مجله ماشین‌بینایی و پردازش‌تصویر
سال سوم، شماره یک، تابستان ۱۳۹۵

ارائه خصیصه های خاص زبان فارسی جهت بازیابی و بازشناسی کلمات تصویری فارسی بریده شده با استفاده از تعبیه برچسب

مجید ایرانپور مبارکه[۱] و علیرضا احمدی فرد[۲]

چکیده

جستجو و بازیابی کلمات دستنویس در اسناد تصویری روشی جایگزین برای بازشناسی کاراکترهای نوری (OCR) است. این راهکار بیشتر در مواردی که بازشناسی کاراکترهای نوری دقت پایینی دارند، مانند متون دستنویس یا متون چاپی با کیفیت پایینی مطرح می‌گردد. امروزه یکی از روشهای کارآمد در بازیابی مبتنی بر محتوای تصویر، که برای کلمات تصویری هم توسعه داده شده، استفاده از ردهبندی مبتنی بر خصیصه (attribute-based Classification) و تعبیه برچسب (Label Embedding) است. در این مقاله چند خصیصه مختلف مبتنی بر ساختار نگارش زبان فارسی جهت استفاده در بازیابی کلمات تصویری فارسی معرفی شده و نتایج حاصل از روش های مبتنی بر خصیصه‌های پیشنهادی مقایسه گردیده است. در ارائه خصیصه‌ها ساختار نگارشی زبان فارسی درنظر گرفته شده است تا بهترین مطابقت را با روش نگارش فارسی داشته باشد. روش مورد مطالعه توانایی بازیابی کلمات تصویری با استفاده از کلمه پرسشی تصویری و متنی را داراست. علاوه بر این می‌تواند به عنوان روشی جهت بازشناسی کلمات نیز می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین روش ارائه شده با استفاده از قابلیت ردهبندی مبتنی بر خصیصه، توانایی شناسایی کلاس کلماتی که در پایگاه داده آموزشی وجود ندارد را نیز دارا می‌باشد. آزمایشات تجربی بر روی دو مجموعه داده استاندارد فارسا و ایرانشهر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی قابل قبول می باشد.

کلید واژه ها

بازیابی کلمات تصویری دستنویس، بازشناسی کلمات تصویری دستنویس، ردهبندی مبتنی بر خصیصه، تعبیه برچسب.

۱ مقدمه

کتابخانه‌های سراسر دنیا حاوی اطلاعات با ارزشی برای محققان است که با پیشرفت فناوری دیجیتال و جهت حفظ آن‌ها به‌صورت اسکن شده (تصویری) درآمده‌اند که جستجوی روی این اطلاعات به‌صورت دستی کار بسیار زمان‌بری است. اگر اطلاعات به فرم قابل خواندنی برای ماشین، مانند کد اسکی[1]، در آیند، با استفاده از موتورهای بازیابی متن می‌توانند اندیس‌گذاری و قابل جستجو شوند. یک راه حل برای جستجو روی اسناد تصویری استفاده از روش‌های بازشناسی کارکتر نوری[2] برای تبدیل این اسناد به متن و سپس استفاده از موتورهای بازیابی متن است[۱, ۲]. روشهای موجود بازشناسی کاراکترهای نوری بر روی اسناد چاپی با فونت-های محدودکه در آنها پس‌زمینه تمیز می باشد کارایی مطلوبی دارد

این مقاله در اسفندماه سال ۱۳۹۴ دریافت، در تیرماه سال ۱۳۹۵ بازنگری و در همان ماه پذیرفته شد.

[۱] دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات، دانشگاه شاهرود. رایانامه: Majid.iranpor@shahroodut.ac.ir

[۲] دانشکده مهندسی برق و رباتیک، دانشگاه شاهرود.
رایانامه: Ahmadyfard@shahroodut.ac.ir

نویسنده مسئول: مجید ایرانپور مبارکه

[1]ASCII Code
[2]Optical Character Recognition (OCR)

Archive of SID
www.SID.ir

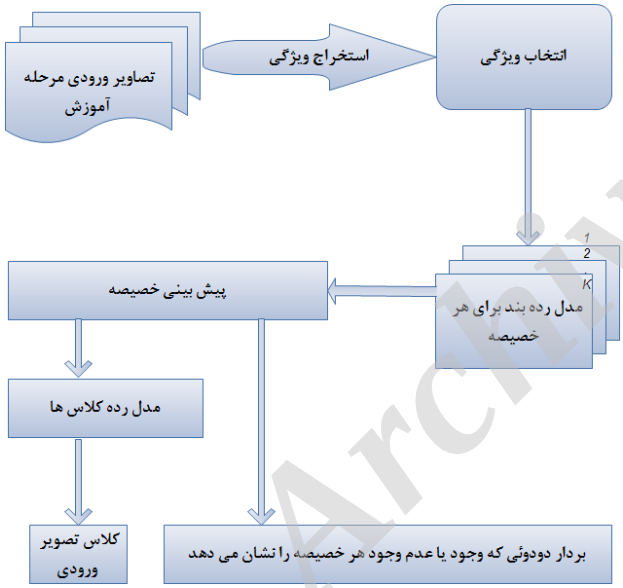
[۱] اما درمورد اسناد چاپی قدیمی که معمولاً کیفیت پایینی دارند یا در مورد اسناد دست‌نویس نتایج به شدت افت می‌کند[۱].

رهیافت جایگزین برای اندیس‌گذاری و جستجو در اسناد چاپی قدیمی و دست‌نویس روش جستجو کلمات[1] است. این دسته روشها ابتدا در پردازش صوت معرفی شد و سپس برای اسناد دستنویس نوشته شده توسط یک نویسنده بکار رفته است[۳].

در اکثر کارهای انجام شده در جستجوی کلمه تصویری، کلمات پرسشی معمولاً از سندی که مورد جستجو قرار می‌گیرد بریده می‌شود[۳-۶] که این دسته از روشها جستجو با استفاده از کلمه پرسشی تصویری[2] نامیده می‌شوند. در این روش‌ها معمولاً با استفاده از یک روش تطبیق، فاصله بین کلمات کاندید و کلمه پرسشی، به‌صورت پیکسلی یا مبتنی بر ویژگی، سنجیده می‌شود و نزدیکترین کلمات سند به کلمه پرسشی کاندید می‌شوند. جهت تطبیق معمولاً از روشهای مبتنی بر پیچش زمان پویا[3] استفاده شده است. از جمله مشکلات اساسی این دسته روش‌ها اولاً حساسیت زیاد به شیوه نگارش (دست خط) و قابلیت استفاده برای اسناد نوشته شده توسط یک نویسنده می باشد. ثانیاً در این دسته روش‌ها کلمه پرسشی تصویری مورد نیاز جهت جستجو باید از خود سند بریده شود، که این کار بسیار زمان‌بری است. علاوه بر مشکلات ذکر شده روشهای مبتنی بر تطبیق که از الگوریتم پیچش زمان پویا بهره می‌گیرند بسیار زمانبر است[۷].

برخی روش های جستجوی کلمات در زمره سیستمهای بازیابی تصویر براساس محتوی[4] دسته‌بندی می‌شود. در این دسته از روش‌ها از مدل‌های مبتنی بر یادگیری مانند مدل مخفی مارکوف استفاده می‌شود[۸-۱۶]. نتایج گزارش شده از روشهای مبتنی برمدل مخفی مارکوف نشان می دهد که این روش‌ها تنها توانایی شناسایی مجموعه کلماتی محدود، که در فرهنگ لغت آموزشی آورده شده است، را دارا می‌باشند. علاوه بر این، نیاز به حجم زیاد داده های آموزشی از مشکلات دیگر این روش‌ها محسوب می‌شود.

