دانشگاه تربیت مدرس
دانشکده برق و کامپیوتر

پایان‌نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
رشته مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار

ارائه‌ی روشی برای پویانمایی چهره با استفاده از بردارهای ویژگی

نگارنده
هدی باهنر

استاد راهنما
دکتر نصرالله مقدم چرکری

استاد مشاور
دکتر سعید جلیلی

زمستان ۸۸

بسم الله الرحمن الرحیم

تقدیم به
چاره‌گر چهره‌آفرین

و تمامی کسانی که چهره‌ساز جهان من بوده‌اند.

با سپاس فراوان به پیشگاه خداوند متعال و بوسه بر دستان پدر و مادرم

و با تشکر و قدردانی از استاد گرامی جناب آقای دکتر نصرالله مقدم چرکری که در تمامی مراحل این پایان نامه با شکیبایی یاری رسانم بودند.

و نیز سپاسگزارم از زحمات جناب آقای دکتر سعید جلیلی و راهنمایی های ارزشمند جناب آقای دکتر محرم منصوری زاده

چکیده

پویانمایی چهره یکی از موضوعات جالب توجه و مورد علاقه‌ی پژوهشگران است که کاربردهای متنوعی در ساخت واسطهای تعاملی، ارتباطات از راه دور، پزشکی و ... دارد. پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی یکی از روش‌های موجود در رویکرد مبتنی بر نمایش می‌باشد که در آن با استفاده از آنالیز چهره‌ی یک بازیگر، پارامترهای کنترل در قالب بردارهای ویژگی به طور خودکار استخراج شده، بر روی چهره اعمال می‌گردند. رویکرد دیگر پویانمایی چهره، قاب‌بندی کلیدی است که دنباله‌ای نرم از تغییرات چهره از یک حالت به حالت دیگر را با استفاده از درون‌یابی بین قاب‌های کلیدی تولید می‌کند. هدف از انجام این پژوهش، ترکیب روش قاب‌بندی کلیدی با روش استفاده از بردارهای ویژگی به منظور کاهش حجم اطلاعات مورد نیاز جهت پویانمایی است. تأثیر این کاهش حجم را می‌توان در کاربردهایی از قبیل کنفرانس ویدئویی و تلفن همراه تصویری جستجو نمود. به منظور نیل به این هدف، چارچوبی شامل دو فاز آنالیز و سنتز ارائه گردیده است. در فاز آنالیز روش احراز شایستگی به منظور انتخاب محتمل‌ترین کاندیدا از میان کاندیداهای محور تقارن چهره پیشنهاد گردیده است. همچنین روش نگاشت مبتنی بر ناحیه‌ی الگوی تغییر شکل پذیر که با ناحیه‌بندی چهره و کاهش تعداد تکرارها برای رسیدن به انرژی بهینه، موجب کاهش زمان اجرا و افزایش دقت روش نگاشت الگوی تغییر شکل پذیر می‌گردد، ارائه شده است. در فاز سنتز نیز روشی ساده به منظور اعمال بردار ویژگی بر روی چهره با استفاده از انطباق بر روی یک مدل تور عمومی و نگاشت بافت استخراج شده از قاب اول بر روی تصاویر دیگر قاب‌ها پیشنهاد گردیده است. با استفاده از این روش، برای بازسازی دنباله‌ی ورودی تنها اطلاعات مورد نیاز، تصویر قاب اول و بردارهای ویژگی قاب‌های دیگر دنباله است. به منظور ترکیب روش ارائه شده با روش قاب‌بندی کلیدی، روشی به منظور انتخاب قاب کلیدی بعدی از میان تعدادی قاب پیش‌نگر با استفاده از بیشینه‌ی جابجایی نقاط ویژگی در انتهای فاز آنالیز تبیین شده است. در نهایت نیز با استفاده از درون‌یابی خطی بین مقادیر بردارهای ویژگی قاب‌های کلیدی در انتهای فاز سنتز، به هدف مورد نظر در این پژوهش جامه‌ی عمل پوشانده‌ایم. نتایج به دست آمده از اجرای روش پیشنهادی بر روی پایگاه تصاویر احساسی و گفتاری TMU-EMODB نشان‌دهنده‌ی دقت ۹۹٪ در استخراج نواحی چهره و ۸۸٪ در استخراج اجزای آن در آنالیز چهره و شباهت قابل قبول تصاویر بازسازی شده با استفاده از روش سنتز ارائه شده به تصاویر ورودی و نیز شباهت تصاویر سنتزشده‌ی با درون‌یابی به تصاویر سنتزشده‌ی بدون درون‌یابی است. روش سنتز نهایی، حجم اطلاعات ارسالی را تا میزان ۳۰٪ کاهش می‌دهد، در حالی‌که تصاویر سنتز شده به وسیله‌ی آن نسبت به تصاویر ورودی، خطای میانگین مربعات ۴.۹۵ و تفاوت همبستگی ۰.۰۰۰۶۲۹ داشته اند که نسبت به خطای روش بدون درون‌یابی قابل چشم‌پوشی است.

