

تخمین خودکار سن از روی تصویر چهره با تلفیق ویژگی‌های آماری و بافت

نصیبه اسدی‌پرور ماسوله^۱، کارشناس ارشد؛ اسدالله شاه‌بهرامی^۲، دانشیار

۱- گروه مهندسی فناوری اطلاعات - پردیس دانشگاهی - دانشگاه گیلان - رشت - ایران - asadiparvar@gmail.com

۲- گروه مهندسی کامپیوتر - دانشکده فنی - دانشگاه گیلان - رشت - ایران - shahbahrami@guilan.ac.ir

چکیده: برآورد خودکار سن از تصویر چهره کاربردهای مختلفی از جمله در پزشکی قانونی، مدیریت ارتباط با مشتری و کنترل امنیت دسترسی دارد. بدین منظور ویژگی‌های مختلفی از تصاویر چهره استخراج، پردازش و انتخاب می‌شوند و با استفاده از الگوریتم‌های دسته‌بندی، سن تصویر چهره موردنظر تخمین زده می‌شود. استخراج و انتخاب ویژگی‌های مناسب یک مرحله اساسی و مهم در این فرآیند برآورد خودکار است، که انجام آن معمولاً سخت و مشکل است به طوری که دقت برآورد تا حد زیادی به این مرحله وابسته است. ویژگی‌های که برای برآورد سن استفاده می‌شود هم در ویژگی‌های محلی در قسمت‌های مختلف چهره مانند انواع چین‌وچروک‌ها و هم در ویژگی‌های عمومی مانند اندازه، شکل و ظاهر چهره وجود دارند. هدف این مقاله افزایش دقت برآورد سن، با استفاده از تلفیق ویژگی‌های محلی و عمومی است. ویژگی‌های محلی با استفاده از الگوریتم‌های هارالیک و هیستوگرام‌های گرادیان‌های جهت‌دار استخراج می‌شوند در حالی که ویژگی‌های عمومی با استفاده از مدل ظاهر فعال به دست می‌آیند. همچنین بررسی می‌شود که چه ترکیبی از ویژگی‌های محلی و عمومی باعث افزایش دقت می‌شود. نتایج پیاده‌سازی‌ها بر روی پایگاه تصاویر چهره محک زن نشان داد که تلفیق ویژگی‌های محلی و عمومی باعث افزایش دقت و همچنین تلفیق ویژگی‌های هیستوگرام‌های گرادیان‌های جهت‌دار با مدل ظاهر فعال نسبت به تلفیق ویژگی‌های هارالیک با مدل ظاهر فعال دارای دقت برآورد بیش‌تری است.

واژه‌های کلیدی: برآورد سن، الگوریتم‌های استخراج ویژگی، الگوریتم انتخاب ویژگی، الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه.

Automatic Age Estimation of Face Image using Fusion of Statistical and Texture Features

N. A. Masouleh¹, MSc; A. Shahbahrami², Associate Professor

1- Information Technology Engineering Department, Pardis International, University of Guilan, Rasht, Iran, Email: asadiparvar@gmail.com

2- Computer Engineering Department, Faculty of Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran, Email: shahbahrami@guilan.ac.ir

Abstract: Automatic age estimation of the face images has different uses such as forensics, customer relationship management and access security control. For this purpose, different features are extracted, processed and selected and the age is estimated using classification algorithms. Extraction and selection of suitable features are a crucial step in this process of age estimation and it is usually so difficult that the estimation accuracy is significantly depends on this stage. Features that can be used to estimate the age are included in both local features in different parts of the face such as wrinkles and global features such as size, shape and appearance. The purpose of this paper is to increase the accuracy of age estimation using fusion of local and global features. Local features are extracted by Haralick and histograms of oriented gradients algorithms while global features are extracted by active appearance model. It is also considered that which combination of local and global features is suitable for increasing age estimation accuracy. Experimental results on some benchmarks show that the fusion of local and global features can improve the accuracy and in addition, fusion of histograms oriented gradients features with active appearance model has more accuracy compared to fusion of Haralick with active appearance model features.

Keywords: Age estimation, feature extraction algorithm, feature selection algorithm, nearest neighbor algorithm.

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۵/۰۳/۰۳

تاریخ اصلاح مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۲۴ و ۱۳۹۵/۰۸/۰۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۵/۰۸/۰۹

نام نویسنده مسئول: اسدالله شاه‌بهرامی

نشانی نویسنده مسئول: رشت - بزرگراه خلیج فارس - دانشگاه گیلان - دانشکده فنی - گروه مهندسی کامپیوتر.

۱- مقدمه

AAM، HOG و HARALIK مورد ارزیابی قرار گرفته و سپس تلفیق ویژگی‌های AAM+HARALIK و AAM+HOG مورد محاسبه و مقایسه قرار گرفت. نتایج پیاده‌سازی نشان داد که تلفیق ویژگی‌های دارای دقت بالاتری است و همچنین تلفیق ویژگی‌های هاگ و مدل ظاهر فعال دارای دقت بیش‌تری نسبت به تلفیق ویژگی‌های هارالیک با مدل ظاهر فعال است.

ادامه مقاله بدین صورت است که در بخش دوم برآورد خودکار سن از روی چهره شرح داده می‌شود. در بخش سوم برخی از پیشینه‌های تحقیق بحث می‌شود. در بخش‌های چهارم تا هفتم تصاویر مورد استفاده برای برآورد سن و روش‌های استخراج ویژگی تشریح خواهد شد. در بخش هشتم روش پیشنهادی ارائه خواهد شد و در نهایت در بخش نهم آزمایش‌ها و نتایج حاصل از آن و در بخش دهم نتیجه‌گیری حاصل از انجام این تحقیق مطرح می‌گردد.

۲- برآورد خودکار سن از روی چهره

در این بخش به تعریف مفاهیم اولیه در زمینه تشخیص سن از روی چهره پرداخته می‌شود. شکل ۱ ساختار کلی روش تخمین سن را نشان می‌دهد.



شکل ۱: ساختار کلی روش تخمین سن با استفاده از تصویر چهره

۲-۱- استخراج ویژگی

استخراج ویژگی در برآورد خودکار سن بسیار مهم است، از آنجایی که ویژگی‌های استخراج شده تا حد زیادی بر عملکرد طبقه‌بندی تأثیر می‌گذارند. به همین دلیل، تلاش زیادی در جهت استخراج ویژگی‌های متمایزی صورت گرفته است. این ویژگی‌ها می‌توانند به ویژگی‌های محلی، عمومی و ویژگی‌های تلفیقی که ترکیبی از ویژگی‌های محلی و عمومی هستند، طبقه‌بندی شوند [۵].

۲-۱-۱- ویژگی محلی

ویژگی‌های محلی معمولاً برای طبقه‌بندی افراد به گروه‌های سنی، مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به‌عنوان مثال نوزادان، جوانان و سالخوردگان. آن‌ها دارای ویژگی‌های منحصربه‌فردی هستند که گروه‌های سنی خاص را مشخص می‌نمایند. به‌عنوان مثال، چین‌وچروک‌ها در دوران بزرگسالی آشکار می‌شوند نه در دوران کودکی و ویژگی‌های هندسی، مانند نسبت فاصله بین ویژگی‌هایی از قبیل چشم‌ها، انتهای بینی و گوشه دهان، به‌طور قابل توجهی در دوران کودکی تغییر می‌کنند نه در دوران بزرگسالی. در نتیجه، این ویژگی‌ها بهتر و بیشتر با برنامه‌های کاربردی

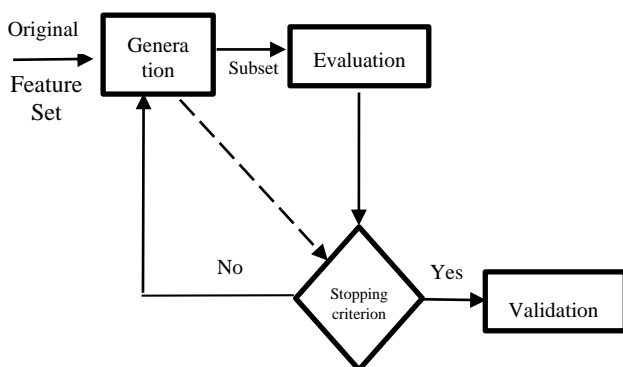
استخراج خودکار برخی از ویژگی‌های بیومتریکی از تصاویر چهره مانند برآورد سن یکی از زمینه‌های پژوهشی است که اخیراً پژوهشگران به آن توجه زیادی دارند [۱]. چهره انسان حاوی اطلاعات مهمی از قبیل جنسیت، نژاد، خلق‌وخوی و سن است. سن انسان، به‌عنوان یک صفت مهم شخصی، می‌تواند به‌طور مستقیم توسط الگوهای متمایز که از ظاهر صورت پدیدار می‌شوند استنباط شود. برآورد سن چهره، توجه زیادی را در جوامع تحقیقاتی و صنایع به سبب نقش مهم آن در تعامل انسان و کامپیوتر^۱ (HCI)، سیستم‌های نظارتی و کنترل جلب کرده است [۲]. همچنین تخمین سن به کمک کامپیوتر به‌طور قابل توجهی از بار کار دستی خسته‌کننده مانند هنر، پزشکی قانونی، مدیریت ارتباط با مشتری الکترونیکی، کنترل امنیت، بیومتریک، تفریح و سرگرمی و آرایشگری می‌کاهد [۳]. برآورد سن توسط دستگاه، در برنامه‌های کاربردی در مواردی مفید است که نیازی نیست، فرد به‌طور خاص شناسایی شود.

