



سنتر حالات چهره انسان با روش مبتنی بر توزیع نیروی کشسانی اعمالی از طرف نقاط کنترلی

هانیه مریخی و حسین ابراهیم‌نژاد*

آزمایشگاه تحقیقاتی بینایی کامپیوتر، دانشکده مهندسی برق، دانشگاه صنعتی سهند تبریز، تبریز، ایران

چکیده

این مقاله یک روش جدید برای سنتر حالات چهره انسان پیشنهاد می‌دهد که در آن برای شبیه‌سازی جابه‌جایی نقاط چهره در حالت‌های احساسی مختلف یک نیروی کشسانی تعریف می‌شود. اساس این نیرو وجود نقاط کنترلی با مختصات و جهت‌های معین روی تصویر چهره هست. به عبارت دیگر هر نقطه کنترلی یک نیروی کشسانی به نقاط چهره وارد کرده و آن‌ها را در جهت معینی حرکت می‌دهد. اندازه نیروی اعمالی به هر نقطه با فاصله بین آن نقطه و نقطه کنترلی رابطه عکس دارد. برای چند نقطه کنترلی، نیروی وارد شده به نقاط چهره برآیند نیروهای مربوط به تمام نقاط کنترلی است. برای سنتر حالت خاصی از چهره، محل نقاط کنترلی و پارامترهای نیرو برای دستیابی به چهره حالت‌دار تنظیم می‌شوند. جزئیات چهره با هرم لاپلاسی استخراج شده و به تصویر سنتر شده اضافه می‌شود. نتایج پیاده‌سازی نمایش‌دهنده کیفیت بصری بالا و پیچیدگی محاسباتی پایین روش پیشنهادی است.

واژگان کلیدی: سنتر حالت چهره، تغییر شکل چهره، پویانمایی چهره، شبیه‌سازی حالت.

Synthesis of human facial expressions based on the distribution of elastic force applied by control points

Haniye Merrikhi & Hossein Ebrahimnezhad*

Computer Vision Res. Lab, Faculty of Electrical Engineering, Sahand University of Technology, Tabriz, Iran

Abstract

Facial expressions play an essential role in delivering emotions. Thus facial expression synthesis gain interests in many fields such as computer vision and graphics. Facial actions are generated by contraction and relaxation of the muscles innervated by facial nerves. The combination of those muscle motions is numerous. therefore, facial expressions are often person specific. But in general, facial expressions can be divided into six groups: anger, disgust, fear, happiness, sadness, and surprise. Facial expression variations include both global facial feature motions (e.g. opening or closing of eyes or mouth) and local appearance deformations (e.g. facial wrinkles and furrows).

Ghent and McDonald introduced the Facial Expression Shape model and Facial Expression Texture Model respectively for the synthesizing global and local changes. Zhang et al. published an elastic model to balance the local and global warping. Then, they added suitable illumination details to the warped face image with muscle-distribution-based model.

The goal of facial expression synthesis is to create expressional face image of the subject with the availability of neutral face image of that subject.

This paper proposes a new method for synthesis of human facial expressions, in which an elastic force is defined to simulate the displacement of facial points in various emotional expressions. The basis of this force is the presence of control points with specific coordinates and directions on the face image. In other words,

* Corresponding author

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات

each control point applies an elastic force into the points of the face and moves them in a certain direction. The force applied to each point is inversely proportional to the distance between that point and the control point. For several control points, the force applied to the points of the face is the result of the forces associated with all control points. To synthesize a specific expression, the location of the control points and parameters of the force are adjusted to achieve an expression face. Face detail is extracted with laplacian pyramid and added to the synthesized image.

The proposed method was implemented on the KDEF and Cohn-Kanade (CK+) databases and the results were put on for comparison. Two happy and sad expressions were selected for synthesis. The proper location of the control points and elastic force parameters were determined on the neutral image of the target person based on the expressional images in the database. Then, the neutral image of the person was warped with the elastic forces. Facial expression details have been added with laplacian pyramid method to the warped image. Finally, the experimental results were compared with the photo-realistic and facial expression cloning methods which demonstrate the high visual quality and low computational complexity of the proposed method in synthesizing the face image.

Keywords: Facial expression Synthesis, Face deformation, Face animation, Expression cloning.

حالات چهره، گسترش دادند. در این مدل، چهره به ۴۴ بخش فعال^۴ تقسیم شده و ویژگی‌های حرکتی و تأثیر این ویژگی‌ها روی حالت چهره مورد بررسی قرار می‌گیرد. بسیاری از روش‌های موجود برای سنتز چهره، روی بخش‌های فعال تمرکز کرده‌اند. پویاسازی حالات چهره [11] با تکیه بر بخش‌های فعال، یک مدل ماهیچه برای شبیه‌سازی facesها و سنتز حالات چهره ارائه می‌دهد. در ادامه لی و همکاران [12] یک مدل ارائه داده‌اند که بر مبنای فیزیولوژی دارای سه سطح ساختاری پوست، استخوان و ماهیچه است. بنابراین سنتز حالت چهره واقعی‌تری خواهد داشت. گنت و مک دونالد [13] مدل استاتیک faces را گسترش داده و مدل شکل حالت چهره^۵ fesm و مدل بافت حالت چهره^۶ fetm را شرح داده‌اند. این دو مدل قوانین faces را حفظ کرده و برای حالتی که هویت فرد در داده‌های آموزشی حضور ندارد، انعطاف‌پذیری کافی دارند. آن‌ها با استفاده از این دو مدل به یک تابع نگاهت حالت، از تصویر چهره خنثای یک فرد به تصویر چهره با حالت دلخواه همان فرد دست یافتند. همچنین آن‌ها با استفاده از شبکه‌های عصبی متعدد به همراه این دو مدل به تصاویر واقع‌گرایانه‌تری رسیدند.

در مدل شکل فعال^۷ [14] یک مدل پارامتری برای تطبیق چهره بشری ارائه می‌شود. در این مدل نحوه تغییر شکل چهره از نمونه‌های آموزشی، فراگیری شده و پارامترها برای تطابق با شکل میانگین نمونه‌های آموزشی، تنظیم می‌شوند. مدل ظاهری فعال^۸ [15] بافت صورت بشری را به مدل شکل فعال اضافه می‌کند. در ادامه، مرجع [5] به مسأله ارائه چهره برای تشخیص حالات چهره و سپس سنتز آن

۱- مقدمه

انتقال حالت از یک شخصیت به یک شخصیت دیگر کاربردهای متعددی در زمینه‌های مختلف از جمله ساخت پویانمایی دارد [1]. روان‌شناس‌ها ثابت می‌کنند که حالات چهره در برقراری ارتباط بین فردی اهمیت بسیاری دارند [2]. [3]. درحقیقت حالات چهره در ارتباط کلامی نقش یک مکمل را بازی می‌کنند. بنابراین آنالیز و سنتز حالت چهره یک موضوع پژوهشی بسیار مهم به‌شمار می‌آید. در سال‌های اخیر، تحلیل حالات چهره در زمینه‌های بینایی رایانه و گرافیک مانند اثر متقابل انسان و ماشین [2]، [4]، برنامه‌ریزی جراحی چهره [5]، [6]، ویدئوکنفرانس [3]، آواتار [7]، ساخت فیلم و پویانمایی کاربرد فراوان داشته است. عامل ایجاد حرکت در چهره، وجود بیش از بیست گروه از ماهیچه‌های چهره است که با اعصاب چهره درگیر هستند؛ این ماهیچه‌ها باعث تغییرات کلی^۱ چهره مانند باز شدن دهان و حرکت لب‌ها و تغییرات محلی^۲ مانند چین‌وچروک کنار چشم و پیشانی می‌شوند [3]، [8]، [9]. ترکیب حرکات این ماهیچه‌ها بسیار زیاد است؛ در نتیجه حالات چهره بسیاری در ضمن این حرکات به‌وجود خواهند آمد که در کل می‌توان این حالات را به شش حالت اساسی شادی، تعجب، خشم، ترس، غم و انزجار تقسیم کرد. وجود تفاوت چهره افراد مختلف و تفاوت در ویژگی‌های حرکتی آن‌ها، تحلیل و سنتز حالت چهره را به یک موضوع پژوهشی چالش‌برانگیز تبدیل کرده است. در ادامه به بعضی از روش‌های سنتز و سپس انتقال حالت چهره پرداخته می‌شود. اکمن و فریزن [10] سامانه کدگذاری اعمال چهره^۳ (facs) را بر مبنای حرکات ماهیچه‌های چهره و تأثیر آن روی

⁴ Action units

⁵ Facial expression shape model

⁶ Facial expression texture model

⁷ Active shape model

⁸ Active appearance model

¹ Global

² Local

³ Facial action coding system

استفاده آنها آسان تر است؛ اما این روشها در نبود چهره فرد در داده‌های آموزشی، عملکرد مناسبی ندارند. ژونگ و همکاران [19] برای حل این مشکل یک روش دو مرحله‌ای را ارائه دادند. آنها ابتدا یک مدل ظاهری آماری را برای ارائه چهره معرفی کردند. این مدل چهره را به هفت قسمت تقسیم کرده و یک مدل شکل کلی و یک مدل بافت محلی را به صورت جداگانه می‌سازد؛ سپس آنها یک چهارچوب بازسازی همسایه را توسعه داده‌اند که در آن بردار حالت هدف با ترکیب خطی بردارهای حالت همسایه فرد تقریب زده می‌شود.