واژه‌های کلیدی: پویانمایی چهره، پویانمایی چهره مبتنی بر نمایش، پویانمایی چهره با استفاده از بردارهای ویژگی، قاب‌بندی کلیدی، نگاشت الگوی تغییر شکل پذیر، استخراج محور تقارن

فهرست مطالب

فصل ۱: مقدمه ۱

۱-۱- پیشگفتار ۲

۱-۲- پویانمایی چهره ۲

۱-۲-۱- اشکال ظاهری چهره ۳

۱-۲-۲- کاربردهای پویانمایی چهره ۵

۱-۳- پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی ۶

۱-۴- ضرورت تحقیق ۶

۱-۵- راهکار پیشنهادی ۷

۱-۶- جمع بندی و ساختار مطالب ۸

فصل ۲: مروری بر تحقیقات صورت گرفته در پویانمایی چهره ۹

۲-۱- پیشگفتار ۱۰

۲-۲- مراحل کلی روند پویانمایی چهره ۱۰

۲-۲-۱- استخراج داده‌های سه بعدی ۱۱

۲-۲-۲- مدلسازی چهره ۱۳

۲-۲-۳- مدلسازی چین و چروک ۱۳

۲-۲-۴- شخصی سازی مدل چهره ۱۴

۲-۲-۵- کنترل چهره ۱۵

۲-۲-۶-Rendering ۱۵

۲-۳- رویکردهای پویانمایی چهره ۱۵

۲-۳-۱- پارامتری سازی ۱۶

۲-۳-۲- ماهیچه‌ای (مبتنی بر فیزیک) ۱۶

۲-۳-۳- شبه ماهیچه‌ای (مبتنی بر دگردیسی) ۱۷

۲-۳-۴- قاب بندی کلیدی(درون‌یابی) ۱۷

۲-۳-۵- مبتنی بر نمایش - کاربرد آنالیز در کنترل ۲۲

۲-۴- نتیجه‌گیری ۲۴

فصل ۳: مروری بر تحقیقات صورت گرفته در مراحل پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی۲۶

۳-۱- پیشگفتار ۲۷

۳-۲- کنفرانس ویدئویی ۲۷

۳-۳- راهکار پیشنهادی ۲۹

۳-۴- مراحل کلی فرآیند ۲۹

۳-۵- روش های موجود ۳۲

۳-۵-۱- روش های موجود در مرحله‌ی آشکارسازی چهره ۳۲
۳-۵-۲- روش های موجود در مرحله‌ی استخراج اجزای چهره ۳۷
۳-۵-۳- روش‌های موجود در مرحله‌ی انطباق عمومی ۴۱
۳-۵-۴- روش‌های موجود در مرحله‌ی انطباق محلی ۴۳
۳-۵-۵- روش‌های موجود در مرحله‌ی درون‌یابی ۴۵
۳-۶- نتیجه گیری ۴۵

فصل ۴: روش پیشنهادی ۴۷
۴-۱- پیشگفتار ۴۸
۴-۲- فاز اول: فاز آنالیز ۴۹
۴-۲-۱- مرحله‌ی اول: آشکارسازی چهره ۴۹
۴-۲-۲- مرحله‌ی دوم: تعیین مکان اجزای چهره ۵۲
۴-۲-۳- مرحله‌ی سوم: استخراج ویژگی ۵۸
۴-۲-۴- مرحله‌ی چهارم: انتخاب قاب‌های کلیدی ۶۳
۴-۳- فاز دوم: فاز سنتز ۶۵
۴-۳-۱- استخراج هندسه‌ی چهره ۶۷
۴-۳-۲- استخراج بافت چهره ۷۱
۴-۳-۳- درون‌یابی ۷۲
۴-۴- نتیجه‌گیری ۷۳

فصل ۵: ارزیابی روش پیشنهادی ۷۴
۵-۱- پیشگفتار ۷۵
۵-۲- پایگاه تصاویر ۷۵
۵-۳- ارزیابی روش نگاشت بیضی در آشکارسازی چهره ۷۵
۵-۴- ارزیابی روش پیشنهادی آنالیز چهره ۷۸
۵-۵- ارزیابی روش پیشنهادی سنتز چهره ۸۰
۵-۵-۱- ارزیابی بصری روش پیشنهادی ۸۰
۵-۵-۲- معرفی معیارهای سنجش ۸۳
۵-۵-۳- ارزیابی پارامتریک روش‌های پیشنهادی ۸۳
۵-۶- نتیجه‌گیری ۹۰

فصل ۶: نتیجه‌گیری ۹۰
۶-۱- جمع‌بندی ۹۲
۶-۲- ویژگی‌های روش پیشنهادی ۹۳
۶-۳- پیشنهادات ۹۴

مراجع..... ۹۶

واژه‌نامه‌ی انگلیسی به فارسی.....۱۰۵

واژه‌نامه‌ی فارسی به انگلیسی.....۱۱۱

فهرست جداول

جدول ۲-۱: مقایسه‌ی ویژگی‌های رویکردهای مختلف پویانمایی چهره..... ۲۵
جدول ۳-۱: توابع پایه‌ی شعاعی..... ۴۵
جدول ۵-۱: نتایج ارزیابی دقت مراحل مختلف روش آنالیز چهره‌ی پیشنهاد شده در این پژوهش..... ۷۹
جدول ۵-۲: معیارهای سنجش و روابط آن‌ها P – نشان‌دهنده‌ی ماتریس هم‌وقوعی، μ میانگین و σ واریانس و N و M طول و عرض تصاویر ورودی و خروجی هستند..... ۸۴
جدول ۵-۳: میزان تنزل کیفیت روش‌های مورد استفاده در سنتز چهره نسبت به یکدیگر..... ۸۶
جدول ۵-۴: میانگین و انحراف معیار خطای تصاویر سنتز شده با استفاده از روش سنتز چهره با درون‌یابی با استفاده از حد آستانه‌ی ۴ در انتخاب قاب‌های کلیدی و مدل بدون پلک نسبت به تصاویر ورودی..... ۸۹
جدول ۶-۱: مقایسه‌ی کیفی روش پیشنهادی با پژوهش‌های مشابه پیشین..... ۹۴