با این حال، بسیاری از عوامل بیرونی و درونی وجود دارند که پیش‌بینی دقیق سن افراد بشر از تصاویر چهره‌شان را بسیار دشوار می‌نماید. عوامل درونی شامل ژنتیک، قومیت، جنسیت و شرایط سلامتی و همچنین طبیعت غیرقابل کنترل الگوهای مختلف فرآیند بلوغ و پیری در انسان و عوامل بیرونی شامل آرایش، موی صورت، تغییر حالت، ژست و روشنایی می‌باشند [۲، ۴].

ویژگی‌های چهره معمولاً به سه دسته تقسیم می‌شوند: ویژگی‌های محلی، ویژگی‌های عمومی و ویژگی‌های ترکیبی. ویژگی‌های محلی شامل مقدار و عمق چین‌وچروک در پیشانی، زیر چشم‌ها و گونه‌ها، پیری پوست با استفاده از کک‌ومک و لکه‌های ناشی از سن، رنگ مو و هندسه اجزای صورت است [۵، ۶، ۷]. ویژگی‌های فردی از قبیل هویت، حالت، جنسیت، قومیت، اندازه و شکل چهره بهتر در ویژگی‌های عمومی منعکس می‌شوند. بنابراین ویژگی‌های عمومی در مقایسه با ویژگی‌های محلی، مقدار اطلاعات زیادی در مورد ظاهر و شکل یک چهره ارائه می‌دهند. ویژگی‌های ترکیبی نیز ترکیب و تلفیقی از هر دو ویژگی‌های محلی و عمومی استفاده می‌کنند [۵]. معمولاً افراد برای برآورد سن از تلفیق و ترکیبی از ویژگی‌های محلی و عمومی استفاده می‌کنند و مطمئناً هرچقدر استخراج این ویژگی‌های در قسمت‌های مختلف چهره بهتر و دقیق‌تر انجام شود برآورد سن نیز دقیق‌تر خواهد بود.

هدف این مقاله ارائه روشی برای بالا بردن دقت سیستم‌های تخمین سن از روی چهره است. در این راستا از تلفیق ویژگی‌های عمومی مانند مدل ظاهر فعال^۲ (AAM) و ویژگی‌های محلی بافت هارالیک (Haralik) و هاگ^۳ (HOG)، با استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه جهت دسته‌بندی، استفاده شده است. نتایج پیاده‌سازی را برای پنج حالت مختلف استخراج ویژگی، سه روش استخراج ویژگی منفرد

گردد. برای مسئله انتخاب ویژگی، راه حل‌ها و الگوریتم‌های فراوانی ارائه شده است. مشکل بعضی از الگوریتم‌ها در زمانی که ارائه شده بودند، بار محاسباتی زیاد آن‌ها بود، اگرچه امروزه با ظهور کامپیوترهای سریع و منابع ذخیره‌سازی بزرگ این مشکل، به چشم نمی‌آید ولی از طرف دیگر، مجموعه‌های داده‌ای بسیار بزرگ برای مسائل جدید باعث شده است که همچنان پیدا کردن یک الگوریتم سریع برای این کار مهم باشد. پس به‌طور کلی هدف از انتخاب ویژگی پیدا کردن یک زیرمجموعه خاصی از ویژگی‌های داده‌های ورودی با حداقل اندازه ممکن است که به‌طور مؤثر توانایی ارائه و نمایش خصوصیات داده‌های ورودی را داشته باشند [۷]. معمولاً یک فرآیند انتخاب ویژگی در روش‌های پوششی^۶ دارای مراحل تولید یا استخراج ویژگی مناسب از داده‌های ورودی، ارزیابی ویژگی‌های استخراج‌شده، شرط خاتمه و تعیین اعتبار ویژگی‌های انتخاب‌شده است. تابع تولیدکننده در واقع تابع جستجو است. این تابع زیرمجموعه‌های مختلف را به ترتیب تولید می‌کند، تا به‌وسیله تابع ارزیابی مورد ارزیابی قرار بگیرد. تابع ارزیابی، میزان خوب بودن یک زیرمجموعه تولیدشده را بررسی کرده و یک مقدار به‌عنوان میزان خوب بودن زیرمجموعه موردنظر بازمی‌گرداند. این مقدار با بهترین زیرمجموعه قبلی مقایسه می‌شود. اگر زیرمجموعه جدید، بهتر از زیرمجموعه‌های قدیمی باشد، زیرمجموعه جدید به‌عنوان زیرمجموعه بهینه، جایگزین قبلی می‌شود. باید توجه داشت که بدون داشتن یک شرط خاتمه مناسب فرآیند انتخاب ویژگی ممکن است برای همیشه درون فضای جستجو برای یافتن جواب سرگردان بماند. در این گروه روش‌های از جمله الگوریتم‌های انتخاب متوالی^۷ (SFFS) را می‌توان نام برد [۸]. فرآیند انتخاب ویژگی فوق را در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل ۲: فرآیند انتخاب ویژگی به روش پوششی [۸]

۳-۲-۳- رویکرد تخمین سن

دو رویکرد مختلف در تخمین سن با استفاده از چهره وجود دارد. در یک رویکرد تشخیص دقیق سن موردنظر است. به این صورت که با استفاده از ویژگی‌هایی به‌دست‌آمده از تصویر چهره، سن فرد به صورت دقیق برآورد می‌شود. رویکرد دوم که کلی‌تر است، به‌جای

که ملزم به طبقه‌بندی گروه سنی هستند، به‌عنوان مثال رده سنی کمتر از ۲۰ ساله، یا ۲۹-۲۰ ساله، در مقایسه با برآورد دقیق سن به‌عنوان مثال ۱۷ ساله، ۲۳ ساله تناسب دارند [۵].

۲-۱-۲- ویژگی عمومی

ویژگی‌های عمومی، نشان‌دهنده ویژگی‌های کلی چهره هستند، به‌طور گسترده‌ای برای تخمین دقیق سن مورد استفاده قرار گرفته‌اند. بنابراین، ویژگی‌های فردی در مقایسه با ویژگی‌های سالخوردگی، بهتر در ویژگی‌های عمومی منعکس می‌شوند. به‌عنوان مثال، مدل‌های ظاهر فعال (AAM) به‌طور عمده برای تخمین سن به‌عنوان ویژگی‌های عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرند، به این دلیل که آن‌ها در مقایسه با ویژگی‌های محلی، مقدار اطلاعات زیادی در مورد ظاهر و شکل یک چهره ارائه می‌دهند. با این حال، ویژگی‌های AAM شامل اطلاعات دقیق چین‌وچروک و پوست نیستند. این نقص در ویژگی‌های عمومی می‌تواند از طریق ترکیب با ویژگی‌های محلی حل شود.

روش‌های مورد استفاده برای تعیین ویژگی‌های عمومی علاوه بر مدل‌های (AAM)، تبدیل موجک گا بور^۴ (GWT)، ویژگی‌های شبه فضایی با استفاده از شدت تصویر و فرکانس تصویر را می‌توان نام برد [۵، ۶].

۲-۱-۳- ویژگی تلفیقی

در این روش ویژگی‌های عمومی و محلی از سطح ویژگی به یک بردار ویژگی تلفیق می‌شوند. برای تلفیق ویژگی‌های متعدد، یک سطح ویژگی، یک سطح نمره و یا تلفیق سطح تصمیم در بیومتریک، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مجموعه ویژگی‌هایی که توسط تلفیق سطح ویژگی ساخته می‌شود، حاوی اطلاعات غنی‌تر در مورد داده‌های خام است. همچنین تلفیق سطح ویژگی قادر به از بین بردن اطلاعات زائد حاصل از همبستگی ویژگی‌های تلفیق شده است [۶]. به‌طور مثال تلفیق ویژگی عمومی چهره استخراج‌شده از مدل ظاهر فعال (AAM) و ویژگی‌های محلی چهره استخراج‌شده از الگوی دودویی محلی^۵ (LBP) به‌عنوان برآورد سن، پیشنهاد شده است. نشان داده شده که تلفیق ویژگی می‌تواند به‌طور مؤثر در جهت بهبود برآورد سن بیش از فقط بازنمایی ویژگی واحد، دست یابد.

۲-۲- انتخاب ویژگی

انتخاب ویژگی یکی از مسائلی است که در مبحث یادگیری ماشین و همچنین شناسایی آماری الگو مطرح است. این مسئله در بسیاری از کاربردها (مانند طبقه‌بندی) اهمیت به‌سزایی دارد، زیرا در این کاربردها تعداد زیادی ویژگی وجود دارد، که بسیاری از آن‌ها یا بلااستفاده هستند و یا اینکه بار اطلاعاتی چندانی ندارند. حذف نکردن این ویژگی‌ها مشکلی از لحاظ اطلاعاتی ایجاد نمی‌کند ولی بار محاسباتی را برای کاربرد موردنظر بالا می‌برد. و علاوه بر این باعث می‌شود که اطلاعات غیرمفید زیادی را به همراه داده‌های مفید ذخیره

برابر نا هم‌ترازی‌های کوچک، تغییر در ژست و روشنایی بهتر عمل نمایند [۱۲]. از سوی دیگر، عملگر گا بور یک توصیفگر مر سوم مبتنی بر ویژگی محلی است، به دلیل استحکام آن در مقابل تغییرات در ژست یا روشنایی در مقایسه با روش‌های کل‌نگر گا بور به‌طور گسترده‌ای در بسیاری از برنامه‌های بینایی ماشین مانند وظیفه برآورد سن به‌کاربرده می‌شود [۱۳].

هر بازنمایی ویژگی دارای مزایا و معایب خاص خود است، بنابراین بازنمایی چهره از AAM و یا از گا بور نیز این‌گونه است، که دارای توانایی‌های ذاتی خود و نیز محدودیت و ضعف خود است. طرح تلفیق ویژگی به‌طور معمول به افزایش عملکرد سیستم دست می‌یابد [۱۴]. بنابراین ترکیب دو بازنمایی ویژگی با انتخاب مدل می‌تواند راه بهتری برای به دست آوردن یک سیستم مؤثر برآورد سن باشد [۱۵].