در سال‌های اخیر، یکی دیگر از زمینه‌های پرکاربرد بویاسازی چهره در رابطه با انتقال حالت چهره از فردی به فرد دیگر بوده است که در ادامه به شرح برخی از این روشها پرداخته می‌شود. یانگ و همکاران [20] یک روش سلسله‌مراتبی برای انتقال حالت چهره از یک فرد به فرد دیگر در طرح⁵ ارائه داده‌اند. در این روش برای غلبه بر تأثیر نوفه در استخراج ویژگی، مدل NET⁶ از روی توسعه مدل morphable تعریف می‌شود. با استفاده از مدل تعریف شده، رفتار حالت چهره از نمونه‌های صورت همسایه فراگیری می‌شود. بردارهای حرکتی روی صورت مقصد تنظیم می‌شوند و نتیجه پویانمایی برای جای‌گذاری با چهره فرد مرجع به دست می‌آید.

روش انتقال حالت پویای واقعی [3] از مدل فعال ظاهری برای جداسازی و هم‌محور کردن بافت و شکل صورت استفاده می‌کند. صورت‌های آموزشی با ظاهر چندحالتی، با مدل تانسورفیس غیرخطی سنتز می‌شوند؛ سپس تغییرات شکل پویا ساخته شده و چهره‌های آموزشی به یک حالت غیر خنثی تغییر شکل⁷ می‌دهند؛ سپس جزئیات حالت چهره آموزشی استخراج شده و این جزئیات به چهره تغییر شکل یافته مقصد انتقال می‌یابد. ژانگ و همکاران [21] برای غلبه بر مشکلات تغییر شکل جهانی ابتدا یک روش تغییر شکل محلی را تعریف کرده و سپس یک مدل کشسانی را برای ایجاد تعادل بین تغییر شکل کلی و محلی ارائه دادند. همچنین آنها از یک مدل بر مبنای توزیع ماهیچه‌ها برای شرح جزئیات روشنایی استفاده کرده‌اند. لی و همکاران [22] روشی بر مبنای هدف‌گذاری مجدد ویدئو ارائه دادند. این روش دارای دو بخش بازیابی ویدئو و نگاشت حالت است. در بخش بازیابی، یک معیار برای نزدیکی حالت چهره پیشنهاد می‌شود که برای هر قاب از دنباله ورودی با استفاده از این معیار در دنباله مورد جستجو،

پرداخته است. در این کار از مدل ظاهری فعال جهانی به همراه مدل تقسیم‌بندی دوخطی¹ برای جداسازی عامل حالت و هویت از پارامترهای ظاهری جهانی استفاده می‌شود. در واقع تشخیص حالت با تحلیل جداکننده خطی پارامترهای ظاهری استخراج شده انجام می‌شود. نتایج به دست آمده برای آموزش و آزمون تصاویر استفاده شده و سپس برای سنتز حالت، تقسیم‌بندی دوخطی با استفاده از جایگذاری فاکتورهای حالت انجام می‌گیرد.

هانگ و سو [16] روش جدیدی برای پیش‌بینی یک حالت مشخص نادیده از چهره خنثای فرد مورد نظر پیشنهاد داده‌اند. این روش دارای دو بخش است که در بخش نخست یک شبکه تنظیم بر مبنای یادگیری منیفولد غیرخطی، برای تقریب حالت چهره دلخواه نادیده استفاده می‌شود که نتایج بهتری نسبت به بازسازی pca² دارد. در بخش بعدی برای یادگیری ویژگی‌های محلی در ارتباط بین قطعات باقیمانده³ خنثی و قطعات باقیمانده تصویر حالت‌دار از شبکه مارکف استفاده و با انتشار باور⁴، باقیمانده چهره حالت‌دار استنتاج می‌شود؛ سپس ترکیب دو گام، تصویر نهایی را به دست می‌دهد.

ژانگ و همکاران [17] یک سامانه مبتنی بر هندسه را برای سنتز حالت چهره طراحی کردند. در این سامانه، روش نگاشت حالت با افزایش جزئیات چهره بهبود می‌یابد. این سامانه با داشتن نقاط ویژگی صورت، به طور خوار تصویر حالت‌دار واقع‌گرایانه را تولید می‌کند. به خاطر سختی ردیابی نقاط، تعداد نقاط در دسترس از دنباله عملکرد چهره کمتر از تعداد نقاط ویژگی مورد نیاز است. در این سامانه برای به دست آوردن حرکات نقاط ویژگی از دست‌رفته، از یک رویکرد مبتنی بر مثال استفاده می‌شود. کاربرد دیگر این سامانه تصحیح حالت صورت در شرایطی است که کاربر نقاط ویژگی را حین تولید حالت چهره توسط سامانه، تغییر می‌دهد.

در [18] یک روش بر مبنای الگوی حرکتی یادگیری شده از پایگاه داده برای سنتز حالت ارائه می‌شود که در آن مجموعه ناحیه‌های چهره معرفی شده و برای آموزش الگوی حرکتی هر ناحیه از الگوریتم خوشه‌بندی سلسله‌مراتبی، استفاده می‌شود؛ سپس الگوی استخراج شده برای سنتز پارامتری مدل چهره هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های مبتنی بر آمار برای سنتز حالت، مقاوم بوده و

⁵ Sketch

⁶ Neighbor expression transfer

⁷ Warp

¹ Bilinear factorisation

² Principal component analysis

³ Residual

⁴ Belief propagation

ویرایش تصاویر اصلاح شده پواسون⁶ به فرد هدف اضافه می‌شود. نتایج انتقال یافته در کانال Y با کانال‌های U و V تصویر هدف تغییر شکل یافته ترکیب شده و تصویر حالت‌دار فرد هدف تشکیل می‌شود. در مرجع [26] یک روش سه‌مرحله‌ای برای سنتز خودکار حالت چهره فرد هدف ارائه شده است که مرحله نخست آن مربوط به تطابق سه مجموعه نقاط ویژگی چهره تصویر خنثای مرجع، تصویر حالت‌دار مرجع و تصویر خنثای هدف است؛ سپس در مرحله دوم تغییر شکل اجزای چهره در فرد هدف با یک الگوریتم تغییر شکل مش که بر مبنای یادگیری حرکات نقاط ویژگی فرد مرجع است، به دست می‌آید. در مرحله نهایی جزئیات حالت چهره مرجع به مکان‌های متناظر در فرد هدف با برازش اختلاف روشنایی نگاشت می‌شود.

نمونه‌های یاد شده در بالا و مطالعات مشابه بیان‌گر این است که ایجاد تغییر شکل در تصویر چهره و سنتز حالت چهره اهمیت بالایی دارد؛ اما مدل‌های یاد شده دارای پیچیدگی محاسباتی بالا بوده و به زمان پردازش بسیار بالایی نیاز دارند. از این رو در مطالعه حاضر از روش جدیدی برای تغییر شکل چهره، با بهره‌گیری از جابه‌جایی نقاط ویژگی صورت، استفاده می‌شود. در این روش، نیروی وارد شده از طریق اعصاب چهره به صورت یک نیروی کشسانی اعمالی از طرف نقاط کنترلی شبیه‌سازی می‌شود. نیروی کشسانی وارده از طرف یک نقطه کنترلی روی هر نقطه صورت با فاصله بین آن دو نقطه، رابطه عکس دارد. در این مطالعه، با تعریف نقاط کنترلی یک رابطه ریاضی برای نیروی کشسانی ارائه شده و با قراردادن نقاط کنترلی در مختصات معین و تنظیم پارامترهای نیرو به صورت دستی به سنتز کلیات حالت چهره پرداخته می‌شود؛ سپس جزئیات چهره مربوط به یک حالت با استفاده از هرم لاپلاسن استخراج شده و به تصویر سنتز شده قبلی اضافه می‌شود.

ادامه این مقاله به شرح زیر سازماندهی می‌شود: در بخش دوم به شرح و بحث نقاط کنترلی و نیروی کشسانی مربوطه پرداخته و در بخش سوم سنتز حالت چهره با استفاده از نیروی کشسانی و نحوه افزودن جزئیات به طور کامل توضیح داده می‌شود. نتایج شبیه‌سازی در بخش چهارم آورده شده است و بخش پنجم به نتیجه‌گیری و تحلیل نتایج می‌پردازد.

