد این جزء کوچک به عنوان یک‌نقطه شناخته می‌شود. در غیر این صورت ویژگی‌هایی استخراج و برای بازشناسی به شبکهٔ عصبی داده می‌شود. دو شبکه عصبی، یکی برای بازشناسی علائم بالا و دیگری برای علائم پایین بدنهٔ اصلی، در نظر گرفته شده است. علائمی که در زیر قرار می‌گیرند یک‌نقطه، دونقطه و سه‌نقطه هستند. ولی در بالای بدنهٔ اصلی حرف هر هشت علامت یاد شده می‌تواند باشد.

استخراج ویژگی. ویژگی‌های استفاده شده در بازشناسی با شبکه عصبی عبارتند از:

۱ـ طول‌حرکت که از مجموع فاصله‌های اقلیدسی جفت نقاط متوالی موجود در حرکت بدست می‌آید.

۲ـ ارتفاع چارچوب جزء کوچک

۳ـ پهنای چارچوب جزء کوچک

افزون بر سه ویژگی فوق از۲۰ ویژگی دیگر استفاده شده است که به صورت زیر بدست می‌آید.چارچوب جزء کوچک به اندازهٔ ۱۰×۱۰ نرمالیزه می‌شود و در طول مسیر حرکت قلم ۱۰ نقطهٔ متساوی‌الفاصله در نظر گرفته می شود. مختصات این نقاط نسبت به گوشهٔ بالای سمت چپ چارچوب نرمالیزه شده بعنوان ۲۰ ویژگی دیگر در نظر گرفته می‌شود. تولید نقاط متساوی‌الفاصله و نرمالیزاسیون اندازه که در بخش بازشناسی نهایی برای بدنهٔ حرف آورده شده است، برای اجزای کوچک نیز به همانگونه است.

آموزش شبکهٔ عصبی. شبکه‌های عصبی استفاده شده MLP سه لایه با الگوریتم یادگیری پس انتشار خطا هستند.برای این شبکه‌ها ۲٤ ورودی(۲۳ ویژگی و یک ورودی بایاس) و۱۰ نرون در لایهٔ مخفی در نظر گرفته شده است. سه نرون در لایهٔ خروجی شبکه‌ای که علائم پایین را بازشناسی می‌کند، و هفت نرون در لایهٔ خروجی شبکه‌ای که علائم بالا را بازشناسی می‌کند، در نظر گرفته‌شده است.

برای آموزش شبکهٔ عصبی، برنامه‌ای نوشته شده است که ابتدا اجزای کوچک را از حروف استخراج می‌کند و برای هر جزء کوچک کدی را از کاربر دریافت می کند. این کد شمارهٔ کلاسی است که جزء کوچک به آن تعلق دارد. مثلاً اگر جزء کوچک سرکش بزرگ باشد، این کد ٤ است. این کد با ۲۳ ویژگی یاد شده برای جزء کوچک ذخیره می‌شود. هنگام آموزش

www.SID.ir

Archive of SID

شبکهٔ عصبی ویژگی‌ها به عنوان ورودی هستند و از کد مربوطه برای تولید بردار هدف استفاده می‌شود. مثلاً اگر جزء کوچک سرکش بزرگ باشد که کد آن ٤ است، عنصر چهارم بردار هدف برابر یک و بقیه عناصر آن صفر خواهد بود. الگوریتم یادگیری الگوریتم پس انتشار خطاست.

شبکهٔ عصبی که برای علائم پایین در نظر گرفته شده است یادگیری خوبی داشت، ولی شبکهٔ عصبی دیگر خطاهای زیادی داشت. این خطاها بیشتر مربوط به دونقطه، سرکش بزرگ، سرکش کوچک و مد روی (آ) بود. علت این است که گاهی سرکش کوچک را به اندازه دونقطه و گاهی به اندازهٔ سرکش بزرگ می‌نویسند. مد روی (آ) نیز از نظر شکلی شبیه بعضی دونقطه‌هاست و از نظر اندازه نیز به اندازهٔ سرکش بزرگ است. بنابراین داده‌های آموزشی مربوط به سرکش کوچک و مد روی (آ) را حذف کردیم و به جای هفت نرون در لایهٔ آخر از پنج نرون استفاده کردیم. علت حذف مد روی(آ) این بود که می‌توان بدنه(آ) را با استفاده ازویژگی ارتفاع به پهنا از بقیه حروف تشخیص داد. این ویژگی اگر از ۳ بیشتر باشد بدنه مربوط به {آ ا} است، در غیر این صورت بدنه مربوط به سایر حروف است. برای تشخیص سرکش کوچک که فقط در حرف (گ) وجود دارد در مرحله ترکیب اجزای کوچک مشکل حل می شود. اگر سرکش کوچک به شبکه داده شود شبکه یا آن را سرکش بزرگ یا دونقطه تشخیص خواهد داد. اگر حرف ورودی (گ) باشد دو جزء کوچک خواهد داشت که یکی از آنها حتماً سرکش تشخیص داده شده است و دیگری یا سرکش و یا دونقطه تشخیص داده شده است که ما ترکیب سرکش سرکش یا سرکش دونقطه را دوسرکش در نظر می‌گیریم. بدین ترتیب مشکل یادگیری شبکهٔ عصبی رفع شد.