از این‌رو الگوی دودویی محلی جزئیات ظریف ظاهر و بافت چهره را رمزگذاری می‌نماید، در حالی که ویژگی‌های گا بور اطلاعات شکل و ظاهر چهره را در طیف وسیعی از مقیاس‌های درشت‌تر رمزگذاری می‌کند [۱۶]. هر دو بازنمایی غنی از اطلاعات هستند و از لحاظ محاسباتی کارآمد می‌باشند. ماهیت مکمل آن‌ها باعث می‌شود که آن‌ها نامزدهای خوبی برای تلفیق باشند [۱۷].

در [۴] تلفیق ویژگی عمومی چهره استخراج‌شده از مدل ظاهر فعال و ویژگی‌های محلی چهره استخراج‌شده از الگوی دودویی محلی به‌عنوان بازنمایی چهره، استفاده شده است. در [۱۸] روش شبه فضای الگوی پیری را پیشنهاد دادند، با استفاده از نمایش شبه فضایی دنباله‌ای از هر یک از تصاویر پیری صورت، در کار آن‌ها، مدل ظاهر فعال نیز به‌عنوان یک استخراج‌کننده ویژگی مورد استفاده قرار گرفته است. به‌طور خلاصه مزایا و معایب برخی از روش‌های استخراج ویژگی‌ها در جدول ۱ نشان داده شده است. همان‌طوری که در جدول مشاهده می‌شود، سه روش استخراج ویژگی به همراه ویژگی‌های استخراج‌شده بیان شده است.

همچنین در زمینه شناسایی چهره و حالت چهره کارهای مختلفی انجام شده است. برای مثال در [۱۷، ۱۹] از تبدیل موجک برای استخراج ویژگی‌ها برای شناسایی حالت چهره استفاده شده است و در [۲۰] با استفاده از ویژگی‌های ظاهری، چهره در رشته‌های ویدئویی شناسایی می‌شود.

۴- تصاویر چهره برای برآورد سن

جمع‌آوری داده‌های تصویر چهره برای برآورد خودکار سن بسیار مهم است و در این زمینه کارهای زیادی انجام گرفته و انواع پایگاه داده‌های تصاویر تهیه شده است که برخی از آن‌ها در جدول ۲ نشان داده شده است.

تخمین دقیق سن تلاش دارد تا رده سنی فرد را برآورد نماید. به این صورت که تصاویر ورودی به این الگوریتم‌های تخمین سن، به گروه‌های سنی بافاصله مشخصی تقسیم‌بندی می‌شوند. با توجه به این دو رویکرد دو معیار پرکاربرد و رایج نمره تجمعی (CS)^۱ و میانگین خطای مطلق^۲ (MAE) برای ارزیابی الگوریتم‌های ارائه شده مورد استفاده قرار می‌گیرند.

میانگین خطای مطلق به‌عنوان متوسط خطاهای مطلق بین سنین برآورد شده و سنین مشاهده‌شده تعریف می‌شود، یعنی،

$$MAE = \sum_{i=1}^N |\hat{o}_i - o_i| / N \quad (1)$$

که در آن، \hat{o}_i سن، برآورد شده برای تصویر آزمون i ام است، o_i سن مشاهده‌شده متناظر است، و N تعداد کل تصاویر آزمون است.

$$CS(j) = \sum_{i=1}^N I(|\hat{o}_i - o_i| \leq m) \quad (2)$$

نمره تجمعی به‌عنوان نسبت تصاویر آزمون تعریف می‌شود به‌طوری که خطای مطلق بالاتر از یک عدد صحیح m نباشد که در آن، $I(A)$ یک تابع شاخص است به‌طوری که زمانی که رویداد A صدق می‌کند، $I(A) = 1$ و در غیر این صورت صفر است.

۳- پیشینه تحقیق

مدل ظاهر فعال یک توصیفگر متداول چهره است که از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی^۱ (PCA) به یک شیوه چندعاملی برای کاهش ابعاد و درعین حال حفظ عناصر مهم (شکل) و بافت ساختار تصاویر چهره استفاده می‌کند و برای تخمین سن مورد استفاده قرار گرفته است. مدل ظاهر فعال می‌تواند به‌طور توأم تغییرات شکل و بافت چهره انسان را استخراج کند. تغییراتی که در واقع برخی از سرنخ‌ها را از فرآیند پیری صورت نشان می‌دهد [۹، ۱۰].

بعداً با توجه به مدل ظاهر فعال محققین شبه فضای الگوی پیری^{۱۱} (AGES) را ارائه دادند، که اطلاعات هویت و ارتباط ترتیبی سنین در طی استخراج ویژگی را بیشتر در نظر می‌گیرد. همان‌طور که در [۱۱] اشاره شده است، تغییرات عمده در شکل‌های افراد در طول سال‌های جوان‌تر نمایان می‌گردد، در حالی که چین‌وچروک‌ها و سایر تغییرات الگوی بافت در طول سال‌های پیری افراد برجسته‌تر می‌باشند. از آنجایی که مدل ظاهر فعال ویژگی‌های شکل و بافت چهره را استخراج می‌نماید، استفاده از مدل ظاهر فعال در سیستم برآورد سن برای کسب ویژگی مناسب است. با این حال، اتخاذ PCA در مدل ظاهر فعال می‌تواند ویژگی‌های مهم را استخراج نماید، به این دلیل که در تلاش برای حفظ بزرگ‌ترین مقدار پراکندگی و درعین حال ایجاد بردارهای طرح‌ریزی متعامد است. نشان داده شده است که ویژگی‌های محلی می‌توانند در

جدول ۱: مقایسه برخی از روش‌های استخراج ویژگی

منابع	توضیحات	ویژگی‌های استخراج شده یا استفاده شده
[۲۱]	با طبقه‌بندی گروه سنی تناسب بهتری دارد، در مقایسه با برآورد سن دقیق	ویژگی‌های محلی: چین و چروک، پوست، ویژگی‌های هندسی و مو
[۲۲]	توانایی استخراج ویژگی‌های پیری بدون تأثیر بر ویژگی‌های فردی.	
[۱۳]	شامل اطلاعات کافی در مورد چین و چروک و پیری پوست نیست.	
[۲۴]	در مقایسه با ویژگی‌های محلی، اطلاعات کافی برای تخمین دقیق سن فراهم می‌نماید.	ویژگی‌های عمومی: GWT، AAM، فرکانس تصویر
[۲۵]	ترکیبی از ویژگی‌های محلی و عمومی برای حل مشکل ویژگی‌های عمومی	ویژگی‌های ترکیبی:
[۲۶]	عملکرد به نتیجه مناسب (برازش) AAM بستگی دارد.	- ویژگی‌های پراکنده
[۲۷]	استخراج ویژگی‌های محلی در شرایط مختلف، از جمله حالت، نور، جنسیت و غیره در نظر گرفته نمی‌شود.	- استخراج ویژگی‌های چین و چروک و پوست با در نظر گرفتن هر صفت بیولوژیکی
[۲۸]	- ویژگی‌های چروک: قوی برای نوزدهایی از قبیل مو، سایه و سبیل - پوست: بررسی ریزساختار پوست	- چین و چروک: مجموعه فیلتر گا بور مجموعه فیلتر با در نظر گرفتن جهت منطقه‌ای چین و چروک - پوست: روش الگوی دودویی محلی

جدول ۲: برخی از انواع پایگاه داده‌های تصاویر استفاده شده در زمینه تخمین سن

منابع	توضیحات	تعداد اشخاص متمایز	اطلاعات تصاویر	محدوده سنی	تعداد تصاویر	نام پایگاه داده
[۲۹]	به طور متوسط، ۱۲ تصویر برای هر شخص	۸۲ نفر	تنوع زیادی از نور، ژست و حالت	۰ تا ۹۶	۱۰۰۲ بارنگ وضوح بالا یا مقیاس خاکستری	FG-NET
[۳۰]	فاصله زمانی بین دو سن از ۴۶ روز تا ۲۹ سال	آلبوم ۱: ۵۱۵ نفر آلبوم ۲: ۴۰۰۰ نفر	سن، جنسیت، نژاد، قد، وزن، و اصل و نسب	۲۷ تا ۶۸	آلبوم ۱: ۱۷۲۴ (۲۴۹ تصویر از زن و ۱۴۳۰ تصویر از مرد) آلبوم ۲: ۲۰۰۰۰	MORPH
[۳۱]	هر شخص دارای حدود پنج تصویر تقریباً از جلو در یک سن و سال و یک برجسب از سن تقریبی او به صورت یک عدد صحیح است.	۱۶۰۰ شخص آسیایی (۸۰۰ زن و ۸۰۰ مرد)	نور، حالت صورت و آرایش	۰ تا ۹۳	۸۰۰۰ تصویر رنگی با وضوح بالا	YGA
[۳۲]	۱-۱۴ تصویر برای هر شخص	۵۵۰۰ نفر از افراد مختلف ژاپن (۲۵۰۰ زن و ۳۰۰۰ مرد)	چهره‌ها نمایش‌هایی غیر مسدود از جلو با حالت خنثی و طیف گسترده‌ای از حالت‌های نور	۳ تا ۸۵	۱۲۰۰۸ تصویر چهره زن و ۱۴۲۱۴ تصاویر چهره مرد	WIT-DB
[۳۳]	تصاویر فایل‌های JPEG ۶۴۰×۴۸۰ با عمق رنگ 24 بیت	۱۷ نفر	شامل چهار پایگاه داده فرعی است: AI&R V1.0 (حالت) AI&R V2.0 (پیری) AI&R V3.0 (منظره) AI&R V4.0 (نور)	۲۲ تا ۶۱	شامل AI & R V2.0 شامل ۳۴ تصویر از جلو	AI & R آسیایی
[۳۴]	در شرایط یکسان با وضوح ۵۳۱×۷۰۴ و عمق رنگ ۲۴ بیت - ویژگی‌های شکل صورت توسط ۲۰۸ نقطه کلیدی نمایش داده می‌شوند.	۱۴۷ مرد	با حالت‌های خنثی، همه افراد بارش و سبیل تراشیده و بدون آرایش و عینک	۲۰ تا ۶۲	-----	قفقازی برت