۲- نیروی کشسانی و نقاط کنترلی

عامل ایجاد حرکت در چهره، وجود نیروهای عصبی در عضلات چهره است [3]، [8]، [9]. در این مقاله، این نیروها به صورت نیروهای اعمال شده از طرف یک سری نقاط متمرکز روی

⁶ Poisson image editing method

قاب‌هایی با حالت مشابه انتخاب می‌شوند. از آن جایی که انسجام زمانی یک شاخص مهم در ویدئو است، روش بهینه‌سازی کوتاه‌ترین مسیر گراف مستقیم¹، برای انتخاب بهترین قاب از نظر انسجام زمانی نیز در این روش به کار می‌رود. در نهایت از روش نگاشت حالت $ST-EMI^2$ برای بهبود عملکرد توالی بازیابی شده استفاده می‌شود. بازنمایی خودکار چهره [23] یک سامانه جایگذاری چهره کاربر با چهره بازیگر را در ویدئوی هدف پیشنهاد می‌دهد. این کار نیز دارای دو بخش بازیابی تصویر و انتقال چهره است. قسمت بازیابی تصویر شامل خوشه‌بندی زمانی دنباله هدف و تعریف معیار تطبیق حالت تصویر برای تطابق با ویدئوی مرجع است. بخش انتقال صورت نیز شامل تغییر شکل دوبعدی با حفظ هویت است. یکی دیگر از روش‌های انتقال حالت در ویدئو روش طرح شده در مرجع [24] است که در آن یک روش پارامتری برای انتقال حالت چهره در ویدئو ارائه می‌شود. در این کار از حس‌گر RGB-D برای ضبط عملکرد فرد مرجع و مقصد استفاده می‌شود؛ سپس یک مدل پارامتری با پارامترهای هویت، حالت چهره و انعکاس پوست، روی داده‌های ورودی انطباق می‌یابد. در ادامه، برای انتقال حالت، تفاوت حالت مرجع و هدف در فضای حالت محاسبه می‌شود و پارامترهای هدف برای تطابق با حالت مرجع تغییر می‌کنند. در آخر، برای این که ویدئوی سنتز شده از ویدئوی واقعی قابل تشخیص نباشد، تنظیم نوری صحنه انجام می‌شود. وی و همکاران [9] یک روش مبتنی بر تحلیل فرکانسی برای انتقال حالت از فرد مرجع به چهره خنثای فرد هدف ارائه دادند. آن‌ها ابتدا ویژگی‌های چهره را به صورت خودکار استخراج کردند و سپس به دلیل همگن نبودن چهره، در ایجاد تغییر شکل صورت از مثلث‌بندی استفاده کردند. در ادامه تبدیل وابستگی³ برای ایجاد چهره غیر خنثی استفاده می‌شود. حوزه فرکانس برای شرح جزئیات قابلیت بسیار بالایی دارد. بنابراین در این مدل برای انتقال جزئیات حالت از تبدیل موجک⁴ استفاده می‌شود. تیان و همکاران [25] نیز از تبدیل فوریه سریع⁵ برای انتقال جزئیات چهره در حوزه فرکانسی استفاده کردند. آها فضای رنگی YUV را برای نمایش تصاویر حالت‌دار انتخاب کرده و جزئیات چهره را با استفاده از تبدیل فوریه سریع کانال Y تصویر حالت‌دار مرجع استخراج به دست آوردند. جزئیات استخراج شده با روش

¹ The directed graph for shortest path optimization

² Spatio-temporally coherent expression mapping method

³ Affine transform

⁴ Wavelet transform

⁵ Fast Fourier Transform

بردار کنترلی است که با نگاشت بردار \vec{R} بر روی بردار کنترلی \vec{P} با رابطه زیر به دست می آید.

$$r_i = \frac{\vec{R} \cdot \vec{P}}{|\vec{P}|} \quad (1)$$

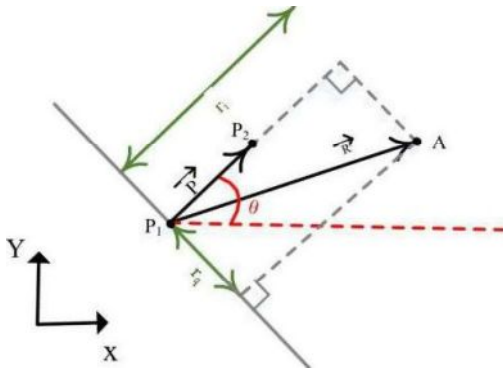
در رابطه (۱) صفر نشان دهنده ضرب داخلی و $|.|$ نشان دهنده اندازه بردار است. \vec{R} و \vec{P} به ترتیب نشان دهنده بردار کنترلی و بردار جابه جایی هستند. همچنین r_q در شکل (۲) نشان دهنده فاصله عمود بر بردار کنترلی است که با نگاشت بردار \vec{R} روی بردار \vec{n} به دست می آید:

$$r_q = \frac{\vec{R} \cdot \vec{n}}{|\vec{n}|} \quad (2)$$

در رابطه (۲)، \vec{n} نمایش دهنده بردار عمود بر بردار \vec{P} است.

۲-۳- رابطه ریاضی نیروی کشسانی

نیروی کشسانی یک شبیه سازی از نیروهای عصبی چهره است و نیروی عصبی وارد شده به نقاط مختلف چهره تحت حالات احساسی غیر خنثی با فاصله گرفتن از مراکز نیرو، عضلات درگیر با اعصاب چهره، کاهش می یابد. بنابراین نیروی کشسانی با فواصل در راستا و عمود تعریف شده در قسمت قبل، رابطه عکس دارد. همچنین جهت نیروهای عصبی وارده به نقاط چهره با جهت بردار کنترلی شبیه سازی می شود.



(شکل-۲): نمایش فاصله در راستا و فاصله عمودی

(Figure-2): Demonstration of inphase and quadrature distance

برای سازماندهی فواصل در راستا و عمود در تعریف رابطه ریاضی نیروی کشسانی از یک تابع گوسی استفاده می شود. رابطه نیروی کشسانی به صورت زیر تعریف می شود:

$$\vec{F} = e^{-\frac{r_i^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{r_q^2}{2\sigma^2}} \hat{P} \quad , \quad \hat{P} = \frac{\vec{P}}{|\vec{P}|} \quad (3)$$

در رابطه (۳) r_i و r_q به ترتیب نمایش دهنده فاصله در راستا و فاصله عمود بر بردار کنترلی هستند. \hat{P} نشان دهنده بردار یکه در جهت بردار کنترلی است. همچنین در این رابطه σ نمایش دهنده شعاع پیکسل های تحت اثر نیروی کشسانی

چهره فرد شبیه سازی می شوند. از این نقاط تحت عنوان نقاط کنترلی و از این نیروها تحت عنوان نیروهای کشسانی یاد می شود. نقاط کنترلی، نقاطی با مختصات و جهات معین روی تصویر چهره هستند که نیروهای کشسانی را به تمام نقاط (پیکسل های) تصویر چهره وارد می کنند. این نیروها، نقاط تصویر چهره را در یک جهت معین جابه جا کرده و یک حالت خاص یا پویایی را در چهره به وجود می آورند. در این بخش، به معرفی بردار کنترلی، شرح فواصل بین نقاط کنترلی و نقاط چهره و سپس تعریف نیروی کشسانی پرداخته می شود.

۲-۱- معرفی بردار کنترلی

نقاط کنترلی، نقاطی با مختصات معین روی تصویر چهره هستند که عامل ایجاد نیروی کشسانی و حرکات چهره به حساب می آیند. به منظور شبیه سازی حرکات چهره، نیروی کشسانی وارد شده به نقاط باید جهت دار باشد. بنابراین، به جای استفاده از یک نقطه کنترلی تنها، از یک نقطه کنترلی و یک جهت استفاده می شود؛ از این رو بردارهای کنترلی اعمال کننده نیرو وجود خواهند داشت. البته باید توجه شود که اندازه بردار تأثیری در این نیروها نداشته و تنها جهت بردار تأثیرگذار خواهد بود. در شکل (۱) دو بردار کنترلی با نقاط سبز و قرمز نشان داده شده است، که نقاط قرمز نقاط کنترلی و نقاط سبز جهت های بردارها را نشان می دهند.



(شکل-۱): نمایش نقاط کنترلی. نقاط قرمز نقاط کنترلی و نقاط

سبز جهت را نمایش می دهند.