برای بازشناسی علائم پایین نیز چون نیازی به تشخیص دو نقطه نیست، ازشبکه‌ای با دو نرون در لایهٔ آخر استفاده شده است. اگر نویسنده‌ای سه‌نقطه در پایین را به صورت دونقطه پیوسته و یک نقطه جدا بنویسد، سیستم بازشناسی بدون بازشناسی علائم با توجه به قاعدهٔ ٦ در بخش تعیین گروه، علامت حرف را سه نقطه پایین در نظر می‌گیرد.

آزمایش شبکهٔ عصبی. وقتی ویژگی‌های یک جزء کوچک ناشناخته استخراج شود و به ورودی شبکهٔ عصبی داده شود، آن جزء کوچک به کلاسی نسبت داده خواهد شد که خروجی نرون متناظر آن کلاس در لایهٔ آخر شبکه ماکزیمم باشد.

تعیین گروه

وقتی اجزای کوچک در صورت نیاز شناخته شدند با هم ترکیب می‌شوند تا مشخص شود حرف ناشناخته به کدامیک از گروه‌های ۱۲گانه تعلق دارد. تعیین گروه با چند قاعده صورت می‌گیرد که نمونه‌هایی از آنها در زیر آورده می‌شود.

قاعدهٔ ۱: اگر جزء کوچکی وجود ندارد حرف در گروه ۲ قرار دارد.

قاعدهٔ ۲: اگر یک جزء کوچک در بالا وجود دارد، اگر یک‌نقطه است حرف در گروه٤، اگر دونقطه است حرف در گروه٥، اگر سه‌نقطه است حرف در گروه ۷، اگر سرکش است حرف در گروه ۹ و اگر دسته است حرف در گروه۱۱ قرار دارد.

قاعدهٔ ۳: اگر دو جزء کوچک در بالا وجود دارد، اگر یکی از آنها سرکش است حرف در گروه ۱۰، اگر یکی از آنها دسته است حرف در گروه ۱۲، اگر هر دو یک نقطه‌اند حرف در گروه ۵ و در غیر این صورت حرف در گروه۷ قرار دارد.

www.SID.ir

Archive of SID

قاعدهٔ ٤ : اگر سه جزء کوچک در بالا وجود دارد، حرف در گروه ۷ قرار دارد.

قاعدهٔ ٥ : اگر یک جزء کوچک در پایین وجود دارد، اگر یک‌نقطه است حرف در گروه ۳ و اگر سه‌نقطه است حرف در گروه ۸ قرار دارد.

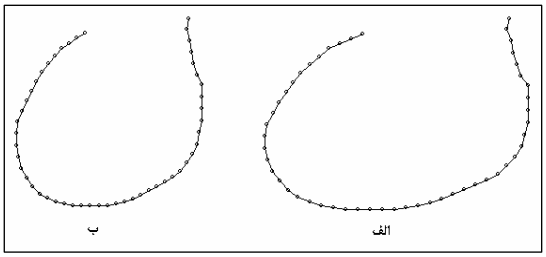
قاعدهٔ ٦ : اگر دو جزء کوچک در پایین وجود دارد، حرف در گروه ۸ قرار دارد.

قاعدهٔ ۷ : اگر سه جزء کوچک در پایین وجود دارد، حرف در گروه ۸ قرار دارد.

بازشناسی نهایی حرف

همان طور که در فلوچارت شکل (٤) دیده می‌شود ابتدا حروف 'آ، ا' تشخیص داده می‌شوند. اگر نسبت پهنا به ارتفاع بدنهٔ اصلی بزرگتر از ۳ باشد و حرف با یک حرکت قلم نوشته شده باشد، حرف 'ا' و اگر با دو حرکت قلم نوشته شده باشد، حرف 'آ' است. پس از تعیین گروه، اگر حرف در گروهی قرار گرفته باشد که فقط یک عضو دارد، حرف ناشناخته همان عضو گروه خواهد بود. مثلاً اگر حرف در گروه ۹ قرار گیرد 'ک' است. اگر در گروه بیش از یک عضو باشد باید بدنهٔ حرف ناشناخته نیز شناخته شود.

