

ترکیب قاب‌بندی کلیدی و پویانمایی چهره مبتنی بر نمایش

هدی باهنر^۱، نصرالله مقدم چرکری^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد کامپیوتر، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

۲- استادیار کامپیوتر، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه تربیت مدرس

charkari@modares.ac.ir

(دریافت مقاله: خرداد ۱۳۸۹، پذیرش مقاله: اسفند ۱۳۸۹)

چکیده- پویانمایی چهره، یعنی ساخت تصویرهای چهره با استفاده از کامپیوتر، با توجه به کاربردهای فراوان آن، از آغاز پیدایش، مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. پویانمایی چهره با استفاده از بردارهای ویژگی که جزو روشهای مبتنی بر نمایش طبقه‌بندی می‌شود، به دلیل آن که توانایی ایجاد تصویر پویای چهره را با حجم اندکی از اطلاعات دارد، به تازگی بیشتر مورد توجه قرار گرفته و توسعه یافته است. در این روش، بردارهای ویژگی چهره که حاوی اطلاعات کافی برای پویانمایی از حرکات درشت و ریز چهره می‌باشند، با بهره‌گیری از روشهای تحلیل چهره استخراج شده و به منظور انتقال حالت چهره به مدل گرافیکی مورد نظر استفاده می‌شوند. یکی از کاربردهای این روش، ارسال اطلاعات چهره در پهنای باند کم است. بدین منظور، در این مقاله با ترکیب این روش با روش قاب‌بندی کلیدی، حجم اطلاعات ارسالی نسبت به روش پایه به میزان ۷۰ درصد کاهش یافته است، در حالی که تصویر حاصل نسبت به تصویر ورودی، میانگین مربع خطای ۴/۹۵ و تفاوت همبستگی ۰/۰۰۰۶۲۹ داشته که نسبت به خطای روش بدون درونیابی قابل چشم‌پوشی است.

کلیدواژه‌گان: پویانمایی چهره مبتنی بر نمایش، قاب‌بندی کلیدی، بازسازی چهره، ارتباط از راه دور، یادگیری مجازی.

۱- مقدمه

پویانمایی چهره^۱ به عنوان شاخه‌ای از علم شناسایی تصویر^۲ و گرافیک کامپیوتری نظر پژوهشگران بسیاری را جلب کرده و کاربردهای متنوعی در ارتباط از راه دور^۱، آموزش مجازی^۲، محیط‌های مجازی^۳، پزشکی^۴ و مانند آنها دارد. به طور کلی روشهای

پویانمایی را می‌توان به پنج گروه کلی تقسیم کرد. این رویکردها عبارتند از: پارامتری‌سازی^۳، ماهیچه‌ای، شبه‌ماهیچه‌ای، قاب‌بندی کلیدی^۴ و مبتنی بر نمایش^۵. شرح مختصری از هر رویکرد همراه با ویژگیهای آن در جدول ۱ آورده شده است. پژوهشگران با بررسی

3. Parameterization

4. Keyframing

5. Performance Driven Facial Animation

1. Facial Animation

2. Image Recognition

تناسب ویژگی‌های هر یک از روشها با هدف مورد نظر، یکی را به‌منظور بهره‌برداری در سیستم موردنظر برمی‌گزینند. یکی از مسائلی که به تازگی از طرف محققان مورد توجه فراوان قرار گرفته است، توانایی مدل‌سازی و کنترل چهره به کمک پارامترهای اندک استخراج شده از آن است. اگر این توانایی با استفاده از روشهای سریع پویانمایی به‌دست آید، کاربرد گسترده‌ای در ارتباط با پهنای باند کم خواهد یافت. اساس این کاربرد، استفاده از روش مبتنی بر نمایش را می‌طلبد، اما از آن‌جا که تصاویر حاصل از این روش، واقع‌نمایی اندکی دارند، به راهکاری برای تبعیت

بیشتر چهره بازسازی شده از قواعد حرکتی چهره، نیاز است. بدین منظور، به تازگی تلاش شده با الهام از روشهای شبه‌ماهیچه‌ای، تا حد امکان، ویژگیهای حرکتی عمومی چهره در قالب ساختار تور عمومی در فرایند پویانمایی شرکت داده شوند. این مدل عمومی سپس برای چهره‌ای خاص، با استفاده از تعدادی پارامتر که نسبت به تصویر چهره حجم اندکی دارند، تغییر شکل می‌یابد. ما این روش را جزو روشهای مبتنی بر نمایش طبقه‌بندی کرده و آن را روش پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی می‌نامیم.

جدول ۱ مقایسه رویکردهای پویانمایی چهره

ویژگی رویکرد	شرح	توانایی ایجاد تصاویر واقع‌نما	سرعت پردازش	انعطاف پذیری	پیچیدگی پیاده‌سازی
پارامتری‌سازی [۵، ۶]	مدل‌سازی و کنترل چهره با استفاده از پارامترهای اندک	کم	نسبتاً زیاد	زیاد	کار دستی زیاد در انتساب مقادیر پارامترها
ماهیچه‌ای [۷، ۸]	پویانمایی دقیق با استفاده از شبیه‌سازی ساختار پوست و ماهیچه‌ها	زیاد	کم	زیاد	پیچیدگی ساختار
شبه‌ماهیچه‌ای [۹، ۱۰]	پرهیز از پیچیدگی‌های روش ماهیچه‌ای و تقلید حرکت ماهیچه‌ها با تغییر در سطح خارجی پوست	متوسط	متوسط	متوسط	انتخاب نقاط کنترلی
قاب‌بندی کلیدی [۱۱، ۱۲]	ایجاد دنباله‌ای نرم از تغییر بین حالات چهره با درونیابی بین قاب‌های کلیدی موجود در پایگاه تصاویر	زیاد	زیاد	کم	تهیه پایگاه تصاویر قاب‌های کلیدی
مبتنی بر نمایش [۱۳، ۱۴]	تقلید حرکات چهره بازیگر با استفاده از روشهای تحلیل چهره و کنترل چهره به‌صورت خودکار	کم	زیاد	زیاد	وابسته به دقت روش تحلیل

در ادامه ابتدا به بررسی پژوهشهای مرتبط پرداخته و سپس روش پیشنهادی را با ارائه چارچوبی برای بازسازی تصویر ویدئویی شرح می‌دهیم. در فصل ارزیابی، به ارزیابی دیداری و ارزیابی پارامتری روش ارائه شده با استفاده از معیارهای پیشنهادی می‌پردازیم و تأثیر ترکیب روش قلاب‌بندی با روش استفاده از بردارهای ویژگی را نشان می‌دهیم و در پایان به جمع‌بندی خواهیم پرداخت.