فهرست اشکال

فصل ۱: مقدمه ۱

شکل ۱-۱: ماهیچه‌های اصلی مرتبط با پویانمایی چهره..... ۴

فصل ۲: مروری بر تحقیقات صورت گرفته در پویانمایی چهره ۹

شکل ۲-۱: روند پویانمایی چهره ـ مراحل اختیاری که بسته به کاربرد ممکن است در روند پویانمایی چهره وجود داشته باشند، با رنگ تیره مشخص شده‌اند..... ۱۱

شکل ۲-۲: نمونه‌ای از داده‌های حسگرهای سه بعدی..... ۱۲

شکل ۲-۳: نمونه ای از ساخت مدل شخصی چهره با استفاده از تور عمومی و داده‌های حسگرهای سه بعدی..... ۱۴

شکل ۲-۴: درون‌یابی خطی بر روی مقادیر انقباض ماهیچه‌ها..... ۱۸

شکل ۲-۵: مثالی از استفاده‌ی درون‌یابی دوسویه در خلق حالات و جهات نگاه میانی. چهار تصویر در چهار گوشه‌ی مربع نشان دهنده‌ی چهار قاب کلیدی ورودی هستند..... ۱۹

شکل ۲-۶: سلسله مراتب چهره به منظور انتشار وزن در روش ترکیب شکل..... ۲۱

فصل ۳: مروری بر تحقیقات صورت‌گرفته در مراحل پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی ۲۶

شکل ۳-۱: روند کنفرانس ویدئویی - این روند به دو فاز کاملا مجزای آنالیز در مبدأ و سنتز در مقصد تقسیم می‌گردد..... ۲۹

شکل ۳-۲: مراحل تولید دنباله‌ی تصاویر در کنفرانس ویدئویی به همراه برخی روش‌های موجود در هر مرحله ـ مراحل هاشورزده آن‌هایی هستند که بسته به کاربرد ممکن است در فرآیندی موجود باشند. دور روش‌هایی که در این پژوهش به دلیل ویژگی‌های خاص آن‌ها مورد استفاده قرار گرفته اند، خط کشیده شده است..... ۳۰

شکل ۳-۳: اجرای آبشاری طبقه‌بندها بر روی پنجره‌های تصویر در روش آشکارسازی چهره‌ی adaBoost – در هر مرحله، تعدادی از پنجره‌های کاندید چهره، حذف می شوند..... ۳۴

شکل ۳-۴: نتیجه‌ی اجرای روش تشخیص آبخیز مبتنی بر ریخت‌شناسی..... ۳۵

شکل۳-۵: نتیجه‌ی استفاده از Snake برای آشکارسازی چهره در روش Lam و دیگران..... ۳۶

شکل ۳-۶: نمونه‌ی الگوهای مورد استفاده در روش نگاشت الگو برای استخراج اجزای چهره..... ۳۸

شکل ۳-۷: الگوی مورد استفاده و نتیجه‌ی اجرای روش پایه‌ی نگاشت الگوی تغییرشکل پذیر Yuille ۴۰

شکل ۳-۸: بهبودهایی بر روش پایه ی نگاشت الگوی تغییر شکل پذیر..... ۴۰

شکل ۳-۹: محاسبه‌ی زوایای چرخش در روش Sheng و دیگران..... ۴۳

فصل ۴: روش پیشنهادی..... ۴۷

شکل ۴-۱: روش‌های پیشنهاد شده به تفکیک مرحله – هدف نهایی راهکار پیشنهادی با خطی به دور آن مشخص شده است..... ۴۹
شکل ۴-۲: مراحل فاز آنالیز در روش پیشنهادی..... ۵۰
شکل ۴-۳: نتیجه‌ی اعمال الگوریتم منصوری‌زاده بر روی یک چهره‌ی نمونه..... ۵۱
شکل ۴-۴: نمونه‌ای از نتایج بهبود نگاشت بیضی بر روی پایگاهی با کیفیت پایین تصاویر – خطوط کلیدی به منظور نشان دادن تاثیر روش بر روی مراحل بعدی نشان داده شده اند. (زرد: خط بین دو چشم، آبی: خط جداکننده‌ی بالا و پایین چهره، سبز: خط بالای چشم‌ها، قرمز و سیاه: خطوط بالا و پایین چهره)..... ۵۱
شکل ۴-۵: نمونه‌ای از نتیجه‌ی زیرمرحله‌ی استخراج محور تقارن..... ۵۴
شکل ۴-۶: نمونه‌ای از نتایج زیرمرحله‌ی تعیین مکان اجزای چهره..... ۵۷
شکل ۴-۷: الگوهای در نظر گرفته شده برای روش نگاشت بر مبنای ناحیه‌ی الگوی تغییر شکل پذیر..... ۵۸
شکل ۴-۸: الگوریتم ایستای استخراج الگوی ابرو..... ۵۹
شکل ۴-۹: دوتکه سازی سلسله مراتبی به منظور استخراج نواحی پنجره‌ی چشم..... ۶۰
شکل ۴-۱۰: استخراج تصویر مرجع روش RDTM ۶۱
شکل ۴-۱۱: تاثیر مخرب سایه‌ی ابرو در استخراج عنبیه..... ۶۱
شکل ۴-۱۲: خروجی روش پیشنهادی برای استخراج اجزای چهره بر روی یک تصویر نمونه..... ۶۳
شکل ۴-۱۳: معیارهای انتخاب قاب کلیدی- این انتخاب بر مبنای فاصله‌ی نسبی برخی از نقاط ویژگی که نشانگر حرکت معنادار اجزای چهره می‌باشند، صورت می‌پذیرد..... ۶۴
شکل ۴-۱۴: الگوریتم ارائه شده به منظور انتخاب قاب کلیدی بعدی..... ۶۵
شکل ۴-۱۵: مدل و نقاط ویژگی مورد استفاده..... ۶۶
شکل ۴-۱۶: مراحل الگوریتم پیشنهادی در فاز سنتز - هندسه و بافت قاب اول در نگاشت بافت قاب‌های بعدی مورد استفاده قرار می‌گیرد..... ۶۷
شکل ۴-۱۷: به دست آوردن زوایای چرخش چهره در انطباق عمومی..... ۶۹
شکل ۴-۱۸: نتایج مراحل مختلف انطباق عمومی..... ۷۰
شکل۴-۱۹: نتیجه‌ی اجرای انطباق محلی ـ انطباق نقطه به نقطه‌ی تور چهره..... ۷۱
شکل ۴-۲۰: الگوریتم تولید ساختار نشان دهنده‌ی عضویت نقاط در مثلث‌های تور مدل..... ۷۱
شکل ۴-۲۱: تصویر نشان دهنده‌ی عضویت نقاط در مثلث‌های تور چهره..... ۷۲
شکل ۴--۲۲: نتایج اجرای مراحل استخراج بافت..... ۷۳

