

بازشناسی برخط زیر-کلمات فارسی بر اساس ویژگی‌های کدهای زنجیره‌ای فریمن با استفاده از مدل مخفی مارکوف

وحید قدس^۱ و سارا حسینی^۲

چکیده

در این مقاله سعی بر شناسایی برخط زیر-کلمات فارسی با استفاده از کدهای زنجیره‌ای فریمن و مدل مخفی مارکوف شده است. کدهای زنجیره‌ای با استفاده از جهت شکستگی‌ها، ضمن حفظ جهت حرکت قلم، حجم داده‌ها را کاهش می‌دهد. از این‌رو می‌تواند به عنوان یک روش مؤثر در شناسایی برخط زیر-کلمات بکار گرفته شود. پس از شکستن زیر-کلمه به بخش‌های تشکیل‌دهنده (بدنه اصلی و ریزحرکات)، با استفاده از کدهای زنجیره‌ای فریمن، هر بخش به صورت مجزا کدگذاری می‌شود. از آنجائیکه این کدها به تنهایی جهت شناسایی زیر-کلمه کافی نمی‌باشند، آنها را با ویژگی‌های دیگری که از بردارهای افقی و عمودی زیر-کلمات بدست می‌آیند تلفیق کرده و مجموعه ویژگی‌های استخراج شده را جهت شناسایی نهایی به طبقه‌بندی‌کننده مدل مخفی مارکوف ارسال می‌کنیم. ساخت مدل با استفاده از الگوریتم Baum-Welch و آموزش برنامه با الگوریتم پیشرو انجام گرفته است. بکارگیری مراحل یاد شده بر روی پایگاه داده‌ای مشتمل بر ۲۰۰۰ نمونه زیر-کلمه، نرخ شناسایی تا ۹۳/۵ درصد را نشان می‌دهد.

کلید واژه‌ها

زیر-کلمه، فارسی، دست‌نوشته برخط، کدهای زنجیره‌ای، مدل مخفی مارکوف.

۱ مقدمه

یک سیستم بازشناسی نوشتار می‌تواند به دو حالت برخط و یا برون خط باشد. تفاوت این دو نوع بازشناسی در نحوه ورود اطلاعات می‌باشد. چنانچه اطلاعات ترتیب زمانی نوشتن در دسترس باشد

بازشناسی برخط و چنانچه اطلاعات ورودی از تصویر دوبعدی نوشتار استخراج شود بازشناسی برون خط خواهد بود. بازشناسی برون خط هم شامل بازشناسی نوشتار تاییپی [۸] و هم نوشتار دست‌نویس [۹] می‌باشد. ولی بازشناسی برخط فقط در بازشناسی دست‌نوشته کاربرد دارد [۱] و [۲].

در زمینه تشخیص دست‌نوشته برخط برخی کارها به تشخیص ارقام [۱۰] و برخی به تشخیص حروف [۳] و زیر-کلمات [۴] پرداخته‌اند. برای این کار محققان روش‌های گوناگونی در هر یک از گام‌های شناسایی، از جمع‌آوری اطلاعات گرفته تا طبقه‌بندی به‌کار گرفته‌اند. در [۵]، هدف شناسایی یک کاراکتر با استفاده از

این مقاله در بهمن‌ماه سال ۱۳۹۴ دریافت، در خردادماه ۱۳۹۵ بازنگری و در تیرماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی

رایانامه: v.ghods@semnaniau.ac.ir

^۲ گروه برق و مکترونیک، واحد سمنان، دانشگاه آزاد اسلامی

رایانامه: sara_hosseini91@yahoo.com

فارسی کلمات دارای الفبای متصل، انحنا، نقاط، علائم و سرکش‌های گوناگون می‌باشد که این عوامل به ویژه در نوشتار دست‌نویس باعث ایجاد ساختار املائی شبیه به هم در بیشتر کلمات می‌شود [۱۵]. در این مقاله سعی بر آن شده است با استفاده از کدهای زنجیره‌ای و مدل مخفی مارکوف کمکی به بهبود روش‌های شناسایی برخی خط شود. کدهای زنجیره‌ای با حفظ ترتیب زمانی و مسیر حرکت قلم به عنوان یک ویژگی کارآمد در مؤلفه‌های متصل به هم مطرح می‌باشد. از طرفی مشخصه اصلی مدل مخفی مارکوف نیز یافتن پارامترهایی است که مشخصات زمانی و طیفی موجود در سیگنال ورودی را تشریح می‌کنند.

در ادامه مقاله، در بخش دوم ابتدا مروری بر مباحث تئوری مورد نیاز داشته، سپس به تشریح کامل عملکرد سیستم پیشنهادی خواهیم پرداخت. بدین ترتیب که ابتدا طریقه جمع‌آوری پایگاه داده شرح داده خواهد شد. سپس روش‌های بدست آوردن ویژگی‌ها از کدهای زنجیره‌ای و بردارهای افقی و عمودی زیر-کلمات بیان خواهد شد. در نهایت نحوه آموزش و مقایسه زیر-کلمات توسط طبقه‌بندی‌کننده مدل مخفی مارکوف توضیح داده خواهد شد. در بخش سوم نتایج حاصل از پیاده‌سازی سیستم بر روی پایگاه داده آورده شده و در بخش چهارم نتیجه‌گیری کلی از مباحث بیان می‌شود.

