بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه تبریز

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر

گروه مهندسی برق الکترونیک

پایان‌نامه:

برای دریافت درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی الکترونیک

عنوان:

پیاده‌سازی الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی بر روی FPGA برای تشخیص چهره

استاد راهنما:

دکتر حسین بالازاده بهار

استاد مشاور:

دکتر میرهادی سید عربی

پژوهشگر:

امین کشاورزی

آذر ۱۳۹۳

تقدیم با بوسه بر دستان پدرم:

به او که نمی‌دانم از بزرگی‌اش بگویم و یا مردانگی و سخاوتش

و

تقدیم به مادرم:

آنکه آفتاب مهرش در آستانه قلبم، همچنان پابرجاست و هرگز غروب نخواهد کرد

و تقدیم به برادرم:

که همیشه در لحظه لحظه های زندگی در کنارم بوده است

تقدیر و تشکر

بر خود لازم می دانم که مراتب تقدیر و تشکر خود را از استاد محترم راهنما جناب آقای دکتر حسین بالازاده بهار و همچنین استاد محترم مشاور دکتر هادی سید عربی که با تلاش های بی دریغ و نظرات ارزشمندشان اینجانب را در انجام این پایان نامه یاری نمودند، اعلام دارم.

از کلیه اساتید گرامی، گروه مهندسی الکترونیک دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه تبریز که در طول دوره آموزش و تحقیق، اینجانب را از دریای دانش، تجربه و راهنمایی های ارزنده خویش بهره مند ساختند صمیمانه تقدیر و تشکر می نمایم.

از دوستان و هم اتاقی های عزیزم آقایان مرتضی کمالوند، ابراهیم نجاتی و محمد دردی محمودی که هرکدام به سهم خود یاری رسان اینجانب بودند بسیار سپاسگذارم.

اما نهایت تشکر و سپاسگذاری خود را از دوستان عزیزم آقایان حمید خطیب شهیدی، عدنان قادری و مهدی شهابی، اعلام می دارم چراکه همواره بار راهنمایی های راه گشایشان روشنگر مسیر بودند.

امین کشاورزی

آذر ۱۳۹۳

نام خانوادگی دانشجو: کشاورزی **نام:** امین

عنوان پایان‌نامه: پیاده‌سازی الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی بر روی FPGA برای تشخیص چهره

استاد راهنما: دکتر حسین بالازاده بهار

استاد مشاور: دکتر هادی سید عربی

مقطع تحصیلی: کارشناسی‌ارشد **رشته:** مهندسی برق **گرایش:** الکترونیک

دانشگاه: تبریز **دانشکده:** مهندسی برق و کامپیوتر

تاریخ فارغ‌التحصیلی: آبان ۱۳۹۳ **تعداد صفحه:** ۱۰۰

کلید واژه‌ها: تشخیص چهره، ماشین بردار پشتیبانی، آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم، تبدیل موجک گسسته، FPGA

چکیده

شناسایی خودکار چهره، به معنی شناسایی یک فرد به‌صورت خودکار توسط یک ماشین، بر مبنای ویژگی استخراج‌شده از تصاویر چهره آن فرد است. هدف از این پایان‌نامه طراحی یک معماری مناسب برای تشخیص چهره مبتنی بر الگوریتم کلاس‌بندی ماشین بردار پشتیبانی است. در این پایان‌نامه یک الگوریتم جدید همراه با یک معماری مناسب ارائه می شود.

الگوریتم پیشنهادی برای این سیستم، ترکیبی از تجزیه تبدیل موجک گسسته، آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم و ماشین بردار پشتیبانی بنانهاده شده است. در این سیستم ابتدا توسط تجزیه تبدیل موجک گسسته ویژگی‌های یک تصویر خام استخراج می‌شود و سپس توسط آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم به یک زیر فضا با ابعاد پایین نگاشت می‌شود. در مرحله نهایی توسط الگوریتم SVM تصاویر ورودی دسته‌بندی می‌شود. معماری سخت‌افزاری طراحی‌شده مبتنی بر ترکیب نرم‌افزار و سخت‌افزار است، به‌طوری‌که بخش آموزش سیستم توسط نرم‌افزار و بخش شناسایی هویت توسط سخت‌افزاری صورت می‌گیرد. پارامترهای مهم در مرحله آموزش سیستم استخراج می‌شود و سپس درون حافظه سیستم شناسایی (سخت‌افزاری) ذخیره می‌شود که سیستم سخت‌افزاری هویت فرد را با توجه به این پارامترها چهره فرد را شناسایی می‌کند. این الگوریتم با پایگاه داده ORL که شامل ۴۰۰ تصویر است، تست گردیده است. نتیجه آزمایش‌ها نزدیک به ۹۵٪ نرخ تشخیص و همچنین زمان تشخیص تصویر آزمایشی توسط معماری پیشنهادی بین ۱۲ میکروثانیه تا ۲۴ میکروثانیه با فرکانس کلاک ۱۰۰ مگاهرتز طول می‌کشد. این معماری بر روی Altera’s EP3SL50F484C2 پیاده‌سازی شده و قابلیت استفاده برای سیستم‌های بلادرنگ را دارا است.