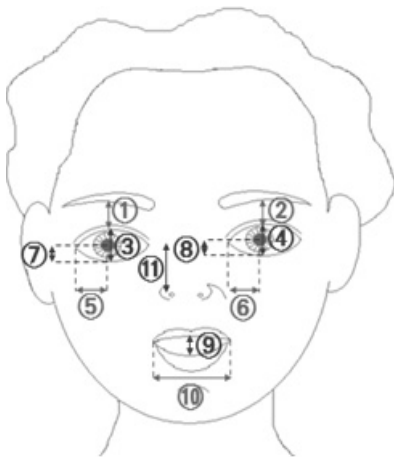
۲- مرور تحقیقات مرتبط

روش پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی در تحقیقات جدید به‌طور گسترده‌ای برای انتقال حالت چهره به شخصیت پویانمایی [۱۵] تا [۱۷] یا شخصیت انسانی [۱۸] و [۱۹] و نیز به‌منظور ایجاد حالات مختلف چهره [۲۰] تا [۲۳] استفاده شده است. مراحل پویانمایی با بهره‌گیری از روش استفاده از بردارهای ویژگی در [۳۴] آورده شده است.

به‌منظور بازسازی دنباله تصویری ویدئویی، Liu و همکاران [۲۴]، با استفاده از یک دوربین ساده، از چهره تصویربرداری نمودند. سپس با مشخص ساختن پنج نقطه کلیدی یعنی گوشه‌های چشم، گوشه‌های دهان و بالای بینی، به انطباق چهره بر مدل تور عمومی پرداختند و روش خود را برای کنترل شخصیت پویانمایی به‌کار بردند. این روش علاوه بر این که کاملاً خودکار نیست، از تصویر دو نما از چهره برای استخراج داده‌های سه بعدی مورد

نیاز استفاده می‌کند. Fidaleo و همکاران [۲۵] اقدام به ساخت خودکار مدل سه بعدی چهره از دنباله تصویری ویدئویی کردند، با این فرض که چهره در طول دنباله بدون تغییر در احساس باقی می‌ماند. Cheng و همکاران [۲۶] چارچوبی را برای فرایند بازسازی دنباله تصویری پیشنهاد کردند که شامل استخراج و ردیابی ویژگی‌های چهره، تخمین حالت، یافتن ساختار سه بعدی مدل چهره، یافتن ساختار نیم‌تنه، انطباق بر مدل سه بعدی و نگاشت بافت است. آنان از تصاویر سه بعدی و روشی نیمه‌خودکار برای ردیابی نقاط ویژگی چهره استفاده کردند و مدل چهره را با استفاده از دنباله تصویری به‌دست آوردند. در روشی خودکار، Sheng و همکاران [۱۳] با استفاده از چارچوبی که شامل استخراج ناحیه چهره، استخراج نقاط ویژگی، انطباق عمومی و انطباق محلی است، به ساخت مدل چهره با استفاده از تصویرهای یک دید از چهره پرداختند. با بهره‌گیری از مدل AAM^۱، Theobald و همکاران [۲۷] به توسعه سیستمی به‌منظور پویانمایی احساس و انتقال حالت از چهره‌ای به چهره دیگر پرداختند. رویکرد آنان با وجود واقع‌نمایی بالا، از استخراج خودکار پارامترهای چهره پشتیبانی نمی‌کند. Hu و همکاران [۲۸] با استفاده از همترازی چگال نقاط^۲ و روش اسپلاین صفحه نازک^۳، به درونیابی بین قلاب‌های کلیدی پرداختند و از این فرایند به‌منظور

1. Active Appearance Model
2. Dense Point-to-Point Alignment
3. Thin Plate Spline



شماره	معیار	مفهوم
(۱ و ۲)	فاصله‌ی نقطه ویژگی بالای چشم چپ (راست) و پایین ابروی چپ (راست)	حرکت عمودی ابروی چپ (راست) در حالتی مانند شگفتی
(۳ و ۴)	فاصله نقاط ویژگی بالا و پایین چشم چپ (راست)	باز شدگی چشم چپ (راست)
(۵ و ۶)	فاصله بین مرکز عنبیه و گوشه چپ چشم چپ (راست)	حرکت افقی عنبیه چشم چپ (راست)
(۷ و ۸)	فاصله بین مرکز عنبیه و نقطه ویژگی پایین چشم چپ (راست)	حرکت عمودی عنبیه چشم چپ (راست)
۹	فاصله نقاط ویژگی داخلی بالا و پایین دهان	باز شدگی عمودی دهان
۱۰	فاصله دو گوشه سمت راست و چپ دهان	کشیدگی افقی دهان
۱۱	فاصله عمودی یکی از سوراخ‌های بینی از نقطه میانی چشم‌ها	بالا رفتن بینی در حالتی مانند انزجار

شکل ۲ معیارهای انتخاب قاب کلیدی: این انتخاب بر مبنای فاصله نسبی برخی از نقاط ویژگی - که نشانگر حرکت معنادار اجزای چهره است - صورت می‌پذیرد.

همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود، این فرایند دو مرحله تحلیل و ترکیب دارد. در مرحله تحلیل، بردار ویژگی چهره قاب جاری استخراج شده و در صورتی که این قاب، کلیدی باشد، این بردار ویژگی به‌عنوان ورودی مرحله بعدی به‌کار می‌رود. در مرحله ترکیب، پس از آن‌که مدل چهره با بردار ویژگی داده شده منطبق شد و نگاشت بافت قاب اول بر مدل چهره قاب کلیدی جاری صورت پذیرفت،

پویانمایی و مورفینگ^۱ سه‌بعدی استفاده کردند. قاب‌های کلیدی مورد استفاده به‌طور مستقیم و به کمک دوربین‌های سه‌بعدی تهیه شده بود.

در این مقاله چارچوبی برای فرایند بازسازی دنباله تصویری ارائه شده و در قالب آن، این فرایند به‌طور خودکار انجام می‌شود. نوآوری این مقاله، ترکیب قاب‌بندی کلیدی با روش استفاده از بردارهای ویژگی است که به کمک آن می‌توان فقط با ارسال اطلاعات قاب‌های کلیدی و درونیایی بین آنها در مقصد، با حداقل اطلاعات ارسالی، دنباله تصویری را بازسازی کرد.

۳- روش پیشنهادی

همان‌گونه که در بخش قبل گفته شد، می‌توان با استفاده از نگاشت بافت استخراج شده از قاب اول بر روی ساختار تور قاب‌های بعدی، فقط با وارد کردن هندسه و بافت قاب اول و نیز هندسه قاب‌های بعدی، کل دنباله را بازسازی کرد. بدین ترتیب، حجم اطلاعات مورد نیاز برای پویانمایی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. در صورتی که بتوانیم با اعمال روشی از ارسال بردار ویژگی کل قاب‌ها بی‌نیاز شویم و هندسه کل قاب‌های دنباله را با پردازش ویژگی‌های هندسی قاب‌های خاص به‌دست آوریم، می‌توان اطلاعات مورد نیاز را باز هم کاهش داد. در این مقاله، قاب‌های خاص، همان قاب‌های کلیدی در روش قاب‌بندی کلیدی هستند که به‌طور خودکار و با پردازش دنباله ورودی به‌دست می‌آیند.