از جمله روشهای که اخیرا" در بازیابی تصویر براساس محتوی معرفی شده است بازشناسی مبتنی بر خصیصه[5] است[۱۷-۱۹]. با توجه به تعداد و تنوع زیاد کلاس‌های اشیاء در دنیای امروز فراهم آوردن و برچسب گذاری تصاویر آموزشی مشکل می باشد. این تنوع کلاس‌ها در بسیاری از کاربردهای بینایی ماشین دیده می‌شود که شناسایی و بازیابی کلمات دستنویس یکی از آنها است. برای حل این مشکل دسته‌بندی مبتنی بر خصیصه معرفی شده است. در این رهیافت تشخیص شیء با استفاده از توصیفات سطح بالای خاص انسان که خصیصه[6] نامیده می‌شوند، انجام می‌شود. این خصیصه‌ها می‌توانند ویژگی‌های ساختاری یا معنایی مانند شکل، رنگ یا حتی اطلاعات جغرافیایی شیء باشد[۱۷]. رابطه بین ویژگیهای استخراج شده و خصیصه ها از تصاویر مربوط به کلاس های یادگرفته شده در زمان آموزش می‌توانند در شناسایی تصاویر متعلق به کلاس های جدید که حتی در فاز آموزش شرکت ننموده‌اند کمک کند. این روش سعی بریادگیری به شیوه انسان دارد. انسان در حالیکه از مثالها کلاس اشیاء را یاد می گیرد، توانایی شناسایی کلاس‌های جدیدی که قبلاً مثالهای آن دیده نشده است را نیز دارد. این فرایند با استفاده از توصیف سطح بالای مثالهای سایر کلاسها صورت می‌گیرد[۲۱]. برای نمونه اگر در مثالهای حیوانات یک مجموعه آموزشی سه خصیصه "بزرگ بودن"، " دارای رنگ خاکستری" و " دارای خرطوم" یادگرفته شده باشد، چنانچه حیوانی که این سه خصیصه را بطور همزمان دارا باشد (فیل) حتی اگر در مجموعه آموزشی موجود نباشد، قابل شناسایی بر اساس خصیصه‌ها وجود دارد. این روش به‌جای انتساب یک نمونه به یک کلاس آنرا بر اساس خصیصه‌هایش توصیف می‌کند. خصیصه‌ها به‌عنوان یک روش بازنمایی میانی عمل می‌کنند که امکان به اشتراک‌گذاری پارامتر بین کلاس‌ها را ممکن می‌سازد. چنین رهیافتی در مواقعی که داده‌های آموزشی کم هستند یک نیاز محسوب می‌شود.



شکل۱ شمای کلی رده‌بندی مبتنی بر خصیصه

دسته‌بندی مبتنی بر خصیصه در تصاویر می‌تواند به‌عنوان یک مسئله تعبیه برچسب[7] نیز در نظر گرفته شود در این صورت هر کلاس بجای قرار گرفتن در فضای ویژگی ها (مثلا" ویژگی‌های تصویری) در فضای خصیصه‌ها تعبیه می شود. برای این منظور نیاز به یک تابع جهت سنجش سازگاری بین فضای ویژگی‌تصاویر و برچسب‌ها وجود دارد. پارامترهای این تابع به کمک مجموعه داده آموزشی یاد گرفته می‌شود طوریکه به نمونه‌هایی از تصاویر که سازگاری

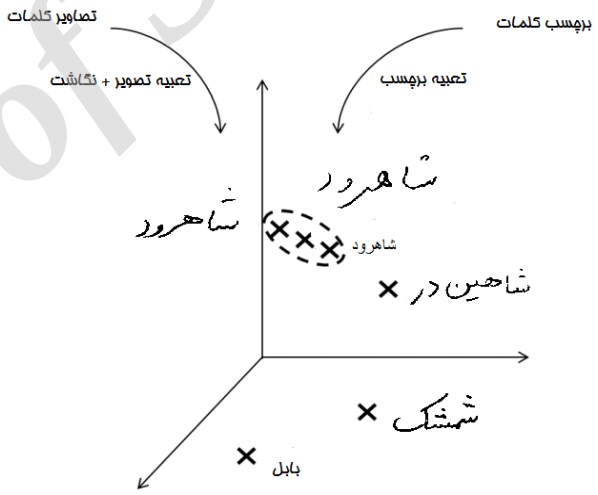
[1]Word Spotting
[2]Query By Example (QBE)
[3]Dynamic Time Wrapping (DTW)
[4]Content-Based Image Retrieval (CBIR)
[5]Attribute-based classification
[6]Attribute
[7]Label-Embedding

Archive of SID
www.SID.ir

بالایی با برچسب مورد نظر دارند رتبه بالاتر و به نمونه‌های ناسازگار رتبه پایین تر داده می شود.

اخیرا از روش تعبیه برچسب جهت بازشناسی و بازیابی کلمه در اسناد تصویری و کلمات بریده شده زبان انگلیسی استفاده شده است[۲۰-۲۲]. در این روش، تصویر و رشته متنی کلمه در یک زیرفضای برداری مشترک قرار می‌گیرند. این کار با استفاده از یادگیری رابطه بین برچسب حروف و خصیصه‌های تصویر کلمات در یک زیرفضای مشترک انجام می‌پذیرد. در این زیرفضا بازنمایی برچسب متنی کلمه وتصویر آن بسیار نزدیک به یکدیگر قرار می‌گیرند. در این صورت بازیابی و بازشناسی به یک مسئله ساده یافتن نزدیکترین همسایه تبدیل می شود.

در این مقاله روشی جهت تشخیص و بازیابی کلمات دستنویس فارسی پیشنهاد می گردد. در این روش جهت بازنمایی تصویر از روش معرفی شده در[۲۰] استفاده شده است اما جهت بازنمایی برچسب، چندین روش که با ساختار کلمات در زبان فارسی سازگار است معرفی می گردد.روش‌های پیشنهادی توسعه پژوهش انجام شده در مرجع [۳۵] برای زبان فارسی می باشد.



شکل۲ شمای کلی روش تعبیه برچسب

ساختار مقاله در ادامه به‌صورت زیر است: در بخش دوم روش تعبیه برچسب جهت بازیابی و بازشناسی کلمات تصویری معرفی شده است. بخش سوم برچسب‌های پیشنهادی خاص زبان فارسی ارائه شده است. بخش چهارم نتایج و مقایسه آنها روی دو مجموعه داده استاندارد آورده شده و مورد بحث و بررسی قرار گرفته است. نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده نیز در بخش نهایی آورده شده است.

