

بازسازی مدل سه بعدی چهره با استفاده از تصویر دو بعدی

فاطمه شفیق‌زادگان^۱، احمدرضا نقش‌نیلیچی^۲

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

fatemehshafizadegan@yahoo.com

^۲ دانشیار گروه هوش مصنوعی، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

nilchi@yahoo.com

چکیده

با توجه به هزینه‌بر بودن تولید مدل‌های سه بعدی با استفاده از تجهیزات سخت‌افزاری و همچنین محدودیت‌هایی که این تجهیزات ایجاد می‌نمایند، امروزه از روش‌های نرم‌افزاری برای تولید این مدل‌ها استفاده می‌شود. یکی از چالش‌های موجود در تبدیل داده‌های دو بعدی به سه بعدی، تخمین عمق و یافتن بعد سوم از روی یک نمونه تصویر است. در این مقاله به یک روش مؤثر برای بازسازی مدل سه بعدی چهره با استفاده از تصویر دو بعدی ارائه شده است. با استفاده از این روش و با داشتن تنها یک نمونه تصویر از چهره فرد و مشخص بودن نقاط اصلی چهره، می‌توان مدلی سه بعدی از آن به دست آورد. این روش مبتنی بر دسته‌بند تحلیل اجزای اصلی (PCA) است. در این روش برای آموزش داده‌ها از تصویر "نقشه عمق" (Depth Map) و تحلیل اجزای اصلی استفاده شده است. نتایج به دست آمده نشان دهنده بهبود مدل بازسازی شده نسبت به روش مبتنی بر تحلیل اجزای اصلی با استفاده از تصویر بافت (Texture) است.

کلمات کلیدی

بازسازی مدل سه بعدی چهره، نقشه عمق، تحلیل اجزای اصلی، نقاط اصلی چهره، تصویر بافت، تخمین عمق.

۱- مقدمه

بازسازی مدل سه بعدی چهره مربوط به ساخت چهره است که در آن هدف تولید مدل سه بعدی چهره از تصویر آن است. به دلیل محدودیت در تعداد [4] و هزینه‌بر بودن تجهیزات سخت‌افزاری سه بعدی، همچنین محدودیت استفاده از این تجهیزات سخت‌افزاری در برخی از کاربردها، تبدیل داده دو بعدی به سه بعدی، نقش مهمی در تولید داده‌های سه بعدی دارد. چالش‌های الگوریتم‌های تبدیل دو بعد به سه بعد را می‌توان بازیابی عمق نسبی بین تمامی اشیاء و عدم یکنواختی عمق در یک شیء مشابه دانست. روش‌های موجود برای تبدیل دو بعد به سه بعد و بازسازی مدل سه بعدی را می‌توان در دو دسته طبقه‌بندی کرد [16]:

- بازسازی مبتنی بر شکل از X و براساس نشانه‌های عمق^۱
- بازسازی براساس مدل

بازسازی مدل سه بعدی چهره در ابتدا توسط Parke مطرح شد که از مدل‌های سه بعدی در خلق شخصیت‌های انیمیشن استفاده کرده است [10]. مدل‌های سه بعدی چهره کاربردهای زیادی در بینایی ماشین، گرافیک کامپیوتر، تشخیص چهره [1, 6]، احراز هویت [3]، شبیه‌سازی واقعیت مجازی، ساخت چهره برای شخصیت‌های فیلم، بازی‌های سه بعدی، تعامل انسان با کامپیوتر، انیمیشن‌سازی [14]، کاریکاتورسازی [2]، جراحی پلاستیک [15] و نمایشگرهای سه بعدی [4] دارد. به طور کلی، کاربرد مدل‌های سه بعدی چهره را می‌توان به دو دسته تقسیم کرد [13]:

- تحلیل چهره که برای توصیف کردن مدل‌های چهره استفاده می‌شود.
- ساخت چهره که برای تولید مدل‌های چهره استفاده می‌شود.