1. Morphing

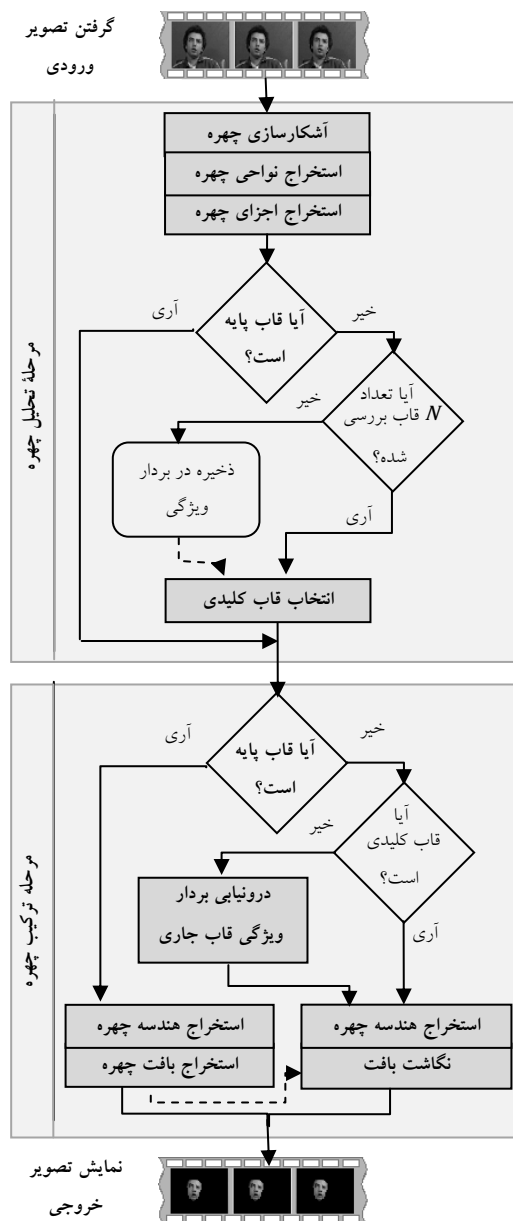
۳-۱- مرحله تحلیل

اولین گام در تحلیل، آشکارسازی چهره^۱ است. بدین منظور از روش طبقه‌بندی مبتنی بر رنگ پوست^۲ با استفاده از فضای رنگ ترکیبی RGB و HSV استفاده شد. در مرحله استخراج اجزای چهره، نخست محور تقارن چهره به روش احراز شایستگی^۳ تخمین زده می‌شود. سپس نواحی چشم‌ها و ابروها با اعمال نوعی تابع تقارن و به کمک محور تقارن تخمین زده شده، استخراج می‌شود. ناحیه بینی و دهان نیز با استفاده از اطلاعات بدن‌سنجی^۴ مورد جستجو قرار می‌گیرد. پس از آن، با اعمال روش نگاشت مبتنی بر ناحیه الگوی تغییر شکل پذیر^۵ بر نواحی به دست آمده برای اجزای چهره، الگوهای هندسی آنها استخراج می‌شود. جزئیات این روش در [۲۹] شرح داده شده است.

۳-۱-۱- انتخاب قاب‌های کلیدی

قاب کلیدی، قابی است که نقطه اوج حالت چهره یا بیشینه جابه‌جایی چهره در یک جهت خاص در آن اتفاق می‌افتد. در این مقاله، قاب کلیدی را قابی در نظر گرفته‌ایم که جابه‌جایی نقطه مورد نظر در آن، تغییر جهت می‌دهد. روش پیشنهادی بر چند نکته مبتنی است: اول آن‌که استخراج قاب‌های کلیدی، به مقایسه چند قاب پیش‌نگر نیاز دارد و تعداد این قاب‌ها باید به گونه‌ای باشد که نمایش بی‌درنگ را با مشکل روبه‌رو نسازد. از آن‌جا که هر ثانیه از دنباله تصویری ورودی، مشتمل بر ۳۳ قاب است، تأخیر در ارسال پنج قاب پیش‌نگر که در

با توجه به شماره قاب کلیدی جاری نسبت به قاب کلیدی قبلی، درونبایی خطی بین قاب‌های کلیدی انجام می‌شود.



شکل ۱ چارچوب کلی برای بازسازی دنباله تصویری ویدئویی

- مراحل فرایند با رنگ تیره‌تر مشخص شده است.

N تعداد قاب‌های پیش‌نگر است.

1. Face Detection
2. Skin-tone Classification
3. Obtaining Eligibility Method
4. Anthropometry
5. Region-Based Deformable Template Matching

حدود ۱۵۰ میلی‌ثانیه طول می‌کشد، توسط کاربر انسانی قابل تشخیص نیست و تأثیری بر پیوستگی ارتباط ندارد. در این آزمایش، در صورتی که پس از پنج قاب، هیچ یک از نقاط ویژگی تغییر جهت ندهند، پردازش را روی قاب پنجم به‌عنوان قاب کلیدی انجام می‌دهیم.

نکته بعدی، روش در نظر گرفتن معیار مناسب برای انتخاب قاب کلیدی است. هر یک از جهت‌های مجاز جابه‌جایی نقاط ویژگی با توجه به تأثیر ماهیچه‌های صورت بر آنها، به‌عنوان معیاری برای انتخاب قاب کلیدی در نظر گرفته شده است. شکل ۲ معیارهای انتخاب را نشان می‌دهد. این معیارها بر مبنای فاصله میان برخی از نقاط ویژگی، برگزیده شده، به‌طوری که هر یک، نشانگر یکی از حرکتهای معنادار اجزای چهره باشد. به‌عنوان مثال، معیار یازدهم که با فاصله عمودی یکی از سوراخ‌های بینی از نقطه میانی چشم‌ها، مقداردهی می‌شود، نشان‌دهنده جابه‌جایی بینی در حالتیایی مانند انزجار است و از تحریک ماهیچه بالابرنده لب و بینی^۱ ناشی می‌شود.