ادامه جدول ۲

منابع	توضیحات	تعداد اشخاص متمایز	اطلاعات تصاویر	محدوده سنی	تعداد تصاویر	نام پایگاه داده
[۳۵]	وضوح متوسط از افرادی در گروه‌های سنی مختلف - تقریباً ۱۰۰ تصویر برای هر سن .	۸۰۰۰ تصویر رنگی چهره با رزولوشن ۱۲۰×۱۶۰، نیمی مرد و نیمی زن	نور کم و تغییرات ژست	۹ تا ۹۸	۵۰۰۰۰ تصویر چهره آسیایی بزرگسال	LHI
[۳۶]	برچسب سن در ۱۰ گروه از ۱۵ تا ۶۴ بافاصله پنج سال توزیع می‌شود. ۱۵ مرد و ۱۵ زن در هر گروه وجود دارند. تصاویر دارای رزولوشن ۶۴۰×۴۸۰ و عمق رنگ ۲۴ بیت می‌باشند.	۳۰۰ نفر (نیمی مرد و نیمی زن)	چهره باحالت خنثی	۱۵ تا ۶۴	۳۰۶۶۰	HOIP
[۳۷]	تصاویر دارای رزولوشن ۶۴۰×۴۸۰ و عمق رنگ ۲۴ بیت می‌باشند .	۶۱۶ نفر (۴۸۷ مرد و ۱۲۹ زن)	تصاویر، با تغییرات ژست، حالت، بدون عینک	۲ تا ۸۵	۳۶۰۰ تصویر رنگی	چهره ایران
[۳۸]	از موتور جستجوی تصویر Flickr.com با استفاده از جستجوی سه-گروهی از قبیل "عروسی + عروس + داماد + پرتزه" تصویر گروه "یا" عکس گروه "و یا" پرتزه گروه "پرتزه خانواده" موتور جستجوی تصویر Flickr.com است .	-----	-----	برچسب‌های سن هفت دسته هستند: ۰-۲، ۳-۷، ۸-۱۲، ۱۳-۱۹، ۲۰-۲۷، ۲۸-۳۵، ۳۶-۴۲، ۴۳-۴۹، ۵۰-۵۶، ۵۷-۶۳، ۶۴-۷۰، ۷۱-۷۷، ۷۸-۸۴، ۸۵-۹۱، ۹۲-۹۸، ۹۹-۱۰۵	۲۸۲۳۲ چهره (در ۵۰۸۰ تصویر)	جمع‌آوری شده از وب گالاگر
[۳۲]	اهمیت پایگاه به دلیل کیفیت تصاویر آن و تنوع اصل و نسب	-----	تصاویر چهره افراد بزرگسال آفریقایی-آمریکایی، آسیایی، قفقازی، اسپانیایی و هندی چهره باحالت خنثی و ژست	۱۸ تا ۹۴	بیش از ۱۰۰۰ تصویر رنگی و سیاه‌وسفید	PAL

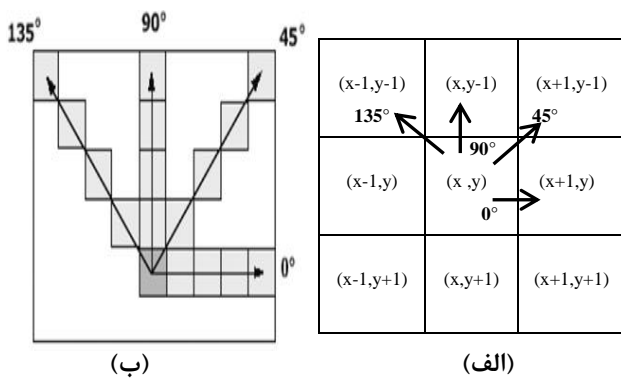
۵- ویژگی‌های بافت هارالیک

هارالیک و همکارانش برای بررسی ساختار بافت‌های مختلف، ویژگی‌هایی را بر اساس ماتریس هم رخداد پیشنهاد کردند [۴۰]. یک ماتریس هم رخداد، نرخ رخداد مقادیر خاکستری دو پیکسل وابسته از تصویر را که در فاصله و جهت بخصوصی از یکدیگر قرار گرفته‌اند را همان‌طور که در شکل ۳ نشان داده شده است، بیان می‌کند. عناصر این ماتریس مربعی، نشان‌دهنده فرکانس نسبی رخداد یک جفت از مقادیر خاکستری i, j در فاصله خاص d و در یک جهت تعیین شده می‌باشند [۳۸-۴۰].

ماتریس هم رخداد $(P_d(i, j))$ به ازای بردار فاصله $d = (dx, dy)$ رابطه (۳) تعریف می‌شود [۳۹].

$$P_d(i, j) = \left| \left\{ ((r, s), (t, v)) : I(r, s) = i, I(t, v) = j \right\} \right| \quad (3)$$

که در آن $I(r, s)$ نشان‌دهنده ماتریس است. همچنین $0 \leq i, j \leq G - 1$ که G تعداد سطح خاکستری تصویر است و معمولاً ۲۵۶ است.



شکل ۳: نمایش تصویری فاصله و جهت

(الف) نمایش همسایگی‌های نقطه (x, y) از جهات مختلف (ب) نمایش فواصل مختلف در محاسبه ماتریس هم رخداد [۳۸]

در ادامه، به نحوه محاسبه ویژگی‌های آماری هارالیک که شامل

سیزده ویژگی مختلف است پرداخته می‌شود [۴۰].

انرژی $(POW)^{12}$ ، این ویژگی بنام‌های یکنواختی^{۱۳} و یا گشتاور دوم زاویه‌ای^{۱۴} نیز معروف است که همگنی^{۱۵} تصویر را اندازه می‌گیرد. اگر

گشتاور اختلاف معکوس^{۱۹} (IDM)، این ویژگی که گاهی همگنی نیز نامیده می‌شود، همگنی محلی تصویر دیجیتال را اندازه می‌گیرد. این ویژگی، نزدیکی توزیع عناصر ماتریس هم رخداد را نسبت به قطر ماتریس نمایش می‌دهد.

$$F5 = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} \frac{np(i, j)}{1 - |i - j|^2} \quad (13)$$

میانگین مجموع^{۲۰} (SA)، این ویژگی به واسطه فرمول (۱۴) محاسبه می‌شود.

$$F6 = \sum_{k=0}^{2G-2} k \times P_{x+y}(k) \quad (14)$$

که $P_{x+y}(k) = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j)_{|i+j|=k}$ و میانگین مجموع^{۲۱} (SV)، این ویژگی به واسطه فرمول (۱۵) محاسبه می‌شود.

پراکندگی مجموع^{۲۱} (SV)، این ویژگی به واسطه فرمول (۱۵) محاسبه می‌شود.

$$F7 = \sum_{k=0}^{2G-2} (k - F8)^2 \times P_{x+y}(k) \quad (15)$$

که F8، ویژگی هشتم می‌باشد.

بی‌نظمی مجموع (SE)، این ویژگی به واسطه فرمول (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$F8 = - \sum_{k=0}^{2G-2} P_{x+y}(k) \times \log(P_{x+y}(k)) \quad (16)$$

در محاسبه فرمول مربوطه، اگر مقدار تابع P_{x+y} صفر شود، $\log(0)$ قابل محاسبه نمی‌باشد. برای جلوگیری از این اشکال توصیه می‌شود که به جای استفاده از تابع $\log(p)$ ، تابع $\log(p+e)$ در محاسبات استفاده شود که e، یک مقدار ثابت قراردادی کوچک می‌باشد. بی‌نظمی (EP)، بررسی شباهت نقاط تصویر با این ویژگی سنجیده می‌شود. به عبارتی این ویژگی، مقدار اطلاعات تصویر را که برای فشرده‌سازی مورد نیاز می‌باشد، نمایش می‌دهد. یک تصویر با میزان بی‌نظمی (آنتروپی) بالا، دارای کنتراست زیادی بین نقاط همسایه بوده و نمی‌توان آن را فشرده نمود. درحالی‌که یک تصویر با بی‌نظمی پایین، دارای کنتراست پایین می‌باشد. یعنی تعداد نقاط زیادی از تصویر دارای مقادیر یکسان و مشابه می‌باشند.

$$F9 = - \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j) \times \log(np(i, j)) \quad (17)$$

پراکندگی تفاضل (DV)، این ویژگی، به واسطه فرمول (۱۸) محاسبه

نقاط خیلی شبیه هم باشند، این مقدار عدد بزرگی می‌شود. مقدار آن از فرمول (۴) محاسبه می‌شود.

$$F1 = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j)^2 \quad (4)$$

عنصر $np(i, j)$ ماتریس نرمال شده هم رخداد است. مغایرت^{۱۶} (CON)، میزان شدت یا پراکندگی سطح خاکستری بین یک نقطه تصویر با نقاط همسایه، مغایرت (کنتراست) نام دارد. از نظر درک بصری، تفاوت ظاهری دو یا چند قسمت از یک فضا است که به طور هم‌زمان و یا پشت سرهم مشاهده می‌گردد.

$$F2 = \sum_{N=1}^{G-1} N^2 \times \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j)_{|i-j|=N} \quad (5)$$

همبستگی^{۱۷} (COR)، وابستگی خطی مقادیر سطوح خاکستری در ماتریس هم رخداد توسط این ویژگی محاسبه می‌گردد. این ویژگی، میزان وابستگی یک پیکسل را با نقاط همسایه‌اش نشان می‌دهد.

$$F3 = Correlation = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \times \sigma_y} \quad (6)$$

که:

$$\mu_x = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} i \times np(i, j) \quad (7)$$

$$\mu_y = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} j \times np(i, j) \quad (8)$$

$$\sigma_x^2 = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (i - \mu_x)^2 \times np(i, j) \quad (9)$$

$$\sigma_y^2 = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (j - \mu_y)^2 \times np(i, j) \quad (10)$$

$$\sigma_{xy} = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} ij np(i, j) - \mu_x \mu_y \quad (11)$$

پراکندگی^{۱۸} (VAR)، پراکندگی و یا واریانس طیف خاکستری از فرمول (۱۲) قابل محاسبه است.

$$F4 = Var = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} (np(i, j) - \mu)^2}{\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j)}} \quad (12)$$

که $\mu = \frac{\sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j)}{G \times G}$ است.