بدنهٔ اصلی حروف هر کدام تعداد نقاط مختلفی دارند و فاصله مکانی جفت نقاط متوالی نیز بسته به سرعت حرکت قلم موقع نوشتن تفاوت می‌کند. بدنهٔ اصلی همهٔ حروف موجود در پایگاه داده از نظر تعداد نقاط موجود در آن نرمالیزه شده‌اند.در هر بدنه N نقطه وجود دارد که هر دو نقطهٔ متوالی فاصله‌ای یکسان دارند. سپس از نظر اندازه نیز چارچوب بدنهٔ اصلی نرمالیزه می‌شود. در شکل(۷ـ الف) بدنهٔ حرف (ن) را می‌بینید که از نظر تعداد نقاط به ۵۰ نقطه نرمالیزه شده است. در شکل (۷ــ ب) اندازه تصویر(۷ــ الف) به اندازهٔ ۵۰×۵۰ نرمالیزه شده است. برای N نقطه مختصات x و y در چارچوب نرمالیزه شده وجود دارد. برای هر حرف، نام حرف و شمارهٔ گروه حرف و یک ماتریس N×۲ وجود دارد. برای بدنهٔ حرف ناشناخته نیز این ماتریس N×۲ تولید می‌شود و فاصلهٔ آن با همهٔ حروفی که با حرف ناشناخته هم‌گروه هستند مقایسه می‌شود. نام حرفی که کمترین فاصله را با حرف ناشناخته دارد، به این حرف نسبت داده می‌شود. در مجموعهٔ تمرین از هر حرف بطور متوسط ۱۲۲ نمونه وجود دارد که هر نمونه را یک شخص نوشته است.



شکل ۷ الف) تولید نقاطی با فاصلهٔ مکانی یکسان
ب) نرمالیزاسیون اندازه این شکل از بدنه حرف 'ن' در شکل ٦ـ الف بدست آمده است.

روش مقایسه بین دو بدنهٔ نرمالیزه شده، بدین ترتیب است که فاصلهٔ اقلیدسی بین هر دو نقطهٔ متناظر محاسبه می‌شود و مجموع این فواصل بعنوان فاصلهٔ دو بدنه از هم در نظر گرفته می‌شود. فاصلهٔ دو بدنهٔ Bi و Bj از رابطهٔ زیر بدست می‌آید.

$$D(B_i, B_j) = \sum_{k=1}^{N} d(P_k^i, P_k^j)$$

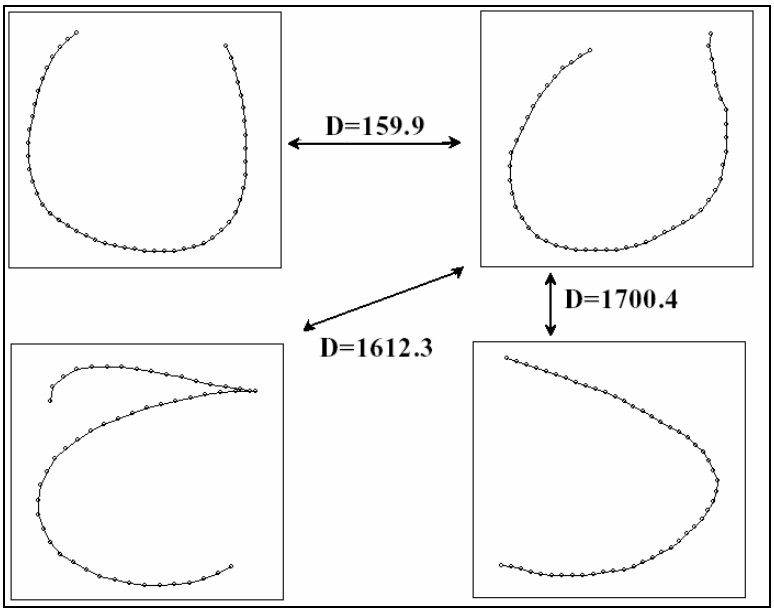
که در آن P_k^i نقطهٔ kام از بدنهٔ Bi و P_k^j نقطهٔ kام از بدنهٔ Bj و $d(P_m, P_n) = \sqrt{(x_m - x_n)^2 + (y_m - y_n)^2}$ فاصلهٔ دونقطه است.

در شکل (۸) فاصلهٔ محاسبه شده برای بدنهٔ یک حرف 'ن' را با بدنهٔ سه حرف 'ن، ذ،خ' می‌بینید.

برای بازشناسی بدنه‌های حروف می‌توان از شبکهٔ عصبی نیز استفاده کرد[۲۷]. در صورتی که از روش استفاده شده در مرجع [۲۷] استفاده کنیم، سیستم نمی‌تواند خود را با نویسنده سازگار کند ولی به سیستم پیشنهادی، می‌توان این قابلیت را اضافه کرد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸ فاصلهٔ بدنهٔ یک حرف (ن) با بدنه‌های سه حرف (ن، ذ،خ)

جدول۲ میزان بازشناسی برحسب تعداد نقاط در بدنهٔ نرمالیزه شده

N	۲	۳	۵	۱۰	۱۵	۲۰	۲۵	۵۰	۱۰۰
نرخ بازشناسی٪	۶۳/۳	۸۳/۰	۹۱/۵	۹۳/۳	۹۳/۲	۹۳/۲	۹۳/۲	۹۳/۱	۹۳/۱

نتایج

روش پیشنهادی روی داده‌های موجود در پایگاه داده آزمایش شد. این پایگاه شامل ٤١٤٤ حرف مجزا است که ١٢٤ نفر آنها را با قلم و صفحهٔ WACOM GRAPHIRE نوشته‌اند. در نوشتن حروف هیچ محدودیتی اعمال نشده است.