با توجه به توضیحات بالا، الگوریتم انتخاب قاب‌های کلیدی در شکل ۳ آورده شده است. در این الگوریتم، *Select_factors* آرایه‌ای ۶×۱۱ است که هر یک از درایه‌های آن، یکی از معیارهای یازده‌گانه قاب جاری یا یکی از قاب‌های پیش‌نگر است. *Distance1* و *Distance2* در هر بار اجرای حلقه داخلی، جابه‌جایی یکی از معیارها را به‌ترتیب نسبت به قاب بعدی و قاب پس از آن نشان می‌دهند. شماره اولین قابی که در آن، این دو مقدار نسبت به هم تغییر جهت بدهند و تفاوت آنها از حد آستانه‌ای بیشتر باشد، به‌عنوان شماره قاب کلیدی

معیار مذکور در نظر گرفته می‌شود. کمینه شماره‌های معیارهای مختلف، شماره قاب کلیدی را مشخص می‌سازد. نکته شایان توجه در این الگوریتم، انتخاب حد آستانه مناسب است. حد آستانه بدین دلیل در نظر گرفته شده که خطاهای کوچک مرحله تحلیل در استخراج نقاط ویژگی، در انتخاب قاب کلیدی منظور نشود. تأثیر انتخاب حد آستانه مناسب، در کاهش و افزایش تعداد قاب‌های کلیدی و نیز میزان شباهت تصاویر ترکیب شده به تصاویر ورودی، نمود می‌یابد. در بخش ارزیابی به بررسی دقیق‌تر این تأثیر خواهیم پرداخت. پس از انتخاب قاب کلیدی بعدی، بردار ویژگی این قاب و نیز شماره آن در دنباله، برای مقصد فرستاده می‌شود و بدین ترتیب مرحله تحلیل به پایان می‌رسد. در ادامه به معرفی روش مورد استفاده در مرحله ترکیب می‌پردازیم.

```
Set the values of Select_factors of predictive frames
for j from 1 to Number_of_factors
for i from 1 to Number_of_predictive_frames-2
Set Distance1 as Select_factors ( i , j ) - Select_factors
( i+1 , j )
Set Distance2 as Select_factors ( i+1, j ) -
Select_factors ( i+2, j )
If Distance1 * Distance2 < 0 and abs ( Distance1 -
Distance2 ) >= Threshold
Set Number_of_keyframes ( j ) as i+1
Break
End if
End for i
If i = Number_of_predictive_frames - 2
Set Number_of_keyframes ( j ) as
Number_of_predictive_frames
End if
End for j
Set Final_number_of_keyframe as minimum of
Number_of_keyframes
```

شکل ۳ الگوریتم انتخاب قاب کلیدی بعدی

1. Levator Labii Superioris Alaeque Nasi

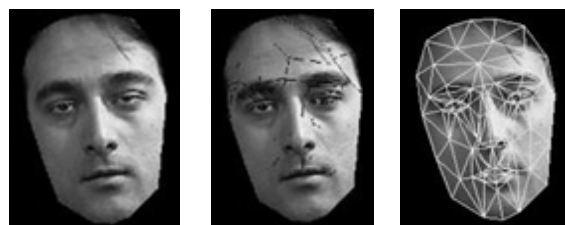
۳-۲- مرحله ترکیب

پس از آن که بردار ویژگی در مرحله تحلیل استخراج شد، به منظور نمایش مجدد، باید در مرحله ترکیب بر روی تصویر پایه‌ای از چهره فرد اعمال شود. در این مقاله تصویر پایه، اولین قاب دنباله ورودی در نظر گرفته شده است. روشن است که کل تصویر این قاب، به منظور استخراج بافت باید ارسال شود. در این صورت با در اختیار داشتن بافت قاب پایه و بردار ویژگی نشان دهنده حرکت‌های چهره، می‌توان با اعمال روشی مبتنی بر دگرپسی^۱، تصویر پویانمایی شده چهره را به دست آورد. بدین منظور، نخست لازم است مدل تور عمومی سه بعدی برای چهره در نظر گرفته شود تا تغییرات چهره، بر آن اعمال شود. مدل عمومی در نظر گرفته شده در این مقاله، CANDIDE-3 [۳۳]، یک مدل تور استاندارد و کمینه برای مدل سازی چهره انسان است. بازسازی دنباله تصویری در سه مرحله استخراج هندسه چهره، استخراج بافت چهره و درونابی بین قاب‌های کلیدی انجام می‌شود.

۳-۲-۱- استخراج هندسه چهره

مستقل از این که قاب مورد پردازش، قاب اول یا قاب‌های بعدی باشد، در اولین مرحله از ترکیب لازم است مدل چهره بر مختصات نقاط ویژگی ورودی منطبق شود. این شامل دو زیرمرحله انطباق عمومی و انطباق محلی می‌شود. در انطباق عمومی تمامی نقاط مدل چهره به عنوان یک کل جابه‌جا می‌شوند تا در مکان مناسبی با توجه به حرکات سر قرار گیرند. به این منظور به ترتیب ضرایب جابه‌جایی، مقیاس‌دهی و چرخش مناسبی محاسبه می‌شوند. در زیرمرحله انطباق محلی، تک تک نقاط تور چهره برای انطباق بر حالت چهره فرد در قاب مورد نظر جابه‌جا می‌شوند. از آنجا که فقط جابه‌جایی نقاط ویژگی - که شامل نقاط بارز چهره هستند - را در اختیار داریم، لازم است از درونابی برای محاسبه دیگر نقاط تور چهره با استفاده از جابه‌جایی نقاط ویژگی استفاده شود. نتایج اجرای هر

یک از این دو مرحله بر روی قاب نمونه در شکل‌های ۴-الف و ب نشان داده شده است. پس از آن که تک تک نقاط تور چهره در طی این دو زیرمرحله انطباق در مکان مناسبی قرار گرفت، گام بعدی استخراج بافت چهره است.



شکل ۴ نتیجه اجرای مراحل ترکیب: الف و ب مراحل استخراج هندسه و پ، ت و ث مراحل استخراج بافت را نشان می‌دهند.

۳-۲-۲- استخراج بافت چهره

همان‌طور که گفته شد، در این مقاله، بافت قاب اول دنباله به عنوان بافت پایه بر روی ساختار هندسه قاب‌های بعدی نگاشت می‌یابد. بنابراین، مراحل استخراج بافت چهره برای قاب اول و قاب‌های بعدی متفاوت خواهند بود. در مورد بافت اول، ساختاری متشکل از ویژگی‌های بافت پایه، محاسبه و به منظور پردازش در قاب‌های بعدی نگهداری می‌شود. این ساختار، شامل شماره مثلث مورد نظر، مختصات نقطه و مؤلفه‌های رنگ در آن نقطه برای هر یک از نقاط چهره است. در قاب‌های بعدی، این ساختار، از هندسه قاب اول بر روی هندسه قاب جاری نگاشت می‌یابد. بدین منظور، ماتریس تبدیل مستوی^۲ هر مثلث ساختار تور چهره نسبت به مثلث

2. affine

1. Deformation

متناظر آن در قاب اول محاسبه شده، با استفاده از رابطه زیر برای تبدیل تک تک نقاط داخلی مثلث به کار می‌رود.

$$\forall t_i \in Mesh, \forall p_{j,i} \in t_i, p'_{j,i} = A_i \times p_i \quad (1)$$

در این رابطه t_i یکی از مثلث‌های تور چهره، $p_{j,i}$ یکی از نقاط داخلی مثلث و $p'_{j,i}$ تبدیل یافته این نقطه با استفاده از ماتریس تبدیل مستوی متناظر با مثلث t_i یعنی A_i است. نتایج اجرای این مراحل در شکل‌های ۴-پ، ت و ث نشان داده شده است. توضیح بیشتری درباره استخراج هندسه و بافت چهره در [۳۴] آورده شده است.