فهرست مطالب

پیش گفتار ۱

۱ فصل اول: اصول شناسایی چهره ۶

۱-۱ مقدمه ۶

۱-۲ پایه های نظری ۶

۱-۲-۱ استخراج ویژگی ۷

۱-۲-۲ یادگیری زیرفضا ۹

۱-۲-۳ تطابق الگو ۱۰

۱-۳ معیارهای ارزیابی ۱۲

۱-۳-۱ ارزیابی تعیین هویت چهره ۱۲

۱-۳-۲ ارزیابی تأیید هویت چهره ۱۳

۱-۴ نتیجه‌گیری ۱۴

۲ فصل دوم: مروری بر پژوهش های پیشین ۱۷

۲-۱ مقدمه ۱۷

۲-۲ پژوهش های نرم افزاری ۱۷

۲-۳ پژوهش های سخت افزاری ۲۱

۳ فصل سوم: مبانی روش‌های چهره و الگوریتم پیشنهادی ۲۴

۳-۱ مقدمه ۲۴

۳-۲ استخراج ویژگی ۲۴

۳-۲-۱ آنالیز مکان- فرکانس ۲۴

۳-۲-۲ تبدیل موجک گسسته ۲۶

۳-۲-۳ تبدیل موجک سریع ۲۷

۳-۲-۴ تبدیلات تابع موجک در دو بعد ۲۹

۳-۳ روش‌های خطی برای زیرفضا ۳۱

۳-۳-۱ آنالیز مؤلفه‌های اصلی ۳۱

۳-۳-۲ آنالیز تفکیککننده خطی ۳۶

۳-۳-۳ آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم ۴۰

۳-۴ ماشین بردار پشتیبان ۴۴

۳-۴-۱ دادههای آموزشی تفکیک‌پذیر ۴۴

۳-۴-۲ دادههای آموزشی تفکیک‌ناپذیر ۴۸

۳-۴-۳ دسته بندی دادههای غیرخطی ۵۱

۳-۴-۴ دسته‌بندی چند کلاسه ۵۳

۳-۵ نتیجه گیری ۵۵

۴ فصل چهارم: معماری سخت افزاری الگوریتم پیشنهادی ۵۸

۴-۱ مقدمه ۵۸

۴-۲ معماری سخت افزاری ۵۹

۴-۲-۱ معماری تبدیل موجک گسسته ۵۹

۴-۲-۲ معماری آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم ۶۳

۴-۲-۳ معماری کلاس‌بندی ماشین بردار پشتیبانی ۶۷

۴-۳ نتیجه گیری ۷۲

۵ فصل پنجم: آزمایش‌ها و نتایج ۷۴

۵-۱ مقدمه ۷۴

۵-۲ پایگاه داده ۷۴

۵-۳ ارزیابی الگوریتم پیشنهادی در محیط نرم افزار ۷۵

۵-۳-۱ مقایسه ویژگی DLDA مبتنی بر DWT با ویژگی DLDA خام ۷۵

۵-۳-۱ مقایسه DLDAبا سایر روش‌های یادگیری زیرفضای خطی ۷۶

۵-۳-۱ مقایسه انواع تابع هسته در SVM ۷۸

۵-۳-۱ مقایسه فیلترهای DWT با یکدیگر ۷۹

۵-۴ ارزیابی و نتایج معماری سخت افزاری ۷۹

۶ نتیجه‌گیری کلی ۸۶

۷ پیشنهادها ۸۶

۸ منابع ۸۷

فهرست اشکال و جداول

شکل ۱-۱: نمای کلی از عملکرد یک سیستم تشخیص چهره ۷
شکل ۱-۲: مراحل آموزش و آزمایش در سیستم تشخیص چهره ۱۲
شکل ۲-۱: عملکرد سیستم تخیش چهره با روش GABOR-LDA ۱۷
شکل ۳-۱: تجزیه تبدیل موجک گسسته ۲۸
شکل ۳-۲: تجزیه تبدیل موجک گسست در سه مرحله ۲۹
شکل ۳-۳: تجزیه تبدیل موجک گسسته دو بعدی که تصویر را به ۴ زیر باند تجزیه می کند. ۳۰
شکل ۳-۴: تجزیه یک تصویر توسط تبدیل موجک گسسته ۲ بعدی در ۲ مرحله ۳۰
شکل ۳-۵ : لف)- ۱۸ تصویرآموزشی ب)- ۱۰ چهره ویژه انتخاب شده ۳۴
شکل ۳-۶ : بردارهای ویژه استخراج شده از تصاویر چهره در زیرفضای مبتنی بر آنالیز مولفه اصلی ۳۶
شکل ۳-۷: تفاوت یادگیری زیرفضای آنالیز مؤلفه اصلی با آنالیز تفکیک¬کننده خطی ۳۸
شکل ۳-۸ : الف)- ۱۸ تصویر آموزشی ب)- ۵ تصویر چهره فیشر انتخاب شده ۳۹
شکل ۳-۹ : الف)- چند صفحه جداکننده ب)- صفحه جداکننده بهینه[..... ۴۵
شکل ۳-۱۰: ابر صفحه جداکننده ۴۷
شکل ۳-۱۱ : ابر صفحه جداکننده با حاشیه نرم ۴۸
شکل ۳-۱۲: نحوهء عملکرد چندکلاسه به روش [OAA ۵۴
شکل ۳-۱۳: نحوهء عملکرد چندکلاسه به روش OAO ۵۵
شکل ۴-۱: مراحل کلی سیستم تشخیص چهره توسط نرم افزار و سخت‌افزار ۵۹
شکل ۴-۲: معماری فیلتر HAAR ۶۱