در مرحله بازشناسی اجزای کوچک، داده‌های مورد نیاز برای آموزش شبکهٔ عصبی از نمونهٔ های مربوط به ٤٠ نفر استخراج شد و شبکهٔ عصبی با آن آموزش دید. در بازشناسی بدنهٔ اصلی از همهٔ نمونه‌ها به عنوان داده‌های آموزش و آزمایش استفاده شد. روش آزمایش به این صورت است که یک نمونه را به عنوان نمونهٔ ناشناخته و بقیه را به عنوان نمونه‌های آموزشی در نظر می‌گیریم ودر صورت نیاز بدنهٔ حرف ناشناخته را با همهٔ بدنه‌های حروف هم‌گروه با حرف ناشناخته در نمونه‌های آموزشی مقایسه می‌کنیم. پارامتر N (تعداد نقاط در بدنهٔ نرمالیزه شده) که در بخش بازشناسی نهایی حرف معرفی شد اثر زیادی در میزان بازشناسی و سرعت سیستم دارد. برای اینکه مقدار بهینه را برای N بدست آوریم سیستم را با مقادیر مختلف N آزمایش کردیم. در جدول (۲) تعداد میزان بازشناسی درست برای مقادیر مختلف N نشان داده شده است. مقدار

www.SID.ir

Archive of SID

N=10 بهترین حالت برای بازشناسی انتخاب شد. در این حالت ۳۸٦۵ نمونه بدرستی و ۲۷۹ نمونه اشتباه بازشناسی شدند.

نمونه‌هایی از خطاهای سیستم را در شکل (۹) می‌بینید. نمونه‌های قسمت (الف) نمونه‌هایی هستند که مطابق انتظار سیستم نوشته نشده‌اند. نمونه‌های قسمت (ب) نمونه‌هایی هستند که در مورد آنها الگوریتم بازشناسی اجزای کوچک بدرستی بازشناسی را انجام نداده است. نمونه‌های قسمت (ج) نمونه‌هایی هستند که برای آنها گروه‌بندی درست انجام شده ولی بدنهٔ آنها با بدنهٔ حرف دیگری اشتباه شده است. در بالا شکل حرف ناشناخته و در پایین شکل حرفی که کمترین فاصله را با حرف ناشناخته، داشته است می‌بینید. در زیر هر شکل دو حرف را می‌بینید که حرف سمت چپ کلاس حرف ناشناخته و حرف سمت راست کلاسی است که نمونهٔ ناشناخته به آن نسبت داده شده است در زیر دلایلی برای بعضی از خطاها آورده می‌شود.

نمونهٔ الف ـ ۱ـ۱ (منظور شکل الف سطر اول ستون اول ازسمت راست است)، حرف 'ط' است که در یک حرکت قلم نوشته شده و سیستم انتظار دو حرکت قلم برای 'ط' دارد. نمونهٔ الف ـ۱ـ۲، حرف 'ع' است که موقع نوشتن یک بار قلم گذاشته شده وسیستم یک حرکت برای آن در نظر گرفته است، سپس حرف 'ع' نوشته شده است. در این حرف حرکت اول به عنوان بدنهٔ اصلی در نظر گرفته شده و بدنه اصلی به عنوان جزء کوچک سه نقطه شناخته شده و حرف 'پ' به آن نسبت داده شده است. در نمونهٔ الف ـ۲ـ۱ نیز یک نقطهٔ اضافی گذاشته شده است. در نمونه‌های الف ـ۱ـ۳ و الف ـ۲ـ٤ و الف ـ۲ـ۳ حرف 'ظ' به جای سه حرکت قلم در دو حرکت قلم نوشته‌شده‌اند. الگوریتم تعیین موقعیت اجزای کوچک نیز در مورد نمونهٔ الف ـ۲ـ۳ اشتباه کرده است. در نمونه‌های الف ـ۱ـ٤ و الف ـ ۲ـ۵ حرف 'ک' به جای دوحرکت در یک حرکت نوشته شده است. در نمونهٔ الف ـ۱ ـ ۵ حرف'گ' به جای سه حرکت در دو حرکت نوشته شده است. در نمونهٔ الف ـ ۲ـ۲ در بدنهٔ اصلی حرف 'آ' نسبت ارتفاع به پهنا از سه کمتر است و علامت روی آن به عنوان سه نقطه تشخیص داده شده است. در نمونهٔ الف ـ۱ـ ٦ نیز در بدنهٔ اصلی حرف 'ا' نسبت ارتفاع به پهنا از سه کمتر است. در نمونهٔ الف ـ ۲ـ٦ ترتیب حرکات درست نبوده است؛ ابتدا مد وسپس بدنهٔ اصلی 'ا' نوشته شده است.

در نمونه‌های قسمت (ب) نقاط و علائم بدرستی بازشناسی نشده‌اند که از شکل معلوم است. تنها در شکل ب ـ ۱ـ ۵ باید دقت کرد که سر کش 'ک' از چپ به راست نوشته شده و اندازهٔ آن نیز کمی کوچک است و سیستم آن را دو نقطه تشخیص داده است.

در قسمت (ج) نیز در موقع مقایسهٔ بدنه‌ها خطا رخ داده است.