۳-۲-۳- درونیابی بین قاب‌های کلیدی

با توجه به این که بهترین و سریعترین روش مورفینگ بین دو تصویر، استفاده از تور است [۳۰]، در این پژوهش، به منظور درونیابی میان دو قاب کلیدی، بین مقادیر جابه‌جایی نقاط ویژگی، از درونیابی خطی استفاده شده و مقدار جابه‌جایی برای هر یک از نقاط ویژگی در قاب مورد نظر از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$FV_k = FV_i + \frac{k-i}{j-i} (FV_j - FV_i) \quad (2)$$

در این رابطه i شماره قاب کلیدی قبلی، j شماره قاب کلیدی بعدی، k شماره قاب جاری و FV_i بردار ویژگی قاب i ام است. پس از درونیابی بردار ویژگی قاب جاری، مراحل استخراج هندسه و بافت چهره بر آن اعمال می‌شود. این مرحله با در اختیار داشتن هندسه و بافت قاب‌های کلیدی متوالی و نیز تعداد قاب‌های میانی آنها می‌تواند با هر روش جایگزین دیگری، مانند یکی از روشهای مورفینگ [۳۰] انجام شود. شکل ۵ تعدادی از قاب‌های کلیدی و قاب‌های درونیابی شده میان آنها را نشان می‌دهد.

۴- ارزیابی

پایگاه تصاویر مورد استفاده در این پژوهش از میان دنباله‌های

ویدئویی پایگاه تصاویر احساسی دانشگاه تربیت مدرس (TMU-EMODB) [۳۵] انتخاب شده است. در این آزمایشها، تصاویر روبه‌روی فرد استفاده شده و تغییر شدت نور در دنباله‌های آزمایشی وجود ندارد. چرخش سر تا حدی که تمامی اجزای چهره مشاهده می‌شود، مجاز است. مجموعه آزمایشی، مشتمل بر ۶۰ قاب ابتدایی از ۳۰ دنباله در شش حالت پایه است. ارزیابی روشهای گذشته، شامل مقایسه دیداری تصویرهای ورودی و ترکیب شده می‌شود [۱۳] و [۲۶] و [۳۱]. در این پژوهش، علاوه بر استفاده از این روش ارزیابی، چارچوبی برای ارزیابی پارامتری روش پیشنهادی ارائه می‌شود که در آن، پس از معرفی معیارهای سنجش، دو روش ترکیب بدون درونیابی و با درونیابی مقایسه می‌شوند.

۴-۱- ارزیابی دیداری روش پیشنهادی

در شکل ۵ برخی از قاب‌های بازسازی شده به دو روش بدون درونیابی و با درونیابی مقایسه شده است. تصویرهای ورودی به منظور مقایسه در سطر اول نشان داده شده است. همان‌طور که در [۳۴] گفته شده و در شکل نیز دیده می‌شود، روش ترکیب مورد استفاده، مانند سایر روشهای پارامتری‌سازی، امکان ایجاد چین و چروک پوست را بدون در اختیار داشتن ساختار اضافی ندارد. اما آن‌گونه که در قاب‌های شماره ۲۷ تا ۲۹ دیده می‌شود، این روش می‌تواند در حرکتهای سریع سر، به خلاف تصویر ورودی، تصویری روشن و غیرتار را ارائه کند. در سطر دوم و سوم این شکل، به ترتیب قاب‌های بازسازی شده به روش بدون درونیابی و روش ترکیبی نشان داده شده است. قاب‌های کلیدی در سطر سوم با حاشیه دور آنها مشخص شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، به دلیل انتخاب ضابطه‌مند قاب‌های کلیدی، درونیابی بین جابه‌جایی نقاط ویژگی، مقادیر مناسبی را برای مختصات رئوس مدل فراهم می‌آورد و تفاوت قابل مشاهده‌ای در قاب‌های بازسازی شده به این دو روش دیده نمی‌شود.



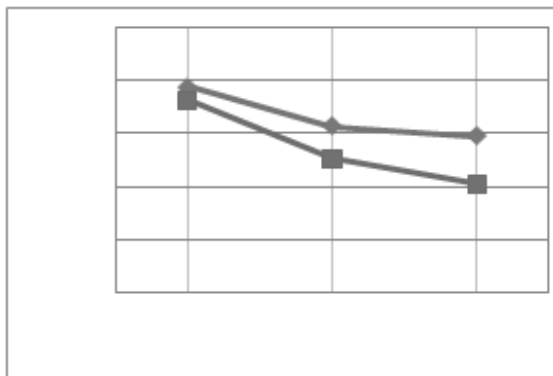
شکل ۵ ترکیب چهره با استفاده از درونیابی بین قاب‌های کلیدی و مقایسه با ترکیب بدون درونیابی: ردیف اول نشان‌دهنده قاب پایه، ردیف دوم تصویر ترکیب شده بدون درونیابی و ردیف سوم به روش ترکیبی پیشنهادی. قاب‌های شماره ۲۱، ۲۶، ۲۸، ۳۳، ۳۴ و ۳۹ قاب‌های کلیدی است.

۴-۲- ارزیابی پارامتری روش پیشنهادی

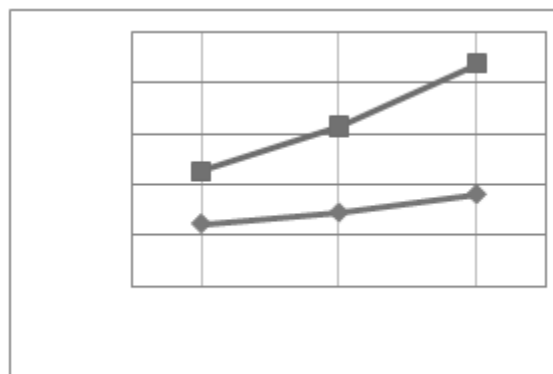
به منظور تخمین عددی میزان افت کیفیت ناشی از درونیابی و از آن‌جا که در این کاربرد خاص می‌توان شباهت دو تصویر ورودی و خروجی را به عنوان معیار مناسبی برای ارزیابی مطرح کرد، از معیارهای ارزیابی بازتابی بر مبنای محتوای تصویر^۱ استفاده کردیم [۳۲]. معیارهای انتخابی و ارتباط آنها در جدول ۲ نشان داده شده است. به منظور مقایسه سراسری دو تصویر، از معیارهای ماتریس هم‌وقوعی^۲ یعنی انرژی^۳، همبستگی^۴، تباین^۵ و یکنواختی^۶ و برای مقایسه‌ی محلی آنها از معیار میانگین مربعات خطا^۷ در بلوک‌های 1×1 (MSE1)، 2×2 (MSE4) و 3×3 (MSE9) استفاده شد. از آن‌جا که در بازسازی دنباله تصویری با بهره‌گیری از قاب اول به عنوان قاب پایه، هرچه از قاب اول فاصله بگیریم، خطای بازسازی با توجه به تغییراتی که در جهت‌گیری انجام می‌شود، به طور صعودی افزایش می‌یابد، مقادیر به دست آمده برای این معیارها در دنباله تصویری با الگوی مورد انتظار مقایسه شد و معیار MSE1 به عنوان گویاترین معیار محلی و معیار تفاوت همبستگی به عنوان گویاترین معیار سراسری در نظر گرفته شد.