۲ آموزش و طبقه‌بندی

در نوشتار فارسی هر کلمه از یک یا چند زیر-کلمه تشکیل می‌شود. زیر-کلمات نیز به نوبه خود از حروف تشکیل می‌شوند. بنابراین در صورت داشتن مجموعه‌ای از زیر-کلمات رایج و ترکیب آنها، می‌توان محدوده وسیعی از کلمات را در اختیار داشت. شکل ۱ تقسیم‌بندی کلمه "فریاد" به زیر-کلمات تشکیل‌دهنده آن را نشان می‌دهد.

فریاد	کلمه
فر یا د	زیر-کلمه

شکل ۱ تقسیم‌بندی کلمه به زیر-کلمات تشکیل‌دهنده خود

۲-۱ پایگاه داده

مجموعه داده Online_TMU یکی از مجموعه داده‌های بزرگ جمع‌آوری شده برای شناسایی نویسه‌های برخی خط فارسی می‌باشد [۷]. اما از آنجایی‌که در این مجموعه داده، تعداد نمونه‌های هر زیر-کلمه، به طور متوسط حدود ۱۰ نمونه است، این تعداد برای آموزش و آزمون روش پیشنهادی کافی نمی‌باشد. از این رو برای افزایش کارایی از ۲۰ نفر خواسته شد به وسیله قلم نوری متصل به کامپیوتر، ۱۰۰ زیر-کلمه اول از مجموعه داده‌ی Online_TMU را مجدد بنویسند. هم‌زمان با نوشتن

مفاهیم تشخیص ساختار الگویی می‌باشد. ابتدا با استفاده از قطعه‌بندی تصویر اولیه و باینری نمودن هر قطعه و لبه‌یابی هر یک از قطعه‌ها، کد زنجیره‌ای هر قطعه را بدست آورده و در مرحله بعد فاصله‌ی رشته‌ای هر یک از قطعه‌ها با الگوهای نمونه از پیش تعریف شده به دست می‌آید. با در نظر گرفتن یک حد آستانه در فاصله رشته‌ای، کاراکتر مورد نظر تشخیص داده می‌شود.

از آنجایی‌که مدل مخفی مارکوف به عنوان یکی از روش‌های موفق در مسائل زمانی به‌ویژه بازشناسی نوشتار شناخته شده است، امروزه در تحقیقات مختلف به کار گرفته می‌شود. در [۶]، برای بازشناسی برخی حروف فارسی پس از نرمال‌سازی نقاط ورودی با کمک بردار جهات و اشکال اصلی و مدل مخفی مارکوف، بدنه‌ی اصلی شناسایی شده و در مرحله‌ی آخر به بازشناسی بخش‌های اضافی پرداخته شده است. در [۱۱]، تأثیر نقاط و علائم کوچک در زیر-کلمات فارسی از دو دیدگاه مورد بررسی قرار گرفته است: مدل سازی زیر-کلمه بر اساس بدنه اصلی و ریزحرکات و کاهش واژگان مدل با استخراج ریزحرکات. در این روش نیز از مدل مخفی مارکوف، به عنوان طبقه‌بند استفاده شده است. مقاله [۱۲] روشی برای شناسایی حروف مجزای برخی خط فارسی معرفی کرده است که در آن با توجه به شکل و ساختار بدنه اصلی، حروف فارسی به ۱۸ گروه تقسیم شده است. ابتدا با کمک مدل مخفی مارکوف، بدنه اصلی حروف تشخیص داده شده و در مرحله بعد، بازشناسی نهایی در هر گروه با توجه به موقعیت ریزحرکات، نقاط و مدل مخفی مارکوف آن‌ها انجام گرفته است. دو نوع ویژگی مبتنی بر گرادیان شدتی و گرادیان جهتی از نوار کشویی عمودی که در سراسر تصویر کلمه حرکت می‌کند در [۱۳] استخراج شده است. این بردارهای ویژگی با استفاده از یک شبکه عصبی خودسازمانده کوانتیزه شده و با استفاده از مدل مخفی مارکوف گسسته مدل می‌شود.

در [۱۴]، برای بازشناسی برخی خط زیر-کلمات پس از استخراج ویژگی‌های مختصات افقی و عمودی زیر-کلمات به طور جداگانه، این ویژگی‌ها به طبقه‌بندی‌کننده HMM انتقال داده می‌شوند. برخلاف روش‌های پیشین که اغلب از یک طبقه‌بندی‌کننده برای تشخیص دست‌نوشته استفاده می‌شود، در این کار، برخی از ویژگی‌های ممتاز مختصات $X(t)$ و $Y(t)$ انتخاب و در دو طبقه‌بندی‌کننده مجزا مورد استفاده قرار می‌گیرند. نتایج بازشناسی اولیه این طبقه‌بندی‌کننده‌ها، برای بازشناسی نهایی، که از ایده تکنیک همجوشی تصمیم‌گیری بهره گرفته است، فرستاده می‌شود.

در زمینه شناسایی نوشتار فارسی تلاش‌های بسیاری انجام شده است که تمرکز اکثر آنها بر خواندن متون تایپی بوده است. دلیل این امر پیچیدگی بیشتر تشخیص کلمات دست‌نویس نسبت به کلمات تایپ‌شده می‌باشد. چراکه تنوع زیاد دست‌نوشته در میان نویسندگان مختلف، جمع‌آوری پایگاه‌های داده مناسب را با مشکل مواجه می‌کند. ویژگی‌های زبانی نیز می‌تواند مانع دستیابی به نتایج قابل توجهی در تشخیص نوشتار باشد. به عنوان مثال در نوشتار

۲-۲ استخراج ویژگی‌های بردارهای افقی و عمودی زیر-کلمه

جهت استخراج ویژگی‌های بردارهای افقی و عمودی از [۱۴] کمک گرفته شده است. ویژگی‌های برخط محاسبه شده از این بردارها شامل موارد زیر می‌باشد:

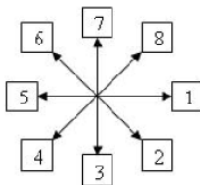
۱. مختصات x
۲. مختصات y
۳. $\Delta x = x_i - x_{i-1}$
۴. $\Delta y = y_i - y_{i-1}$
۵. زاویه θ : (زاویه بین خط میان دو نقطه نمونه برداری شده متوالی و محور x ها)
۶. $(\Delta\theta)$: اختلاف زاویه θ فعلی با قبلی $(\Delta\theta = \theta_i - \theta_{i-1})$
۷. $\text{Sin}(\theta)$: (جهت نوشتن)
۸. $\text{Cos}(\theta)$: (جهت نوشتن)
۹. $\text{Sin}(\Delta\theta)$: (انحنا)
۱۰. $\text{Cos}(\Delta\theta)$: (انحنا)

جهت استخراج این ویژگی‌ها، تمامی زیر-کلمه شامل بدنه اصلی و ریزحرکات یکپارچه در نظر گرفته شده و مجموع اطلاعات ذخیره شده از آنها به ترتیب زمانی نگارش به سیستم داده شده است.

۲-۳ استخراج ویژگی کدهای زنجیره‌ای

یکی از اولین کارهایی که در زمینه کدهای زنجیره‌ای به تحقیق پرداخته است می‌توان به [۱۶] اشاره کرد که در آن برای شناسایی حروف مجزای عربی از کدهای زنجیره‌ای فریمن برای نمایش ویژگی‌های ساختاری و بازنمایی سلسله مراتبی نویسه‌ها استفاده شده است.

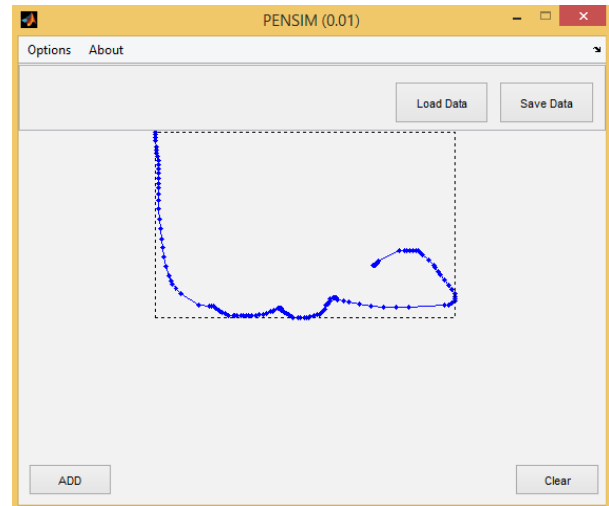
برای محاسبه ویژگی کدهای زنجیره‌ای، در این مقاله از کدهای زنجیره‌ای ۸-اتصال استفاده کرده‌ایم. هر نقطه حداکثر هشت همسایگی خواهد داشت (شکل ۳) که به هر یک از این همسایگی‌ها، یک عدد نسبت می‌دهیم.



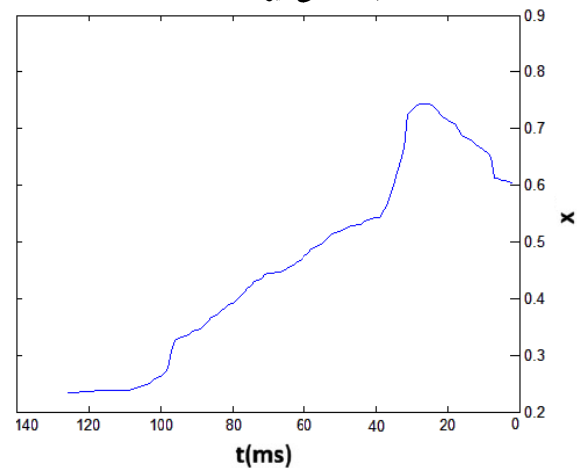
شکل ۳ همسایه‌های یک نقطه و عدد نسبت داده شده به آن

پس از پیدا کردن نقطه شروع، با توجه به همسایگی‌های آن نقطه به سمت جلو در راستای نقاط نمونه برداری شده زمانی حرکت می‌کنیم، به طوری که از تمام نقاط مربوط به آن بخش از زیر-کلمه عبور کنیم. در هنگام عبور از یک نقطه به نقطه همسایه آن، شماره مربوط به آن همسایگی را در کد زنجیره‌ای آن زیر-کلمه ذخیره می‌کنیم [۱۷]. این کار را به طور جداگانه برای تمامی بخش

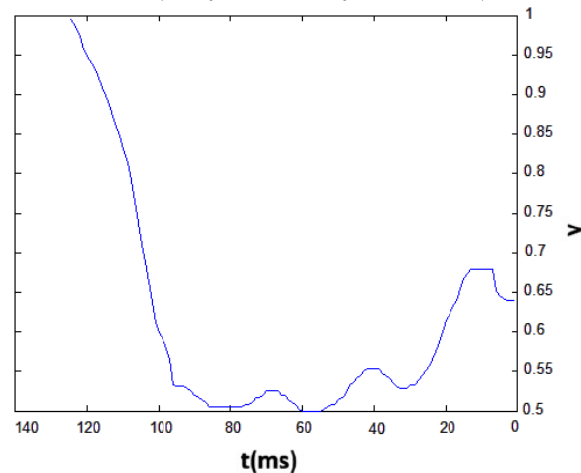
مقادیر x ، y ، تعداد بخش‌های تشکیل دهنده هر زیر-کلمه (d) و زمان نوشتن هر زیر-کلمه (t) در یک آرایه جمع‌آوری شد. اطلاعات جمع‌آوری شده از این نمونه‌ها جهت شناسایی به برنامه اصلی داده می‌شود. شکل ۲ الف بدنه اصلی زیر-کلمه "حسا" و شکل ب سیگنال‌های x و y زیر-کلمه "حسا" بر حسب زمان را نشان می‌دهند.