۲ تعبیه برچسب جهت بازیابی و بازشناسی کلمه تصویری

جستجو و بازیابی کلمات تصویری می‌تواند بعنوان مثالی خاص از بازیابی تصویر مبتنی بر محتوای معنایی درنظر گرفته شود. تنوع کلاس ها دراین مسئله بسیار زیاد است و با جابجایی حتی یک حرف در کلمه انتظار می رود تا رده بندی کلمات در کلاس‌ها به درستی صورت گیرد. علاوه برمسئله فوق تنوع درون کلاسی زیادی بواسطه تنوع ناشی از شیوه‌های نگارش (دست خط) در متون دستنویس و فونت‌های مختلف در اسناد چاپی وجود دارد. با توجه به مسائل ذکر شده استفاده از روشی که بتواند با ایجاد اشتراک بین‌کلاسی، توانایی شناسایی کلاس‌هایی که در فاز آموزش دیده نشده‌اند را داشته باشد، لازم به نظر می‌رسد. در [۲۰] روشی با استفاده از مفهوم رده‌بندی مبتنی بر خصیصه و تعبیه برچسب ارائه شده است که توانایی اشتراک گذاری اطلاعات بین کلاس‌های مختلف را دارد. در این روش برای بازشناسی، بازیابی و جستجوی کلمات تصویری از مدلی جهت بازنمایی مشترک تصاویرکلمه و رشته‌های متنی معادل آن استفاده شده است. با استفاده از این روش جستجوی کلمات تصویری به مسئله ساده‌ی یافتن نزدیکترین همسایگی[1] تبدیل می‌شود. از اینرو این روش حتی توانایی شناسایی کلاس‌هایی که در فاز آموزش دیده نشده‌اند را دارد.

در این روش ابتدا یک رهیافت تعبیه برچسب برای برچسب‌های متنی استفاده شده است، که از کیف هسته‌های رشته‌ای کاراکترها[2] الهام گرفته شده است[۲۳, ۲۴]. این روش یک کلمه را بصورت رشته‌ای متنی به یک فضای دودوئی d بعدی نگاشت می‌کند که مشخص کننده موقعیت نسبی کاراکترهای کلمه می‌باشد. در این فضا وجود یا عدم وجود هر یک از حروف زبان با صفر و یک نشان داده می‌شود.

ایده اصلی این مقاله بکار بردن این روش جهت تشخیص و بازیابی کلمات تصویری دستنویس فارسی و ارائه روشی جهت تعبیه برچسب با توجه به ساختار نگارش زبان فارسی است. با استفاده از آموزش خصیصه‌های کاراکتری داده‌های آموزشی بهتر مورد استفاده قرار می‌گیرند و می‌توان کلاس کلماتی که در آموزش شرکت نکرده‌اند (خارج از فرهنگ لغت[3])، را نیز بازشناسی و بازیابی کرد. دلیل این است که هر کلمه در فرآیند آموزش برای آموزش چندین خصیصه مورد استفاده قرار می‌گیرد و این باعث به اشتراک گذاری اطلاعات بین کلاس‌های مختلف می‌شود. از آنجایی که محدوده مقادیر امتیاز خصیصه‌ها[4] با برچسب‌های تعبیه شده دودوئی متفاوت است مقایسه آنها بصورت مستقیم بهینه نیست و نیاز به کالیبره کردن وجود دارد. بنابراین در[۲۰] یک زیرفضای مشترک با ابعاد کم که بتواند این مقادیر را با هم مرتبط کند استفاده شده است. این کار دو مزیت مهم را به همراه دارد. اولاً اینکه می‌توان به طور معناداری تصویر یک کلمه وشکل متنی آن را بصورت مستقیم با هم مقایسه کرد و ثانیاً امتیازات خصیصه‌های مربوط به یک کلمه خاص به واسطه بازنمایی با برچسب‌های تعبیه شده یکسان در این فضا در کنار هم قرار خواهند گرفت.

[1]Nearest neighbor
[2]Bag of characters string kernels
[3]Out Of Vocabulary (OOV)
[4]Attributes Score

Archive of SID
www.SID.ir

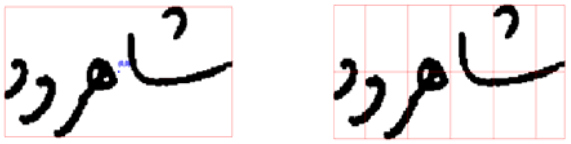
با قرار دادن تصویر و متن کلمه در یک زیرفضای مشترک با یک معیار تعریف شده، بازشناسی و جستجوی کلمات تصویری به یک مسئله ساده نزدیکترین همسایه تبدیل می‌شود. در این صورت می‌توان با استفاده از کلمه پرسشی که بصورت متنی[1] و یا تصویری[2] وارد می شود کلمه پرسشی را در اسناد تصویری جستجو کرد. برای نمونه وقتی کلمه پرسشی بصورت متنی است نیازی به سنتز کردن تصویر کلمه برای جستجو در اسناد نیست. از اینرو از فشرده سازی بردارها[3]، تکنیکهای اندیس‌گذاری و فشرده‌سازی مانند کوانتیزه‌سازی حاصلضرب[4] می‌توان برای مجموعه داده‌های بزرگ بهره برد. این اولین رهیافتی است که می‌تواند عمل جستجوی کلمات در اسناد تصویری را با استفاده از کلمه پرسشی تصویری و متنی بصورت همزمان برای کلماتی که در فاز آموزش دیده نشده است انجام دهد و علاوه براین توانایی بازشناسی کلمات تصویری را نیز داراست[۲۰]. مراحل این روش که شامل بازنمایی تصویر و بازنمایی برچسب کلمات و ایجاد زیرفضای مشترک بین این دو بازنمایی است در ادامه شرح داده شده است.

۲-۱ بازنمایی تصاویر کلمات در فضای ویژگی

شمای کلی مراحل بازنمایی تصاویر کلمات در فضای ویژگی در شکل ۴ نشان داده شده است. در این روش برای بازنمایی تصویر در فضای ویژگی از بردار فیشر استفاده شده است. بردار فیشر[5][۲۵-۲۷]، یک روش کدگذاری نسبتاً جدید است که جهت بازنمایی تصاویراستفاده شده است و کارایی خوبی با استفاده از رده‌بندهای خطی ارائه می‌کند.

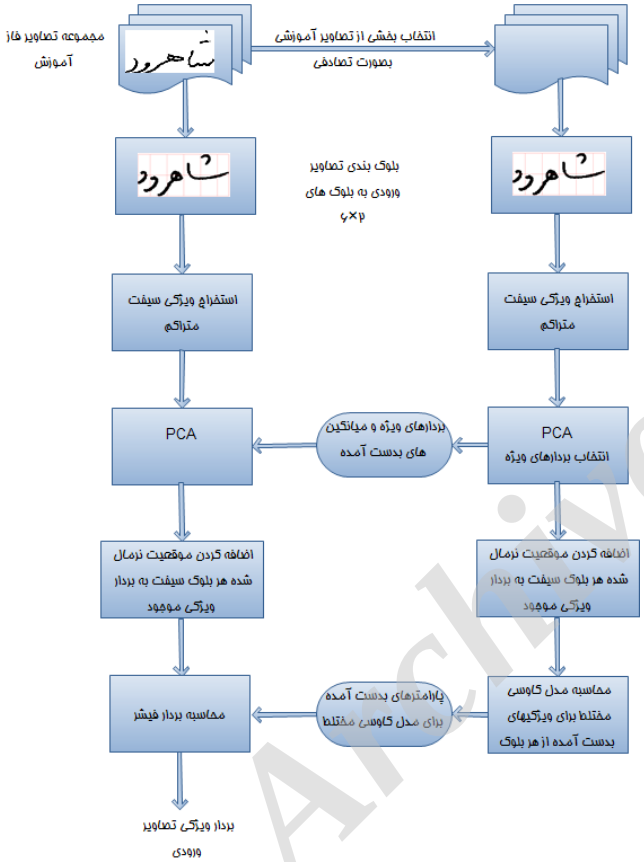
برای استخراج بردار فیشر از تصاویر کلمات در مرحله آموزش و مرحله آزمون، ابتدا هر تصویر به ۱۲ بلوک (دو ردیف و شش ستون) مطابق شکل ۳ الف تجزیه می شود. به کمک توصیفگر سیفت متراکم[6] از هر بلوک بردارهای ویژگی سیفت۱۲۸بُعدی استخراج می گردد. هر بردار توسط آنالیز اجزاء اصلی[7] به یک بردار ۹۶ عنصری کاهش می یابد. سپس به هربردار توصیفگر کاهش بعد یافته ی سیفت (بردار ویژگی ۹۶ بعدی) مختصات مکانی توصیفگر در فضای نرمال شده اضافه می‌شود(شکل ۳ ب). در [۲۰] برای نرمال سازی مختصات مکانی توصیفگر ها، مختصات سطر ها و ستون های ابتدا و انتها به ترتیب بین ۰/۵- و ۰/۵ نرمال می‌شود.