فصل ۵: ارزیابی روش پیشنهادی..... ۷۴

شکل ۵-۱: نمونه‌ی تصاویر موجود در پایگاه تصاویر TMU-EMODB ۷۵

شکل ۵-۲: نتیجه‌ی اعمال نگاشت بیضی بر روی روش پایه‌ی آشکارسازی چهره در تصاویر پایگاه feedtum با کیفیت رنگ پایین - این بهبود موجب افزایش ۵.۲۵٪ دقت در آزمایش چهارم گردیده است..... ۷۷
شکل ۵-۳: نتیجه‌ی اعمال نگاشت بیضی بر روی روش پایه‌ی آشکارسازی چهره در تصاویر پایگاه eNterface با کیفیت رنگ بالا - این تغییر موجب کاهش ۲ ٪ دقت در آزمایش چهارم گردیده است..... ۷۷
شکل ۵-۴: نمونه‌هایی از کاهش دقت تغییر انجام شده بر روی روش پایه‌ی آشکارسازی چهره در پایگاه eNterface با کیفیت رنگ بالا..... ۷۸
شکل ۵-۵: نتیجه‌ی اجرای روش سنتز ارائه شده بر روی دو دنباله از پایگاه تصویر TMU-EMODB- تصویر اول در هر دنباله نشان‌دهنده‌ی تصویر قاب پایه است..... ۸۱
شکل ۵-۶: مشکل عدم دسترسی به بافت پلک و بررسی آن در دو حالت مدل پلک‌دار و بدون پلک.... ۸۱
شکل ۵-۷: سنتز چهره با استفاده از درون‌یابی بین قاب‌های کلیدی و مقایسه با سنتز بدون درون‌یابی – ردیف اول نشان‌دهنده‌ی قاب پایه، ردیف دوم تصاویر سنتز شده بدون درون‌یابی و ردیف سوم تصاویر سنتز شده با درون‌یابی..... ۸۲
شکل ۵-۸: روند تغییر معیارها در تصاویر سنتز شده نسبت به تصاویر ورودی در برخی از دنباله‌های ویدئویی فرد اول..... ۸۵
شکل ۵-۹: مقایسه‌ی معیارهای سنجش محلی در ۶ آزمایش انجام شده بر روی روش سنتز – ستون سمت راست نشان‌دهنده‌ی میانگین و ستون سمت چپ نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار است - KW: بدون درون‌یابی و مدل پلک‌دار، KO: بدون درون‌یابی و مدل بدون پلک، IW3: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۳ و مدل پلک‌دار، IO3: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۳ و مدل بدون پلک، IW4: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۴ و مدل پلک‌دار، IO4: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۴ و مدل بدون پلک..... ۸۷
شکل ۵-۱۰: مقایسه‌ی معیارهای سنجش عمومی در ۶ آزمایش انجام شده بر روی روش سنتز – ستون سمت راست نشان‌دهنده‌ی میانگین و ستون سمت چپ نشان‌دهنده‌ی انحراف معیار است - KW: بدون درون‌یابی و مدل پلک‌دار، KO: بدون درون‌یابی و مدل بدون پلک، IW3: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۳ و مدل پلک‌دار، IO3: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۳ و مدل بدون پلک، IW4: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۴ و مدل پلک‌دار، IO4: با درون‌یابی با حد آستانه‌ی ۴ و مدل بدون پلک..... ۸۸

فصل اول:

مقدمه

در این فصل می‌خوانیم:

- ✓ پیشگفتار
- ✓ پویانمایی چهره
- ✓ پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی
- ✓ ضرورت تحقیق
- ✓ راهکار پیشنهادی
- ✓ نتیجه‌گیری و ساختار مطالب