می‌شود. اندازه اطلاعات همبستگی ۲ (IMC2)، این ویژگی به‌واسطه فرمول

$$F10^2 = \sigma_{P_{X-Y}}^2 = \sum_{i=0}^{G-1} \left(P_{X-Y}(k) - \mu_{P_{X-Y}} \right)^2 \quad (18)$$

که $k = 0..G-1$ ، $P_{X-Y}(k) = \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j)_{|i-j|=k}$ و

$$\mu_{P_{X-Y}} = \frac{\sum_{k=0}^{G-1} P_{X-Y}(k)}{G}$$

می‌باشد.

بی‌نظمی تفاضل (DE)، این ویژگی به‌واسطه فرمول (۱۹) محاسبه می‌شود.

$$F11 = - \sum_{k=0}^{G-1} P_{X-Y}(k) \times \log(P_{X-Y}(k)) \quad (19)$$

به‌مانند ویژگی هشتم، اگر مقدار تابع P_{X-Y} صفر شود، $\log(0)$ قابل محاسبه نمی‌باشد و برای جلوگیری از این اشکال، توصیه می‌شود که به‌جای استفاده از تابع $\log(p)$ ، تابع $\log(p+e)$ در محاسبات استفاده شود.

اندازه اطلاعات همبستگی ۱ (IMC1)، این ویژگی به‌واسطه فرمول (۲۰) محاسبه می‌شود.

$$F12 = \frac{HXY - HXY1}{\max\{HX, HY\}} \quad (20)$$

که HXY ، همان بی‌نظمی (آنتروپی) بوده و:

$$HXY1 = - \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} np(i, j) \times \log(p_X(i) \times p_Y(j)) \quad (21)$$

$$p_Y(k) = \sum_{i=0}^{G-1} i \times np(i, k) \quad (22)$$

$$p_X(k) = \sum_{j=0}^{G-1} j \times np(k, j) \quad (23)$$

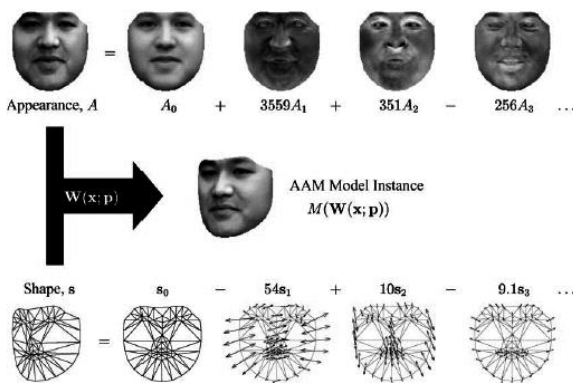
$$HXY2 = - \sum_{i=0}^{G-1} \sum_{j=0}^{G-1} p_X(i) \times p_Y(j) \times \log(p_X(i) \times p_Y(j)) \quad (24)$$

$$HX = - \sum_{i=0}^{G-1} p_X(i) \times \log(p_X(i)) \quad (25)$$

$$HY = - \sum_{i=0}^{G-1} p_Y(i) \times \log(p_Y(i)) \quad (26)$$

۶- مدل ظاهر فعال

همان‌طور که در [۱] توصیف شده است، مدل AAM می‌تواند در سه مرحله اصلی تولید شود: یک مدل شکل آماری برای مدل‌سازی تغییرات شکل یک شی با استفاده از مجموعه‌ای از تصاویر آموزش‌شی، ساخته می‌شود. سپس یک مدل بافت برای مدل‌سازی تغییرات بافت ساخته می‌شود، که توسط شدت پیکسل‌ها نمایش داده می‌شود. سپس مدل ظاهر نهایی توسط ترکیب کردن مدل‌های شکل و بافت ساخته می‌شود. برای یک تصویر چهره ارائه شده برای روش AAM دو سری بسط باید محاسبه شود یکی بسط شکل مطابق شکل مبنا و شکل‌های ویژه و دومی بسط شکل مبنا براساس ظاهر مبنا و ظاهرهای ویژه که در شکل ۴ نشان داده شده است [۴۱].



شکل ۴: مدل نهایی AAM [۴۱]

در ادامه کارهای زیر روی مدل به‌دست‌آمده صورت می‌گیرد: حداقل سازی خطای بین تصویر ورودی $I(x)$ و $M(W(x;p)) = A(x)$ اگر X ها پیکسل‌های شکل مبنا S_0 باشد، در این صورت پیکسل‌های متناظر برای تصویر ورودی I ، $W(x;p)$ خواهد بود. در پیکسل x مدل AAM دارای ظاهر زیر خواهد بود:

$$A(x) = A_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i A_i(x) \quad (28)$$

در پیکسل $W(x;p)$ تصویر ورودی دارای روشنایی $I(W(x;p))$ می‌باشد. در نهایت حداقل مربعات اختلاف بین روشنایی تصویر ورودی و ظاهر تخمین زده شده برای شکل را به حداقل می‌رسانیم.

$$\sum_{u \in S_0} [A_0(x) + \sum_{i=1}^m \lambda_i A_i(x) - I(W(x;c))]^2 \quad (29)$$

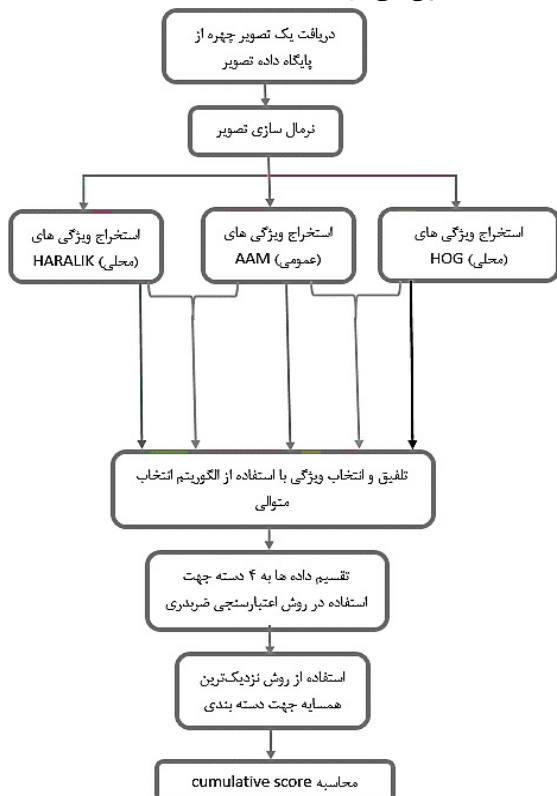
تا اینجا برخی از روش‌های استخراج ویژگی‌های محلی و عمومی شرح داده شد و همان‌گونه که قبلاً اشاره شد معمولاً تلفیقی از هر دو ویژگی در فرآیند برآورد سن می‌تواند دقیق‌تر باشد، سؤالی که مطرح است این است کدام ترکیب ویژگی‌های محلی و عمومی کارایی بهتری در برآورد سن را دارند؟

۸- تلفیق ویژگی‌های عمومی و محلی

همان‌طوری که قبلاً اشاره شد، معمولاً افراد برای برآورد سن از مجموعه ویژگی‌های محلی موجود در قسمت‌های مختلف چهره، مانند پیشانی، زیر چشم‌ها، و گونه‌ها و ویژگی‌های عمومی مانند شکل و ساختار کلی چهره استفاده می‌کنند. ایده اصلی این مقاله نیز بر این اساس است که برای افزایش دقت سیستم‌های برآورد خودکار سن، تلفیق و ترکیبی از ویژگی‌های محلی و عمومی استفاده شود. بلوک دیاگرام این سیستم پیشنهادی در شکل ۶ نشان داده شده است.

مرحله اول: دریافت تصاویر از پایگاه داده و نرمال‌سازی آن‌ها (که این نرمال‌سازی عبارت است از تقسیم پیکسل‌های تصویر بر عدد ۲۵۵ و قرار دادن مقادیر روشنایی در بازه [۰, ۱])، به دلیل اینکه جهت نرمال‌سازی تعداد پیکسل‌های روشنایی بر تعداد کل پیکسل‌های تصویر تقسیم خواهد شد که این نرمال‌سازی باعث می‌شود مقادیر در بازه ۱ و ۰ قرار گیرد.

مرحله دوم: ویژگی‌های محلی با استفاده از الگوریتم‌های هارالیک (Haralik) و هاگ (HOG) و ویژگی‌های عمومی با استفاده از مدل ظاهر فعال (AAM) استخراج می‌شوند.



شکل ۶: بلوک دیاگرام پیشنهادی جهت تلفیق ویژگی محلی و عمومی تصویر چهره جهت تخمین سن

۷- ویژگی‌های هیستوگرام‌های گرادیان‌های شیب گرا یا جهت‌دار (HOG)

هیستوگرام‌های گرادیان‌های شیب گرا یا جهت‌دار تا حد زیادی به‌عنوان توصیفگرهای بصری قوی در بسیاری از برنامه‌های بینایی ماشین مربوط به تشخیص و شناسایی شی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. گرادیان‌های افقی و عمودی تصویر ورودی محاسبه می‌شوند و منطقه تصویر به سلول‌های شبکه $C_x \times C_y$ تقسیم می‌شود [۱].