الف- بدنه اصلی زیر-کلمه "حسا"



ب- سیگنال x زیر-کلمه "حسا" بر حسب زمان



ج- سیگنال y زیر-کلمه "حسا" بر حسب زمان
شکل ۲ زیر-کلمه "حسا"

حالات در رابطه $S = \{s_i ; 1 \leq i \leq N\}$ می‌باشد. یک مدل مخفی مارکوف را می‌توان به صورت زیر توصیف کرد:

ماتریس انتقال:

$$\Pi = \{\pi_i\}, \quad \pi_i = P(q_1 = s_i) \quad \text{که}$$

ماتریس تغییر حالت:

$$A = \{a_{ij}\}, \quad a_{i,j} = P(q_{t+1} = s_j | q_t = s_i) \quad \text{که}$$

ماتریس آخرین انتقال:

$$\Gamma = \{\gamma_j\}, \quad \gamma_j = P(q_t = s_i) \quad \text{که}$$

ماتریس اغتشاش:

$$B = \{b_j(k)\}, \quad b_j(k) = P(o_t = v_t | q_t = j)$$

با داشتن مجموعه مشاهدات $O = (o_1, \dots, o_t)$ و همچنین مدل $\lambda = \{\Pi, A, \Gamma, B\}$ می‌توان $P(O/\lambda)$ را با کمک الگوریتم بام-ولش، بدست آورد. به طوری که یک متغیر رو به جلو $\alpha_t(j)$ احتمال داشتن حالت q_t در زمان t با تولید دنباله مشاهدات $O^t = (o_1, \dots, o_t)$ باشد که می‌تواند مکررا به صورت زیر محاسبه شود:

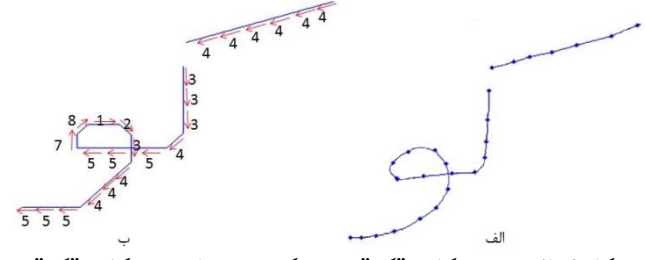
$$\alpha_t(j) = \begin{cases} \pi_j \alpha_j(i) & \text{if } t = 1 \\ \sum_{i=1}^N a_{i-1}(i) \alpha_{i-1}(i) b_j(k) & \text{otherwise} \end{cases}$$

که به صورت زیر می‌توان نشان داد:

$$P(O/\lambda) = \sum_{i=1}^N a_T(i) \gamma_i$$

با دادن دنباله آموزش $O = (o_1, \dots, o_t)$ ، تنظیم پارامترهای مدل $\lambda = \{\Pi, A, \Gamma, B\}$ ، $P(O/\lambda)$ حداکثر مقدار را خواهد داشت. الگوریتم بام-ولش به عنوان معیار بهینه سازی (ML) برای پیدا کردن حداکثر احتمال استفاده می‌شود. جهت اطلاع یافتن از جزئیات بیشتر مدل مخفی مارکوف به [۱۹] رجوع شود. ترکیب ویژگی‌های جمع‌آوری شده از کدهای زنجیره‌ای و بردارهای افقی و عمودی، جهت شناسایی نهایی به طبقه‌بندی‌کننده مدل مخفی مارکوف پیوسته داده می‌شود. شکل ۵ نمودار مراحل بازشناسی یک زیر-کلمه در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

های زیر-کلمه شامل بدنه اصلی و علائم مربوط به آن به ترتیب زمانی نمونه برداری شده انجام داده و مجموع کدها به عنوان ویژگی کد زنجیره‌ای به سیستم داده می‌شود. شکل ۴ زیر-کلمه "کو" را نشان می‌دهد که از دو بخش "بدنه اصلی" و "سرکش حرف ک" تشکیل شده است.



شکل ۴ الف) زیر-کلمه "کو" و ب) کد زنجیره‌ای زیر-کلمه "کو" به ترتیب نگارش "۳۳۳۴۵۵۵۷۸۱۲۳۴۴۴۵۵۵۴۴۴۴۴"

کد زنجیره‌ای بدنه اصلی عبارت است از:

۳۳۳۴۵۵۵۷۸۱۲۳۴۴۴۵۵۵

کد زنجیره‌ای سرکش حرف "ک" عبارت است از:

۴۴۴۴۴۴

مجموع دو کد به عنوان ویژگی کد زنجیره‌ای زیر-کلمه "کو" خواهد شد:

۳۳۳۴۵۵۵۷۸۱۲۳۴۴۴۵۵۵۴۴۴۴۴۴

پس از بدست آوردن این ویژگی برای تمام زیر-کلمات، معلوم می‌شود که کد زنجیره‌ای برای زیر-کلمات مختلف دارای طول متفاوتی است و طول هر بردار متناسب با طول زیر-کلمه نوشته شده است.