۱-۱- پیشگفتار

پویانمایی چهره به عنوان شاخه ای از علوم شناسایی تصویر[1] و گرافیک کامپیوتری تاکنون نظر محققان بسیاری را به خود جلب کرده‌است. پژوهشگران با توجه به نگاهی که به این مساله با توجه به کاربرد مورد نظر خود داشته اند، روش‌هایی را ارائه داده اند. از میان این روش‌ها، روش مبتنی بر نمایش با بهره گیری از بردارهای ویژگی، به دلیل آن‌که به صورت کاملا خودکار و با استفاده از تغییرات چهره‌ی یک بازیگر به کنترل مدل چهره می‌پردازند، در سال‌های اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته شده اند. در این روش، بردارهای ویژگی با بهره‌گیری از روش‌های آنالیز چهره، از چهره‌ی در حال نمایش به صورت بی‌درنگ استخراج گردیده، بر روی مدل چهره اعمال می‌گردند. برای روشن‌تر شدن بحث، در این فصل تعریفی از پویانمایی چهره ارائه نموده، کاربردهای آن را معرفی می‌کنیم. علاوه بر آن نشان خواهیم داد که برای ارائه‌ی یک پویانمایی ایده‌آل، چه جزئیاتی باید مورد توجه قرار گیرد. پس از آن مساله‌ی پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی را مطرح می‌کنیم و در نهایت ضرورت تحقیق را بیان نموده، به ارائه‌ی راهکار می‌پردازیم. در پایان این فصل، ساختار مطالب رساله‌ی پیش رو را از نظر می‌گذرانیم.

۱-۲- پویانمایی چهره[2]

پویانمایی چهره به تولید واقع نمایانه[3]ی تصاویر پویا از چهره اطلاق می‌شود. تحقیقات در زمینه‌ی پویانمایی چهره را می‌توان در دو بخش طبقه‌بندی نمود: پویانمایی حالات چهره[4] و پویانمایی گفتار[5]. منظور از حالات چهره، تغییراتی است که چهره در طی بروز احساسی خاص از خود به نمایش می‌گذارد [۲]. پویانمایی گفتار معمولا در کاربرد هماهنگ‌سازی حرکات لب با صدا[6] مورد توجه قرار می‌گیرد [۳, ۴]. به دلیل پیچیدگی‌های موجود در ساختار چهره و همچنین حساسیت طبیعی انسان به واقع نمایانه بودن حرکات آن، تحقیقات در زمینه‌ی روش‌های پویانمایی چهره توجه محققان بسیاری را به خود جلب نموده است. هدف نهایی تحقیقات در زمینه‌ی ایجاد سیستم‌های پویانمایی چهره عبارتند از:

- ✓ تولید تصاویر پویای واقع نمایانه از تمامی حرکات چهره
- ✓ بی‌درنگ نمودن فرآیند تولید تصاویر پویا
- ✓ خودکارسازی اجرای فرآیند پویانمایی از ابتدا تا انتها
- ✓ داشتن چهره‌ی شخصی که کاملا مشابه چهره‌ی فرد مورد نظر باشد.

---

[1] Image recognition
[2] Facial animation
[3] Realistic
[4] Facial expressions
[5] Speech animation
[6] Lip synchronization

به طور کلی پویانمایی چهره از روش‌های پیشرفته در علوم تعامل انسان ـ کامپیوتر[1]، شبیه سازی فیزیکی و هندسی، گرافیک کامپیوتری و شناسایی تصویر بهره می‌برد [۵].

در یک سیستم پویانمایی ایده‌آل که اصل واقع‌نمایی را به طور کامل مورد توجه قرار داده است، باید برای نمایش تمامی جزئیات چهره چاره‌ای اندیشیده شود. یک دسته‌بندی از این جزئیات که با عنوان اشکال ظاهری چهره از آن‌ها یاد می‌کنیم، در ادامه آورده شده است.

۱-۲-۱- اشکال ظاهری چهره

در این بخش به بررسی و دسته‌بندی اشکال ظاهری چهره که در یک سیستم پویانمایی ایده‌آل باید مورد توجه قرار بگیرند، پرداخته و برخی از آن‌ها را به اختصار بیان می‌کنیم.

- **اجزای چهره[2] مرتبط با پویانمایی**

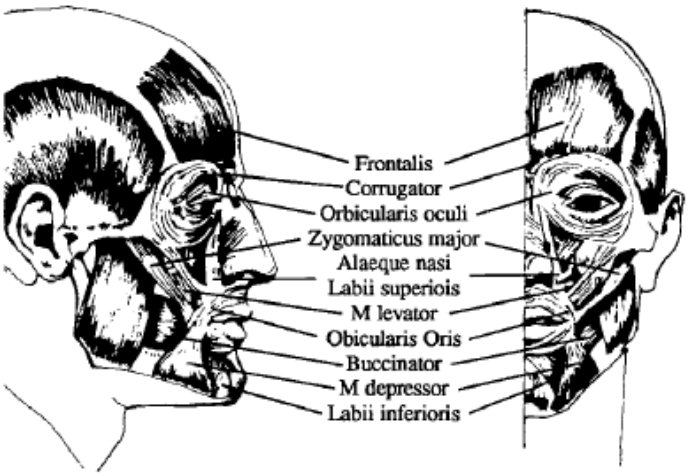
این دسته، شامل اجزایی است که در نمایش حالات چهره، نقش موثری ایفا می‌کنند. ابروها، چشم‌ها، بینی، گونه‌ها، چانه و دهان از مهم‌ترین آن‌ها هستند. چگونگی حرکت اجزای چهره بستگی به چگونگی عملکرد ماهیچه‌های آن دارد و شبیه‌سازی دقیق این حرکات، نیازمند دانستن تاثیر ماهیچه‌های مختلف بر روی ظاهر چهره است. به طور مثال ماهیچه‌ی occipitofrontalis پیشانی، که یک ماهیچه‌ی ورقه‌ای است، موجب حرکت ابرو به سمت بالا و بیرون می‌شود. شکل ۱-۱ ماهیچه‌های مرتبط با نمایش حالات چهره را نشان می‌دهد. علاوه بر اجزایی که در حالات چهره موثر هستند، زبان به عنوان جزئی از چهره که در پویانمایی سیستم گفتار نقش دارد، در برخی از کاربردها مورد توجه قرار می‌گیرد [۶]. با وجود این‌که حرکات زبان معمولا با حرکات دهان پوشانده می‌شود، در برخی از آواها مانند «لـل» و «دد» این حرکات، نمود می‌یابند و برای پویانمایی واقع نمایانه‌تر می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند.