استخراج ویژگی‌های HOG شامل مراحل زیر است [۴۲]:

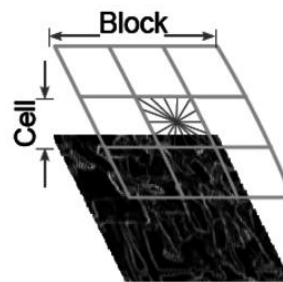
- ۱- بریدن بخشی از تصویر است که قرار است ویژگی‌های آن بخش از تصویر به دست آید.
- ۲- تصویر نرمال‌سازی می‌شود. که این نرمال‌سازی عبارت است از تقسیم پیکسل‌های تصویر بر عدد ۲۵۵ و قرار دادن مقادیر روشنایی در بازه [۰, ۱].
- ۳- محاسبه گرادیان با اعمال فیلترهای جدول ۳.

جدول ۳: روش‌های محاسبه گرادیان

Mask Type	1D centered	1D uncentered	1D cubic-corrected	2x2 diagonal	3x3 Sobel
Operator	[-1, 0, 1]	[-1, 1]	[1, -8, 0, 8, -1]	$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$

۴- اعمال فیلترهای جدول ۳ در سلول‌ها مسئله

یک بلوک 3×3 از سلول‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.



شکل ۵: یک HOG مستطیل شکل با یک بلوک 3×3 از سلول‌ها [۴۲]

۵- بررسی چهار طرح مختلف نرمال‌سازی بلاک مطابق روابط زیر:

$$\begin{aligned}
 L1\text{-norm: } u &\rightarrow u / (\|u\|_1 + \epsilon) \\
 L1\text{-sqrt: } u &\rightarrow \sqrt{u / (\|u\|_1 + \epsilon)} \\
 L2\text{-norm: } u &\rightarrow u / \sqrt{\|u\|_2^2 + \epsilon^2} \\
 L2\text{-hys: } L2\text{-norm, plus clipping at } .2 \text{ and renormalizing} &
 \end{aligned}
 \tag{۳۰}$$

در روابط بالا u بردار ویژگی نرمال نشده است. ϵ یک مقدار ثابت کوچکی است و k در رابطه $\|u\|_k$ مقدار ۱ و ۲ را دارد.

۹- پیاده‌سازی و ارزیابی

در این قسمت نتایج حاصل از پیاده‌سازی روش پیشنهادی بر روی تصاویر پایگاه تصاویر PAL ارائه می‌شود.

۹-۱ - محیط پیاده‌سازی و پایگاه تصاویر

شبه‌سازی‌های انجام‌شده در این بخش در محیط نرم‌افزار Matlab2015a و با لپ‌تاپ با مشخصات corei5 4Gig RAM انجام‌شده است. در این پیاده‌سازی از پایگاه تصاویر PAL استفاده شد. لازم به ذکر است که PAL شامل تصاویر چهره افراد بزرگسال آفریقایی-آمریکایی، آسیایی، قفقازی، اسپانیایی و هندی با سنین مختلف ۱۸ تا ۹۴ ساله است. در شکل ۸ چند نمونه از تصاویر این پایگاه داده نشان داده شده است.



شکل ۸: چند نمونه از تصاویر پایگاه داده PAL

تصاویر پایگاه PAL در چهار دسته با سنین ۱۸ تا ۲۹ و ۳۰ تا ۴۹ و ۵۰ تا ۶۹ و نهایتاً ۷۰ تا ۹۴ سال که در جدول ۴ نشان داده شده است تقسیم می‌شود. این پایگاه شامل ۱۵۸ تصویر با سنین مختلف ۱۸ تا ۹۴ ساله است.

جدول ۴: تعداد تصاویر در چهار گروه سنی

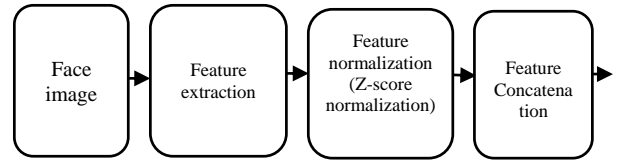
کل تصاویر	۲۹-۱۸	۴۹-۳۰	۶۹-۵۰	۹۴-۷۰
تعداد تصاویر هر گروه سنی	۴۸	۴۵	۳۵	۳۰

۹-۲ - معیار ارزیابی

در هنگام استفاده از پایگاه داده، ۲۰٪ تصاویر برای آزمون و مابقی به منظور آموزش مدل مورد استفاده قرار گرفتند. تلفیق در سطح ویژگی شامل ترکیب ویژگی‌های ارائه‌شده توسط دودسته ویژگی یک فرد است. تلفیق در سطح ویژگی می‌تواند برای به‌روزرسانی یا بهبود الگو به کار رود. در تلفیق ویژگی‌های عمومی و محلی چهره از تکنیک بهبود الگو استفاده شده است. بدین‌صورت که از طریق هم‌تراز کردن مناسب و سپس حذف نشانه تکراری و درنهایت تولید یک دسته نشانه بزرگ‌تر ترکیب شود. در واقع هدف افزایش تعداد ویژگی‌ها (کاهش تعداد ویژگی‌های نادرست) است ضمن اینکه یکپارچگی آن نیز حفظ شود. جهت بررسی کارایی روش‌ها و مقایسه بین آن‌ها از معیار نمره تجمعی استفاده می‌شود.

هدف استخراج ویژگی‌های بافت و آماری چهره بود که تعداد ۱۳، ۲۱۸، و ۴۵ ویژگی با استفاده از روش‌های هارلیک، هاگ و مدل ظاهر فعال استخراج گردید.

مرحله سوم: قراردادن ویژگی‌ها در پنج گروه به‌عنوان پنج روش که شامل سه روش منفرد و دو روش تلفیقی می‌باشد. بلوک دیاگرام تلفیق ویژگی‌ها در دو روش ترکیبی نیز در شکل ۷ آورده شده است.



$$f_1 = [a_1, \dots, a_k] \quad f_{new} = [f'_1 f'_2 f'_3 f'_4]$$

$$f_2 = [s_1, \dots, s_l] \quad f'_i = \frac{f_i - \mu_i}{\sigma_i}, i = 1, 2, 3, 4$$

$$f_3 = [w_1, \dots, w_m]$$

$$f_4 = [t_1, \dots, t_n] \quad \mu_i: \text{mean of } f_i$$

$$\sigma_i: \text{standard deviation of } f_i$$

شکل ۷: بلوک دیاگرام روش تلفیق

مرحله چهارم: در مرحله بعد از روش Sequential floating forward selection (SFFS) جهت انتخاب ویژگی استفاده می‌شود. الگوریتم انتخاب ویژگی متوالی با مجموعه خالی شروع می‌شود و یک ویژگی را برای مرحله نخست اضافه می‌نماید که بیش‌ترین ارزش را برای تابع هدف ارائه می‌دهد. از مرحله دوم به بعد، ویژگی‌های باقیمانده به‌طور جداگانه به زیرمجموعه فعلی اضافه می‌شوند و زیرمجموعه جدید ارزیابی می‌شود. یک ویژگی منحصر به فرد به‌طور دائم در زیرمجموعه گنجانده می‌شود اگر آن حداکثر دقت و صحت طبقه‌بندی را ارائه دهد. این فرایند تکرار می‌شود تا زمانی که تعداد موردنیاز از ویژگی‌ها اضافه‌شده باشند. در این الگوریتم وابستگی بین ویژگی‌ها اختصاص نمی‌یابد [۸].

مرحله پنجم: استفاده از روش 4-fold برای اعتبارسنجی ضربدری استفاده از روش 4-fold برای اعتبارسنجی ضربدری به این معنا که هر ویژگی محاسبه‌شده در پنج گروه را به چهار دسته تقسیم و هر بار سه گروه، برای آموزش و گروه چهارم، برای آزمون استفاده می‌شود و سپس نتایج به‌دست‌آمده برای چهار بار تکرار میانگین گرفته می‌شود.

مرحله ششم: استفاده از روش نزدیک‌ترین همسایه ($KNN^{۲۲}$) روی داده‌های آزمون و آموزش مرحله قبل جهت کلاس‌بندی داده‌ها مرحله هفتم: جهت بررسی کارایی روش‌ها و مقایسه بین آن‌ها از معیار نمره تجمعی (CS) استفاده می‌شود.

۹-۳ - نتایج پیاده‌سازی

درصد متوسط خطا در روش‌های مورد بررسی در جدول ۵ نشان داده شده است.

جدول ۵: درصد متوسط خطا در چهار گروه سنی

انواع گروه سنی	HARALIK	HOG	AAM	AAM+ HARALIK	AAM + HOG
۱۸-۲۹	۵۴/۱۶۶۷	۳۱/۲۵	۲۵	۱۸/۷۵	۸/۳۳۳
۳۰-۴۹	۵۴/۵۴۵۵	۳۱/۸۱۸۲	۲۵	۱۸/۱۸۱۸	۶/۸۱۸۲
۵۰-۶۹	۸۲/۸۵۷۱	۳۱/۴۲۸۶	۲۵/۷۱۴۳	۱۷/۱۴۲۹	۸/۵۷۱۴
۷۰-۹۴	۸۶/۶۶۶۷	۳۳/۳۳۳۳	۲۶/۶۶۶۷	۲۰	۶/۶۶۶۷

خواهد بود. اگر خطا در بازه ۰ تا ۳/۸ باشد در سطح یک قرار خواهد گرفت و اگر بیشتر بود در سطح دو و هرچه جلوتر برویم تعداد خطاهای قبلی را با هم جمع می‌کنیم. مشاهده این شکل نشان می‌دهد روش ترکیبی AAM و HOG دارای کمترین متوسط خطا و روش HARALIK بیشترین مقدار متوسط خطا را دارد.