برای استخراج بردار فیشر از تصاویر ابتدا بخشی از تصاویر آموزشی بصورت تصادفی انتخاب شده و برای بردارهای توصیفگر هر بلوک در این تصاویر یک مدل مخلوط گاوسی با ۱۶ هسته گاوسی استخراج می‌گردد. به استفاده از پارامترهای بردار میانگین و ماتریس کواریانس مدل گاوسی مختلط آموزش دیده شده، بردارهای فیشر از تصویر استخراج می شود.



ب) الف)

شکل۳ الف) قطعه بندی تصویر کلمه ب) نمونه ای از ویژگی نرمال شده موقعیت پیکسل



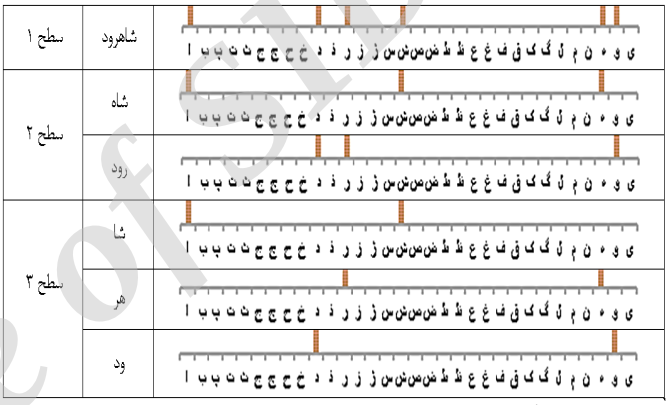
شکل۴ شمای کلی بازنمایی تصاویر کلمات در فضای ویژگی

۲-۲ بازنمایی برچسب کلمات

ساده‌ترین روشی که برای بازنمایی برچسب کلمه می توان استفاده کرد این است که برداری به تعداد حروف الفبا در نظر گرفته شود و فیلدهای متناظر با حروف کلمه در این بردار را یک و مابقی فیلد ها را صفر نمود.این بردار به عنوان یک خصیصه برای هر کلمه متنی قابل تعریف است و نشان دهنده وجود یا عدم وجود یک حرف خاص در یک برچسب کلمه خاص است. این بردار خصیصه برای زبان فارسی ابعادی برابر ۳۲ حرف الفبا خواهد داشت. اما با

[1]Query By String (QBS)
[2]Query By Example (QBE)
[3]Compact Vector
[4]Product Quantization
[5]Fisher Vector (FV)
[6]Dense Sift
[7]Principal Component Analysis (PCA)

Archive of SID
www.SID.ir

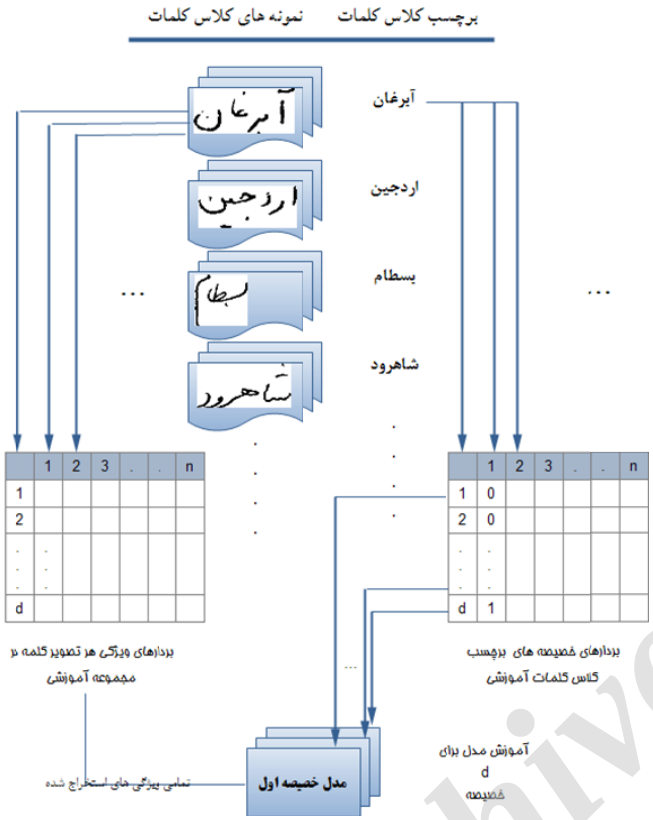
استفاده از چنین روشی کلماتی که حروف یکسان با جایگاه متفاوت دارند، مانند "مهدی" و "دهیم"،دارای بردار خصیصه یکسان خواهند بود. برای تقویت بردار خصیصه براساس تحقیق انجام شده در مرجع [۲۲] می‌توان از مکان قرار گرفتن نسبی حروف در کلمه نیز استفاده کرد تا روش بازنمایی متمایز کننده‌تری حاصل گردد. مطابق مثال شکل ۵ بردار خصیصه می تواند در چند سطح به صورت سلسله مراتبی تشکیل گردد. در سطح یک فقط وجود یا عدم وجود هر حرف در یک کلمه، با استفاده از صفر یا یک قرار دادن خصیصه مربوطه، در برچسب نشان داده می‌شود. در سطح ۲ کلمه به دو قسمت شکسته می شود و وجود حروف الفبا در هر نیمه بطور جداگانه توسط یک بردار به اندازه تعداد حروف الفبانشان دادهمی‌شود. در سطح سوم در هر یک از ثلثهای اول، دوم و سوم کلمه وجود حروف توسط بردارهای جداگانه نمایش داده می شود. این عملیات برای هر سطح انجام می‌شود.

شکل۵ هیستوگرام کاراکترها در سطوح ۱ و ۲ و ۳ برای کلمه "شاهرود"

با بهم چسباندن بردارهای حاصله از خصیصه های سطوح مختلف این سلسله مراتب کاراکتری، یک بردار به عنوان بردار خصیصه کلمه ساخته می‌شود.این بردار بخوبی نشان می دهد که"آیا کلمه x شامل کاراکتر y در نیمه اول خود می‌باشد" یا "آیا کلمه x در ثلث سوم خود دارای کاراکتر y می‌باشد". چنین خصایصی به خوبی می-تواند کلمات را از هم متمایز کند[1]. اگر چنین خصیصه‌هایی با استفاده از داده‌های نوشته شده توسط چندین نویسنده از منابع مختلف آموزش داده شود، مدلی که به دست می‌آید نسبت به تغییرات ظاهری و شیوه نگارش مقاوم خواهد بود.