(Figure-1): Demonstration of control points. Red points are control points and green points are directions

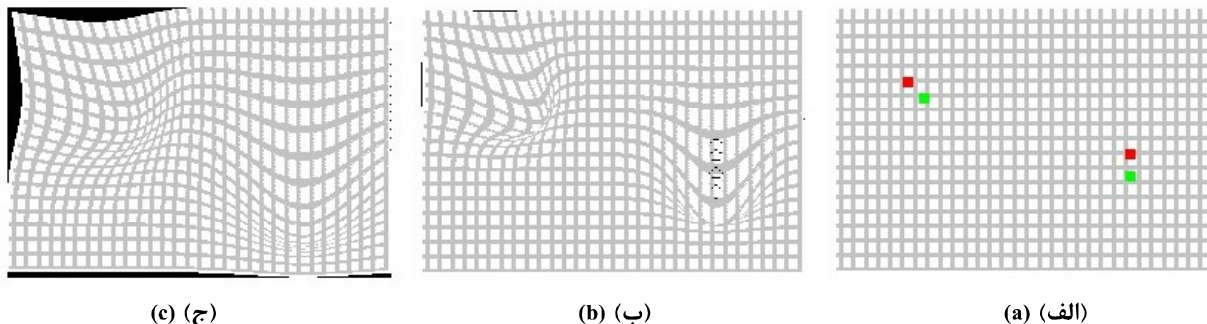
۲-۲- تعریف فاصله در راستا و فاصله عمود

شکل (۲) نمایش دقیقی از موقعیت نقاط کنترلی نسبت به نقاط صورت را به دست می دهد. در شکل (۲)، \vec{P} بردار کنترلی تشکیل شده از نقطه کنترلی P_1 و نقطه نشان دهنده جهت P_2 است و \vec{R} بردار جابه جایی بین نقطه کنترلی P_1 و نقطه دلخواه چهره A است. r_i در شکل (۲) نشان دهنده فاصله در راستای

در رابطه (۴)، d_0 پارامتر جابجایی صفر و یا به عبارت دیگر مقدار جابجایی در حالتی است که هر دو فاصله r_i و r_q برابر صفر باشند. در واقع d_0 یک ضریب برای وزن دهی به اثر نیروی هر نقطه کنترلی است. همچنین به دلیل مثبت بودن این پارامتر، جابجایی نقاط هم‌راستا با نیروی کشسانی و بردار کنترلی خواهد بود. در حضور یک نقطه کنترلی، نقاط تصویر یک جابجایی در جهت محور x و یک جابجایی در جهت محور y به صورت زیر خواهند داشت:

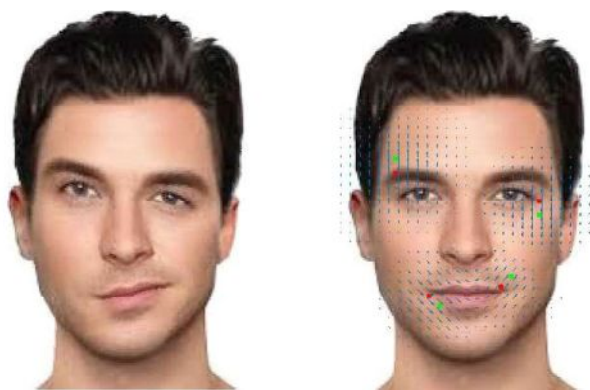
است. با توجه به رابطه (۳) نیروی وارده به پیکسل‌های مجاور هم‌جهت با بردار کنترلی خواهد بود و با فاصله گرفتن از نقطه کنترلی نیروی وارد شده به نقاط چهره کاهش می‌یابد. همچنین نیروی کشسانی به صورت نرمالیزه بوده و مقداری بین صفر و یک دارد. جابجایی ناشی از نیروی کشسانی به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\vec{d} = d_0 \vec{F}, d_0 > 0 \quad (4)$$



(شکل-۳): بررسی تأثیر σ روی محدوده عملکرد نقطه کنترلی. (الف) صفحه شرطنجی قبل از اعمال نیرو و نمایش نقاط کنترلی. (ب) اعمال نیرو با $\sigma = 30$. (ج) اعمال نیرو با $\sigma = 50$.

(Figure-3): Effect of σ on performance domain of control points. (a) Control points on grid before deformation. (b) Grid after deformation with $\sigma = 30$. (c) Grid after deformation with $\sigma = 50$.



(الف) (a) نمایش نقاط کنترلی و بردارهای جابجایی. (ب) تصویر تغییر شکل یافته.

(شکل-۴): عملکرد نقاط کنترلی. (الف) نمایش نقاط کنترلی و بردارهای جابجایی. (ب) تصویر تغییر شکل یافته.

(Figure-4): Performance of control points. (a) Demonstration of control points on face image and motion vectors. (b) Deformed face image.

اعمال نیروها نشان می‌دهد. روی شکل (۳-الف) دو نقطه با رنگ قرمز نمایش‌گر نقاط کنترلی و دو نقطه با رنگ سبز نشان‌دهنده جهت این نقاط هستند. بنابراین دو نیرو به نقاط تصویر وارد می‌شود. شکل (۳-ب و ج) صفحه شرطنجی را بعد از اعمال نیرو نشان می‌دهد. در شکل (۳-ب و ج) به ترتیب σ برابر سی و پنجاه است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، با افزایش σ تعداد پیکسل‌هایی که تحت تأثیر نیرو قرار می‌گیرند، افزایش یافته است. شکل (۴) نمونه‌ای از جابجایی نقاط صورت با سه نقطه کنترلی را نشان می‌دهد. در شکل (۴-الف) نقاط کنترلی و بردارهای جابجایی یا شار نوری^۱ نقاط نمایش داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود،

$$d_x = d_0 e^{-\frac{r_i^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{r_q^2}{2\sigma^2}} \cos \theta \quad (5)$$

$$d_y = d_0 e^{-\frac{r_i^2}{2\sigma^2}} e^{-\frac{r_q^2}{2\sigma^2}} \sin \theta \quad (6)$$

در رابطه (۵) جابجایی نقاط در جهت افقی را نشان می‌دهد و در رابطه (۶) نشان‌دهنده جابجایی در جهت عمودی است. در رابطه (۵) و رابطه (۶)، θ زاویه بردار کنترلی با محور افقی (شکل (۲)) در نظر گرفته شده است.

برای بررسی دقیق عملکرد نقاط کنترلی و تأثیر σ روی محدوده عملکرد از یک صفحه شرطنجی مطابق شکل (۳) استفاده شده است. شکل (۳-الف) صفحه شرطنجی را قبل از

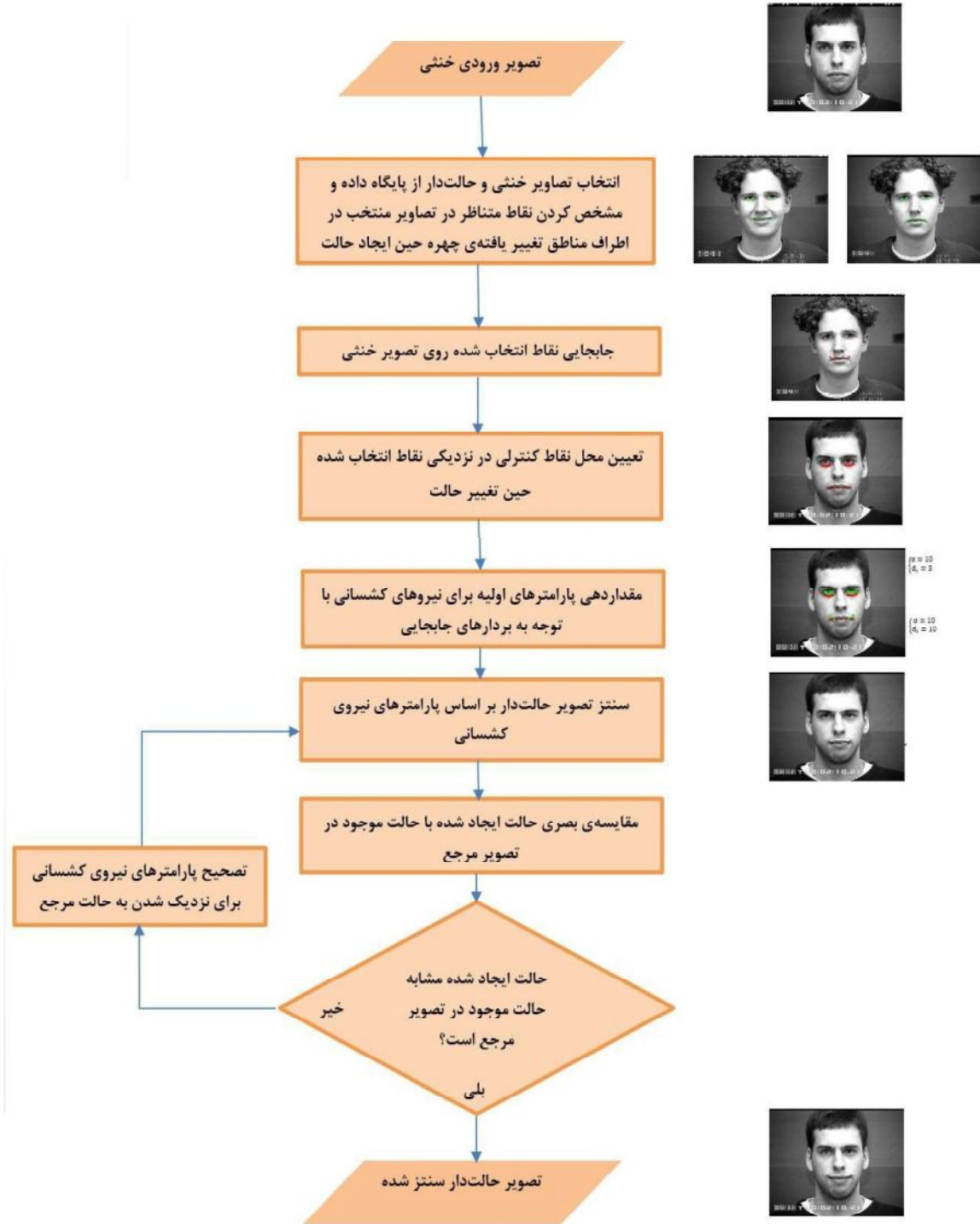
¹ Optical flow

سنتر چهره حالت‌دار یک فرد می‌توان با جابه‌جایی نقاط چهره خنثای یک فرد به چهره حالت‌دار همان فرد دست یافت. همچنین ایجاد یک حالت چهره طبیعی علاوه بر حرکت نقاط چهره، نیازمند اضافه کردن جزئیات مربوط به آن حالت است. این روش سنتر حالات‌های احساسی چهره، شامل دو بخش سنتر کلیات چهره با نقاط کنترلی و افزودن جزئیات چهره است.