$$I(x, y) = J(x, y)e^{-\beta d(x, y)} + A(1 - e^{-\beta d(x, y)})$$

$$\tilde{m}(x, y) = e^{-\beta d(x, y)} \quad (1)$$

به طوری که در رابطه بالا I نشان دهنده شدت روشنایی تصویر مه آلود، J شدت روشنایی اشیاء، A نور کلی محیط، β ضریب کاهش نور در محیط (پراکندگی اشعه‌های نور) و d فاصله بین اشیای متناظر (عمق صحنه در پیکسل (x, y)) است. در رابطه بالا \tilde{m} نقشه انتقال^۶ نام دارد و مشخص کننده نوری است که از اشیاء پراکنده نمی‌شود و به دوربین می‌رسد. همچنین رابطه بین درخشش اشیاء و عمق آن‌ها را در محیط همگن نشان می‌دهد. در عبارت (۱) سمت چپ حاصل جمع، تضعیف مستقیم (درخشندگی شی در فاصله قرار گرفته نسبت به دوربین) و سمت راست نور محیط (پراکندگی نور که باعث درک رنگ شی می‌شود) نام دارد. این رابطه نشان می‌دهد میزان درخشندگی اشیاء به طور نمایی با افزایش عمق (فاصله از دوربین) کاهش می‌یابد. رابطه (۱) برای تصاویر با مدل رنگی RGB به صورت زیر است [4]:

$$I^c(x, y) = J^c(x, y)\tilde{m}(x, y) + A(1 - \tilde{m}(x, y))$$

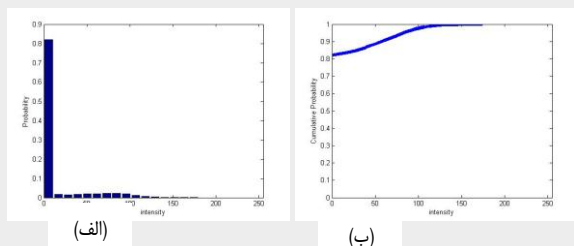
for $c \in \{R, G, B\}$ (2)

برای تخمین نقشه انتقال تصویر از کانال تاریک استفاده می‌شود. دلیل استفاده از کانال تاریک مشابه [5]، این است که در تصویر چهره حداقل یکی از کانال‌های رنگی دارای شدت روشنایی کمی است.

$$J^{dark}(x, y) = \min_{c \in \{R, G, B\}} \{ \min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} (J^c(x', y')) \}$$

(3)

به طوری که J^c کانال رنگی J و $\Omega(x)$ ناحیه‌ای از تصویر به مرکز (x, y) است. کانال تاریک تصاویر موجود در پایگاه داده برای ناحیه‌های مجاور با اندازه 15×15 پیکسل به دست آمد. همان‌طور که در شکل (۱) نشان داده شده نتایج حاصل از هیستوگرام تصاویر کانال تاریک مشابه روش He و همکاران [5] است و می‌توان از ایده کانال تاریک برای تخمین نقشه عمق تصاویر چهره نیز استفاده کرد. با توجه به نتایج به دست آمده حدوداً ۸۰٪ پیکسل‌ها دارای شدت روشنایی صفر و ۸۵٪ دارای شدت روشنایی کمتر از سی هستند. با توجه به مشاهدات، شدت روشنایی کانال تاریک نشان دهنده عمق نسبی اجزای چهره است. در ادامه مراحل ساخت نقشه عمق با جزئیات بیان می‌شود.



شکل (۱): اطلاعات آماری تصاویر کانال تاریک. (الف) توزیع نسبی شدت روشنایی پیکسل‌ها. (ب) توزیع تجمعی نمودار مربوطه.

۲-۱- نقشه عمق اولیه

با توجه به رابطه (۱)، در ابتدا باید نور کلی محیط A ، با استفاده از کانال تاریک تخمین زده شود. بدین منظور ۱۰٪ روشن‌ترین پیکسل‌های کانال تاریک مشخص می‌شود؛ سپس میانگین شدت روشنایی این پیکسل‌ها در هر کانال رنگی تصویر اصلی محاسبه می‌شود که معادل نور کلی محیط است.

روش بازسازی مبتنی بر شکل از X را می‌توان براساس برخی از ویژگی‌های مشهود مانند سایه، بافت، جابه‌جایی و کانون دسته‌بندی کرد. چنین روش‌هایی بر پایه یک اصل کلی است که هنگام مشاهده اطراف، مغز از هیوربستیکی‌های تشخیص دهنده عمق برای درک عمق استفاده می‌کند. اصل درک عمق به دلیل دید دو چشمی و دید تک چشمی است. اختلاف تصاویر در دو چشم در سیستم بینایی دو چشمی کمک می‌کند که شی در فاصله درست تطبیق داده شود. راهنماهای تک چشمی شامل کانونی و غیرکانونی کردن، اختلاف دید حرکت، اندازه نسبی، گرادیان بافت و تجربه‌های قبلی است [4]. بنابراین انسان‌ها می‌توانند از روی تصویر یا ویدئو عمق را درک کنند. بازسازی شکل از سایه، روشی قدیمی برای به دست آوردن مدل سه بعدی از روی تغییرات روشنایی در یک تصویر است. در این روش از شروط محدودکننده‌ای مانند مدل بازتاب لمبرشن^۲ و مشخص بودن جهت منبع نور استفاده شده است [9]؛ این روش دقت بازسازی مناسبی ندارد [8].