هدف اصلی این پژوهش ارائه چندین روش تعبیه برچسب خاص زبان فارسی برای بازنمایی برچسب کلمات می‌باشد که در بخش بعدی ارائه شده است.

۲-۳ زیرفضای مشترک

در روش رده‌بندی مبتنی بر خصیصه،مرحله نهایی آموزش یک رده-بند به ازای هر خصیصه است. به این منظور برای تمامی d خصیصه و تمامی ویژگی‌های استخراج شده از تصاویر یک ماشین بردار پشتیبان خطی[2] آموزش داده شده است(شکل ۶). در واقع در این مرحله برای هر یک از خصیصه یک مدل رده‌بند آموزش داده می‌شود. این کار با استفاده از مجموعه ویژگی‌های استخراج شده از تصویر برای هر کدام از خصیصه‌های موجود در بردار خصیصه صورت می‌پذیرد و مجموعه مدلی برابر تعداد خصیصه‌ها ایجاد خواهد شد.



شکل۶ هیستوگرام کاراکترها

با اینکه بازنمایی معرفی شده نسبت به تغییرات مقاوم است، امتیازات حاصل از خروجی ماشین بردار پشتیبان یک خصیصه ممکن است نسبت به سایر خصیصه‌ها غالب باشد، از اینرو مقایسه مستقیم خصیصه‌های تعبیه شده با برچسب‌های تعبیه شده صحیح نیست. هرچند با استفاده از روش بیان شده برچسب کلمات و ویژگی‌های تصاویر در یک فضای مشابه با ابعاد برابر قرار می‌گیرند اما برچسب‌های تعبیه شده مقادیر دودوئی،صفر و یک، دارند اما امتیازات خصیصه‌ها محدوده متفاوتی دارد. هرچند مقایسه مستقیم هم نتایج قابل قبولی را نشان می‌دهد ، اما کالیبراسیون ضروری به‌نظر می‌رسد.

یکی از روشهای کالیبراسیون برای امتیازدهی ماشین بردار پشتیبان استفاده از مقیاس‌بندی پلات[3] است که شامل برازش یک تابع

[1]Word-discriminative

[2]Linear Support Vector Machine (Linear-SVM)
[3]Platt Scaling

Archive of SID
www.SID.ir

سیگموئید روی امتیازات خروجی ماشین بردار پشتیبان برای بدست آوردن احتمالات کالیبره شده می‌باشد.

$$P(y=1\mid s)=(1+\exp(\alpha s+\beta))^{-1} \qquad (۱)$$

که پارامتر های α و β می‌توانند با استفاده تخمین حداکثر درست-نمایی[1] بدست آید. بعد از این کالیبراسیون امتیازات در محدوده بین صفر و یک قرار می‌گیرند که برای مقایسه، خصوصاً درمورد کلمات پرسشی متنی در این کار، مناسبتر هستند.

یکی از معایب این روش این است که همبستگی بین خصیصه‌های مختلف درنظر گرفته نمی‌شوند در حالیکه لحاظ نمودن این موضوع اهمیت زیادی دارد. از اینرو پیشنهاد می گردد کالیبراسیون خصیصه‌ها بصورت تجمعی انجام شود. بخاطر اینکه رگرسیون فقط همبستگی بین امتیازات خصیصه را درنظر می‌گیرد و همبستگی بین خود خصیصه‌ها را درنظر نمی‌گیرد از رگرسیون زیرفضای مشترک[2] استفاده شده است. این رگرسیون منجر به فرمولاسیونی معادل آنالیز همبستگی کانونی[3] می‌شود. آنالیز همبستگی کانونی ابزاری برای آشکارسازی داده‌های موجود از منابع مختلف است که در مسائل بازیابی [۲۸]و خوشه‌بندی[۲۹] مورد استفاده قرار گرفته است.

فرض کنید I مجموعه‌ای شامل N تصویر از I_1 تا I_N است که برای آموزش درنظر گرفته شده است و Y مجموعه برچسب‌های متناظر با آن را نشان می‌دهد.اگر A ماتریسی با ابعاد d×N باشد که تصاویر تعبیه شده در فضای خصیصه d بعدی را نشان دهد و B برچسب‌های تعبیه شده در این فضا باشد. ساده‌ترین روش برای ارتباط دادن بین A و B استفاده از تعریف یک تابع فاصله است. هدف حداقل کردن این فاصله برای تمامی نمونه‌ها و برچسب‌های آنان است. چنین روشی منجر به تولید مدل بهتری خواهد شد [۲۰]. از آنجایی که ممکن است همبستگی بین خصیصه‌ها خطی نباشد روش های مبتنی بر هسته[4] منجر به بهبود بهتری می‌شود. از اینرو از روش رگرسیون زیرفضای مشترک دارای کرنل استفاده شده است.

در فاز آزمون تمامی کلمات تصویری در فضای مشترک تعبیه می-گردند و کلمه پرسشی چه بصورت متنی و چه بصورت تصویری باشد نیز در این فضا تعبیه می‌شود و با استفاده از تکنیک رده‌بندی نزدیکترین همسایه، نمونه‌هایی که به نگاشت کلمه پرسشی در فضای مشترک نزدیکتر هستند برگردانده می‌شود.

۳ روشهای پیشنهادی جهت تعبیه برچسب فارسی

جهت استفاده از روش معرفی شده در بخش قبل برای بازیابی و بازشناسی کلمات دستنویس فارسی می‌توان از روش تعبیه برچسبی که در بخش قبل با استفاده از شکل ۵ معرفی شد، استفاده شود.

این روش دقیقاً معادل فارسی شده روش هیستوگرام هرمی کاراکترها[5] است[۲۰]. در این روش فقط وجود یا عدم وجود هر کدام از ۳۲ کاراکتر موجود در زبان فارسی در هر سطح استفاده شده است، در این روش از چهار سطح ۴،۳،۲ و ۵ استفاده شده است، بنابراین بردار خصیصه‌ای به طول ۴۴۸=۳۲×(۵+۴+۳+۲) بوجود می آید.

جدول۱ شکل حروف براساس موقعیت در کلمه

انتها	وسط	ابتدا	تنها
ـا		ا	ا
ـب	ـبـ	بـ	ب
ـپ	ـپـ	پـ	پ
ـت	ـتـ	تـ	ت
ـث	ـثـ	ثـ	ث
ـج	ـجـ	جـ	ج
ـچ	ـچـ	چـ	چ
ـح	ـحـ	حـ	ح
ـخ	ـخـ	خـ	خ
ـد		د	د
ـذ		ذ	ذ
ـر		ر	ر
ـز		ز	ز
ـژ		ژ	ژ
ـس	ـسـ	سـ	س
ـش	ـشـ	شـ	ش
ـص	ـصـ	صـ	ص
ـض	ـضـ	ضـ	ض
ـط	ـطـ	طـ	ط
ـظ	ـظـ	ظـ	ظ
ـع	ـعـ	عـ	ع
ـغ	ـغـ	غـ	غ
ـف	ـفـ	فـ	ف
ـق	ـقـ	قـ	ق
ـك	ـكـ	كـ	ک
ـگ	ـگـ	گـ	گ
ـل	ـلـ	لـ	ل
ـم	ـمـ	مـ	م
ـن	ـنـ	نـ	ن
ـه	ـهـ	هـ	ه
ـو		و	و
ـي	ـيـ	يـ	ی

با توجه به اینکه در زبان فارسی حروف می‌توانند با توجه به جایگاه خود در کلمه تغییر شکل محسوسی داشته باشند (جدول ۱) سعی شده در روشهای پیشنهادی این مسئله درنظر گرفته شود. با درنظر گرفتن این ساختار و با توجه به اینکه الفبای فارسی ۳۲ حرف دارد تعداد کلی خصیصه‌ها برای سطح یک، براساس چنین روشی ۱۲۸=۴×۳۲ حالت می‌شود.