در شکل ۶ اثر افزایش تعداد قاب‌های پیش‌نگر و نیز حد آستانه بر میزان کاهش اطلاعات و میزان کاهش دقت، با بهره‌گیری از شش آزمایش مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که انتظار می‌رود، با افزایش حد آستانه و تعداد قاب‌های پیش‌نگر، حجم

اطلاعات مورد نیاز کاهش و خطای ترکیب افزایش می‌یابد. با توجه به این رابطه و بررسی میزان کاهش اطلاعات ارسالی به بهای از دست رفتن کیفیت، عدد پنج برای تعداد قاب پیش‌نگر و مقدار ۴ برای حد آستانه در نظر گرفته شد. در جدول ۳ دو آزمایش با تعداد قاب‌های پیش‌نگر برابر پنج و حد آستانه‌های ۳ و ۴ به طور دقیق‌تری مقایسه شده است. مقادیر معیارهای انتخابی در سه آزمایش با یکدیگر مقایسه شده است.



الف) نمودار درصد اطلاعات مورد نیاز



ب) نمودار خطای MSE1

شکل ۶ تأثیر پارامترهای انتخاب قاب کلیدی بر کیفیت و میزان کاهش اطلاعات. N تعداد قاب‌های پیش‌نگر را نشان می‌دهد.

1. Content-Based Image Retrieval
2. Co-occurrence Matrix
3. Energy
4. Correlation
5. Contrast
6. Homogeneity
7. Mean Squared Error (MSE)

جدول ۲ معیارهای پیشنهادی برای ارزیابی پارامتری

معیارخطا	رابطه (P نشان دهنده ماتریس هم‌وقوعی، μ نشان دهنده میانگین، σ نشان دهنده واریانس و N و M نماینده طول و عرض تصاویر ورودی و خروجی است.)
MSE1	$MSE1 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (G(i,j) - G'(i,j))^2}{N \times M}$
MSE4	$MSE4 = \frac{\sum_{i=1}^{N/2} \sum_{j=1}^{M/2} (\sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 G(k,l) - \sum_{k=1}^2 \sum_{l=1}^2 G'(k,l))^2}{N \times M}$
MSE9	$MSE9 = \frac{\sum_{i=1}^{N/3} \sum_{j=1}^{M/3} (\sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 G(k,l) - \sum_{k=1}^3 \sum_{l=1}^3 G'(k,l))^2}{N \times M}$
تفاوت انرژی	$Energy = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M p(i,j)^2$ $\Delta Energy = Energy(G) - Energy(G') $
تفاوت همبستگی	$Colloration = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{(i - \mu_i)(j - \mu_j)p(i,j)}{\sigma_i \sigma_j}$ $\Delta Correlation = Correlation(G) - Correlation(G') $
تفاوت تباين	$Contrast = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M i - j ^2 p(i,j)$ $\Delta Contrast = Contrast(G) - Contrast(G') $
تفاوت یکنواختی	$Homogeneity = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M \frac{p(i,j)}{1 + i - j }$ $\Delta Homogeneity = Homogeneity(G) - Homogeneity(G') $

کاهش دقت و نیز کاهش حجم اطلاعات ارسالی می‌شود. زیرا انتخاب مقدار سه برای حد آستانه، موجب ارسال بردارهای ویژگی ۳۷ درصد از قاب‌ها می‌شود، در حالی که با حد آستانه برابر چهار، ۳۰ درصد از قاب‌ها به‌عنوان قاب کلیدی انتخاب شده است. این اعداد که نشان دهنده درصد حجم اطلاعات ارسالی در روش پویانمایی با استفاده از درونبایی نسبت به روش بدون استفاده از آن است، از رابطه زیر محاسبه می‌شوند:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^N (N_K(i)+1)}{N \times L} \% \quad (3)$$

در این رابطه N تعداد دنباله‌های ویدئویی، L تعداد قاب‌ها در هر دنباله و $N_K(i)$ تعداد قاب‌های کلیدی استخراج شده از دنباله i ام را نشان می‌دهد. این تعداد در هر دنباله با یک جمع می‌شود تا تأثیر ارسال قاب اول در این اندازه‌گیری در نظر گرفته شود. کاهش نه درصدی حجم اطلاعات در ترکیب چهره با حد آستانه برابر چهار همان‌طور که در جدول ۳ می‌بینیم، موجب افت کیفیت می‌شود. این افت کیفیت از ۱/۴ درصد در معیار تفاوت همبستگی بیشتر نیست و نیز افت کیفیت در گویاترین معیار (MSE1) بیش از ۰/۵ درصد نبوده است.

۱- ترکیب بدون درونبایی که در آن با تمامی قاب‌های دنباله مانند قاب کلیدی رفتار می‌شود

۲- ترکیب با درونبایی با حد آستانه برابر ۳ برای انتخاب قاب‌های کلیدی

۳- ترکیب با درونبایی با حد آستانه برابر ۴

در جدول ۳ سطر الف، میزان افت کیفیت روش ترکیب بدون درونبایی در مقایسه با روش با درونبایی نشان داده شده است. همان‌گونه که دیده می‌شود، این افت در بدترین حالت و در معیار تفاوت انرژی دیده می‌شود که مقدار آن کمتر از سه درصد خطایی است که خود روش بدون درونبایی داشته است. در معیار MSE1 به‌عنوان گویاترین معیار، خطای روش با درونبایی با حد آستانه برابر سه نسبت به روش بدون درونبایی، در حدود یک درصد افزایش یافته که با توجه به کاهش ۶۳ درصدی در حجم اطلاعات ارسالی و شباهت دیداری تصاویر به‌دست آمده در این دو روش، قابل چشم‌پوشی است. سطر ب در جدول ۳ میزان افت کیفیت روش ترکیب با حد آستانه برابر چهار را نسبت به روش ترکیب با حد آستانه‌ی برابر سه نشان می‌دهد. همان‌طور که انتظار می‌رود، افزایش حد آستانه موجب

جدول ۳ میزان افت کیفیت سه روش ترکیب چهره نسبت به یکدیگر. Key روش بدون درونیایی، Int3 روش با درونیایی با حد‌آستانه برابر سه و Int4 روش با درونیایی با حد‌آستانه برابر چهار است.