یکی از ایده‌های مطرح در بازسازی مدل سه بعدی، شباهت بین چهره‌هاست. چهره‌های افراد مختلف در ویژگی‌های کلی مانند اندازه، نسبت طول به عرض سر و مکان قرارگیری اجزای اصلی چهره مشابه هم هستند اما تفاوت در جنسیت، نژاد و حالات چهره منجر به تفاوت در جزئیات شده است. با توجه به این ویژگی می‌توان از روش مدل‌سازی بر اساس مدل استفاده نمود و با توجه به ویژگی‌های مورد نظر، مدل مرجع را بهبود داد و به مدل نهایی نزدیک‌تر نمود. مطالعه Kemelmacher-Shlizerman و همکاران [7] از شباهت بین چهره‌ها برای ساخت مدل سه بعدی استفاده شده است و از یک نمونه تصویر و یک مدل سه بعدی مرجع برای بازسازی مدل سه بعدی چهره استفاده می‌شود. از جمله روش‌های بازسازی مدل سه بعدی که کارایی خوبی دارد، بازسازی براساس مدل‌های سه بعدی جلوه‌پذیر گرافیکی^۴ است. روش‌هایی که از این مدل‌ها استفاده می‌کنند، مراحل مشترکی دارند [11]:

۱) پیش‌پردازش بر روی تصاویر چهره موجود در پایگاه داده

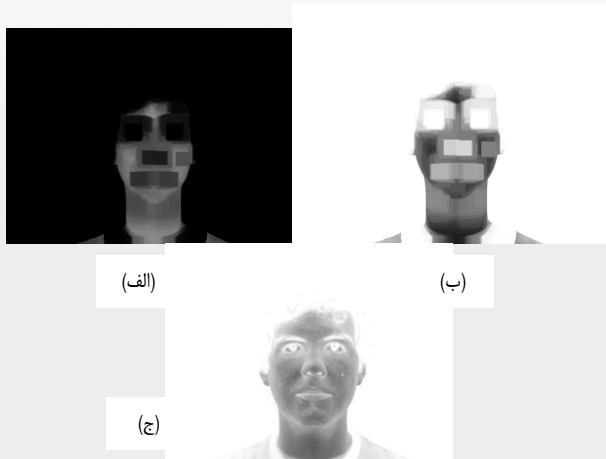
۲) ساخت زیرفضای خطی از اشکال و بافت‌های سه بعدی

۳) بازسازی شکل و بافت در موقعیت قرارگیری و زاویه تابش نور متفاوت

در این مقاله روشی مشابه آن‌چه Mena-Chalco و همکاران [13] مطرح کرده‌اند، ارائه شده است با این تفاوت که آنان از تصاویر بافت در آموزش دسته‌بند استفاده نموده‌اند لیکن در مطالعه حاضر از نقشه عمق^۵ برای تخمین شکل هندسی مدل استفاده شده است. نتایج مطالعه حاضر نشان می‌دهد بازسازی مدل با استفاده از نقشه عمق نسبت به تصویر بافت دقت بیش‌تری دارد. در ادامه روش ساخت نقشه عمق از یک تصویر رنگی و در بخش ۳ بازسازی مدل با استفاده از تحلیل اجزای اصلی و نقشه عمق مطرح شده‌اند. در بخش ۴ نتایج حاصل از بازسازی و نتیجه‌گیری کلی در بخش ۵ آورده شده‌اند.

۲- تخمین نقشه عمق

برای تخمین نقشه عمق از روش He و همکاران [5] و Guo و همکاران [4] استفاده شده است. در ابتدا تصویر کانال تاریک^۶ ورودی ایجاد می‌شود و نقشه عمق اولیه‌ای به دست می‌آید. سپس نقشه عمق هموار و دقیق‌تر می‌شود. در اینجا ایده اصلی برای تخمین عمق همانند مدل نمایش دهنده ساختار یک تصویر تیره و تاریک مه آلود در گرافیک کامپیوتری، به صورت زیر است [4]:



شکل (۲): مراحل ایجاد نقشه عمق. (الف) کانال تاریک ب) نقشه عمق اولیه ج) نقشه عمق نهایی پس از هموارسازی.