[1] Maximum Likelihood Estimation (MLE)
[2] Common Subspace Regression (CSR)
[3] Canonical Correlation Analysis (CCA)
[4] kernelized
[5] Pyramid Histogram Of Characters (PHOC)

Archive of SID
www.SID.ir

اما با توجه به اینکه برخی حروف مانند "ا، ر، ز، ژ، و، د، ذ " شکل تنهای آنها با وقتی که ابتدا قرار می‌گیرند یکسان است پس این ۷ حالت‌های ابتدا و تنها یکسان درنظر گرفته شده است. علاوه بر این چنین حروفی نمی‌توانند در وسط یک زیرکلمه قرار گیرند و حالت وسط برای آنها تعریف نشده است پس ۷ حالت دیگر نیز از مجموع حالات درنظر گرفته شده کاسته می‌شود و مجموع ۱۱۴ حالت باقیمانده برای خصیصه‌ها در هر سطح مورد استفاده قرار داده می‌شود، این حالت هیستوگرامهای هرمی موقعیتی کاراکتر[1] نامگذاری شده است. با توجه به اینکه سطوح ۲ تا ۵ درنظر گرفته شده است، مجموعاً بردار خصیصه‌ای به طول ۱۵۹۶=۱۱۴×(۵+۴+۳+۲) خواهیم داشت.

پس از بررسی‌های بیشتر سعی شد تا از ساختار حروف نیز بهره‌برداری شود. در این روش با وجود اینکه ابعاد فضای خصیصه‌ها کاهش می‌یابد، بردار خصیصه‌ها از قدرت تفکیک‌پذیری بیشتری برخوردار خواهند بود. بنابراین با توجه به شکل نگارش حروف فارسی که دسته‌هایی از حروف دارای بدنه یکسان و نقاط و سرکشهای متفاوتی هستند، برای تعریف خصیصه‌ها، بدنه حروف از نقاط و نشانه‌ها تفکیک شد.

حروف زبان فارسی را می‌توان از لحاظ تفاوت بین بدنه آنها به ۱۸ دسته متفاوت دسته‌بندی کرد(جدول ۲) و با توجه به ۴ حالت حروف براساس موقعیت کاراکتر در کلمه (ابتدا، انتها، وسط و تنها)، برداری به طول ۷۲=۴×۱۸ برای بدنه حروف در سطح یک بدست خواهد آمد. با در نظر گرفتن اینکه برخی حروف حالت ابتدا و تنهای یکسان دارند و برخی حروف دارای حالت وسط نمی‌باشند ۸ بُعد از ابعاد در نظر گرفته شده حذف می گردد.اینها۴ دسته از بدنه حروف شامل دسته‌های "ا آ"،"د ذ"، "ر ز ژ" و "و" می‌شوند. علاوه بر این برخی حروف مانند "ن" و "ی" در حالت وسط و ابتدا در دسته حروف با بدنه "ب پ ت ث" قرار می‌گیرند که منجر به حذف ۴ حالت دیگر می‌گردد. حروف "ف" و "ق" نیز در حالت ابتدا و وسط بدنه یکسانی خواهند داشت که با در نظر گرفتن آن ۲ حالت دیگر را نیز حذف می‌نماید. بنابراین برای درنظر گرفتن بدنه‌ها در هر سطح ۵۸ حالت درنظر گرفته می‌شود. برای هر حالت نقاط پایین سه حالت و سرکش "گ" و "ک" و "آ" نیز سه حالت را برای سرکش‌ها اضافه می‌کند که در مجموع برداری به طول ۶۴ حالت می‌تواند معرف خصیصه‌های هر سطح باشد.

جدول۲ دسته‌بندی حروف دارای بدنه یکسان

ج چ ح خ	ب پ ت ث	ا آ
س ش	ر ز ژ	د ذ
ع غ	ط ظ	ص ض
ک گ	ق	ف
ن	م	ل
ی	و	ه

[1]Pyramid Histogram Of Positional Characters (PHOPC)

این روش هیستوگرام هرمی موقعیتی نشانه‌های فارسی[2] PHPOS نامگذاری شده است. با توجه به اینکه سطوح ۲ تا ۵ درنظر گرفته شده است بردار خصیصه‌ای به طول ۸۹۶=۶۴×(۵+۴+۳+۲) خواهیم داشت.

۴ نتایج آزمایشات

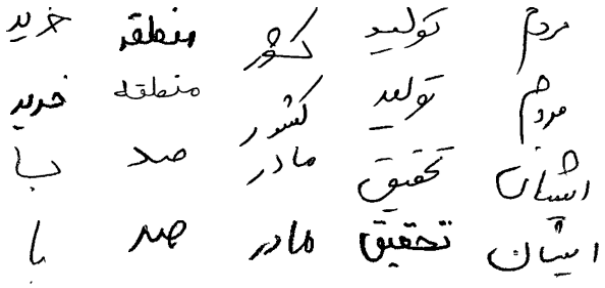
جهت بررسی و تحلیل روشهای ارائه شده در این مقاله دو مجموعه داده استاندارد فارسا [۳۰]و ایرانشهر [۳۱] مورد استفاده قرار گرفت. مجموعه داده فارسا که در دانشگاه صنعتی شاهرود جمع آوری شده است مجموعه‌ای از ۳۰۰ کلمه پرکاربرد فارسی است که توسط ۱۰۰ نویسنده مختلف به صورت دستنویس نوشته شده است که مجموعه‌ای مشتمل بر ۳۰۰۰۰ کلمه دستنوشته مجزا می‌باشد. مجموعه داده ایرانشهر اسامی ۵۰۳ شهر ایران در یک مجموعه‌ای بیش از ۱۷۰۰۰ نمونه‌ای را فراهم آورده است. در کلیه آزمایشات انجام شده ۶۰ درصد از نمونه‌ها برای آموزش و ۴۰ درصد برای تست درنظر گرفته شده است. نمونه‌هایی از این مجموعه داده‌ها در شکل ۷ نشان داده شده است.

تمامی خصیصه‌های مورد بررسی در چهار سطح ۲،۳،۴،۵ مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج آزمایشات برای جستجوی کلمه با استفاده از کلمه پرسشی تصویری و متنی به ترتیب در جداول ۳ و ۴ آورده شده است و نتایج بازشناسی کلمات در جدول ۵ آمده است. نتایج برای مقایسه مستقیم، مقیاس‌بندی پلات[3]، رگرسیون زیرفضای مشترک ساده و با کرنل[4] برای هر دو نوع کلمه پرسشی متنی و تصویری مورد استفاده قرار گرفته است.