شکل ۴-۳: نحوه ورود اجزای تصویر به فیلتر تجزیه تبدیل موجک گسسته ۶۲
شکل ۴-۴: معماری سیستم تبدیل موجک ۶۲
شکل ۴-۵ : ساختار آرایه ای سیستم کاهش ابعاد. ۶۳
شکل ۴-۶ : نمایی از اجزای تشکلیل دهنده واحد بردار ۶۴
شکل ۴-۷ : شکل معماری دوم که به ازای هر جزء از بردار ورودی یک ضرب کننده و جمع کننده لازم است ۶۶
شکل ۴-۸ : : ساختار آرایه ای سیستم ماشین بردار پشتیبان ۶۹
شکل ۴-۹: ساختار کلی مدار بردار عددی که از سه قسمت هسته، ضرایب آلفا و بایاس تشکیل شده است. ۷۰
شکل ۴-۱۰: معماری ماشین بردار پشتیبان چند کلاسه ۷۲
شکل ۵-۱ : چند نمونه از تصاویر پایگاه داده ORL که شامل ۱۰ تصویر با زوایا و حلات مختلف چهره می باشد ۷۵
شکل ۵-۲ : مقایسه ویژگی DLDA مبتنی بر DWT با ویژگی DLDA خام ۷۶
شکل ۵-۳ : مقایسه DLDAبا سایر روش-های یادگیری زیرفضای خطی ۷۷
شکل ۵-۴ : اختلاف تفکیک پذیزی در سه الگوریتم یادگیری زیرفضا الف) PCA ب) LDA ج)DLDA ۷۷
شکل ۵-۵ : مقایسه انواع تابع هسته در SVM ۷۸
شکل ۵-۶ :مقایسه فیلترهای DWT با یکدیگر ۷۹
شکل ۵-۷: مراحل انجام تبدیل موجک بر بروی تصویر ورودی ۸۳
شکل ۵-۸ : مراحل پردازش کاهش ابعاد برروی بردار ویژگی ۸۳
شکل ۵-۹: نتایج پردازش کلاس بندی بر روی تصویر ورودی ۸۴

جدول ۵-۱: نتیجه شبیه سازی سیستم تشخیص چهره بر روی FPGA ۸۰
جدول ۵-۲: نتیجه زمان تشخیص سیست در ابعاد مختلف تصویر..... ۸۱
جدول ۵-۳: نتیجه مقایسه معماری پیشنهادی با دیگر کارهای گذشته..... ۸۴

پیش گفتار

یکی از مسائل مهم در پردازش تصویر[۱] و بینایی ماشین[۲]، تشخیص چهره[۳] است. شناسایی چهره عبارت است از شناسایی خودکار یک فرد که توسط کامپیوتر یا دوربین‌های امنیتی، بر مبنای استخراج ویژگی‌های چهره، انجام می‌گیرد. ازآنجایی‌که چهره انسان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های بیومتریک[۴] می‌تواند برای شناسایی هویت یک فرد مورداستفاده قرار بگیرد، به همین دلیل انجام پژوهش در زمینهء سیستم‌های تشخیص چهره بر پایه بررسی مسائل و روش‌های علمی امری لازم و ضروری است. در چند سال اخیر برای شناسایی و تأیید افراد روش‌های متعددی مورداستفاده قرارگرفته است. در بیومتریک برای شناسایی افراد می‌توان از روش‌هایی چون پسورد، توکن، کارت هوشمند و غیره استفاده کرد. همچنین می‌توان از مشخصات رفتاری افراد که به‌عنوان یک خصوصیت فردی تعیین می‌شود، درروش‌های بیومتریک استفاده کرد. مشکل روش‌هایی چون پسورد، توکن و کارت هوشمند این است که احتمال دارد توسط افراد ناشناس دزدیده شوند، یا اینکه کاربر آن‌ها را فراموش کند. در تکنیک بیومتریک بر اساس مشخصه فیزیولوژی می‌توان از روش‌هایی چون تشخیص چهره، اثرانگشت[۵]، هندسی انگشت و دست[۶]، عنبیه چشم[۷]، صدا و همچنین مشخصه رفتاری چون قدم برداشتن و امضاء[۸] کردن نام برد. مزیت تشخیص چهره نسبت به دیگر روش‌ها این است که در تمام روش‌های قبل برای شناسایی افراد باید کاربر به‌صورت اختیاری برای تأیید هویت حضور داشته باشد. ولی در سیستم تشخیص چهره برای شناسایی افراد می‌توان بدون حضور اختیاری فرد، انجام گیرد. همین امر باعث می‌شود که سیستم تشخیص چهره در بسیاری از مکان‌های امنیتی و بازرسی کاربرد داشته باشد.