معیار خطا	MSE1	MSE4	MSE9	تفاوت انرژی	تفاوت همبستگی	تفاوت تباین	تفاوت یکنواختی
الف) افت کیفیت روش ترکیب با درونیایی نسبت به روش ترکیب بدون درونیایی	۰.۹۹۵	۱.۷۳۸	۱.۹۰۷	۲۸۶۶	۰.۰۰۲	۰.۶۶۴	۰.۰۰۵
$\frac{ F(Int3) - F(Key) }{F(Key)} \%$							
ب) افت کیفیت روش با درونیایی با استفاده از حد آستانه برابر چهار نسبت به حد آستانه سه	۰.۳۹۸	۰.۵۶۳	۰.۱۷۳	۰.۹۰۴	۱.۱۶۶	۰.۶۵۹	۰.۰۴۵
$\frac{ F(Int4) - F(Int3) }{F(Int3)} \%$							

با توجه به مباحث بالا، روش ترکیب چهره با درونیایی با حد آستانه‌ی برابر چهار در انتخاب قاب‌های کلیدی پیشنهاد می‌شود. میانگین و انحراف معیار خطای تصویرها با استفاده از این روش، نسبت به تصویرهای ورودی در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، تفاوت در معیارهای سراسری، بسیار ناچیز و نزدیک به صفر است. معیارهای سنجش محلی MSE4 و MSE9 نیز با توجه به عدم حساسیت چشم انسان نسبت به تغییر در سطوح کوچکی به اندازه نقطه، کمتر از یک واحد رنگی در مقدار خاکستری است. میانگین و انحراف معیار در MSE1 نشان می‌دهد که مقدار رنگ نقاط تصویر ترکیب شده می‌تواند بین ۲.۳ تا ۷.۵ واحد رنگی در مقدار خاکستری با مقدار رنگ نقطه‌های تصویر اصلی تفاوت داشته باشند.

مسئله مهم دیگر در این‌جا، زمان اجرای الگوریتم است. واحدهای افزوده شده در روش ترکیبی نسبت به روش بدون درونیایی، واحد انتخاب قاب کلیدی در مرحله تحلیل و نیز واحد درونیایی بین قاب‌های کلیدی در

مرحله ترکیب است. از آن‌جا که درونیایی با استفاده از محاسبه‌ای ساده انجام می‌شود، فقط زمان لازم برای انتخاب قاب کلیدی را در سیستمی با مشخصات Intel® Core™2 CPU 6420 @ 2.13 GHz و حافظه RAM برابر 1.97 GB محاسبه کردیم. در ۶۹۹ بار تکرار، به‌طور میانگین اجرای آن حدود ۴۲۸ میکروثانیه طول کشید. با توجه به سادگی الگوریتم ارائه شده و نتایج مناسبی که در ارزیابی دقت به‌دست آمده، این الگوریتم برای کاربرد موردنظر مناسب به نظر می‌رسد.

علی‌رغم نبود پایگاه تصاویر مشترک و نیز تفاوت بین کاربردهای مورد نظر، روشهای مشابه در جدول ۵ از نظر نوع رویکرد با روش پیشنهادی مقایسه شده است. از آن‌جا که در ارزیابی این روش‌ها، از ارزیابی دیداری و نه پارامتری استفاده شده، برخی معیارهای کیفی بدین منظور در نظر گرفته شده است. همان‌طور که دیده می‌شود، روش مورد استفاده، مزیت خودکار بودن و استفاده از یک دید را دارد و به‌علاوه مزیت استفاده از درونیایی میان قاب‌های کلیدی را نیز دارا می‌باشد.

جدول ۴ میانگین و انحراف معیار خطای تصاویر ترکیب شده به روش ترکیب چهره با درونیابی با استفاده از حد آستانه برابر چهار در انتخاب قاب‌های کلیدی نسبت به تصاویر ورودی

شاخص آماری	MSE1	MSE4	MSE9	تفاوت انرژی	تفاوت همبستگی	تفاوت تباین	تفاوت یکنواختی
میانگین	۴.۹۴۵۰	۰.۸۹۷۱	۰.۱۲۳۴	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۱۶	۰.۰۰۰۵
انحراف معیار	۲.۶۱۶۹	۰.۴۵۸۲	۰.۰۷۷۲	۰.۰۰۰۷	۰.۰۰۰۶	۰.۰۰۱۳	۰.۰۰۰۴

جدول ۵ مقایسه کیفی روش پیشنهادی با پژوهش‌های پیشین

روش	خودکار بودن فرایند ترکیب	استفاده از تصویر یک دید	پیچیدگی تور مورد استفاده	جهت‌گیری پژوهش	ارزیابی پارامتری	استفاده از درونیابی
Liu و همکاران [۲۴]	x	✓	متوسط	انتقال حالت به یک مدل معین	x	x
Fidaleo و همکاران [۲۵]	x	x	پیچیده	استخراج مدل چهره	x	x
Sheng و همکاران [۲۷]	✓	✓	ساده	پویانمایی احساس چهره	x	x
Theobald و همکاران [۲۸]	x	✓	ساده	پویانمایی احساس، انتقال حالت به چهره دیگر	x	x
روش پیشنهادی	✓	✓	ساده	انتقال حالت به چهره خود فرد	✓	✓

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله چارچوبی برای پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی معرفی شد. سپس روش قاب‌بندی کلیدی به منظور کاهش حجم اطلاعات مورد نیاز در این چارچوب گنجانده شد. با افزودن مرحله انتخاب قاب‌های کلیدی در پایان مرحله تحلیل و افزودن مرحله درونیابی بین قاب‌های کلیدی در مرحله ترکیب، به این هدف دست یافتیم. ارزیابی ما نشان‌دهنده زمان اجرای بسیار کم (کمتر از ۰/۵ میلی ثانیه) برای به‌دست آوردن نتایج این دو مرحله است. در صورتی که این روش با کاهش ۷۰ درصدی در حجم اطلاعات ارسالی و افت کیفیت قابل چشم‌پوشی (۰.۹۹۵) در خطای

میانگین مربعات و ۰.۰۰۲ در تفاوت همبستگی) نسبت به روش بدون درونیابی برای انتقال اطلاعات در پهنای باند کم مناسب به‌نظر می‌رسد. از آن جا که در چارچوب پیشنهادی، سهم هر مرحله در فرایند کاملاً مشخص است، می‌توان در هر یک از این مراحل، روش مورد استفاده را برای افزایش واقع‌نمایی یا کارایی زمانی تغییر داد. آنچه در این مقاله آورده شد، فقط تبیین‌کننده تأثیر ترکیب روش قاب‌بندی کلیدی بر نتایج یکی از روشهای پویانمایی با استفاده از بردارهای ویژگی است. علاوه بر این، معرفی معیارهای ارزیابی در این کاربرد خاص، مقایسه روشهای پیشنهادی را در آینده ساده‌تر می‌سازد.