بردارهای جابه‌جایی در نقاط نزدیک به نقاط کنترلی بزرگ بوده و جهت آنها با جهت بردار کنترلی یکسان است. همچنین جابه‌جایی نقاطی که در دامنه اثر چند نقطه کنترلی هستند، برآیند جابه‌جایی ناشی از هر نقطه کنترلی است.

۳- سنتر حالت چهره

همان‌طور که در قسمت ۲ توضیح داده شد، از نقاط کنترلی می‌توان برای ایجاد جابه‌جایی نقاط چهره استفاده کرد. برای



(شکل-۵): بلوک دیاگرام سنتر حالات چهره با نقاط کنترلی.

(Figure-5): Block diagram for Synthesis of facial expressions with control points.

۱-۳- سنتز کلیات چهره با نقاط کنترلی

برای سنتز یک حالت خاص باید جابه‌جایی نقاط چهره آن حالت نسبت به حالت خنثی توسط نیروهای کشسانی شبیه‌سازی شود. برای این کار به صورت دستی چند نقطه در اطراف چشم‌ها، ابروها و دهان قرار داده می‌شود؛ سپس مقادیر σ و d_0 و زاویه θ به نحوی تنظیم می‌شود که تصویر سنتز شده دارای حالت دلخواه باشد. همچنین تعداد نقاط کنترلی به کار گرفته شده به صورت تجربی به دست می‌آید. روندنمای شکل (۵) مراحل سنتز حالت چهره را برای تصویر خنثای ورودی به همراه مثالی از سنتز حالت خوشحال در سمت چپ تصویر نشان می‌دهد. برای سنتز یک حالت چهره تصاویر خنثی و حالت‌دار یک فرد به عنوان مرجع از پایگاه داده انتخاب می‌شود. برای مشاهده جابه‌جایی‌های چهره، نقاطی در نواحی چشم‌ها، لب‌ها و ابروها روی تصویر خنثی انتخاب شده و نقاط متناظر آن‌ها نیز در تصویر حالت‌دار مشخص می‌شوند. در شکل (۵)، چهار نقطه در اطراف چشم‌ها و چهار نقطه در اطراف لب‌ها برای حالت خنثی و نقاط متناظر در تصویر حالت‌دار نشان داده شده است. جابه‌جایی نقاط در تصویر خنثی با بردارهای قرمز نشان داده شده‌اند. در واقع با استفاده از این بردارها می‌توان به محل و جهت تقریبی جابه‌جایی‌های چهره دست یافت. برای ایجاد جابه‌جایی‌های مشابه در تصویر خنثای ورودی ابتدا چند نقطه کنترلی را در اطراف بردارهای رسم شده در مرحله قبل انتخاب می‌کنیم. این نقاط کنترلی با رنگ قرمز در تصویر شکل (۵) نشان داده شده‌اند؛ سپس نیازمند تعیین مقادیر پارامترهای σ ، d_0 و زاویه θ هستیم. به این منظور یک مقدار اولیه برای این سه پارامتر در نظر گرفته و نیروی‌های کشسانی را با پارامترهای اولیه بر روی تصویر خنثی اعمال می‌کنیم. در شکل (۵) نقاط کنترلی و جهت آن‌ها به ترتیب با رنگ قرمز و سبز نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، مقدار اولیه پارامتر σ برای تمام نقاط کنترلی برابر ده در نظر گرفته شده است و مقدار اولیه d_0 برای نقاط اطراف چشم‌ها و لب‌ها به ترتیب برابر سه و ده است. باید توجه شود که جهت نیروها در تصویر ورودی نزدیک به جهت بردارهای جابه‌جایی تصویر مرجع است، اما به دلیل تفاوت‌های فردی در اندازه اجزای چهره لزوماً با آن برابر نیست. بعد از مقداردهی اولیه، با تغییر پارامترهای نیروی کشسانی و مقایسه تصویر حالت‌دار به دست آمده با حالت مرجع به تصویر با حالت دلخواه می‌رسیم. تصویر نهایی سنتز شده در مرحله آخر شکل (۵) نمایش داده شده است.

در شکل (۶-الف-ج) سنتز حالت اخم توسط نقاط کنترلی نشان داده شده است. شکل (۶-الف) تصویر چهره خنثی را نشان می‌دهد. نقاط قرمز و سبز شکل (۶-ب) به ترتیب نشان‌گر محل نقاط کنترلی و جهت بردار کنترلی هستند. نتیجه سنتز حالت با نقاط کنترلی در شکل (۶-ج) نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، نتیجه شبیه‌سازی از نظر کلیات عملکرد خوبی دارد، اما تصویر فاقد جزئیاتی مانند چین و چروک پیشانی و اطراف دهان است. دلیل این امر آن است که چین و چروک صورت در نتیجه تاخوردگی پوست، ایجاد سایه و تغییر در روشنایی ایجاد می‌شود که این تغییرات با استفاده از جابه‌جایی نقاط چهره قابل دست‌یابی نیستند. از این رو در قسمت بعد به شرح روشی برای افزودن جزئیات پرداخته می‌شود.

۲-۳- افزودن جزئیات چهره

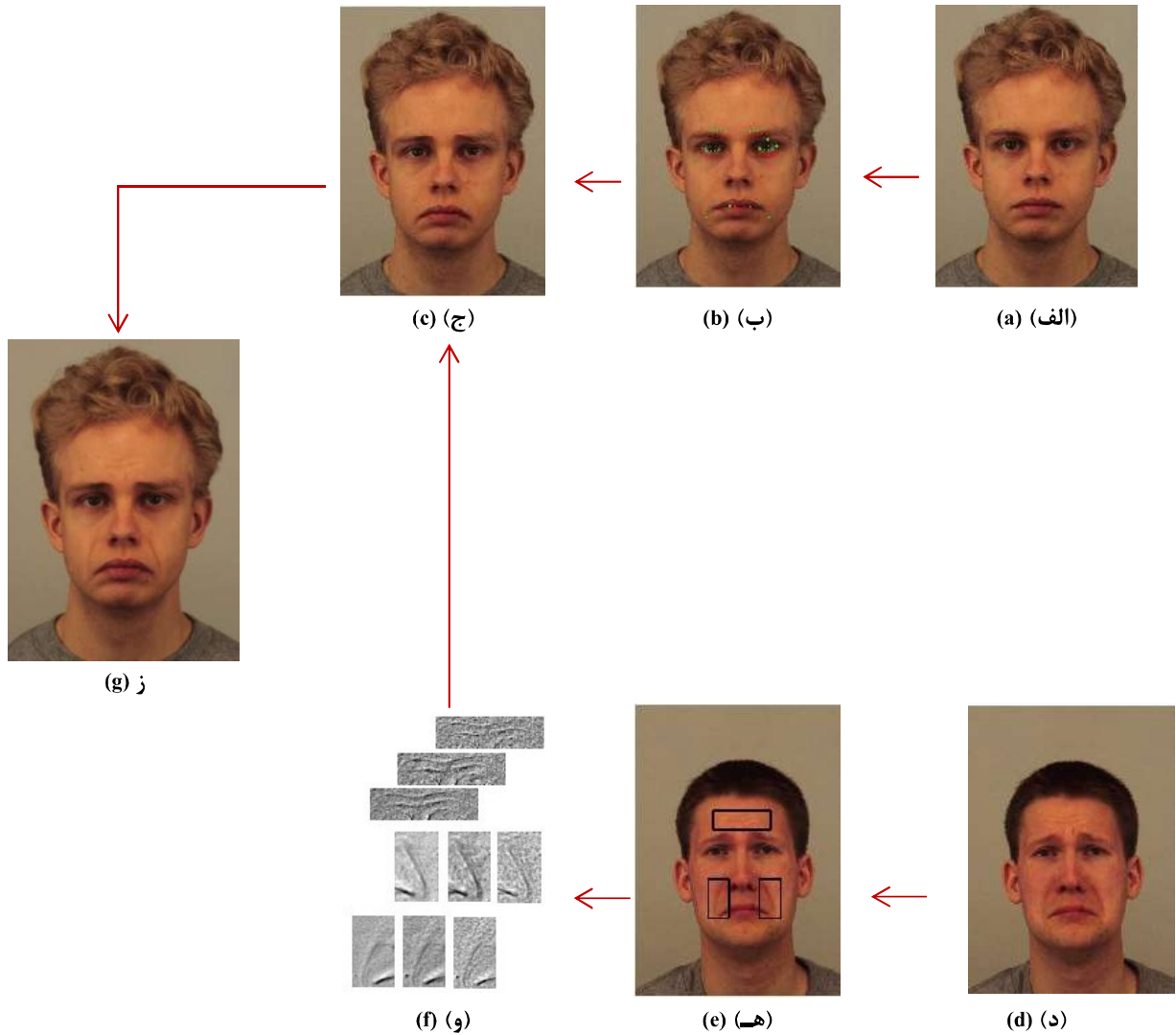
در حالت‌های احساسی مختلف، چین و چروک‌هایی در قسمت‌های مختلف صورت ایجاد می‌شود که این چین و چروک‌ها در افراد مختلف برای یک حالت مشابه (مانند غم) تا حدودی تفاوت دارند. اما با هدف القای یک حالت احساسی مشابه به مخاطب، برای مثال القای حس غم، می‌توان از جزئیات چهره یک فرد برای سنتز تصویر حالت‌دار فرد دیگر استفاده کرد.