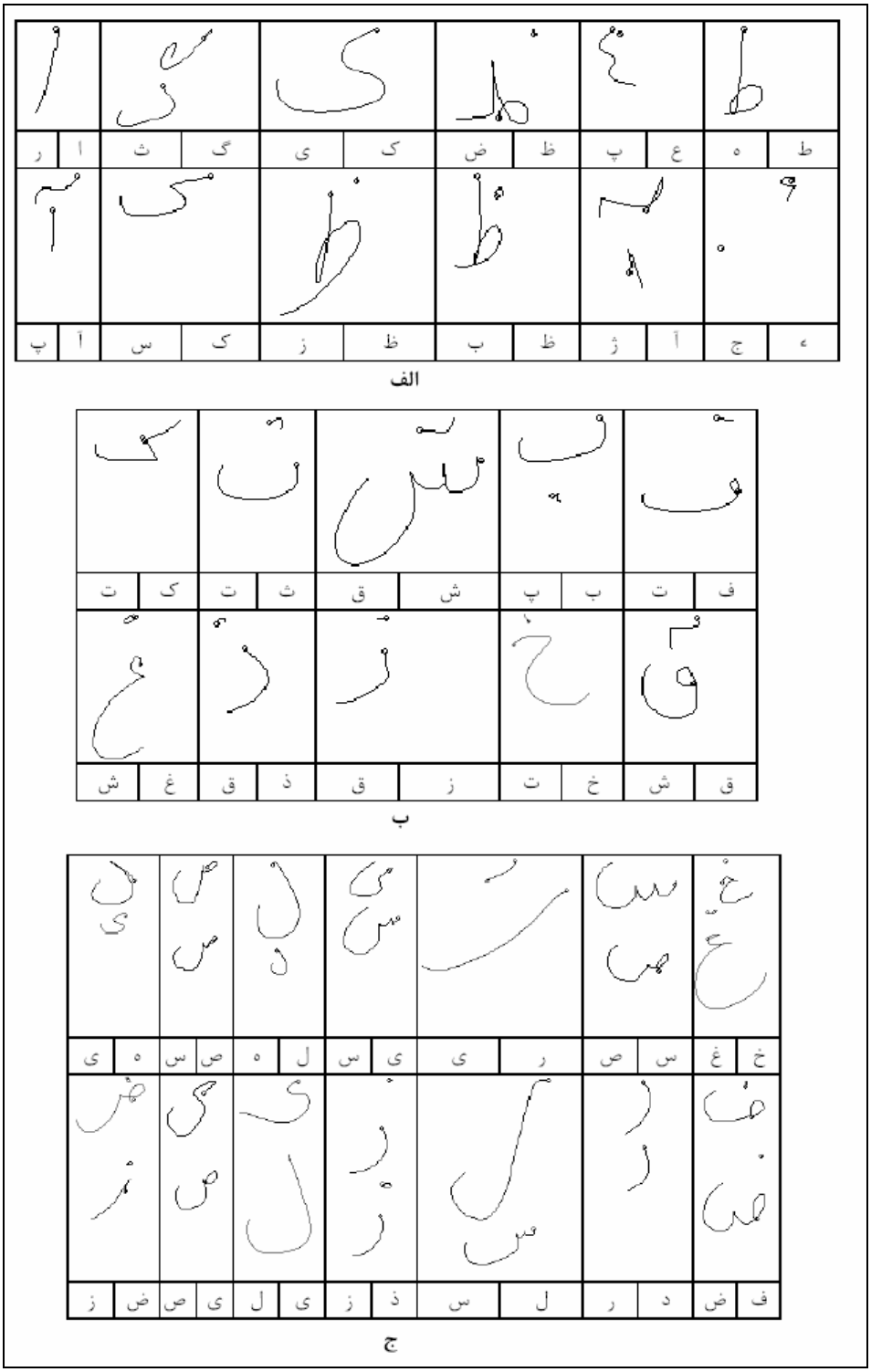
خطاهایی از نوع الف ۷۳ مورد، از نوع ب ۱۲۵ مورد و از نوع ج ۸۱ مورد است. در صورتی که نویسنده مطابق انتظار سیستم بنویسد و در نحوهٔ نوشتن نقاط و علائم حروف دقت کند، خطاهای نوع الف و ج قابل حذف شدن هستند و دقت سیستم به بیش از ۹۸٪ می‌رسد.

نویسنده‌ای که با این سیستم کار می‌کند با کمی دقت در خطاهای سیستم می‌تواند خود را با سیستم سازگار کند. همچنین، سیستم پیشنهادی می‌تواند در هنگام کار، با کاربر سازگار شود. در صورتی که نمونه‌هایی از حروفی را که نویسنده می‌نویسد، به عنوان داده‌های آموزشی ذخیره کند، این کار امکان‌پذیر خواهد بود.