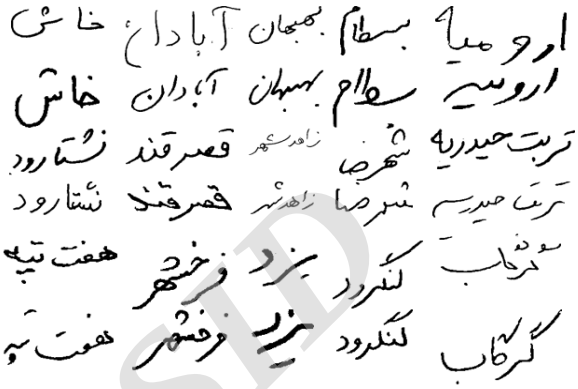
به‌طور واضح نتایج تجربی نشان داده است که استفاده از خصیصه‌ها کارآیی را به‌طور چشمگیری افزایش می‌دهند. روش پیشنهادی استفاده از خصیصه های مختص زبان فارسی PHOPC نسبت به PHOC بهبود قابل ملاحظه ای را نشان می‌دهد. علاوه بر این کاهش ابعاد خصیصه‌ها و استفاده از خصیصه‌هایی که قابلیت تمایز بیشتری دارند نتایج بهتری را نشان می‌دهد. همانطور که نتایج تجربی هم نشان می‌دهد استفاده از هیستوگرام هرمی موقعیتی نشانه‌های فارسی PHPOC با توجه به قابلیت تمایز بیشتر نسبت به روش های دیگر، بهترین نتایج را در همه حالات نشان می‌دهد. علت این موضوع این است که اشتراکات ظاهری بین حروف مختلف، خصوصاً از لحاظ بدنه، زیاد است. بنابراین با جدا کردن بدنه از علائم در هیستوگرام هرمی موقعیتی نشانه‌های فارسی باعث افزایش دقت بطور چشمگیری می‌شود.

[2]Pyramid Histogram of Positional Signs (PHPOS)
[3]Platt Scaling
[4]Kernelized Canonical Correlation Analysis (KCCA)

Archive of SID
www.SID.ir



الف)فارسا



ب) ایرانشهر

شکل۷ نمونه‌ای از کلمات مجموعه داده‌های استفاده شده

جدول۳ نتایج براساس کلمه پرسشی تصویری

مجموعه داده	نوع خصیصه	Platt Scaling	CCA	KCCA	مقایسه مستقیم
فارسا	PHOC	۸۵,۱۵	۸۲,۲۹	۸۶,۸۶	۷۸,۴۰
	PHOPC	۸۸,۰۵	۸۳,۰۴	۸۸,۳۵	۷۶,۸۵
	PHPOS	۸۶,۸۰	۸۴,۱۹	**۸۸,۹۹**	۷۷,۹۵
ایرانشهر	PHOC	۹۱,۸۲	۸۹,۵۱	۹۱,۵۶	۸۸,۰۲
	PHOPC	۹۱,۸۱	۹۰,۱۲	**۹۲,۰۸**	۸۸,۱۰
	PHPOS	۹۱,۲۹	۸۹,۹۹	۹۲,۰۱	۸۷,۴۱

جدول۴ نتایج براساس کلمه پرسشی متنی

مجموعه داده	نوع خصیصه	Platt Scaling	CCA	KCCA	مقایسه مستقیم
فارسا	PHOC	۹۴,۳۲	۹۳,۹۰	۹۴,۹۸	۸۱,۸۰
	PHOPC	۹۵,۸۶	۹۴,۶۸	۹۵,۵۷	۸۴,۲۱
	PHPOS	۹۴,۶۳	۹۴,۵۶	**۹۵,۶۷**	۸۵,۲۲
ایرانشهر	PHOC	۹۶,۸۳	۹۵,۴۹	۹۶,۲۱	۸۲,۸۱
	PHOPC	۹۶,۹۰	۹۵,۷۰	**۹۶,۲۰**	۷۸,۲۸
	PHPOS	۹۶,۰۱	۹۵,۵۵	۹۶,۱۵	۸۵,۶۴

جدول۵ نرخ تشخیص

روش	نرخ تشخیص	
	فارسا	ایرانشهر
PHOPC	۹۵,۴۴	۹۵,۸۱
MPHOPPC	۹۶,۰۷	**۹۷,۵۵**
MPHOPPS	**۹۶,۱۵**	۹۷,۰۸

با توجه به نتایج تجربی به دست آمده هر دو روش پیشنهادی نسبت به فارسی شده روش پایه PHOCعملکرد بهتری را از خود نشان داده‌اند.

جهت بررسی قابلیت بازیابی و بازشناسی کلاس کلماتی که در فاز آموزش دیده نشده‌اند با استفاده از تمامی نمونه‌های ۳۰۰ کلاس کلمه فارسا خصیصه‌ها آموزش داده شد و زیرفضای مشترک ایجاد شد و سپس برای تست از ۵۰۳ کلاس کلمه ایرانشهر استفاده شد که هیچ کلاس کلمه مشترکی با مجموعه داده فارسا ندارد. جداول زیر نتایج این روش را برای بازشناسی کلاس کلمات دیده نشده با استفاده از به اشتراک‌گذاری اطلاعات بین کلاس‌ها با استفاده از خصیصه‌ها و روش تعبیه برچسب را نشان می‌دهد. همانطوریکه ملاحظه می گردد علی رغم اینکه در این آزمایش کلاس کلمات پرسشی در مجموعه آموزشی وجود ندارد نتایج بازشناسی قابل توجه است. این قابلیت مهم‌ترین مزیت این روش ها محسوب می‌شود.

جدول۶ نتایج براساس کلمه پرسشیتصویری

آموزش با فارسا تست با ایرانشهر	نوع خصیصه	Platt Scaling	CCA	KCCA
	PHOPC	۴۲,۳۴	۷۴,۹۹	۷۱,۴۷
	MPHOPPC	۳۷,۸۹	۷۶,۸۰	**۷۳,۵۱**
	PHPOS	۴۷,۱۵	۷۶,۷۷	۷۲,۸۶

جدول۷ نتایج براساس کلمه پرسشیمتنی

آموزش با فارسا تست با ایرانشهر	نوع خصیصه	Platt Scaling	CCA	KCCA
	PHOC	۴۴,۳۰	۶۳,۸۲	۶۳,۷۰
	PHOPC	۴۱,۴۷	۶۷,۱۳	۶۳,۸۹
	PHPOS	۵۲,۰۵	۷۳,۹۰	**۷۱,۱۴**

جدول۸ نرخ تشخیص

روش	نرخ تشخیص
PHOC	۳۱,۷۱
PHOPC	۳۱,۸۰
PHPOS	**۳۶,۶۸**

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای کارهای آینده

در این مقاله خصیصه‌هایی خاص زبان فارسی، جهت استفاده از روش رده‌بندی مبتنی بر خصیصه و تعبیه برچسب برای تشخیص و بازیابی کلمات تصویری فارسی معرفی شده است. این بررسی نشان داد که استفاده از این روشها نتایج بسیار خوبی را در بازیابی و بازشناسی نشان می‌دهد. علاوه بر این قابلیت بازشناسی کلاس‌های دیده نشده در زمان آزمون نیز از قابلیت‌های مهم این روش است. هر چه حجم داده‌ها و تنوع کلاسهای آموزش دیده بیشتر باشد قابلیت این روش در بازشناسی و بازیابی کلاسهای دیده نشده

Archive of SID
www.SID.ir

بیشتر است. با توجه به قابلیتهای جستجوی کلمات در روش پیشنهادی در کار بعدی تصمیم داریم تا این روش را بر روی تلفیق اسناد چاپی و دستنویس تعمیم دهیم.

مراجع

[1] H. Khosravi and E. Kabir, "A blackboard approach towards integrated Farsi OCR system," *International Journal of Document Analysis and Recognition (IJDAR),* vol. 12, pp. 21-32, 2009.