- **اجزای چهره غیرمرتبط با پویانمایی**

برخی از اجزای چهره، در حالات مختلف، بدون حرکت و تغییر شکل باقی می‌مانند. این اجزا که عبارتند از گوش‌ها، دندان‌ها، گردن و موها، معمولا برای تشخیص هویت و کاربردهای خاص از قبیل جراحی دندان [۷]، مورد توجه قرار می‌گیرند.

---

[1] Human-computer interaction
[2] Facial features



شکل ۱-۱: ماهیچه‌های اصلی مرتبط با پویانمایی چهره [۸]

جزئیات تغییر دهنده‌ی بافت[1] چهره

این جزئیات، شامل چین و چروک پوست و تغییر رنگ چهره است. دو نوع چروک بر روی پوست صورت ممکن است ایجاد شود: چروک موقت که برای مدت کوتاهی در زمان ایجاد حالت چهره ظاهر می‌شود و چروک دائم که در طول زمان به عنوان ویژگی دائمی یک چهره شکل می‌گیرد. در بیشتر کاربردهای پویانمایی چهره، چروک‌های موقت دارای اهمیت بیشتری هستند و در برخی از روش‌های پویانمایی، ایجاد آن‌ها نیازمند رویه‌ای مکمل است [۹]. تغییر رنگ چهره که با عبارت حالات رگ‌دار[2] از آن یاد می‌شود، ناشی از تغییر سرعت گردش خون در رگ‌ها و یا تغییر در درجه‌ی حرارت خون می‌باشد. مثل سرخ شدن چهره در خجالت‌زدگی، عصبانیت و همچنین رنگ‌پریدگی در ضعف، ترس و بیماری و خستگی. این تغییرات، پیام‌های ارتباطی مهمی را دربردارند و مدل چهره برای پیاده‌سازی این تاثیرات باید شامل ساختار رگ‌ها باشد [۱۰].

جزئیات ثانویه برای افزایش واقع نمایی

قابلیت افزودن این جزئیات به مدل چهره، موجب افزایش واقع نمایی آن می‌شود. لوازمی از قبیل عینک، آرایش و جواهرات از این دسته جزئیات هستند. اشک و عرق، چاقی یا لاغری، جنسیت و نژاد، رشد و سن، زخم‌ها، عصب‌ها و رگ‌ها از جمله جزئیاتی هستند که بسته به کاربرد مورد نظر ممکن است مورد توجه قرار گیرند.

---

[1] Texture
[2] Vascular expressions

در پژوهش پیش رو تاکید بر روی دسته‌ی اول از اشکال ظاهری چهره است، هرچند ارائه‌ی این دسته‌بندی به ما کمک می‌کند که نقاط قوت و ضعف روش ارائه شده را نسبت به روش‌های دیگر مورد بررسی قرار دهیم.

۱-۲-۲- کاربردهای پویانمایی چهره

پویانمایی چهره دارای کاربردهای فراوانی است. در ادامه، یک دسته بندی از این کاربردها، ارائه شده است:

- ✓ ارتباط از راه دور[1] و کنفرانس از راه دور[2]: چالشی که در زمینه‌ی ارتباطات از راه دور وجود دارد، تلاش در راستای فرستادن اطلاعات مربوطه در کمترین حجم ممکن در سراسر دنیا است. با فرستادن پارامترهای محدود و تغییر یک مدل از چهره با استفاده از این پارامترها می‌توان گام موثری در این زمینه برداشت [۱۱].
- ✓ پزشکی: تاثیر عمل‌های جراحی را می‌توان با استفاده از پویانمایی چهره، پیش از انجام عمل مشاهده نمود و تغییرات لازم را در برنامه‌ریزی فرآیند عمل جراحی انجام داد. این کار می‌تواند سهم خطاهای انسانی در شرایط پراسترس عمل جراحی را کاهش دهد و زمان آن را به حداقل برساند. به عنوان مثال در جراحی‌های پلاستیک، عصب و ماهیچه، می‌توان عملکرد دقیق پوست را با استفاده از یک مدل که از ساختارهای چهره بهره برده است، شبیه سازی کرد [۱۲].
- ✓ سیستم‌های آموزش مجازی: برای ساخت نرم‌افزارهای کاربرپسند[3]، روش‌های ساخت گفتار به کمک روش‌های پویانمایی چهره می‌توانند مفید باشند. کاربرد خاص در این زمینه، تلاش در جهت برقراری ارتباط بهتر رسانه‌های گفتاری با افراد ناشنوا یا کم شنوا می‌باشد [۱۳].
- ✓ محیط‌های مجازی: برای ساخت ساده‌تر و سریع‌تر شخصیت‌های مجازی در سینما و بازی‌ها با بیشترین واقع نمایی پویانمایی چهره می‌تواند به کار رود [۱۴].
- ✓ علوم شناختی: تحلیل حرکات خاص چهره می‌تواند در علومی مثل روانشناسی و زبان‌شناسی مورد توجه قرار گیرد. البته بالعکس این علوم هم می‌توانند به ساخت واقع نمایانه‌ی مدل چهره کمک نمایند [۱۵].
- ✓ جرم‌شناسی: پویانمایی چهره در قالب سیستم‌های تشخیص چهره در جرم‌شناسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این برای بازسازی چهره[4]ی مقتول در کالبدشکافی جنایی کاربرد دارد