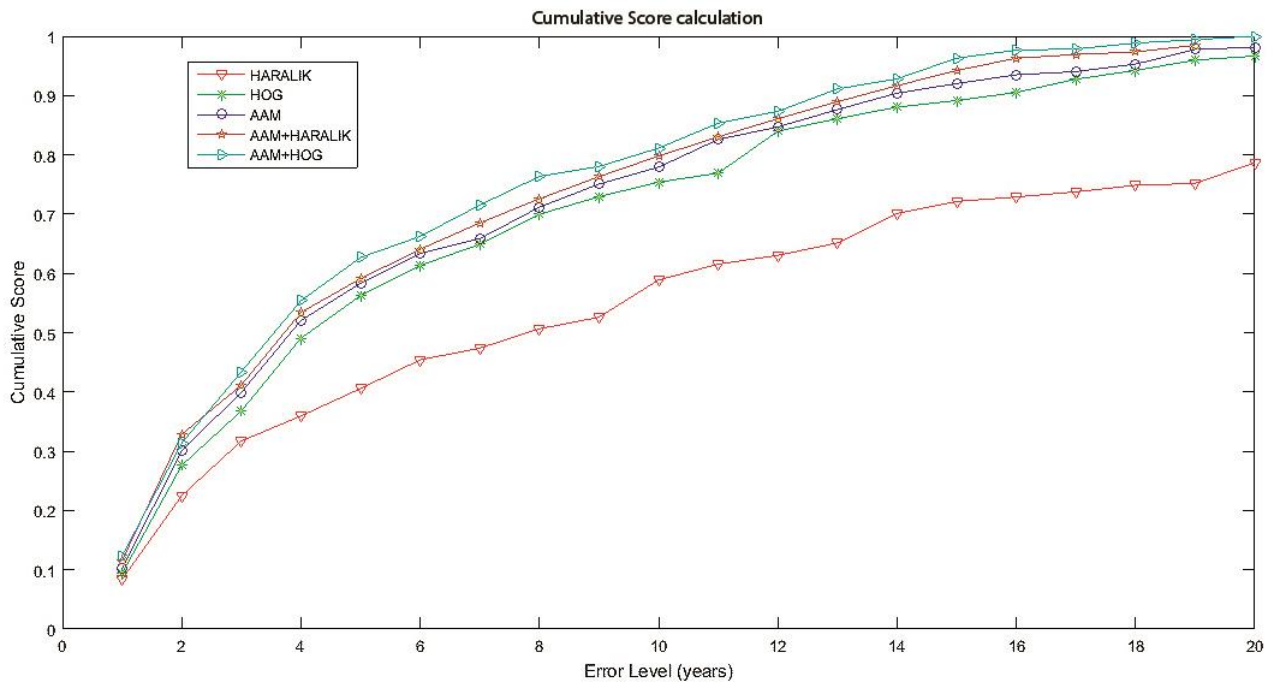
جدول شماره ۶ مقایسه‌ای از نتایج به دست آمده در این مقاله با برخی از منابع دیگر را نشان می‌دهد. همان طوری که در جدول مشاهده می‌شود کارایی روش ترکیبی ارائه شده در این مقاله بهتر از بقیه منابع است. به طور خاص در مقایسه با [۴۵] با استفاده از پایگاه تصاویر PAL نمره تجمعی روش پیشنهادی ۹۳ درصد است در حالی که در [۴۵] ۷۰ درصد است. مهم‌ترین علت آن به دلیل استفاده از روش هاگ در استخراج ویژگی‌های محلی و ترکیب آن‌ها با ویژگی‌های عمومی است.

۱۰- نتیجه‌گیری

معمولاً افراد برای برآورد سن با استفاده از تصویر چهره از مجموعه ویژگی‌های ریزودرشت موجود در قسمت‌های مختلف چهره و همچنین ظاهر و شکل کلی آن استفاده می‌کنند. به عبارت دقیق‌تر ترکیب و تلفیقی از ویژگی‌های محلی و عمومی مورد استفاده قرار می‌گیرد و مطمئناً هرچقدر استخراج این ویژگی‌های در قسمت‌های مختلف چهره بهتر و دقیق‌تر انجام شود برآورد سن نیز دقیق‌تر خواهد بود. بر همین اساس برای برآورد خودکار سن به وسیله ماشین در این مقاله تلفیقی از ویژگی‌های محلی و عمومی مورد ارزیابی قرار گرفت. مشاهده گردید که مرحله استخراج و انتخاب ویژگی‌ها در فرآیند خودکار برآورد سن از روی تصویر چهره از اهمیت خاصی برخوردار است، چراکه دقت این چنین سیستم‌ها تا حدود بسیار زیادی به این مرحله وابسته است. مدل ظاهر فعال (AAM) جهت استخراج ویژگی‌ها عمومی مانند شکل و ظاهر چهره مورد استفاده قرار گرفت و همچنین از HARALIC و HOG جهت استخراج ویژگی‌ها محلی مانند تشخیص چین‌وچروک‌ها در پیشانی و دیگر قسمت‌های چهره پیاده‌سازی گردید. نتایج پیاده‌سازی بر روی تصاویر چهره محک‌زنی نشان داد که روش‌های تلفیقی دارای عملکرد بهتری در مقایسه با روش‌های منفرد دارند و تلفیق AAM+HOG با داشتن کمترین خطا دارای کارایی بهتر در مقایسه با AAM+HARALIC دارد. یکی از مهم‌ترین دلایل برای این چنین رفتاری عبارت است از اینکه تعداد ویژگی‌هایی که روش HOG از قسمت‌های مختلف تصویر با توجه به بخش کردن تصویر به سلول‌های مختلف استخراج می‌کند در مقایسه با ویژگی‌ها HARALIC به مراتب بیشتر است. البته انتخاب درست ویژگی‌ها و تشخیص مفید، غیرمفید بودن و یا زائد بودن آن‌ها هنوز یکی از چالش‌های پیش رو در این زمینه است.

همان طوری که در جدول ۵ مشاهده می‌شود درصد متوسط خطای مدل ظاهر فعال (AAM) نسبت به روش‌های هاگ (HOG) و هارالیک (HARALIK) کمتر است. مدل ظاهر فعال ویژگی‌های عمومی در حالی که روش‌های هاگ و هارالیک ویژگی‌های محلی تصویر چهره را استخراج می‌کنند و همچنین روش هاگ نسبت به روش هارالیک بهتر عمل می‌کند و اختلاف دقت آن‌ها تقریباً زیاد است. در روش هاگ ویژگی‌های محلی از قبیل چین‌وچروک‌ها در قسمت‌های مختلف چهره بهتر استخراج می‌شود چراکه در این روش ویژگی هیستوگرام گرادیان جهت‌دار به وسیله تقسیم کردن تصویر چهره به ناحیه‌های مکانی کوچک، به نام سلول محاسبه می‌شود این ویژگی، جهت‌گرایان‌های تصویر چهره را در یک همسایگی محلی یا همان سلول‌ها محاسبه می‌کند و مجموعه‌ای از توزیع گرادیان‌های محلی یا جهت‌های لبه می‌توانند به خوبی شکل ظاهری چهره را توصیف کنند. لذا با توجه به اینکه ویژگی‌های بیش‌تری از قسمت‌های مختلف تصویر چهره با توجه به عمل تقسیم کردن تصویر به بخش‌های کوچک‌تر توسط روش هاگ نسبت به روش هارالیک محاسبه می‌شود کارایی آن بهتر است. با توجه به عملکرد خوب روش هاگ نسبت به هارالیک، ترکیب روش‌های AAM + HOG نسبت به روش AAM + HARALIK از کارایی بهتری برخوردار است.

از نظر متوسط تعداد خطا در رده‌های سنی مختلف و در روش‌های مختلف شکل ۹ این مقایسه را نشان می‌دهد. محور افقی میزان خطایی که حداکثر ۲۰ است را نشان می‌دهد. در واقع سطح خطا بر اساس سال بیان شده است. پله‌های خطا را بدین صورت محاسبه می‌کنیم. حداکثر سن در پایگاه داده چهره ۹۴ سال را از حداقل سن که ۱۸ سال است کم کرده حاصل ۷۶ به دست خواهد آمد. در ادامه عدد ۷۶ را تقسیم بر ۲۰ کرده که عددی معادل ۳/۸ به دست خواهد آمد پس پله‌های خطا ۳/۸



شکل ۹: مقایسه عملکرد روش‌های مختلف استخراج ویژگی برای برآورد سن بر روی پایگاه تصاویر PAL

جدول ۶: مقایسه نتایج پیاده‌سازی این مقاله با برخی از منابع دیگر

منبع	روش استخراج ویژگی چهره	پایگاه داده چهره	نمره تجمعی (CS)
[۱]	HOG, GRAD, LBP, SURF	MORPH, FRGC	MORPH/ FRGC CS: %۷۱/۲ , %۷۷/۹
[۴۳]	AAM	FG-NET, MORPH II	FG-NET / MORPH II CS: %۷۴/۴ , %۵۶/۳
[۴۴]	Biologically inspired features (BIF)	FG-NET, YGA	FG-NET / YGA CS: %۴۷ , F: %۷۵
[۴۵]	AAM, Gabor, LBP	FG-NET, PAL, BERC	FG-NET / PAL / BERC CS: % ~۷۳ , % ~۷۰ , % ~۶۵
این مقاله	AAM, HARALIC, HOG	PAL	PAL CS: %۹۳