نمونه‌ای از اجرای برنامه در شکل (۱۰) دیده می‌شود.

www.SID.ir

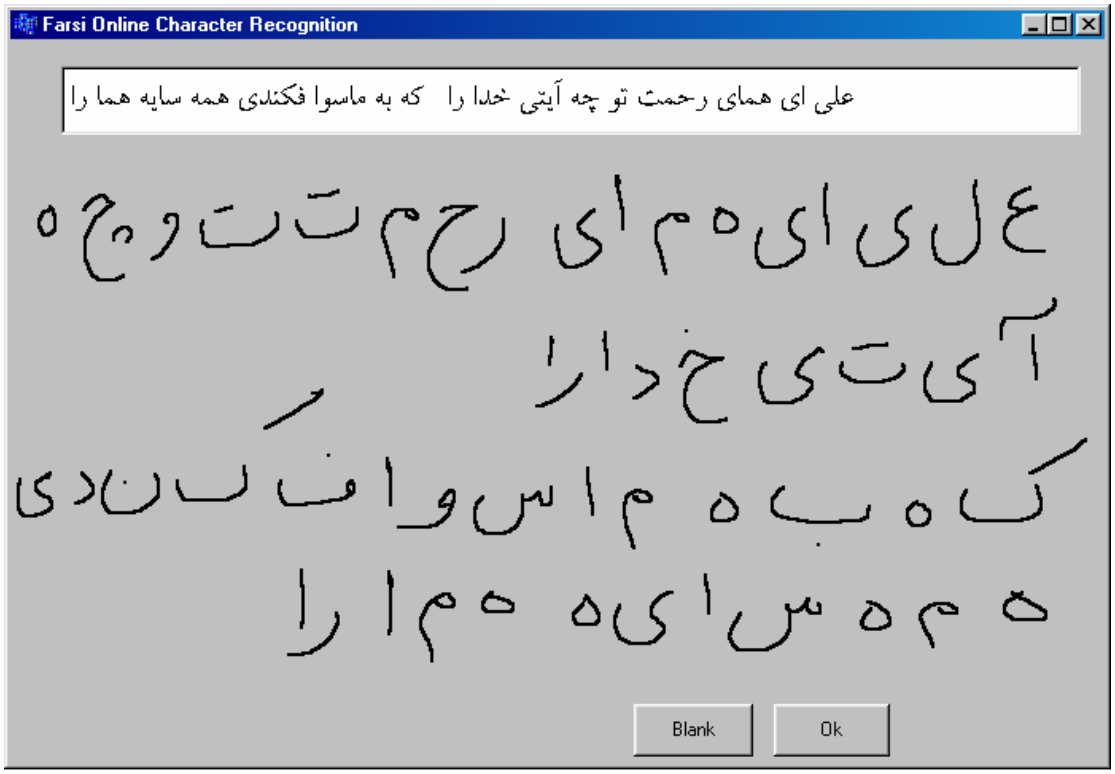
Archive of SID



شکل۹ نمونه‌هایی از خطاهای سیستم

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۰ نمونه‌ای از اجرای برنامه

مقایسهٔ روش پیشنهادی با کارهای مشابه

در این بخش روش استفاده شده در این تحقیق، برای نمونه، با روش‌های دو مرجع [19] و [25] مقایسه می‌شود.

در مرجع [19]، ابتدا پیش‌پردازش‌هایی انجام می‌شود. در این مرحله پس از دریافت اطلاعات از صفحه رقومی‌کننده، یک عمل هموارسازی انجام می‌شود. سپس نقاط اضافی، با اعمال آستانه‌ای برای فاصله بین نقاط متوالی، حذف می‌شوند. درتحقیق [19]، هر نقطه در یک حرکت قلم نوشته می‌شود. مثلاً، حرف "ت" همیشه در سه حرکت قلم نوشته می‌شود که دو حرکت آن مربوط به دو نقطه حرف "ت" است. پس از این مرحله بدنه حرف از نظر اندازه نرمالیزه می‌شود. پس از پیش‌پردازش یک مرحله کدینگ انجام می‌شود.

کدهای جهتی از کوانتیزه‌کردن زاویهٔ خط متصل کننده هر دونقطهٔ متوالی با محور xها و کدهای موقعیتی، از کوانتیزه کردن فاصلهٔ هرنقطه تا مبدا مختصات، بدست می‌آیند. در نهایت هر حرف به صورت رشته‌ای نمایش داده می‌شود. سپس با استفاده از برنامه‌نویسی پویا این رشته با رشته‌های حاصل از نمونه‌های آموزش مقایسه می‌شود.

در مرجع [25]، در مرحله پیش‌پردازش، فیلتر کردن و هموارسازی انجام می‌شود. ویژگی‌های استفاده شده در این تحقیق، تعداد، موقعیت مکانی و ترتیب زمانی بیشینه‌ها وکمینه‌های محلی برای x(t) و y(t)، موقعیت مکانی ابتدا و انتهای بدنهٔ اصلی حرف، تعداد حرکات قلم، موقعیت مکانی بخش‌های ثانوی نسبت به بخش اصلی و نسبت پهنا به ارتفاع بدنهٔ اصلی حرف هستند.

www.SID.ir

Archive of SID

از پاره‌خط‌های افقی، عمودی و مورب، منحنی بسته، زیرحرف S، و کمان‌هایی با گودی در جهت‌های x و y به عنوان الگوهای پایه در بازشناسی استفاده می‌شوند. برای بازشناسی نقاط و علائم حروف، از میزان انحنا و موقعیت آنها نسبت به بدنهٔ اصلی استفاده شده است.