همان‌طور که در شکل (۶-د-و) مشاهده می‌شود، از یک تصویر غمگین با هویت متفاوت برای استخراج جزئیات چهره استفاده شده است. شکل (۶-د) تصویر حالت‌دار استفاده شده برای استخراج جزئیات را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل (۶-ه) مشاهده می‌شود، تنها از بخش‌های تصویر حالت‌دار که دارای جزئیات و چین و چروک مربوط به حالت هستند، استفاده شده است؛ سپس برای استخراج اطلاعات مربوط به جزئیات چهره از این بخش‌ها از هرم لاپلاسی استفاده می‌شود [24]. با توجه به عملکرد میان‌گذر هرم لاپلاسی بالاترین سطح^۱ آن دارای بالاترین سطح فرکانسی و بیشترین جزئیات است. بنابراین، از این سطح هرم می‌توان برای استخراج و انتقال جزئیات استفاده کرد. با استفاده از هرم لاپلاسی تجزیه مشابهی برای هر یک از بخش‌های تصویر حالت‌دار و بخش‌های متناظر در تصویر سنتز شده انجام می‌شود. بالاترین سطح در تصویر حالت‌دار جایگزین بالاترین سطح در تجزیه بخش متناظر تصویر سنتز شده با نقاط کنترلی می‌شود. شکل (۶-و) بالاترین سطح هرم لاپلاسی را برای بخش‌های پیشانی و

^۱ Finest level

سنتز شده نهایی در شکل (۶-ز) به دست می‌آید که هم شامل تغییرات کلی چهره و هم شامل تغییرات محلی چهره است.

اطراف دهان نشان می‌دهد. در این شکل، جزئیات سه رنگ قرمز، سبز و آبی به صورت جداگانه نشان داده شده‌اند. با انتقال جزئیات از تصویر حالت‌دار به تصویر سنتز شده، تصویر



(شکل-۶): نمای کلی سنتز حالت چهره. (الف) چهره خنثی. (ب) نمایش نقاط کنترلی. (ج) چهره سنتز شده با نقاط کنترلی. (د) تصویر حاوی جزئیات. (ه) بخش‌های حاوی جزئیات حالت. (و) بالاترین سطح هرم لاپلاسیان بخش‌های حاوی جزئیات. (ز) تصویر سنتز شده نهایی (Figure-6): Overview of the synthesis of facial expressions. (a) Neutral face. (b) Displaying control points. (c) The image synthesized by elastic forces. (d) The image used to extract details. (e) Finest Laplacian pyramid level of detailed sections. (f) Final synthesized image.

دوم ۱۴ نقطه و برای فرد سوم ۲۷ نقطه است. نقاط قرمز، نقاط کنترلی و نقاط سبز جهت بردارها را نشان می‌دهند. شکل (۷-ج) تصویر سنتز شده با نیروهای کشسانی را نمایش می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، نیروهای کشسانی حرکت لب‌ها و بسته شدن چشم‌ها را شبیه‌سازی کرده‌اند؛ اما تصاویر سنتز شده فاقد جزئیات حالت لب‌خند است. شکل (۷-د) تصاویر حالت‌دار استفاده شده برای استخراج جزئیات را نشان می‌دهد. شکل (۷-ه) نشان‌دهنده تصویر نهایی سنتز بعد از اضافه کردن جزئیات اطراف دهان است.

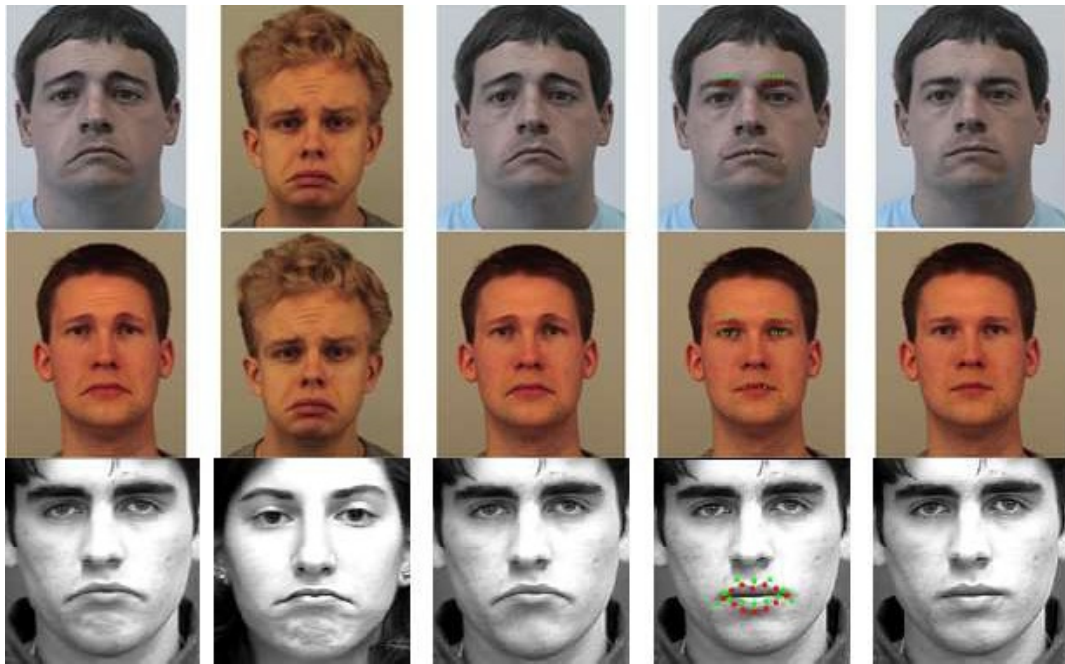
۴- نتایج شبیه‌سازی

در این مقاله، از تصاویر پایگاه داده‌ی Cohn-Kanade (CK+) [27] و [28]KDEF برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی استفاده شده است. شکل (۷) مراحل سنتز حالت لب‌خند و نتایج حاصل روی سه فرد مختلف را با استفاده از روش پیشنهادی نشان می‌دهد. شکل (۷-الف) چهره خنثای سه فرد و شکل (۷-ب) موقعیت نقاط کنترلی را برای هر فرد نشان می‌دهد. تعداد نقاط کنترلی استفاده شده در سنتز نخست و



(الف) (ا) (ب) (ب) (ج) (د) (د) (ه) (ه)

(شکل-۷): سنتز حالت لبخند با استفاده از نیروهای کشسانی و افزودن جزئیات (روش پیشنهادی). (الف) چهره‌های خنثی. (ب) نمایش نقاط کنترلی. (ج) تصاویر سنتز شده با نیروهای کشسانی. (د) تصاویر استفاده شده برای استخراج جزئیات. (ه) تصاویر سنتز شده نهایی. (Figure-7): Synthesis of happy expression using the elastic forces and adding details (proposed method). (a) Neutral faces. (b) Displaying control points. (c) Synthesized Images by elastic forces. (d) Images used to extract details. (e) Final synthesized images.



(الف) (ا) (ب) (ب) (ج) (د) (د) (ه) (ه)

(شکل-۸): سنتز حالت اخم با استفاده از نیروهای کشسانی و افزودن جزئیات. (الف) چهره‌های خنثی. (ب) نمایش نقاط کنترلی. (ج) تصاویر سنتز شده با نیروهای کشسانی. (د) تصاویر استفاده شده برای استخراج جزئیات. (ه) تصاویر سنتز شده نهایی. (Figure-8): Synthesis of sad expression using the elastic forces and adding details (proposed method). (a) Neutral faces. (b) Displaying control points. (c) Synthesized Images by elastic forces. (d) Images used to extract details. (e) Final synthesized images.