مراجع

- [1] I. Huerta, C. Fernandez and A. Prati, "Facial age estimation through the fusion of texture and local appearance descriptors," *European Conference on Computer Vision, Published by LNCS*, vol. 8926, pp. 667–681, 2015.
- [2] W. Yang, C. Chen, K. Ricanek and C. Sun, "Ensemble of global and local features for face age estimation," *8th International Symposium on Neural Networks, Published by LNCS*, vol. 6676, pp. 251–259, 2011.
- [3] C. Chen, W. Yang, Y. Wang, S. Shan and K. Ricanek, "Learning gabor features for facial age estimation," *6th Chinese Conference on Biometric Recognition, Published by LNCS*, vol. 7098, pp. 204–213, 2011.
- [4] S. E. Choi, Y. J. Lee, S. J. Lee, K. R. Park and J. Kim, "Age estimation using a hierarchical classifier based on global and local facial features," *Pattern Recognition*, vol. 44, no. 6, pp. 1262–1281, 2011.
- [5] W. L. Chao, J. Z. Liu and J. J. Ding, "Facial age estimation based on label-sensitive learning and age-oriented regression," *Pattern Recognition*, vol. 46, no. 3, pp. 628–641, 2013.
- [6] M. Dash and H. Liu, "Feature selection for classification," *Intelligent Data Analysis*, vol. 1, no. 3, pp. 131–156, 1997.
- [7] G. Chandrashekar and F. Sahin, "A survey on feature selection methods," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 40, no. 1, pp: 16–28, January 2014.
- [8] A. Lanitis, C. Taylor and T. Cootes, "Toward automatic simulation of aging effects on face images," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 4, pp. 442–455, 2002.
- [9] Y. Fu, G. Guo and T. S. Huang, "Age synthesis and estimation via faces," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 11, pp. 1955 - 1976, November 2010.

- [24] H. Fukai, H. Takimoto, Y. Mitsukura and M. Fukumi, "An apparent age estimation system using the evolutionary algorithm," *International Conference on Control, Automation and Systems*, pp. 2146–2149, 2007.
- [25] J. Suo, T. Wu, S. Zhu, S. Shan, X. Chen and W. Gao, "Design sparse features for age estimation using hierarchical face model," *Proc. 8th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 17–19, 2008.
- [26] G. D. Guo, G. Mu, Y. Fu, C. R. Dyer and T. S. Huang, "A study on automatic age estimation using a large database," *Proc. 12th IEEE Conference on Computer Vision*, 2009.
- [27] J. Suo, S. C. Zhu, S. Shan and X. Chen, "A compositional and dynamic model for face aging," *IEEE Transactions Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 32, no. 3, pp. 385–401, 2010.
- [28] The FG-NET Aging Database, <http://www.fgnet.rsunit.com/>, <http://www.prima.inrialpes.fr/FGnet/>, 2010.
- [29] K. Ricanek and T. Tesafaye, "MORPH: A longitudinal image database of normal adult age-progression," *Proc. IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 341–345, 2006.
- [30] K. Ueki, T. Hayashida and T. Kobayashi, "Subspace-based age-group classification using facial images under various lighting conditions," *Proc. IEEE Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 43–48, 2006.
- [31] Y. Fu and N. Zheng, "M-Face: An appearance-based photorealistic model for multiple facial attributes rendering," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 16, no. 7, pp. 830–842, 2006.
- [32] D. M. Burt and D. I. Perrett, "Perception of age in adult caucasian male faces: Computer Graphic Manipulation of Shape and Colour Information," *Proc. Royal Soc. of London Series B Biological Sciences*, vol. 259, no. 1355, pp. 137–143, 1995.
- [33] LHI Image Database, <http://www.lotushill.org/LHIFrameEn.html>, 2010.
- [34] Human and Object Interaction Processing (HOIP) Face Database. Softopia Japan Foundation, <http://www.hoip.jp/>, 2010.
- [35] A. Bastanfard, M. A. Nik and M. M. Dehshibi, "Iranian face database with age, Pose and Expression," *Proc. International Conference on Machine Vision*, pp. 50–55, 2007.
- [36] Gallagher's Web Collected Database, <http://amp.ece.cmu.edu/people/Andy/ImagesOfGroups.html>, 2008.
- [37] A. Akoushideh, A. Shahbahrani and B. M. Maybodi, "High performance implementation of texture features extraction algorithms using FPGA architecture," *Journal of Real-Time Image Processing*, vol. 9, no. 1, pp. 141–157, 2011.
- [38] A. Porebski, N. Vandenbroucke and L. Macaire, "Neighborhood and Haralick feature extraction for color texture analysis," *In Proc. International Workshops on Image Processing Theory, Tools and Applications*, pp. 1–8, 2008.
- [39] R. M. Haralick and K. Shammugam, I. Dinstein, "Texture features for image classification", *IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 3, no. 6, pp. 610–621, 1973.
- [9] T. F. Cootes, G. J. Edwards and C. J. Taylor, "Active appearance models," *In Proc. European Conference on Computer Vision*, vol. 2, pp. 484–498, 1998.
- [10] L. S. Mark, J. B. Pittenger, H. Hines, C. Carello, R. E. Shaw and J. T. Todd, "Wrinkling and head shape as coordinated sources of age level information," *Journal Perception and Psychophysics*, vol. 27, no. 2, pp. 117–124, 1980.
- [11] G. Guo, Y. Fu, C. R. Dyer and T. S. Huang, "Image-based human age estimation by manifold learning and locally adjusted robust regression," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 17, no. 7, pp. 1178–1188, 2008.
- [12] F. Gao and H. Ai, "Face age classification on consumer images with gabor feature and fuzzy LDA method," *3rd International Conference on Advances in Biometrics*, vol. 5558, pp. 132–141, 2009.
- [13] Y. Fu, L. Cao, G. Guo and T. S. Huang, "Multiple feature fusion by subspace learning," *International Conference on Content-Based Image and Retrieval*, pp. 127–134, 2008.
- [14] C. Chen, W. Yang, Y. Wang and K. Ricanek, "Facial feature fusion and model selection for age estimation," *International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition*, pp. 200–205, 2011.
- [15] J. G. Wang, W. Y. Yau and H. L. Wang, "Age categorization via Ecoc with fused gabor and LBP features," *Workshop on Applications of Computer Vision*, pp. 1–6, 2009.
- [16] X. Tan and B. Triggs, "Fusing Gabor and LBP feature sets for kernel-based face recognition," *3rd International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures*, vol. 4778, pp. 235–249, 2007.
- [17] X. Geng, Z. H. Zhou and K. S. Miles, "Automatic age estimation based on facial aging patterns," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 29, no. 12, pp. 2234–2240, 2007.
- [۱۸] حمید صادقی، فضائل آیت‌اللهی، ابوالقاسم اسدالله راعی، «شناسایی حالت چهره با استفاده از نرمالیزاسیون هندسی و تبدیل موجک مختلط Dual-Tree»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۵، شماره ۳، صفحه ۷۹–۸۷، ۱۳۹۴.
- [۱۹] سجاد شفیع‌پور یوردشاهی، میرهادی سیدعربی، علی آقاگل‌زاده، «شناسایی چهره بر اساس ظاهر در رشته‌های ویدئویی»، *مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز*، دوره ۴۵، شماره ۲، صفحه ۷۵–۸۳، ۱۳۹۴.
- [20] W. B. Horng, C. P. Lee and C. W. Chen, "Classification of age groups based on facial features," *Tamkang Journal of Science and Engineering*, vol. 4, no. 3, pp. 183–192, 2001.
- [21] Y. H. Kwon and N. B. Lobo, "Age classification from facial images," *Computer Vision and Image Understanding*, vol. 74, no. 1, pp. 1–21, 1999.
- [22] X. Geng, Z. H. Zhou, Y. Zhang, G. Li and H. Dai, "Learning from facial aging patterns for automatic age estimation," *Proceedings 14th Annual ACM International Conference on Multimedia*, pp. 307–316, 2006.
- [23] Y. Fu and T. S. Huang, "Human age estimation with regression on discriminative aging manifold," *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 10, no. 4, pp. 578–584, 2008.

- estimation," *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 585-592, 2011.
- [43] G. Guo, G. Mu, Y. Fu and T. S. Huang, "Human age estimation using bio-inspired features," *Proc. IEEE Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 112-119, 2009.
- [44] S. E. Choi, Y. J. Lee, S. J. Lee, K. R. Park and J. Kim, "Age estimation using a hierarchical classifier based on global and local facial features," *Pattern Recognition*, vol. 44, no. 6, pp. 1262-1281, 2011.
- [40] I. Matthews and S. Baker, "Active appearance models revisited," *International Journal of Computer Vision*, vol. 60, no. 2, pp. 135-164, 2004.
- [41] N. Dalal and B. Triggs, "Histograms of oriented gradients for human detection," *Proc. IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 886-893, 2005.
- [42] K. Y. Chang, C. S. Chen and Y. P. Hung. "Ordinal hyperplanes ranker with cost sensitivities for age

زیر نویس ها

-
- ¹ Human Computer Interaction (HCI)
² Active Appearance Model (AAM)
³ Histograms of Oriented Gradients (HOG)
⁴ Gabor Wavelet Transform (GWT)
⁵ Local Binary Patterns (LBP)
⁶ Wrapper
⁷ Sequential Floating Forward Selection (SFFS)
⁸ Cumulative Score (CS)
⁹ Mean Absolute Error (MAE)
¹⁰ Principal Component Analysis (PCA)
¹¹ AGing pattErn Subspace (AGES)
¹² Power
¹³ Uniformity
¹⁴ Angular Second Moment
¹⁵ Homogeneity
¹⁶ Contrast
¹⁷ Correlation
¹⁸ Variance
¹⁹ Inverse Difference Moment
²⁰ Sum Average
²¹ Sum Variance
²² K Nearest Neighbor (KNN)