در روش پیشنهادی ما، در مرحلهٔ پیش‌پردازش فقط تولید نقاط هم‌فاصله و نرمالیزاسیون اندازه انجام می‌شود. برای بازشناسی نقاط و علائم از یک شبکهٔ عصبی ساده استفاده شده است. برای بازشناسی بدنهٔ اصلی نیز از یک فاصلهٔ خیلی ساده استفاده شده است. در حالی که در تحقیقات فوق افزون بر مراحل مختلف پیش‌پردازش، پیاده‌سازی کدگذاری و برنامه‌نویسی پویا [19] کاری مشکل‌تر از محاسبه یک فاصلهٔ ساده است. بدست آوردن بیشینه‌ها وکمینه‌های محلی برای x(t) و y(t) و تشخیص پاره‌خط‌های افقی، عمودی و مورب، منحنی بسته، زیرحرف S، و کمان‌هایی با گودی در جهت‌های x و y [25] نیاز به پیاده‌سازی الگوریتم‌های خاصی دارد که به سادگی روش بازشناسی پیشنهادی ما نیست.

در مرجع [19]، چون مقایسه بدنه‌ها بدون هیچ گروه‌بندی انجام می‌گیرد و بدنه‌ها نیز نرمالیزه شده‌اند، امکان اشتباه بدنه‌ها زیاد است. برای مثال، در بعضی موارد حرف ‘ن’ با حرف ‘ب’ اشتباه شده است. تعیین موقعیت مکانی نقاط و علائم نیز بدرستی انجام نگرفته است، چرا که خطاهایی مثل ‘ج’ با ‘ز’ یا ‘ج’ با ‘خ’ نیز دیده می‌شود. در روش پیشنهادی ما چون ابتدا علائم و موقعیتشان تشخیص داده می‌شود، خطاهایی مثل خطاهای فوق پیش نمی‌آید. مثلاً بدنهٔ ‘ن’ با ‘ب’ اصلاً مقایسه نمی‌شود.

در مرجع [25]، گروه‌بندی براساس تعداد حرکات قلم انجام شده است. از آنجا که ممکن است در فارسی حروف علامت‌دار را به روش‌های مختلفی بنویسند یک حرف در چند گروه قرار می‌گیرد. مثلاً حرف ‘پ’ در هر سه گروه دوبخشی، سه‌بخشی و چهار بخشی وجود دارد. در این روش برای بازشناسی نهایی باید علائم و موقعیتشان تشخیص داده‌شوند. در روش پیشنهادی ابتدا علائم را تشخیص می‌دهیم و این خود کمک می‌کند که بدنه را ساده‌تر بازشناسی کنیم. مثلاً اگر تشخیص دهیم که یک حرف فقط یک دسته دارد نیازی به بازشناسی بدنه‌اش نداریم و مشخص خواهد شد که آن حرف ‘ط’ است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این مقاله روشی ساده برای بازشناسی حروف مجزای دستنویس ارائه شد. این روش ساده کارایی خیلی خوبی برای بازشناسی حروف دارد. نرخ بازشناسی درست به ۹۳/۳٪ رسیده است. این نتیجه روی نمونه‌هایی بوده است که بیشتر نویسندگان برای اولین بار از قلم مغناطیسی و صفحه رقومی کننده استفاده کرده‌اند. روش ارائه شده برای بازشناسی بدنه حرف در بازشناسی ارقام، بخصوص وقتی هر رقم با یک حرکت قلم نوشته شود، براحتی می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد با ترکیب بازشناسی حروف و بازشناسی ارقام یا علامت‌های دیگری که وجود دارد می‌توان سیستمی داشت که همهٔ کاراکترهای فارسی را بازشناسی کند. الگوریتم بازشناسی اجزای کوچک الگوریتم مناسبی است که برای بازشناسی نقاط و علائم در کلمات نیز می‌توان از آن استفاده کرد. با بازشناسی نقاط و علائم در زیرکلمات دستنویس می‌توان زیر کلمات را نیز به تعداد زیادی گروه‌های متفاوت تقسیم کرد و با روشی مشابه با روش این مقاله آنها را بازشناسی نمود. در این زمینه نیز کارهایی را انجام داده‌ایم که در مرجع [26] آورده شده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

1. 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).
2. S. D. Connell, "*Online Handwriting Recognition Using Multiple Pattern Class Models*", PhD Thesis, Michigan State University, (2000).
3. C. C. Tappert, C. Y. Suen and T. Wakahara, "The State of the Art in Online Handwriting Recognition", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence,vol.12, no8* , pp.787-808, (1990).
4. G. Seni, "*Large Vocabulary Recognition of On-Line Handwritten Cursive Words*", PhD Thesis, State University of New York, (1995).
5. C. L. Liu, S. Jaeger, and M. Nakagawa, "Online Recognition of Chinese Characters: The State-of-the-Art", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 26, no. 2*, pp. 198-213, (2004).
6. S. Jaeger, C. L. Liu, and M. Nakagawa, "The State of the Art in Japanese Online handwriting Recognition Compared to Techniques in Western Handwriting Recognition", *International Journal of Document Analysis and Recognition (IJDAR), vol. 6*, pp 75 88, (2003).
7. K. Badie and M. Shimura, "*Machine Recognition of Arabic Cursive Scripts*", Pattern Recognition in Practice, E.S. Gelsema and L.N. Kanal (eds.), pp. 34-37, (1982).