---

[1] Telecommunication
[2] Teleconferencing
[3] User-friendly
[4] Facial reconstruction

[۱۶].

- ✓ مدلسازی رشد: برای شبیه‌سازی تاثیر گذشت زمان بر روی چهره‌ای خاص پویانمایی چهره می‌تواند به کار رود. به عنوان مثال می‌توان از روش‌های مدل‌سازی چهره برای پیش‌بینی شکل چهره‌ی یک کودک گم شده در چند سال بعد استفاده نمود [۱۷].

۱-۳- پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی

کنترل بر روی مدل، بخشی از فرآیند پویانمایی چهره است که در آن سیگنال‌های کنترلی به منظور ایجاد تغییرات و یا حرکت در چهره به مدل مورد استفاده اعمال می‌گردند. از آن‌جایی که ایجاد حرکات ریز چهره که بسیاری از آن‌ها نیز به طور مستقل از یکدیگر بروز می‌کنند، نیازمند مقداردهی و تغییر در پارامترهای زیادی است، علاقه‌ی محققان به سمت ایجاد امکان تقلید از چهره‌ی یک بازیگر و اعمال مستقیم تغییرات چهره‌ی او بر روی مدل جذب شد. به این منظور نیاز است که روش‌های آنالیز چهره مورد استفاده قرار گیرد و بر مبنای این که سیستم به دنبال چه میزان دقت در فرآیند تقلید است، بردارهای ویژگی که شامل پارامترهای مؤثر در اعمال تغییرات و حرکات هستند، استخراج گردند. پس از این مرحله، این بردارها باید با استفاده از روش‌های پویانمایی چهره، بر روی مدل مورد استفاده اعمال گردند. بنابراین در چنین سیستمی دو ماژول به طور متوالی مورد استفاده قرار می‌گیرند: آنالیز چهره و سنتز آن. کاربرد این روش را می‌توان در سیستم‌های آموزش مجازی، محیط‌های مجازی و علوم شناختی جستجو کرد. اما یکی از جذاب‌ترین کاربردهای این روش، کاربرد در کنفرانس ویدئویی است. در ادامه به بحث بیشتر درباره‌ی این کاربرد که در سال‌های اخیر توجه پژوهشگران را به خود جلب کرده است، می‌پردازیم.

۱-۴- ضرورت تحقیق

کنفرانس‌های ویدئویی و تلفن‌های همراه تصویری یکی از کاربردهای جذاب پویانمایی چهره در علم ارتباطات است و در سال‌های اخیر مورد توجه زیادی قرار گرفته است. از آن‌جایی که پهنای باند شبکه‌ی اینترنت در بسیاری از نقاط جهان پایین است، ارسال تمامی قاب[1]های تصویری یک کنفرانس ویدئویی به مقاصد متنوع در نقاط مختلف دنیا و نمایش بی‌درنگ آن‌ها به مخاطبان امکان‌پذیر نمی‌باشد. درباره‌ی تلفن همراه تصویری نیز، با وجود این‌که تلفن‌های تصویری مدتی است که به طور تجاری تولید شده و مورد استفاده قرار می‌گیرند، به دلیل وجود پهنای باند پایین در ارسال اطلاعات مخابراتی به صورت امواج رادیویی، نمایش تصویر در تلفن‌های همراه تصویری امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این راستا، تلاش می‌شود با کاهش هرچه

[1] Frame

بیشتر اطلاعات ارسالی، تصاویری هرچه واقع نمایانه‌تر از چهره‌ی افراد، تولیدشود. پویانمایی چهره با استفاده از بردارهای ویژگی به این شکل به حل این مشکل کمک می‌کند که طی مراحل آنالیز چهره که در مبدأ ارتباط صورت می‌پذیرند، بردار ویژگی که متضمن حرکات و تغییرات در چهره می‌باشد، استخراج شده و به جای ارسال کل تصویر، تنها همین بردار که بسیار کم حجم‌تر از یک تصویر است، به مقصد ارسال می‌شود. در مقصد نیز طی مراحل سنتز چهره، این بردار بر روی تصویر یا مدل چهره‌ی فرد که می‌تواند در ابتدای ارسال فرستاده شده باشد، اعمال می‌گردد. همین فرآیند، در صورتی که قابل اجرا بر روی سخت‌افزار یک تلفن همراه باشد، می‌تواند در کاربرد تلفن‌های همراه تصویر نیز به کار رود. طبیعی است که هر چه میزان اطلاعات ارسالی برای تولید دنباله‌ی تصاویر قابل قبول، کم‌تر باشد، به هدف مورد نظر نزدیک‌تر شده‌ایم. در این پژوهش، روشی برای کاهش هر چه بیشتر اطلاعات ارسالی عنوان گردیده است.