۲-۴ طبقه‌بندی

مدل مخفی مارکوف به عنوان یک طبقه بند قدرتمند بر روی مسائل زمانی با یک مجموعه داده آموزشی بزرگ مطرح است. ابتدا مدل مخفی مارکوف در مدل سازی بازشناسی گفتار به کار گرفته شد. با توجه به موفقیت این مدل در بازشناسی گفتار و نیز شباهت سیگنال گفتار با سیگنال دستنویسته برخط از نظر داشتن توالی زمانی، این روش در بازشناسی دستنویسته نیز بکار گرفته شد [۱۸]. مدل مخفی مارکوف، یک مدل مارکوف آماری است که در آن سیستم مدل شده به صورت یک فرایند مارکوف با حالت‌های مشاهده نشده (پنهان) فرض می‌شود. در یک مدل مخفی مارکوف، حالت به طور مستقیم قابل مشاهده نیست، اما خروجی، بسته به حالت، قابل مشاهده است. هر حالت یک توزیع احتمال روی سمبل‌های خروجی ممکن دارد. بنابراین دنباله سمبل‌های تولید شده توسط یک مدل مخفی مارکوف اطلاعاتی درباره دنباله حالت‌ها می‌دهد.

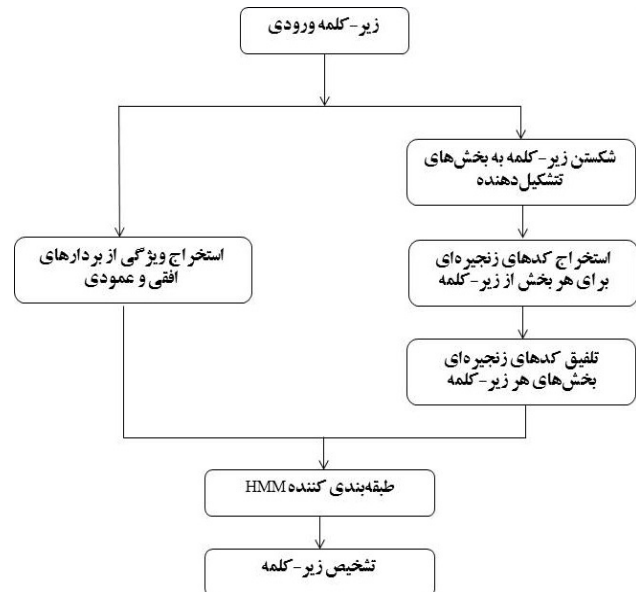
فرض کنیم که یک دنباله از مشاهدات $O = (o_1, \dots, o_t)$ توسط دنباله حالات $Q = (q_1, \dots, q_t)$ ساخته شده است. به طوری که هر مشاهده (o_t) عضو مجموعه‌ای از سمبل‌های قابل مشاهده در رابطه $V = \{v_k ; 1 \leq k \leq M\}$ و هر حالت (q_t) عضو مجموعه

جدول ۱ زیر-کلمات پایگاه داده

۱. کلی	۲۱. شش	۴۱. ختیا	۶۱. کلا	۸۱. بگذ
۲. بیمه	۲۲. لین	۴۲. چه	۶۲. ثه	۸۲. جلو
۳. فنی	۲۳. له	۴۳. مسکن	۶۳. فضا	۸۳. تلفن
۴. تما	۲۴. خا	۴۴. کیفیت	۶۴. مینی	۸۴. جر
۵. حی	۲۵. نقش	۴۵. نیت	۶۵. ف	۸۵. هستیم
۶. فسا	۲۶. مبر	۴۶. ژ	۶۶. طبیعی	۸۶. سینما
۷. قیمت	۲۷. بیر	۴۷. بیما	۶۷. شیا	۸۷. بید
۸. حت	۲۸. بیر	۴۸. نبا	۶۸. ضو	۸۸. تند
۹. یشی	۲۹. متعلق	۴۹. یک	۶۹. کلیه	۸۹. یگا
۱۰. ختن	۳۰. سیله	۵۰. ظر	۷۰. پی	۹۰. مسلما
۱۱. سکو	۳۱. حسا	۵۱. ختر	۷۱. نگ	۹۱. عا
۱۲. همکا	۳۲. ئیه	۵۲. کیه	۷۲. مینی	۹۲. خطر
۱۳. متر	۳۳. مکا	۵۳. یو	۷۳. شمی	۹۳. بهتر
۱۴. یستی	۳۴. سمت	۵۴. فعلی	۷۴. کو	۹۴. چا
۱۵. جعه	۳۵. لیه	۵۵. تنها	۷۵. پز	۹۵. بهبو
۱۶. فکر	۳۶. سند	۵۶. ممکن	۷۶. ملی	۹۶. شیه
۱۷. پیو	۳۷. قم	۵۷. قهر	۷۷. بهر	۹۷. بی
۱۸. که	۳۸. پنجشنبه	۵۸. قز	۷۸. صنعت	۹۸. مصر
۱۹. ذ	۳۹. مکر	۵۹. خ	۷۹. مشکل	۹۹. بین
۲۰. معه	۴۰. حق	۶۰. نقد	۸۰. ص	۱۰۰. جه

جدول ۲ درصد درستی بازشناسی با ویژگی‌های کدهای زنجیره‌ای و محورهای افقی و عمودی و حالت‌های مختلف

تعداد حالت و مخلوط گوسی	دقت تشخیص درست (%)
متغیر	۸۳~۸۷
۸	۸۴
۱۰	۸۷/۱
۱۲	۸۷/۴
۱۵	۸۸/۹
۱۸	۹۱/۱
۲۰	۹۲/۲
۲۲	۹۳/۵
۲۵	۹۱
۳۰	۹۰/۳