[2] H. R. Turtle and W. B. Croft, "A comparison of text retrieval models," *The computer journal,* vol. 35, pp. 279-290, 1992.

[3] R. Manmatha, C. Han, E. M. Riseman, and W. B. Croft, "Indexing handwriting using word matching," in *Proceedings of the first ACM international conference on Digital libraries*, 1996, pp. 151-159.

[4] R. Manmatha and W. Croft, "Word spotting: Indexing handwritten archives," *Intelligent Multimedia Information Retrieval Collection,* pp. 43-64, 1997.

[5] R. Manmatha, C. Han, and E. M. Riseman, "Word spotting: A new approach to indexing handwriting," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 1996. Proceedings CVPR'96, 1996 IEEE Computer Society Conference on*, 1996, pp. 631-637.

[6] R. Manmatha and T. M. Rath, "Indexing of handwritten historical documents-recent progress," 2003.

[7] B. Zhang, S. N. Srihari, and C. Huang, "Word image retrieval using binary features," in *Electronic Imaging 2004*, 2003, pp. 45-53.

[8] S.-S. Kuo and O. E. Agazzi, "Keyword spotting in poorly printed documents using pseudo 2-D hidden Markov models," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on,* vol. 16, pp. 842-848, 1994.

[9] T. M. Rath, R. Manmatha, and V. Lavrenko, "A search engine for historical manuscript images," in *Proceedings of the 27th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval*, 2004, pp. 369-376.

[10] J. E. Y. W. T. David, F. R. B. M. Maire, and G. Vesom, "Making latin manuscripts searchable using gHMM's," in *Advances in Neural Information Processing Systems 17: Proceedings of the 2004 Conference*, 2005, p. 385.

[11] A. Fischer, A. Keller, V. Frinken, and H. Bunke, "Lexicon-free handwritten word spotting using character HMMs," *Pattern Recognition Letters,* vol. 33, pp. 934-942, 2012.

[12] C. Choisy, "Dynamic handwritten keyword spotting based on the NSHP-HMM," in *Document Analysis and Recognition, 2007. ICDAR 2007. Ninth International Conference on*, 2007, pp. 242-246.

[13] J. A. Rodriguez, F. Perronnin, G. Sánchez, and J. Lladós, "Unsupervised writer style adaptation for handwritten word spotting," in *Pattern Recognition, 2008. ICPR 2008. 19th International Conference on*, 2008, pp. 1-4.

[14] F. Perronnin and J. A. Rodriguez-Serrano, "Fisher kernels for handwritten word-spotting," in *Document Analysis and Recognition, 2009. ICDAR'09. 10th International Conference on*, 2009, pp. 106-110.

[15] V. Frinken, A. Fischer, and H. Bunke, "A novel word spotting algorithm using bidirectional long short-term memory neural networks," in *Artificial Neural Networks in Pattern Recognition*, ed: Springer, 2010, pp. 185-196.

[16] L. Rothacker, M. Rusinol, and G. A. Fink, "Bag-of-features HMMs for segmentation-free word spotting in handwritten documents," in *Document Analysis and Recognition (ICDAR), 2013 12th International Conference on*, 2013, pp. 1305-1309.

[17] C. H. Lampert, "Learning to detect unseen object classes by between-class attribute transfer," in *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009.*, 2009.

[18] A. Farhadi, I. Endres, D. Hoiem, and D. Forsyth, "Describing objects by their attributes," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2009. CVPR 2009. IEEE Conference on*, 2009, pp. 1778-1785.

[19] C. H. Lampert, H. Nickisch, and S. Harmeling, "Attribute-based classification for zero-shot visual object categorization," *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on,* vol. 36, pp. 453-465, 2014.

[20] J. Almazán, A. Gordo, A. Fornés, and E. Valveny, "Word Spotting and Recognition with Embedded Attributes," 2014.

[21] J. Almazán, A. Fornés, and E. Valveny, "Learning to represent handwritten shapes and words for matching and recognition," 2014.

[22] J. A. Rodriguez-Serrano and F. C. Perronnin, "Label-embedding for text recognition," ed: Google Patents, 2015.

[23] C. S. Leslie, E. Eskin, and W. S. Noble, "The spectrum kernel: A string kernel for SVM protein classification," in *Pacific symposium on biocomputing*, 2002, pp. 566-575.

[24] H. Lodhi, C. Saunders, J. Shawe-Taylor, N. Cristianini, and C. Watkins, "Text classification using string kernels," *The Journal of Machine Learning Research,* vol. 2, pp. 419-444, 2002.

[25] F. Perronnin, J. Sánchez, and T. Mensink, "Improving the fisher kernel for large-scale image classification," in *Computer Vision–ECCV 2010*, ed: Springer, 2010, pp. 143-156.

[26] K. Chatfield, V. Lempitsky, A. Vedaldi, and A. Zisserman, "The devil is in the details: an evaluation of recent feature encoding methods," 2011.

[27] W. J. Scheirer, N. Kumar, P. N. Belhumeur, and T. E. Boult, "Multi-attribute spaces: Calibration for attribute fusion and similarity search," in *Computer Vision and*

Archive of SID

www.SID.ir

Pattern Recognition (CVPR), 2012 IEEE Conference on, 2012, pp. 2933-2940.

[28] D. R. Hardoon, S. Szedmak, and J. Shawe-Taylor, "Canonical correlation analysis: An overview with application to learning methods," *Neural computation,* vol. 16, pp. 2639-2664, 2004.

[29] M. B. Blaschko and C. H. Lampert, "Correlational spectral clustering," in *Computer Vision and Pattern Recognition, 2008. CVPR 2008. IEEE Conference on*, 2008, pp. 1-8.

[30] A. R. A. Z.Imani, A.Zohrevand, "Introduction to Database FARSA digital images of handwritten Farsi words," presented at the Eleventh Iranian Conference on Intelligent Systems (ICIS2013), Kharazmi University. Tehran , Iran.

[31] E. Bayesteh, A. Ahmadifard, and H. Khosravi, "A Lexicon Reduction Method Based on Clustering Word Images in Offline Farsi Handwritten Word Recognition Systems," in *Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2011 7th Iranian*, 2011, pp. 1-5.

مجید ایرانپور مبارکه در حال حاضر دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر – هوش مصنوعی دانشگاه صنعتی شاهرود است. ایشان مدرك کارشناسی ارشد را از دانشگاه علم و صنعت ایران در مهندسی کامپیوتر-هوش مصنوعی و رباتیك در سال ۱۳۸۷ و کارشناسی را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد مبارکه در مهندسی کامپیوتر-نرم‌افزار در سال ۱۳۸۳ اخذ نمودند و از سال ۱۳۸۹ در دانشکده مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات دانشگاه پیام نور مشغول به فعالیت می‌باشد. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شناسایی الگو ، داده-کاوی و بینایی ماشین می باشد.

علیرضا احمدی‌فرد مدرك کارشناسی را از دانشگاه صنعتی اصفهان در مهندسی الکترونیك و کارشناسی ارشد را از دانشگاه صنعتی امیرکبیر در مهندسی مخابرات اخذ نمودند. ایشان مدرك دکتری تخصصی از مرکز CVSSP دانشگاه Surrey در سال ۲۰۰۲ اخذ نمودند. ایشان از سال ۱۳۸۷ در دانشکده مهندسی برق و رباتیک دانشگاه شاهرود مشغول به فعالیت می باشد . زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شناسایی الگو و پردازش تصاویر و سیگنال می باشد.

Archive of SID

www.SID.ir