۸ . م. شیرعلی شهرضا، "تشخیص کلمات و ارقام دستنویس فارسی بوسیلهٔ شبکه‌های عصبی"، رسالهٔ دکتری، دانشکدهٔ برق، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، (۱۳۷٤).

۹ . ر. عزمی، "بازشناسی متون چاپی فارسی"، رسالهٔ دکتری مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس، تابستان (۱۳۷۸).

۱۰. ک. فائز، م. شیرعلی شهرضا، "تشخیص متن چاپی فارسی با فونت ثابت با استفاده از شبه کلمات"، مجله امیرکبیر، سال هفتم شمارهٔ ۲۸، ص ۲۹۱-۳۰۰ ، (۱۳۷٤).

۱۱. ک. مسروری، "شناسایی برون خط کلمات دستنویس فارسی در یک مجموعهٔ محدود" ، رسالهٔ دکتری مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس، تابستان (۱۳۷۹).

12. A. Amin, "Recognition of Printed Arabic Text Based on Global Features and Decision Tree Learning Techniques", Pattern Recognition, vol. 33, pp. 1309-1323, (2000).
13. R. Azmi and E. Kabir, "A New Segmentation Technique for Omnifont Farsi Text", *Pattern Recognition Letters, vol. 22,* pp 97-104, (2001).
14. M. Dehghan, K. Faez, M. Ahmadi and M. Shridhar, "Handwritten Farsi (Arabic) Word Recognition: A Holistic Approach Using Discrete HMM", Pattern Recognition, vol. 34, pp. 1057-1065, (2001).
15. A. Amin, A. Kaced, J.P. Haton and R. Mohr, "Handwritten Arabic Character Recognition by The I.R.A.C. System", *5th International Conference on Pattern Recognition (ICPR),* pp. 729-731, Florida, (1980).

www.SID.ir

Archive of SID

16. A. Amin, "Machine Recognition of Handwritten Arabic Words by the IRAC II System", *6th International Conference on Pattern Recognition (ICPR), Munich, Germany*, pp. 34-36, (1982).

17. S. Al-Emami and M. Usher, "On-Line Recognition of Handwritten Arabic Characters", *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, no. 7*, pp 704-710, (1990).

18. H. S.M. Beigi, K. Nathan, G.J. Clary, and J. Subrahmonia, "Challenges of Handwriting Recognition in Farsi, Arabic and Other Languages with Similar Writing Styles An On-line Digit Recognizer", *2nd Annual Conference on Technological Advancements in Developing Countries, Columbia University,* New York, July 23-24, (1994).

19. A.M. Alimi, O.A. Ghorbel, "The Analysis of Error in an On-Line Recognition System of Arabic Handwritten Characters", Third *International Conference on Document Analysis and Recognition, vol. 2*, pp. 890-893,Canada, (1995).

20.A.M. Alimi, "A Neuro-Fuzzy Approach to Recognize Arabic Handwritten Characters", *International Conference on Neural Networks,* pp. 382-386, (1997).

21. F. Bouslama, "Structural and Fuzzy Techniques in the Recognition of Online Arabic Characters", *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, vol. 13, no. 7*, pp 1027-1040, (1999).

22. N. Mezghani, M. Cheriet and A. Mitiche, "Combination of Pruned Kohonen Maps for On-line Arabic Characters Recognition", Proceedings of the Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), (2003).

۲۳. ه. مظفری، ف. رهگذر و ش. شریف، "تشخیص برخط ارقام دستنویس فارسی"، مجموعه مقالات دومین کنفرانس سالانه انجمن کامپیوتر ایران، ص ۱۹۶-۲۰۴، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، (۱۳۷۵).

۲۴. ک. عباسیان ، "بازشناسی برخط نویسه‌های فارسی" ، پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس، پاییز (۱۳۷۶).

۲۵. ک. عباسیان و ا. کبیر، "بازشناسی برخط نویسه‌های فارسی"، مجموعه مقالات ششمین کنفرانس مهندسی برق ایران، جلد ۳، ص ۱۴۱-۱۴۶، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، تهران، (۱۳۷۷).

۲۶. س. م. رضوی و ا. کبیر، "بازشناسی برخط زیرکلمات فارسی با استفاده از نقاط و علائم حروف"، دومین کنفرانس فناوری اطلاعات و دانش، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران، خردادماه (۱۳۸۴).

۲۷. س. م. رضوی و ا. کبیر، "بازشناسی برخط حروف مجزای فارسی با شبکه عصبی"، مجموعه مقالات سومین کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، ص ۸۳-۸۹، دانشگاه تهران، اسفندماه (۱۳۸۳).

www.SID.ir