سیستم‌های تشخیص چهره را می‌توان به دو گروه سیستم تأیید هویت چهره[۹] و سیستم تعیین هویت چهره [۱۰]تقسیم کرد. در سیستم تأیید هویت چهره، سیستم بعد از ادعای هویت ارائه‌شده تصویر ورودی را با تصویر ذخیره‌شده در سیستم چک کرده و درصورتی‌که شباهت‌های لازم بین هر دو تصویر وجود داشته باشد سیستم فرد مورد نظر را تأیید می‌کند. ولی در سیستم تعیین هویت چهره زمانی که سیستم

---

[۱] Image processing
[۲] Machine vision
[۳] Face recognition
[۴] Biometric
[۵] fingerprint
[۶] Finger and hand geometric
[۷] Iris
[۸] signature
[۹] Face Authentication
[۱۰] Face Identification

تصویر چهره فرد مورد نظر را دریافت کرد، آن را با مجموعه تصاویر ذخیره‌شده در سیستم مقایسه می‌کند و سپس با تصویری که بیشترین شباهت را داشته باشد به‌عنوان فرد شناسایی‌شده اعلام می‌کند.

سیستم تشخیص چهره در موارد چون مسائل امنیت (مانند کنترل ساختمان‌ها، فرودگاه و کامپیوترهای شبکه امنیتی)، بررسی و بازرسی کردن (قاچاقچیان مواد، ....)، تشخیص هویت عمومی (ثبت‌نام بانکداری الکترونیکی و پاسپورت)، بازی‌های کامپیوتری و غیره کاربرد زیادی دارد.

عوامل بسیار زیادی در تغییرات وسیع در تصاویر چهره نقش دارند. که ازجمله این عوامل را می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- ✓ شرایط روشنایی[۱] مختلف در هنگام تصویربرداری از چهره افراد
- ✓ زوایای دید[۲] متفاوت دوربین نسبت به افراد
- ✓ تغییرات گسترده در حالت چهره[۳] (حالات مختلف همچون خنده، گریه، خشم، تعجب)
- ✓ افزایش سن افراد
- ✓ وجود پوشیدگی مختلف در چهره افراد

هر سیستم شناسایی الگو، ازجمله تشخیص چهره، از دو بخش اساسی، استخراج ویژگی[۴] و دسته‌بندی[۵] (تطابق الگو[۶]) تشکیل شده است. نتایج شناسایی چهره به‌شدت به بخش اول یعنی استخراج ویژگی وابسته است. وظیفه سیستم استخراج ویژگی، استخراج اطلاعات کاربردی از تصاویر چهره است که خروجی این مرحله از سیستم تشخیص چهره می‌تواند به‌صورت یک ماتریس یا یک بردار ویژگی نمایش داده شود. با توجه به اینکه بعد از استخراج ویژگی ممکن است بردار ویژگی دارای ابعاد بسیار بالایی باشد، می‌توانیم توسط الگوریتم‌های یادگیری زیرفضا[۷] بردار ویژگی[۸] را به یک ابعاد پایین‌تر نگاشت کنیم. مرحله نهایی بردارهای ویژگی آزمایشی را با بردارهای ویژگی آموزشی مقایسه کند. که این وظیفه به عهده الگوریتم‌های کلاس‌بندی کننده[۹] است. یکی از الگوریتم‌های دسته‌بندی کننده که هم به لحاظ نظری جالب‌توجه است و هم در عمل نتایج قابل قبولی از آن مشاهده گردیده، دسته‌بندی ماشین بردار

---

[۱] illumination conditions
[۲] viewpoints
[۳] facial expressions
[۴] Feature Extraction
[۵] classification
[۶] pattern matching
[۷] Subspace learning
[۸] Feature vector
[۹] classifier

پشتیبان[1]، است. ماشین بردار پشتیبان برای اولین بار در سال ۱۹۹۵ میلادی توسط وپنیک[۳] پیشنهاد شد. با توجه به جالب بودن ایدهء نظری SVM، پس از معرفی آن در کاربردهای مختلف شناسایی الگو مورداستفاده قرار گرفت و نتایج قابل قبولی به دست آمد.

در بسیاری از موارد سیستم تشخیص چهره توسط دستگاه‌های چون دوربین‌های امنیتی به‌صورت خودکار صورت می‌گیرد. این دوربین در مکان‌هایی چون فرودگاه‌ها و مکان‌های امنیتی و نظامی کاربرد دارد. در سیستم‌های تشخیص چهره مانند دوربین‌های امنیتی خودکار برای شناسایی و ساماندهی به چهره لازم است که تصاویر و ویدیو ورودی، نرخی نزدیک به ۳۰ فریم در ثانیه داشته باشد. اما پروسه تشخیص، شامل مقایسه تصویر دریافتی با تصویرهای ثبت‌شده است، به‌اندازه داده‌های ثبت‌شده وابستگی دارد که ممکن شامل هزاران نفر در کاربردهای امنیتی مانند فرودگاه‌ها باشد. ازآنجایی‌که پردازش تشخیص چهره محاسبات فراوانی دارد سخت‌افزاری آن‌یک مسئله بسیار مهم است. در این کار تحقیقاتی، یک معماری سخت‌افزاری بر پایه SVM برای تشخیص چهره ارائه می‌شود. که الگوریتم پیشنهادی برای سیستم سخت‌افزاری تشخیص چهره با استفاده از استخراج ویژگی آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم مبتنی بر تجزیه تبدیل موجک گسسته[2] و دسته‌بندی‌کنندهء ماشین بردار پشتیبان است. ساختار این پایان‌نامه، ازنظر فصل‌بندی و محتوا فصل به‌صورت زیر است.