۱-۵- راهکار پیشنهادی

هدف نهایی در این پژوهش، ترکیب رویکرد قاب‌بندی کلیدی با روش مبتنی بر نمایش با استفاده از بردارهای ویژگی به منظور کاهش هرچه بیشتر حجم اطلاعات مورد نیاز برای پویانمایی است. بدین منظور در پژوهش پیش رو با توجه به پژوهش‌های پیشین، چارچوبی برای پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی با فرض کاربرد در کنفرانس ویدئویی ارائه شده است که مراحل آن در دو فاز آنالیز و سنتز طبقه‌بندی می‌شوند. در فاز آنالیز که در مبدأ برقراری ارتباط اجرا می‌شود، نقاط ویژگی چهره استخراج گردیده، برای ارسال مهیا می‌شوند. در طرف دیگر ارتباط و در مقصد، این بردار ویژگی در قالب فاز آنالیز، بر روی تصویر پایه، که در این پژوهش تصویر قاب اول در نظر گرفته شده است، اعمال گردیده و تصویر خروجی برای نمایش به کاربر به دست می‌آید. در فاز اول، روش احراز شایستگی برای استخراج خط تقارن چهره پیشنهاد شده است که به عنوان پایه‌ای برای روش مطرح شده در مرحله‌ی استخراج ویژگی عمل می‌کند. در مرحله‌ی استخراج ویژگی، ویژگی‌های اجزای چهره با استفاده از تقارن، اطلاعات بدن‌سنجی[1] و روش پیشنهادی نگاشت برمبنای ناحیه‌ی الگوی تغییر شکل پذیر[2] استخراج می‌شوند. در فاز سنتز نیز روش ساده‌ای برای اعمال بردار ویژگی بر روی یک چهره‌ی پایه با استفاده از یک تور عمومی استفاده گردیده است. آن‌چه این پژوهش را از پژوهش‌های پیشین متمایز می‌کند، همان‌طور که عنوان گردید، ترکیب رویکرد قاب‌بندی کلیدی با فرآیند کلی پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی است که موجب کاهش حجم اطلاعات ارسالی می‌گردد. این کار خود مستلزم روشی برای استخراج قاب‌های کلیدی در انتهای فاز آنالیز و نیز درون یابی بین این قاب‌ها در انتهای فاز سنتز می‌باشد. در انتها، چارچوبی برای ارزیابی روش‌های بازسازی دنباله‌ی

[1] Anthropometry
[2] Region-based Deformable Template Matching (RDTM)

تصاویر پیشنهاد شده است که شامل معیارهایی جهت ارزیابی کلی و محلی، میزان کاهش حجم اطلاعات ارسالی و واقع نمایانه بودن تصاویر از دید کاربر انسانی است. به طور کلی روش ارائه شده در این پژوهش ترکیبی از رویکردهای مختلف پویانمایی چهره است و سعی بر آن دارد که دنباله‌ی ویدئویی تولید شده در مبدأ را با استفاده از پارامترهای اندک ارسالی، بار دیگر در مقصد بازسازی نموده و نمایش دهد.

۱-۶- جمع بندی و ساختار مطالب

در این فصل پویانمایی چهره و اهداف و کاربردهای آن را از نظر گذرانیدیم. همچنین مساله‌ی مطروحه در پژوهش پیش رو و راهکار ارائه شده را به اختصار معرفی نمودیم. در فصل دوم به بررسی مراحل کلی در فرآیند پویانمایی چهره پرداخته و نگاهی بر روش‌های موجود در هر مرحله خواهیم داشت. مدلسازی و کنترل چهره دو مرحله‌ی اساسی در این فرآیند می‌باشد که در همه‌ی سیستم‌های پویانمایی چهره وجود دارند. روش‌های مطرح شده در این دو مرحله را در قالب رویکردهای پویانمایی چهره در بخشی مجزا معرفی خواهیم نمود. در فصل سوم به مساله‌ی کنفرانس ویدئویی باز خواهیم گشت، چارچوبی را با توجه به پژوهش‌های پیشین برای آن ارائه خواهیم داد و به معرفی روش‌های پیشین در هر مرحله خواهیم پرداخت. از میان این روش‌ها، در هر مرحله روشی را که با ویژگی‌های کاربرد مورد نظر هماهنگی بیشتری دارد، انتخاب نموده، دلایل این انتخاب را مطرح خواهیم نمود. در فصل چهارم، روش پیشنهاد شده را به تفصیل و در قالب دو فاز آنالیز و سنتز بررسی می‌کنیم. مراحل موجود در هر فاز را معرفی نموده، به شرح جزئیات روش مورد استفاده در هر مرحله می‌پردازیم. در فصل پنجم به ارائه‌ی چارچوبی برای ارزیابی روش‌های کنفرانس ویدئویی پرداخته، روش پیشنهادی را با استفاده از این چارچوب، ارزیابی خواهیم نمود. این چارچوب شامل ارزیابی بصری و پارامتریک می‌باشد و این امکان را می‌دهد که از طرفی واقع‌نمایی روش مورد نظر را بررسی نماییم و از سوی دیگر میزان مشابهت تصویر سنتز شده با تصویر ورودی را مورد ارزیابی قرار دهیم. در نهایت در فصل ششم، به جمع‌بندی مطالب مطرح شده در پایان‌نامه پرداخته، ویژگی‌های روش ارائه شده و نیز پیشنهاداتی جهت ادامه‌ی تحقیقات در زمینه‌ی آن را برخواهیم شمرد.