حالت دار استفاده شده برای استخراج جزئیات و تصاویر سنتز شده نهایی هستند. برای فرد اول تا سوم از بالا به پایین به ترتیب ۱۳، ۲۴ و ۱۲ نقطه کنترلی استفاده شده است. در شکل (۸-ج) مشاهده می‌شود که نیروهای کشسانی حرکات

در شکل (۸) سنتز حالت اخم برای سه فرد مختلف با استفاده از روش پیشنهادی نشان داده شده است. شکل (۸-الف-ه) به ترتیب نشان‌دهنده حالت خنثای سه فرد، موقعیت نقاط کنترلی، تصاویر سنتز شده با نیروی کشسانی، تصاویر

شکل (۱۰) نیز به مقایسه نتایج شبیه‌سازی حالت چهره به روش مدل‌سازی الاستیکی و ماهیچه‌ای در مرجع [21] و روش پیشنهادی توزیع نیروی کشسانی اعمالی از طرف نقاط کنترلی می‌پردازد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، روش پیشنهادی توزیع نیروی کشسانی در شکل (۱۰-ب) به نتایج طبیعی‌تری نسبت به روش مرجع [21] در شکل (۱۰-الف) دست یافته است.

در روش مرجع [21]، با استفاده از روش تغییر شکل کلی، پیکسل‌های تصویر هدف خنثی با نسبت جابه‌جایی بین پیکسل‌های متناظر در تصویر مرجع خنثی و تصویر مرجع حالت‌دار حرکت کرده و تصویر هدف حالت‌دار به دست می‌آید. روش تغییر شکل کلی به دلیل توجه نکردن به تفاوت‌های چهره در افراد مختلف مشکلاتی مانند غیرطبیعی بودن حالت چهره خواهد داشت. برای غلبه بر این مشکلات، روش تغییر شکل محلی با شکل‌دهی مجدد هریک از اجزای چهره به‌طور جداگانه به کار گرفته می‌شود که با وجود تفاوت اجزای چهره در فرد مرجع و هدف می‌تواند به چهره فرد هدف با حالت چهره طبیعی‌تری دست یابد. روش تغییر شکل محلی نیز خالی از ایراد نبوده و ایراداتی چون نامتناسب بودن نسبت اجزای چهره دارد. به این دلیل که در این روش اجزای چهره به‌طور جداگانه بررسی شده‌اند و در نتیجه نسبت اجزای چهره مانند نسبت چشم به دهان لحاظ نشده است. بنابراین، یک روش ترکیبی برای رسیدن به یک چهره حالت‌دار واقعی‌تر نیاز هست. برای این منظور از نیروی کشسانی مبتنی بر قانون هوک ($F = k\Delta x$) برای ایجاد تعادل بین نتیجه تغییر شکل کلی و تغییر شکل محلی استفاده می‌شود. به این ترتیب فرض می‌شود که به هر نقطه چهره فرد هدف از طرف نقاط ویژگی اطراف آن نقطه نیروی فنری به‌نحوی وارد می‌شود که آن را به سمت نتیجه تغییر شکل کلی بکشاند. همچنین نیروی فنری دیگری به آن نقطه به‌نحوی وارد می‌شود که نقطه به طرف نتیجه محل تغییر شکل محلی حرکت کند. محل بهینه برای آن نقطه جایی خواهد بود که بین این نیروهای کشسانی تعادل برقرار باشد.

در روش ارائه‌شده پژوهش ما به جای نیروی فنری مبتنی بر قانون هوک از یک تابع گوسی دوبعدی برای مدل‌سازی تقریبی نیروهای کشسانی استفاده شده است. در واقع این نیروهای کشسانی از نقاط کنترلی که در محل‌های معینی روی تصویر چهره ی فرد هدف قرار دارند به نقاط چهره وارد می‌شوند و باعث ایجاد جابه‌جایی نقاط چهره فرد می‌شوند. با توجه به ماهیت تابع گوسی با فاصله گرفتن از نقطه کنترلی اندازه نیروی واردشده به نقاط چهره کمتر خواهد شد.

ابروها، باز و بسته‌شدن چشم‌ها و حرکات لب را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده‌اند و شکل (۶-و) تصویر سنتز شده به همراه چین و چروک پیشانی، اطراف لب‌ها و چانه را نمایش می‌دهد. در ادامه، با در نظر گرفتن حالت چهره برای فرد یکسان، نتایج سنتز حالت چهره با روش توزیع نیروی کشسانی اعمالی از طرف نقاط کنترلی را با روش‌های قبلی مقایسه می‌کنیم. شکل (۹-الف) نتیجه سنتز حالت ناراحت را برای یک فرد با روش تصویر واقع‌گرایانه [13] نشان می‌دهد و شکل (۹-ب) نشان‌دهنده سنتز حالت خوشحال برای همان فرد با روش پیشنهادی مقاله است. همان‌طور که مشاهده می‌شود روش تصویر واقع‌گرایانه بر خلاف روش پیشنهادی به مات شدن چهره فرد منجر می‌شود. همچنین در روش پیشنهادی مقاله، جزئیات مربوط به حالت فرد بهتر مشخص شده است.



(شکل-۹): مقایسه چهره‌های سنتز شده با دو روش تصویر واقع-گرایانه و نیروهای کشسانی اعمالی از نقاط کنترلی. (الف) سنتز حالت ناراحت با روش تصویر واقع‌گرایانه [13]. (ب) نتیجه سنتز حالت ناراحت با روش پیشنهادی.

(Figure-9): Comparison of synthesized faces with two photo-realistic and elastic forces applied by control points methods. (a) Synthesis of sad expression with photo-realistic method [13]. (b) Synthesis of sad expression with proposed method.



(شکل-۱۰): مقایسه چهره‌های سنتز شده با دو روش مدل‌سازی الاستیکی و ماهیچه‌ای و نیروهای کشسانی اعمالی از نقاط کنترلی. (الف) سنتز حالت لبخند با روش مدل‌سازی الاستیکی و ماهیچه‌ای [21]. (ب) نتیجه سنتز حالت لبخند با روش پیشنهادی.

(Figure-10): Comparison of synthesized faces with two facial expression cloning and elastic forces applied by control points methods. (a) Synthesis of happy expression for the subject with facial expression cloning method [21]. (b) Synthesis of happy expression with proposed method.

۵- نتیجه گیری

در این مقاله روشی برای تغییر شکل صورت پیشنهاد شد که در آن از نقاط کنترلی برای اعمال نیروی کشسانی استفاده شده است. در این روش، برای ایجاد تغییر شکل خاص مانند ایجاد حالت غم، محل استقرار نقاط کنترلی و پارامترهای تابع گوسی و پارامتر فاصله صفر به نحوی تنظیم شود که یک جابه جایی خاص مانند حرکت لبها شبیه سازی شود. در این کار سنتز حالت لبخند و غم روی تصاویر پایگاه داده Cohn-Kanade (CK+) و KDEP انجام شده و نتایج شبیه سازی نشان دهنده کیفیت بصری روش پیشنهادی است. این روش با تعداد کمی از بردارهای کنترلی قادر به سنتز حالات صورت بوده و پیچیدگی محاسباتی کمتری نسبت به روشهای پیشین دارد.

6- References

۶- مراجع

[۱] ل. اصغریان و ح. ابراهیم نژاد، "پویانمایی شخصیت‌های کارتن توسط حرکت مفصلی مبتنی بر اسکلت انتقال اشیاء دیگر"، مجله پردازش علائم و داده‌ها، جلد ۱۳، ۲، صص ۸۹-۷۱، ۲۰۱۶.

[1] L. Asgharian, and H. Ebrahimnezhad, "Animating of Carton Characters by Skeleton based Articular Motion Transferring of Other Objects," *Journal of Signal and Data Processing*, vol. 13, no. 2, pp. 71-89, 2016.

[2] F. Pighin, J. Hecker, D. Lischinski, R. Szeliski, and D. H. Salesin, "Synthesizing realistic facial expressions from photographs," in *Proceedings of the 25th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '98*, 1998, vol. 2, no. 3, pp. 75-84.

[3] Y. Zhang and W. Wei, "A realistic dynamic facial expression transfer method," *Neurocomputing*, vol. 89, pp. 21-29, 2012.

[4] K. Yu, Z. Wang, L. Zhuo, J. Wang, Z. Chi, and D. Feng, "Learning realistic facial expressions from web images," *Pattern Recognit.*, vol. 46, no. 8, pp. 2144-2155, 2013.

[5] D. Huang and F. De La Torre, "Bilinear kernel reduced rank regression for facial expression synthesis," in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 2010, vol. 6312 LNCS, no. PART 2, pp. 364-377.

[6] E. Keeve, S. Girod, R. Kikinis, and B. Girod, "Deformable modeling of facial tissue for craniofacial surgery simulation," *Comput. Aided Surg.*, vol. 3, no. 5, pp. 228-238, 1998.