در فصل اول اصول مربوط به سیستم تشخیص چهره بیان می‌شود. مطالب این فصل به بررسی پایه نظری سیستم‌های تشخیص چهره می‌پردازد. همچنین در این فصل، معیارهای رایج مورداستفاده برای ارزیابی سیستم شناسایی چهره معرفی می‌شود.

در فصل دوم مروری بر پژوهش‌های که در سال‌های اخیر در زمینهء سیستم تشخیص چهره انجام‌شده است، داریم. در این فصل خلاصه‌ای از این پژوهش‌ها و همچنین نحوه عملکرد آن‌ها را بیان می‌کنیم.

در فصل سوم اصول و نحوهء عملکرد مهم‌ترین روش‌های استخراج ویژگی، یادگیری زیرفضا و تطابق الگو را بیان می‌کنیم. در این فصل ابتدا به استخراج ویژگی توسط تجزیه موجک گسسته می‌پردازیم و سپس دو الگوریتم بسیار مهم در یادگیری زیرفضا را به‌طور کامل شرح می‌دهیم. سپس در پایان این فصل الگوریتم یادگیری زیرفضا آنالیز تفکیک‌کننده خطی مستقیم و همچنین الگوریتم ماشین بردار پشتیبان که یکی مهم‌ترین الگوریتم‌های تطابق الگو است را مفصل بیان می‌کنیم.

---

[1] Support vector machine

[2] Discrete wavelet transfer decomposition

در فصل چهارم معماری الگوریتم پیشنهادی سیستم تشخیص چهره در بخش آزمایش را مطرح می‌کنیم. در این ابتدا نحوی عملکرد تجزیه تبدیل موجک گسسته سپس معماری یادگیری زیر فضا و درنهایت معماری بخش کلاس‌بندی الگوریتم ماشین بردار پشتیبانی را توضیح می‌دهیم.

در فصل پنجم نتایج آزمایش‌ها در بخش نرم‌افزاری و سپس بخش سخت‌افزاری را نشان می‌دهیم و الگوریتم پیشنهادی را با دیگر الگوریتم مقایسه می‌کنیم و نتیجه عملیات یک تصویر ورودی به سیستم تشخیص چهره در بخش سخت‌افزاری را نشان داده‌ایم.

فصل اول:

اصول شناسایی چهره

۱ فصل اول: اصول شناسایی چهره

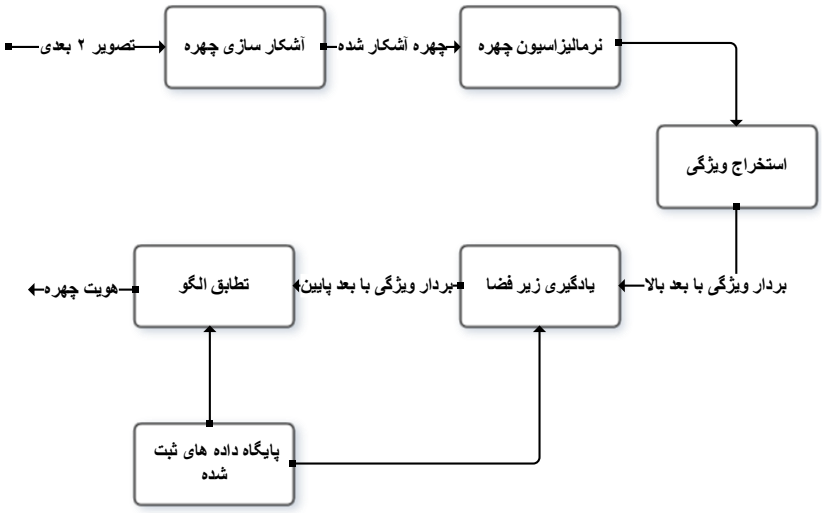
۱-۱ مقدمه

هدف از این فصل معرفی کامل یک سیستم شناسایی چهره است. بدین منظور که خواننده در پیگیری مطالب مطرح‌شده در فصل‌های بعدی با ابهامی مواجه نشود. به‌عبارت‌دیگر، این فصل اصول و پایه‌های نظری تشخیص چهره در بردارد. هم‌چنین، در این فصل، معیار ارزیابی سیستم‌های شناسایی چهره شرح داده می‌شود.