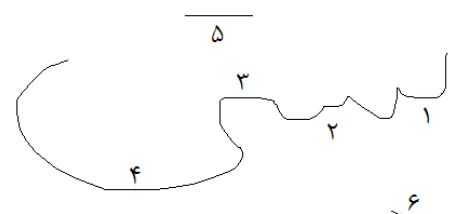


شکل ۵ روند پیشنهادی بازشناسی یک زیر-کلمه

۳ نتایج

همان‌گونه که در بخش ۲-۱ اشاره شد، جهت آموزش و آزمون برنامه از پایگاه داده‌ای با ۱۰۰ کلاس و ۲۰ نمونه برای هر کلاس استفاده شده است. از این تعداد ۱۵ نمونه برای آموزش و ۵ نمونه برای آزمون انتخاب شده‌اند. جدول ۱ کلاس‌های استفاده شده در این مقاله را نشان می‌دهد.

از عناصر مهم در طبقه‌بندی‌کننده مدل مخفی مارکوف، تعداد حالت (state) می‌باشد. در این مقاله دو سناریو برای تعداد حالت در نظر گرفته شده است. در سناریو اول حالت متغیر برای زیر-کلمات فرض شد. به طوری که تعداد حالت برابر با مجموع تعداد حروف و ریزحرکات به علاوه ۲ در نظر گرفته شده است. ریزحرکاتی مانند دو نقطه، سه نقطه و سرکش "گ" عدد یک در نظر گرفته شده است. به عنوان مثال برای زیر-کلمه ای مانند "یستی" ۸ حالت در نظر گرفته شده است: ۴ حالت مربوط به ۴ حرف "ی"، "س"، "ت" و "ی"، یک حالت مربوط به نقطه‌های حرف "ی"، یک حالت مربوط به نقطه‌های حرف "ت" و دو حالت اضافی (شکل ۶). همچنین حداقل و حداکثر تعداد حالت به ترتیب ۴ و ۱۲ فرض شد. تعداد مخلوط گوسی (mixture) برای هر مدل نیز برابر با تعداد حالت آن مدل تعیین شد.

شکل ۶ تعداد حالت برای زیر-کلمه "یستی" ($6+2=8$)

عمودی زیر-کلمات، این ویژگی‌ها به دو طبقه‌بندی‌کننده HMM مجزا انتقال داده می‌شوند. بازشناسی نهایی با استفاده از ایده تکنیک همجوشی تصمیم‌گیری انجام گرفته است. جدول ۳ به مقایسه جزئیات روش‌های بکار گرفته شده در آن مرجع و روش پیشنهادی این مقاله پرداخته است. می‌توان مدل بدنه اصلی را به طور جدا از نقاط و علائم در نظر گرفت که مرجع [۱۴] به این صورت عمل کرده است. در روش پیشنهادی یک مدل برای زیر-کلمه و ریزحرکات مربوط به آن در نظر گرفته‌ایم. در جدول ۴، مقایسه روش پیشنهادی این مقاله با مقالات مشابه اخیر آمده است که کارایی استفاده از کدهای زنجیره‌ای فریمن مشهود است.

الف) بدنه اصلی یکسان در دو زیر-کلمه "متر" و "میر"

ب) شباهت بدنه اصلی و ریزحرکات دو کلمه "مکر" و "متر"

ج) ساختار املائی شبیه به هم در دو حرف "ف" در زیر-کلمه "فسا" و "م" در زیر-کلمه "مکا"

د) شباهت حروف "شی" در زیر-کلمه "یشی" با حرف "ش" در انتهای زیر-کلمه "شش"

شکل ۷ نمونه‌هایی از بازشناسی اشتباه در زیر-کلمات فارسی

۴ نتیجه‌گیری

در روش پیشنهادی این مقاله، ابتدا نحوه تبدیل حرکت اصلی قلم به کدهای زنجیره‌ای ارائه شده است. در ادامه جهت افزایش دقت تشخیص این بردار با ویژگی‌های دیگری که از بردارهای افقی و عمودی استخراج شده، ترکیب شده است. در انتها نتیجه تلفیقی حاصل از مرحله استخراج ویژگی، جهت بازشناسی به طبقه‌بند مدل مخفی مارکوف داده شده است. دقت بازشناسی مدل مخفی مارکوف با حالت‌های (state) متغیر و ثابت بررسی شده و بهترین درصد بازشناسی با تعداد حالت ۲۲، ۹۳/۵٪ بدست آمد که کارایی استفاده از کدهای زنجیره‌ای را نشان داد.

در سناریو اول در بهترین وضعیت به دقت بازشناسی ۸۷٪ رسیدیم. در سناریو دوم، تعداد حالت را برای همه زیر-کلمات ثابت در نظر گرفتیم. نتایج بازشناسی با تعداد حالت متفاوت در جدول ۲ آمده است.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، بهترین نتیجه با ۲۲ حالت بدست آمده است. در ادامه، با فرض تعداد حالت ۲۲ و صرف نظر کردن از زمان بیشتر پردازش، برنامه یک بار با کدهای زنجیره‌ای و بار دیگر با تمامی ویژگی‌های جمع‌آوری شده از مجموع کدهای زنجیره‌ای و بردارهای افقی و عمودی اجرا شده است که به ترتیب دقت بازشناسی ۸۱/۸٪ و ۹۳/۵٪ را حاصل داد.