در روش شبیه سازی حالت چهره [21] نیروی کشسانی برای ایجاد تعادل بین نتیجه دو روش تغییر شکل کلی و تغییر شکل محلی استفاده می شود، درحالی که نیروی کشسانی گوسی تعریف شده در کار ما به طور مستقیم به نقاط چهره وارد شده و باعث ایجاد تغییر حالت در چهره می شود. همچنین در روش ما به جای مدل ماهیچه ها از هرم لاپلاسین برای اضافه کردن جزئیات و تغییرات روشنایی حالت چهره استفاده شده است.

در ادامه به مقایسه پیچیدگی روش پیشنهادی با روش هانگ و سو [16] پرداخته شده است. روش هانگ و سو سنتز حالت چهره را در دو بخش بررسی می کند. در بخش نخست این روش، سنتز کلیات حالت چهره انجام می شود. در این بخش ابتدا منیفولد تصاویر خنثی از پایگاه داده یادگیری می شوند و پارامترهای ذاتی منیفولد تصاویر خنثی به دست می آیند. همچنین روش مشابهی برای یادگیری منیفولد تصاویر چهره خوشحال پایگاه داده استفاده شده و یک ارتباط بین دو منیفولد برقرار می شود. به دلیل جفت بودن تصاویر پایگاه داده این ارتباط با رگرسیون چندمتغیره به دست می آید؛ سپس برای تصویر ورودی خنثی پارامترهای منیفولد به دست می آیند و پارامترهای حالت خوشحال از ارتباط بین پارامترهای تصویر خنثی و پارامترهای تصویر خوشحال که در قبل یادگیری شده است، استنتاج می شود و تصویر خوشحال از پارامترهای استنتاج شده بازسازی می شود. بخش نخست روش ارائه شده در این مقاله شامل پیدا کردن محل قرارگیری نقاط کنترلی و پارامترهای نیروی کشسانی و سپس جابه جایی نقاط صورت با نیروی کشسانی است. بنابراین، تعداد مراحل و در نتیجه روابط به کاررفته در بخش نخست این مقاله کمتر از مراحل و روابط بخش نخست روش هانگ و سو است. بخش دوم روش هانگ و سو برای پالایش تصویر سنتز شده از شبکه مارکف و سپس انتشار باور استفاده می کند. در این بخش تصویر باقیمانده خنثی و تصویر باقیمانده خوشحال به قطعاتی تقسیم شده و شبکه مارکف برای مدل کردن احتمالاتی ارتباط بین قطعات باقیمانده چهره خنثی و قطعات باقیمانده چهره خوشحال و ارتباط بین قطعات در تصویر باقیمانده خوشحال استفاده می شود؛ سپس با انتشار باور باقیمانده تصویر خوشحال به دست می آید. این بخش در مقایسه با بخش دوم روش ارائه شده در این کار که تنها شامل افزودن جزئیات سه قسمت چهره از طریق هرم لاپلاسین است، دارای تعداد مراحل بیشتر و پیچیدگی بالاتری است. بنابراین در کل روش ارائه شده در این مقاله در مقایسه با روش پیشین ارائه شده توسط هانگ و سو تعداد مراحل پایین تری داشته و پیچیدگی کمتری دارد.

- and muscle models,” *J. Vis. Commun. Image Represent.*, vol. 25, no. 5, pp. 916–927, 2014.
- [22] K. Li, Q. Dai, R. Wang, Y. Liu, F. Xu, and J. Wang, “A data-driven approach for facial expression retargeting in video,” *IEEE Trans. Multimed.*, vol. 16, no. 2, pp. 299–310, 2014.
- [23] P. Garrido, L. Valgaerts, O. Rehmsen, T. Thormahlen, P. Perez, and C. Theobalt, “Automatic face reenactment,” in *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2014, pp. 4217–4224.
- [24] J. Thies, M. Zollhöfer, M. Nießner, L. Valgaerts, M. Stamminger, and C. Theobalt, “Real-time Expression Transfer for Facial Reenactment,” *SIGGRAPH Asia 2015*, vol. 34, no. 6, pp. 1–14, 2015.
- [25] C. Tian, H. Li, and X. Gao, “Photo-realistic 2D expression transfer based on FFT and modified Poisson image editing,” *Neurocomputing*, vol. 309, pp. 1–10, 2018.
- [26] W. Xie, L. Shen, M. Yang, and J. Jiang, “Facial expression synthesis with direction field preservation based mesh deformation and lighting fitting based wrinkle mapping,” *Multimed. Tools Appl.*, vol. 77, no. 6, pp. 7565–7593, 2018.
- [27] P. Lucey, J. F. Cohn, T. Kanade, J. Saragih, Z. Ambadar, and I. Matthews, “The extended cohnkande dataset (CK+): A complete facial expression dataset for action unit and emotionspecified expression,” in *Cvprw*, 2010, no. July, pp. 94–101.
- [28] D. Lundqvist, A. Flykt, and A. Ohman, “The Karolinska directed emotional faces (KDEF),” *CD ROM from Dep. Clin. Neurosci. Psychol. Sect. Karolinska Institutet*, pp. 91–630, 1998.
- [7] J. Noh and U. Neumann, “Expression cloning,” in *Proceedings of the 28th annual conference on Computer graphics and interactive techniques - SIGGRAPH '01*, 2001, no. August, pp. 277–288.
- [8] K. Chung and H. M. Chung, *Gross Anatomy (Board Review)*. 2005.
- [9] W. Wei, C. Tian, S. J. Maybank, and Y. Zhang, “Facial expression transfer method based on frequency analysis,” *Pattern Recognit.*, vol. 49, pp. 115–128, 2016.
- [10] P. Ekman and W. V. Friesen, “Constants across cultures in the face and emotion,” *J. Pers. Soc. Psychol.*, vol. 17, no. 2, pp. 124–129, 1971.
- [11] S. M. Platt and N. I. Badler, “Animating facial expressions,” in *ACM SIGGRAPH Computer Graphics*, 1981, vol. 15, no. 3, pp. 245–252.
- [12] Y. Lee, D. Terzopoulos, and K. Walters, “Realistic modeling for facial animation,” in *Proceedings of the 22nd annual conference on Computer graphics and interactive techniques SIGGRAPH 95*, 1995, vol. 95, pp. 55–62.
- [13] J. Ghent and J. McDonald, “Photo-realistic facial expression synthesis,” *Image Vis. Comput.*, vol. 23, no. 12, pp. 1041–1050, 2005.
- [14] T. F. Cootes, C. J. Taylor, D. H. Cooper, and J. Graham, “Active Shape Models-Their Training and Application,” *Comput. Vis. Image Underst.*, vol. 61, no. 1, pp. 38–59, 1995.
- [15] T.F.Cootes, G. J. Edwards, and C.J.Taylor, “Active Appearance Models,” in *Proc. European Conference on Computer Vision 1998*, 1998, vol. 2, pp. 484–498.
- [16] L. Huang and C. Su, “Facial expression synthesis using manifold learning and belief propagation,” *Soft Comput.*, vol. 10, no. 12, pp. 1193–1200, 2006.
- [17] Q. Zhang, Z. Liu, Q. Gaining, D. Terzopoulos, and H. Y. Shum, “Geometry-driven photorealistic facial expression synthesis,” *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, vol. 12, no. 1, pp. 48–60, 2006.
- [18] J. Jia, S. Zhang, and L. Cai, “Facial expression synthesis based on motion patterns learned from face database,” in *Proceedings - International Conference on Image Processing, ICIP*, 2010, pp. 3973–3976.
- [19] L. Xiong, N. Zheng, S. Du, and L. Wu, “Extended facial expression synthesis using statistical appearance model,” in *Industrial Electronics and ...*, 2009, pp. 1582–1587.
- [20] Y. Yang, N. Zheng, Y. Liu, S. Du, Y. Su, and Y. Nishio, “Expression transfer for facial sketch animation,” *Signal Processing*, vol. 91, no. 11, pp. 2465–2477, 2011.
- [21] Y. Zhang, W. Lin, B. Zhou, Z. Chen, B. Sheng, and J. Wu, “Facial expression cloning with elastic



هانیه مریخی خسروشاهی کارشناسی

خود را در رشته مهندسی برق مخابرات در دانشگاه تبریز به پایان رسانده و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم در سال ۱۳۹۶ از

دانشگاه صنعتی سهند دریافت کرده است. موضوعات مورد علاقه ایشان پردازش تصویر، پردازش سیگنال است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

ha_merrikhi@sut.ac.ir



حسین ابراهیم‌نژاد مدرک کارشناسی و

کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۲ و ۱۳۷۵ در رشته مهندسی برق- الکترونیک و برق مخابرات

از دانشگاه تبریز و دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
اخذ کرد. همچنین مدرک دکترای خود را در گرایش مخابرات
سیستم در سال ۱۳۸۶ از دانشگاه تربیت مدرس دریافت کرد.
زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان بینایی کامپیوتر،
پردازش مدل سه‌بعدی، پردازش تصویر، شناسایی الگو و
محاسبات نرم بوده و در حال حاضر عضو هیأت علمی با مرتبه
استاد در دانشگاه صنعتی سهند است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

ebrahimnezhad@sut.ac.ir