۱-۲ پایه‌های نظری

تشخیص چهره عبارت است از: تشخیص هویت یک فرد را از روی چهره موجود در تصاویر آن فرد توسط یک ماشین یا کامپیوتر. به‌طورکلی یک سیستم تشخیص چهره مطابق شکل (۱-۱) از ۵ بخش تشکیل می‌شود که عبارت‌اند از: آشکارسازی چهره، نرمالیزاسیون چهره[۱]، استخراج ویژگی، یادگیری زیرفضا و تطابق الگو. سیستم آشکارسازی چهره، نواحی مربوط به چهره را از پس زمینهء تصویر مورد نظر جداسازی می‌کند. ازآنجایی‌که آشکارسازی چهره فقط یک سری تخمین‌های کلی از مکان و مقیاس اجزای چهره آشکارشده (نظیر بینی، چشم‌ها، دهان و پیرامون چهره) ارائه می‌دهد، پس‌ازاین مرحله نرمالیزاسیون چهره انجام می‌گیرد تا این مکان‌یابی را دقیق‌تر و جزئی‌تر کند. تصویر چهره ورودی ابتدا نسبت به خصوصیات هندسی با تبدیلات هندسی نرمالیزه می‌شود و سپس نسبت به خصوصیات نورسنجی نرمالیزه می‌شود. البته مراحل آشکارسازی و نرمالیزاسیون چهره، مراحل پیش‌پردازش تصویر مربوط به قبل از تشخیص چهره هستند. بنابراین در اکثر پژوهش‌ها مربوط به تشخیص چهره یک چهره آشکارشده و نرمالیزه شده فرض می‌شود و تحقیقات در زمینهء سه بخش دیگر یعنی استخراج ویژگی، یادگیری زیرفضا و تطابق الگو متمرکز می‌شود[۲].

[۱] Face normalization



شکل ۱-۱: نمای کلی از عملکرد یک سیستم تشخیص چهره [۲]

۱-۲-۱ استخراج ویژگی

همان‌طور که قبلاً گفته شد یکی از مراحل مهم در تشخیص چهره استخراج ویژگی است. استخراج ویژگی را می‌توان به ۲ گروه اصلی تقسیم کرد:

- ✓ روش جزءنگری[۱]
- ✓ روش کلی‌نگری[۲]

درروش جزئی‌نگری ابتدا تصاویر را شناسایی و سپس مشخصات اجزا صورت[۳]، که شامل چشم، دهان، بینی و غیره می‌شود، را استخراج می‌کند. در این روش، ابتدا نسبت بین اجزای صورت (فاصله، زاویه و غیره) محاسبه می‌شود و سپس توسط یک بردار ویژگی، مشخصات استخراج‌شده را نشان می‌دهد.

در این تکنیک مشخصات در ابعاد بسیار پایین‌تر از ابعاد تصویر ارائه می‌شود که این امر باعث افزایش سرعت سیستم می‌شود. در سیستم‌های تشخیص چهره ابتدایی از این روش استفاده می‌گردید. در[۴]، کاناده از یک تکنیک پردازش تصویر برای استخراج ۱۶ پارامتر اجزای صورت، مانند نرخ فاصله ناحیه، زاویه و همچنین از یک اندازه‌گیری فاصله هندسی [۴]ساده برای تطبیق آن‌ها استفاده کرده است. این

[۱] Analytic methods
[۲] Holistic methods
[۳] Component face
[۴] Geometric distance

روش برای بیست فرد مختلف با ۲ تصویر از هر فرد، یک تصویر برای آموزش و تصویر دیگر برای آزمایش، استفاده‌شده است.

مزیت اصلی تکنیک جزءنگری این است که نسبت به تغییرات سایز، زاویه و روشنایی مقاوم است و ازجمله ویژگی مثبت دیگر این روش، این است که بردار ویژگی استخراج‌شده در یک زیرفضای پایین است که همان‌طور که گفته شد، باعث افزایش سرعت سیستم می‌شود[۵, ۶].

یکی از مهم‌ترین مشکلات این تکنیک، طراحی سیستمی است که بتواند به‌طور خودکار ویژگی‌ها را شناسایی کرده و آن‌ها استخراج کند، همچنین قابلیت تشخیص اولویت‌بندی ویژگی را از یکدیگر داشته باشد[۷]. البته باید گفت که محاسبه روابط هندسی[۱] بین اجزای صورت در این روش به‌اندازه کافی قابل اطمینان نیست. همین عوامل باعث می‌شود که کار آیی این تکنیک در سیستم تشخیص چهره کاهش پیدا کند[۵].از دیگر معایب این روش این است که از خصوصیات هندسی به تنهایی برای شناسایی چهره استفاده می‌شود، در واقع در این روش اطلاعات مفید موجود در بافت چهره[۲] دور ریخته می‌شود که این مورد نیز کاهش دقت سیستم شناسایی چهره را به دنبال دارد[۸] [۲].