بررسی نتایج نشان می‌دهد بیشترین اشتباه در زیر-کلماتی است که از لحاظ املائی شباهت بیشتری به هم دارند. در زبان فارسی بسیاری از حروف دارای بدنه اصلی یکسانی هستند. همین امر باعث می‌شود بسیاری از زیر-کلمات زمان نگارش ساختار املائی شبیه به هم داشته باشند. مثلاً زیر-کلمات "متر" و "میر" دارای بدنه اصلی یکسانی هستند. تنها تفاوت آنها در ریزحروف آنها می‌باشد (شکل ۷.الف). جهت کسب اطلاعات بیشتر در رابطه با شیوه‌های نگارش حروف فارسی به [۱۵] مراجعه شود. یکی دیگر از علت‌های تشخیص اشتباه مربوط به املائی بد نگارشی نویسندگان مختلف است. به عنوان مثال برخی زیر-کلمات مانند "متر" و "مکر" دارای بدنه اصلی و ریزحرکات متفاوتی هستند؛ اما زمان نگارش، بسیاری از نویسندگان این زیر-کلمات را شبیه به هم می‌نویسند. با مقایسه این دو نمونه در شکل ۷.ب به وضوح مشخص است که هم بدنه اصلی و هم ریزحرکات در این دو نمونه کاملاً شبیه به هم نوشته شده است. برخی حروف در زبان فارسی نگارش شبیه به هم نوشته می‌شوند. مانند "ف" در "فسا" و "م" در "مکا" (شکل ۷.ج) و یا "ی" آخر در "یشی" و "ش" آخر در "شش" (شکل ۷.د)، که باعث می‌شود سیستم این کلمه‌ها را به اشتباه یکسان تشخیص دهد.

هر کدام از روش‌های مورد استفاده تعدادی از ویژگی‌های برتر زیر-کلمات را مورد استفاده قرار داده‌اند. با کمک ویژگی‌های بردارهای افقی و عمودی نقاط، ویژگی‌های ممتاز x و y زیر-کلمات استخراج شده و با کمک کدهای زنجیره‌ای ویژگی‌های مسیر حرکتی نقاط جمع‌آوری شده است. جدول ۲ نشان می‌دهد، اجرای برنامه با کدهای زنجیره‌ای نتیجه ضعیف‌تری نسبت به اجرای برنامه با تلفیق دو ویژگی کدهای زنجیره‌ای و محورهای افقی و عمودی دارد. بدیهی است در صورت ترکیب ویژگی‌های بیشتر و بهتر نتایج نیز بهبود خواهد یافت.

در زمینه شناسایی دست‌نوشته‌های برخط و برون‌خط، تاکنون تحقیقات زیادی در سطوح پیش‌پردازش، استخراج ویژگی‌ها و طبقه‌بندی انجام گرفته است. اما در بین آنها تنها در [۱۴] برای استخراج ویژگی‌ها از بردارهای افقی و عمودی زیر-کلمات برخط استفاده شده است. در آن مقاله، برای بازشناسی برخط زیر-کلمات پس از استخراج ویژگی‌های ممتاز محورهای افقی و

جدول ۳ مقایسه ویژگی‌ها و حالت‌های مختلف

روش‌ها	نوع ورودی	تعداد ویژگی	تعداد حالت و مخلوط گوسی	تعداد کلاس	میانگین تعداد نمونه در هر کلاس	دقت بازشناسی (%)
[۱۴]	x-y	۱۰	۱۰	۴۲	۵۴	۸۰/۴
	x	۱۶	۱۰	۴۲	۵۴	۶۴/۱
	y	۱۶	۱۰	۴۲	۵۴	۷۶/۱
	همجوشی x و y	-	۱۰	۴۲	۵۴	۸۷/۵
روش پیشنهادی	کدهای زنجیره ای	۱	۲۲	۱۰۰	۲۰	۸۱/۸
	کدهای زنجیره ای و x-y	۱۱	۲۲	۱۰۰	۲۰	۹۳/۵

جدول ۴ مقایسه روش پیشنهادی با کارهای اخیر

روش‌ها	نوع ورودی	زبان	ویژگی‌ها	طبقه بندی کننده	تعداد کلاس	میانگین تعداد نمونه در هر کلاس	تعداد کل نمونه‌ها	دقت بازشناسی (%)
[۱]	زیر-کلمه	فارسی	نقاط و علائم زیر-کلمه و مکان نسبی آنها	معیار کمترین فاصله	۱۰۰۰	۱۱	۱۱۰۹۲	۷۴/۹۵
[۴]	زیر-کلمه	فارسی	کدهای زنجیره ای فازی و مدل تطبیق رشته	طبقه بندی سلسله مراتبی اولیه	۱۰۰۰	۱۲	۱۲۰۰۰	۸۶/۶۷
[۲۰]	کاراکتر	عربی	تعداد بخش، نقاط متقابل، لبه‌های تیز	شبکه های عصبی	۲۸	۵۰	۱۴۰۰	۸۳
[۱۲]	کاراکتر	فارسی	گروه بندی بر اساس شکل و ساختار بدنه اصلی و ریزحرکات	مدل مخفی مارکوف	۳۳	۱۱۷	۴۰۰۰	۹۴/۲
[۱۴]	زیر-کلمه	فارسی	همجوشی x و y	مدل مخفی مارکوف	۴۲	۵۴	۲۲۰۰	۸۷/۵
روش پیشنهادی	زیر-کلمه	فارسی	x-y و کدهای زنجیره ای	مدل مخفی مارکوف	۱۰۰	۲۰	۲۰۰۰	۹۳/۵

رشته‌ای"، اولین همایش ملی کاربرد سیستم‌های هوشمند (محاسبات نرم) در علوم و صنایع، ۱۳۹۲.