۶- منابع

- Cloning," in International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 2001, pp. 277 - 288.
- [7] J. Haber, "MEDUSA —A Facial Modeling and Animation System," Max-Planck-Institut für Informatik, Saarbrücken, Technical Report 2001.
- [8] K. Kahler, J. Haber, and H. P. Seidel, "Geometry-based Muscle Modeling for Facial Animation," in Graphics Interface, Ottawa, Ontario, Canada 2001, pp. 37 - 46.
- [9] P. Eisert and B. Girod, "Analyzing facial expressions for virtual conferencing," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 18, pp. 70-78, 1998.
- [10] M. Hoch, G. Fleischmann, and B. Girod, "Modeling and animation of facial expressions based on B-Splines," Journal of the Visual Computer, vol. 11, pp. 87-95, 1994.
- [11] Y. Luo, M. Gavrilova, and M. C. Souza, "NPAR by Example: line drawing facial animation from photographs," in Conference on Computer Graphics and Imaging Visualization, 2006, pp. 514-521.
- [12] F. Pighin, J. Hecker, D. Lischinskiy, R. Szeliskiz, and D. H. Salesin,
- [1] X. Wei, Z. Zhu, L. Yin, and Q. Ji, "A Real Time Face Tracking and Animation System," in Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2004, pp. 71-79.
- [2] G. Takács, A. Tihanyi, T. Bárdi, G. Feldhoffer, and B. Srancsik, "Speech to Facial Animation Conversion for Deaf Customers," in EUSIPCO Florence Italy, 2006.
- [3] V. Vinayagamoorthy, M. Gillies, A. Steed, E. Tanguy, X. Pan, C. Loscos, and S. M., "Building Expression into Virtual Characters," in Eurographics Conference State of the Art Report, 2006.
- [4] M. Chabanas, C. Marecaux, Y. Payan, and F. Boutault, "Computer aided planning for orthognatic surgery," in Computer Assisted Radiology and Surgery, 2002, pp. 988-993.
- [5] J. x. Chai, J. Xiao, and J. Hodgins, "Vision-based Control of 3D Facial Animation " in ACM SIGGRAPH/ Eurographics symposium on Computer animation, San Diego, California, 2003, pp. 193-206.
- [6] J. y. Noh and U. Neumann, "Expression

- [17] C.-S. Lee, A. Elgammal, and D. Metaxas, "Synthesis and Control of High Resolution Facial Expressions for Visual Interactions," in IEEE International Conference on Multimedia and Expo, Toronto, Canada, 2006, pp. 65-68.
- [18] D. Vlasic, M. Brand, H. Pfister, and J. Popovic, "Face Transfer with Multilinear Models ",ACM Transactions on Graphics, vol. 24, pp. 426 - 433, July 2005.
- [19] Q. Zhang, Z. Liu, B. Guo, and H. Shum, "Geometry-driven photorealistic facial expression synthesis," in Eurographics/ SIGGRAPH Symposium on Computer Animation, San Diego, California, 2003 , pp. 177-186.
- [20] T. Suontphunt, Z. Mo, U. Neumann, and Z. Deng, "Interactive 3D Facial Expression Posing through 2D Portrait Manipulation," in Graphics Interface, Windsor, Ontario, Canada, 2008, pp. 177-184.
- [21] Q. Li and Z. Deng, "Facial Motion Capture Editing by Automated Orthogonal Blendshape Construction and Weight Propagation," Technical Report UH-CS-07-12, 2008.
- [22] P. Joshi, W. C. Tien, M. Desbrun, and F. "Synthesizing Realistic Facial Expressions from Photographs," in International Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques, 1998, pp. 75-84.
- [13] Y. Sheng, A.H. Sadka, and A. M. Kondo, "Automatic Single View-Based 3-D Face Synthesis for Unsupervised Multimedia Applications," IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 18, pp. 961 - 974, 2008.
- [14] B. Choe, H. Lee, and H.-S. Ko, "Performance-Driven Muscle-Based Facial Animation," The Journal of Visualization and Computer Animation, vol. 12, pp. 67-79, 2001.
- [15] E. S. Chuang, H. Deshpande, and C. Bregler, "Facial Expression Space Learning," in 10th Pacific Conference on Computer Graphics and Applications, 2002, pp. 68- 76.
- [16] Z. Deng, P.-Y. Chiang, P. Fox, and U. Neumann, "Animating blendshape faces by cross-mapping motion capture data," in symposium on Interactive 3D graphics and games Redwood City, California, 2006, pp. 43 - 48.

- Systems, Vancouver, BC, Canada, 2001, pp. 16-22.
- [27] B.-J. Theobald, L. Matthews, M. Mangini, J. R. Spies, T. R. Brick, J. F. Cohn, and S. M. Boker, "Mapping and Manipulating Facial Expression," *Language and Speech*, vol. 52, pp. 369-386, 2009.
- [28] Y. Hu, M. Zhou, and Z. Wu, "A Dense Point-to-Point Alignment Method for Realistic 3D Face Morphing and Animation," *International Journal of Computer Games Technology*, 2009.
- [29] H. Bahonar and N. M. Charkari, "Facial feature detection and extraction using symmetry and region-based deformable template matching," in *14th International CSI Computer Conference (CSICC2009)*, Tehran, Iran, 2009.
- [30] G. Wolberg, "Image morphing: a survey " *The Visual Computer*, vol. 14, pp. 360-372, 1998.
- [31] Y. Zhang and C. L. Tan, "Anthropometric Modeling of Faces from Range Scans," *International Journal of Computer Science and Network Security*, vol. 7, pp. 9-20, 2007.
- [32] P. Howarth and S. Rüger, "Evaluation of Texture Features for Content-Based Pighin, "Learning Controls for Blend Shape Based Realistic Facial Animation," in *ACM SIGGRAPH/ Eurographics symposium on Computer animation*, San Diego, California, 2003, pp. 187 - 192.
- [23] Y. Cao, P. Faloutsos, and F. Pighin, "Unsupervised learning for speech motion editing," in *ACM SIGGRAPH/Eurographics symposium on Computer animation*, San Diego, California, 2003, pp. 225 - 231.
- [24] Z. Liu, Z. Zhang, C. Jacobs, and M. Cohen, "Rapid modeling of animated faces from video images," in *Proceedings of the eighth ACM international conference on Multimedia Marina del Rey, California, United States 2000*, pp. 475 - 476
- [25] D. Fidaleo and G. Medioni, "Model-Assisted 3D Face Reconstruction from Video," in *Proceedings of Third International Workshop on Analysis and Modeling of Faces and Gestures*, Rio de Janeiro, Brazil, 2007, pp. 124-138.
- [26] C.-M. Cheng and S.-H. Lai, "An integrated approach to 3D face model reconstruction from video," in *Proceedings of IEEE ICCV Workshop on Recognition, Analysis, and Tracking of Faces and Gestures in Real-Time*

هجدهمین کنفرانس ملی، اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، اردیبهشت ۱۳۸۹.

[۳۵] محرم منصوری زاده و نصرالله مقدم چرکری "پایگاه داده صوتی-تصویری احساس به زبان فارسی" مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس ملی مهندسی کامپیوتر ایران، تهران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، اسفند ۱۳۸۷.

Image Retrieval," in Proceedings of Third International Conference on Image and Video Retrieval, Dublin, Ireland, 2004, pp. 2134-2135.

[33] <http://www.icg.isy.liu.se/candide/main.htm>

[۳۴] هدی باهنر و نصرالله مقدم چرکری " روشی برای پویانمایی چهره با استفاده از بردارهای ویژگی با کاربرد در کنفرانس ویدئویی" مجموعه مقالات