به دلایلی که در فوق ذکر شد در سیستم‌های امروزی کمتر از این روش استفاده می‌شود، به همین دلیل در این گزارش عملکرد بر اساس روش‌های مبتنی بر کل چهره است. در این تکنیک کل تصویر به‌عنوان یک الگو شناخته می‌شود. ساده‌ترین روش استخراج مبتنی بر کل چهره این است که مستقیماً از آرایه شدت روشنایی پیکسل[۳] تصاویر خام[۴] چهره استفاده شود. تصاویر چهره در شکل دیجیتال معمولاً به‌صورت آرایه‌های دوبعدی توصیف می‌گردند. هر عنصر مجزای آرایه اصطلاحاً پیکسل خوانده می‌شود که دارای یک مقدار مشخص است. برای بردار ویژگی از یک تصویر چهره با استفاده از این روش کافی است که ستون آرایه دوبعدی آن تصویر را به هم متصل نمود تا فقط بردار ویژگی حاصل شود. فرض کنید یک تصویر دارای ابعاد ۹۲×۱۱۲ باشد. بعد از استخراج ویژگی تصویر ورودی از این روش، بردار ویژگی حاصله ابعادی برابر با ۱×۱۰۳۰۴ داراست. مشکل اساسی این روش این است که نسبت به محدودیت‌های تصویر (روشنایی، زاویه دید، اندازه و نویز) بسیار حساس است و بر روی نتیجه تأثیر بسزایی دارد و هم‌چنین در این روش بردار ویژگی دارای ابعاد بسیار بالایی است که این مشکل باعث کاهش سرعت و دقت سیستم می‌شود. به‌منظور مقاوم‌سازی سیستم نسبت به محدودیت‌های تصویر،

---

[۱] Geometric relationships

[۲] Facial texture

[۳] Pixel intensity

[۴] Raw images

برای استخراج ویژگی‌های محلی[۱] در تصاویر، می‌توان از روش آنالیز مکان- فرکانس[۲] استفاده کرد. تبدیل موجک[۳] به دلیل خاصیت مفیدی که در حوزه مکان- فرکانس دارد، برای این هدف مناسب است [۸].

همان‌طور که قبلاً گفته شد یکی مشکلات روش کل‌نگری ابعاد بسیار بالا بردار ویژگی آن است که این مشکل باعث پایین آمدن کار آیی سیستم می‌شود. برای رفع این مشکل باید بردار ویژگی دارای ابعاد بسیار بالا به یک زیرفضای پایین‌تر نگاشت شود. همانند اکثر سیگنال‌های طبیعی، تصاویر چهره حاوی قاعده‌مندی‌ها یا به‌عبارت‌دیگر دارای افزونگی آماری[۴] مهمی است. برای کاهش ابعاد بردار ویژگی کافیست افزونگی آماری را حذف شود. البته باید به‌گونه‌ای باشد که هم بردار ویژگی را کاهش دهد و هم توزیع آن را از زیرفضای مربوط ساده‌تر و قابل تفکیک‌تر نماید [۲]. با این عمل، پیچیدگی در محاسبات به‌شدت کاهش می‌یابد و هم‌چنین عملکرد سیستم بهتر و با سرعت بیشتری پردازش را انجام می‌دهد. هم‌چنین با این کار مرحله دسته‌بندی کار آیی بهتری از خود نشان می‌دهد.

۱-۲-۲ یادگیری زیرفضا

هدف ما از یادگیری زیرفضا این است که بردارهای ویژگی از فضای ورودی با ابعاد بالا به یک زیرفضا با بعد پایین نگاشت شوند، به‌طوری‌که ویژگی‌ها باید به‌گونه‌ای انتخاب شوند که بیشترین اطلاعات تفکیک‌پذیری[۵] را در خود داشته باشند.

روش‌هایی مختلفی برای نگاشت داده‌ها از یک زیرفضا بالا به یک زیرفضا با بعد پایین وجود دارد. یکی از روش‌هایی که بسیار کاربردی است، روش آنالیز مؤلفه‌های اصلی[۶] است. در بسیاری از سیستم‌های تشخیص چهره از این روش استفاده‌شده است. روش معروف چهره‌های ویژه[۷] از این الگوریتم استفاده کرده است [۹]. در این الگوریتم، چهره‌های ویژه در اصل همان بردار ویژه است که آنالیز مؤلفه‌های اصلی از یک سری از تصاویر چهره آموزشی به دست می‌آورد. پس‌ازاینکه چهره‌های ویژه مشخص شدند، هر تصویر چهره دلخواه را می‌توان به‌صورت ترکیب خطی از این چهره ویژه بسط داد. درنهایت توسط بردارهای ویژه استخراج‌شده داده‌های ورودی به یک زیرفضای با ابعاد پایین‌تر نگاشت می‌کند.

---

[۱] Local feature
[۲] Spatial-frequency analysis
[۳] Wavelet transform
[۴] Statistical redundancies
[۵] Discriminating information
[۶] Principal component analysis (PCA)
[۷] Eigenfaces

PCA یک روش بسیار مناسب برای کاهش ابعاد داده‌های ورودی است. اما این روش برای داده‌های ورودی درصورتی‌که مربوط به کلاس‌های مختلف باشند، روش مناسبی نیست. زیرا این روش یک روش نظارت‌نشده[۱] است که همین مسئله باعث می‌شود که PCA توجه‌ای به کلاس داده‌های ورودی نداشته باشد. این ایراد باعث پایین آمدن کار آیی سیستم تشخیص چهره می‌شود. در این روش اهمیت ندارد که هر تصویر متعلق به کدام کلاس است، همین امر باعث می‌شود که پراکندگی درون‌کلاسی[۲] و پراکندگی بین‌کلاسی[۳] هر دو با هم افزایش یابد.