[۶] شکاری شهرک، ا.، خادمی م. "بازشناسی دست‌نوشته فارسی با

مدل مخفی مارکوف"، هشتمین سمپوزیوم پیشرفت‌های علوم و تکنولوژی، مشهد، دانشکده ادبیات دانشگاه فردوسی، آذر ۱۳۹۲.

[۷] رضوی، س. م.، کبیر، ا.، "یک پایگاه داده برای بازشناسی

دست‌نوشته های برخط فارسی"، ششمین کنفرانس سیستم‌های هوشمند، کرمان، آذر ۱۳۸۳.

[8] Nasrollahi, S., Ebrahimi, A., "Printed Persian Subword Recognition Using Wavelet Packet Descriptors", *Hindawi Publishing Corporation, Journal of Engineering*, Vol. 1, 2013.

[9] Bayesteh Tashak, A., Ahmadi, A. R., Khosravi, H. "A two-step method for offline handwritten Farsi word recognition using adaptive division of gradient image", *Signal and Data Processing*, Vol 12, No 3, pp.12-18, 2015.

[10] Ghods, V., Sohrabi, M. K., "Online Farsi digit recognition using their upper half structure", Sixth International Conference on Graphic and Image Processing, vol. 9443, (ICGIP 2014).

مراجع

[۱] رضوی، س. م.، کبیر، ا.، "روشی ساده برای بازشناسی برخط زیر-

کلمات فارسی"، نشریه مهندسی برق و مهندسی کامپیوتر ۷۲، سال ۲، شماره ۲، ص ۷۲-۶۳، پاییز و زمستان ۱۳۸۴.

[۲] رضوی، س. م.، کبیر، ا.، "روشی ساده برای تشخیص برخط

حروف مجزای فارسی"، مجله دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۸۴.

[۳] کاظمی، م.، یوسف نژاد، م.، نوریان، ص.، "ارائه روشی جدید با

استفاده از روشهای ترکیب دسته بندی جهت شناسایی حروف دستنویس فارسی"، دومین کنفرانس دانش پژوهان کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه تبریز، گروه علوم کامپیوتر، آبان ۱۳۹۳.

[۴] اسمعیل پور، ن.، برومندنیا، ع.، "بازشناسی برخط زیر کلمات

فارسی براساس کدهای زنجیره ای فازی با استفاده از مدل تطبیق رشته"، بیست و یکمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، ۱۳۹۲.

[۵] شرفی، ی.، سرلک، و.، گودرزی، م.، روحانی منش، ع.، ر.،

"بازشناسی کاراکتر با استفاده از کدهای زنجیره‌ای و فاصله‌ی



وحید قدس مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق الکترونیک به ترتیب از دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی و دانشگاه سمنان در سال‌های ۱۳۸۲ و ۱۳۸۴ دریافت کرد. همچنین در سال ۱۳۹۱ موفق به اخذ مدرک دکتری تخصصی در رشته مهندسی برق الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی

واحد علوم و تحقیقات تهران شد. وی در حال حاضر استادیار گروه مهندسی برق دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه‌ی وی پردازش سیگنال، پردازش تصویر، پردازش گفتار، بازشناسی دستنوشته و روش‌های بهینه سازی ابتکاری است.



سارا حسینی مدرک کارشناسی خود را در سال ۱۳۸۸ در رشته نرم افزار کامپیوتر از مؤسسه آموزش عالی غیرانتفاعی دانشوران تبریز دریافت کرده و هم اکنون دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکترونیک در دانشگاه آزاد اسلامی واحد سمنان می‌باشد. زمینه پژوهشی وی پردازش تصویر است.

- [11] Ghods V., Kabir E., Razzazi F., "Effect of delayed strokes on the recognition of online Farsi handwriting", *Pattern Recognition Letters*, Vol.34, pp. 486-491, 2013.
- [12] Ghods, V., Sohrabi, M. K., "Online Farsi Handwritten Character Recognition Using Hidden Markov Model". *Journal of Computers*, Vol.11, No 2, 2016.
- [13] Imani, Z., Ahmadyfard1, A.R., Zohrevand, A., "Holistic Farsi handwritten word recognition using gradient features", *Journal of AI and Data Mining*, Vol. 4, No 1, pp.19-25, 2016.
- [14] Ghods, V., Kabir E., Razzazi F., "Decision fusion of horizontal and vertical trajectories for recognition of online Farsi subwords", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, Vol.26, pp.544-550, 2013.
- [15] Ghods V., Kabir E., "A study on farsi handwriting styles for online recognition", *Malaysian Journal of Computer Science*, Vol. 26(1), pp.44-59, 2013.
- [16] El-Wakil, S. A., "On-line Recognition of Handwritten Isolated Arabic Characters", *Pattern Recognition*, Vol. 22, 1989.
- [17] Freeman H., "On the Encoding of Arbitrary Geometric Configurations". *IRE Transactions on Electronic Computers*, pp.260-268, Vol.EC-10, June 1961.
- [18] Günter S., Bunke H., "HMM-based handwritten word recognition: on the optimization of the number of states, training iterations and Gaussian components", *Pattern Recognition* Vol.37, pp.2069-2079, 2004.
- [19] L. R. Rabiner, "A tutorial on Hidden Markov Models and selected applications in speech recognition". *IEEE Proceedings on Readings in Speech Recognition*, Vol.77, pp.257-286, 1989.
- [20] Addakiri KH., Bahaj M., "On-line Handwritten Arabic Character Recognition using Artificial Neural Network". *International Journal of Computer Applications*, Vol. 55- No.13, pp0975-8887, 2012.