روش دیگری به نام آنالیز تفکیک‌کننده خطی[۴] که یک روش نظارت‌شده[۵] است، وجود دارد. به دلیل اینکه در این روش برچسب کلاس داده‌های ورودی آموزشی اهمیت دارد، باعث بهبود عملکرد کار آیی سیستم تشخیص الگو می‌شود. زیرا در این روش علاوه بر کاهش ابعاد بردار ویژگی، باعث افزایش تفکیک‌پذیری داده‌های مربوط به کلاس‌های مختلف در زیرفضای مربوطه می‌شود. البته آنالیز تفکیک‌کننده خطی دارای یک ایراد بزرگ به نام مسئله اندازه نمونه کوچک[۶] است. این ایراد به دلیل وجود مقادیر ویژه صفر در ماتریس پراکندگی درون کلاسی[۷] داده‌های ورودی است که این امر باعث می‌شود دترمینان ماتریس پراکندگی درون‌کلاسی قابل‌محاسبه نباشد. البته در صورتی مقادیر ویژه صفر وجود نداشته باشد این روش قابل‌محاسبه است ولی در تشخیص چهره به دلیل اینکه تعداد تصاویر آموزشی ممکن است کمتر از ابعاد آن‌ها باشد احتمال وجود مقادیر ویژه غالباً صفر زیاد هستند. برای حل این مشکل، در[۱۰] الگوریتم آنالیز مؤلفه‌های اصلی را با آنالیز تفکیک‌کننده خطی ترکیب می‌کند و پس‌ازاین روش برای تشخیص چهره استفاده می‌کند. این روش به روش چهره‌های فیشر[۸] معروف است. در فصل آینده به‌طور مفصل در مورد این دو روش صحبت می‌کنیم.

۱-۲-۳ تطابق الگو

در سیستم تشخیص چهره بعد از استخراج ویژگی و کاهش ابعاد مرحله دسته‌بندی صورت می‌گیرد. این مرحله تعیین می‌کند که تصویر متعلق به کدام فرد است. مرحله دسته‌بندی دارای ۲ فاز مختلف است که هرکدام وظایف خاص خود را دارند.

---

[۱] Unsupervised
[۲] Within-class scatter
[۳] Between-class scatter
[۴] Linear discriminant analysis (LDA)
[۵] Supervised
[۶] Small sample size (SSS).
[۷] Within-class scatter matrix
[۸] Fisherfaces

۱. فاز آموزش[۱]
۲. فاز آزمایش[۲]

در فاز آموزش که همان فاز ثبت‌نام اشخاص است، بردار ویژگی استخراج‌شده از تصاویر چهره افراد توسط دسته‌بندی مورد پردازش قرار می‌گیرد تا اطلاعات خاص (مدل مرجع) تولید شود و در فاز آزمایش سیستم بردار ویژگی تصاویر آزمایش را استخراج می‌کند و سپس آن را با مدل‌های که در فاز آموزش تولیدشده است مقایسه می‌کند و تصویری که بیشترین شباهت را به هر فرد داشته باشد سیستم به‌عنوان هویت شناخته‌شده اعلام می‌کند. شکل (۱-۲) مراحل عملکرد فاز آموزش و آزمایش را نشان می‌دهد.

در مسئله دسته‌بندی روش‌های متعددی وجود دارد. سیستم دسته‌بندی در الگوریتم چهره‌های ویژه [۸]، که یکی از ساده‌ترین روش‌های موجود است، که با به دست آوردن بردار ویژگی یک تصویر آن را به یک زیرفضای پایین نگاشت می‌کند. سپس اختلاف بین بردار ویژگی را بردار ویژگی هر کلاس مقایسه می‌کند، درصورتی‌که کمترین فاصله را نسبت به هر کلاس داشته باشد چهره مورد آزمایش متعلق به همان کلاس است. این روش ساده‌ای است ولی متأسفانه دارای عملکرد ضعیفی است.

روش دیگری، به نام دسته‌بندی ماشین بردار پشتیبانی، وجود دراد که عملکرد بهتری نسبت به بقیه روش‌ها از خود نشان می‌دهد[۱]. ماشین بردار پشتیبانی یک دسته‌بندی نسبتاً پیشرفته است که در اصل برای حل مسائل دسته‌بندی کنندهء دو کلاسه (باینری) پیشنهاد گردیده است. هدف ماشین بردار پشتیبان یافتن یک ابرصفحه تفکیک‌کننده بهینه بین دو کلاس موجود در مسئله دسته‌بندی است. این ابر صفحه باید به‌گونه‌ای باشد که در بین بردار ویژگی آموزشی دو کلاس قرار بگیرد و هم‌چنین حاشیه[۳] آن بیشینه باشد. در تشخیص چهره از این روش به‌عنوان روش دسته‌بندی استفاده می‌شود .

[۱] Train phase
[۲] Test phase
[۳] Margin