۳- بازسازی مدل سه بعدی

برای بازسازی مدل سه بعدی چهره از روشی مبتنی بر تحلیل اجزای اصلی استفاده شده که دارای دو مرحله است. مرحله اول یادگیری فضای اجزای اصلی چهره و مرحله دوم ساخت مدل سه بعدی چهره از تصویر ورودی براساس فضای یادگیری شده است. در مرحله یادگیری مدل مرجعی از کلیه نمونه‌های موجود در پایگاه داده ساخته می‌شود که به عنوان مدل اولیه در هر بازسازی استفاده می‌شود و با توجه به مقادیر نقشه عمق، مدل مرجع بهبود یافته و مشابه تصویر ورودی می‌شود. هم‌چنین در این مرحله مقادیر ویژه و بردارهای ویژه مربوط به مدل‌های آموزشی به دست می‌آید. در مرحله بازسازی با داشتن تصویر ورودی و مشخص بودن مکان اجزای اصلی چهره، نقشه عمق و توری^۱ اولیه ساخته می‌شود. مدل اولیه، مدل مرجع است و شکل هندسی مدل با نگاشت اطلاعات نقشه عمق بر روی فضای شکل هندسی به دست آمده از مرحله آموزش، بهبود می‌یابد. روند کلی الگوریتم برای آموزش و بازسازی در جدول‌های (۱) و (۲) آورده شده است.

هدف اصلی این روش تخمین دقیقی از عمق و بعد سوم تصویر ورودی است و به همین دلیل برای افزایش دقت تخمین عمق از نقشه عمق استفاده شده است. هم‌چنین اجزای اصلی چهره نیز به صورت دستی مشخص شده‌اند؛ در صورتی که Vezzetti و همکاران [17] این کار را به صورت خودکار انجام داده‌اند. مجموعه‌ای از اجزای اصلی چهره بر روی تصویر بافت و نقشه عمق برای نشان دادن اطلاعات تصویر ورودی به کار می‌رود. اطلاعات بافت، عمق و شکل هندسی نمونه نام در پایگاه داده به صورت L_i^l و L_i^g است به طوری که $i = 1, \dots, N$ و N تعداد نمونه‌های پایگاه داده است. بنابراین برای i امین نمونه که دارای M رأس است داریم:

$$\begin{aligned} L_i^l &= [r_i^1, g_i^1, b_i^1, \dots, r_i^M, g_i^M, b_i^M] \\ L_i^g &= [x_i^1, y_i^1, z_i^1, \dots, x_i^M, y_i^M, z_i^M] \end{aligned} \quad (11)$$

در رابطه نشان داده شده (x_i^j, y_i^j, z_i^j) مکان رأس و (r_i^j, g_i^j, b_i^j) رنگ رأس i ام از نمونه نام است و پایگاه داده نمونه‌ها به صورت رابطه (۱۲) است:

$$\{L_1^l, L_2^l, \dots, L_N^l\}, \{L_1^g, L_2^g, \dots, L_N^g\} \quad (12)$$

پس از محاسبه A نقشه انتقال با فرض ثابت بودن در یک ناحیه محلی $\Omega(x, y)$ به صورت m نمایش داده می‌شود. اگر از رابطه (۲) مقدار کمینه محاسبه شود، آن گاه رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} (I^c(x', y')) = \min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} (J^c(x', y')) \tilde{m}(x, y) + A(1 - \tilde{m}(x, y)) \quad (4)$$

اگر دو طرف رابطه (۴) بر A تقسیم شود و برای هر کانال رنگی کمینه مقدار محاسبه شود، رابطه (۵) به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} \left(\frac{I^c(x', y')}{A^c} \right) \right) &= \tilde{m}(x, y) \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} \left(\frac{J^c(x', y')}{A^c} \right) + (1 - \tilde{m}(x, y)) \right) \end{aligned} \quad (5)$$

با توجه به نتایج به دست آمده از بخش ۲، مقدار کانال تاریک برابر با صفر و مقدار A^c مثبت است. پس داریم:

$$J^{dark}(x, y) = \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} (J^c(x', y')) \right) = 0 \quad (6)$$

$$\min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} \left(\frac{J^c(x', y')}{A^c} \right) \right) = 0$$

با در نظر گرفتن روابط (۵) و (۶) نقشه انتقال به صورت زیر می‌شود [4, 5]:

$$\tilde{m}(x, y) = 1 - \min_{c \in \{R, G, B\}} \left(\min_{(x', y') \in \Omega(x, y)} \left(\frac{I^c(x', y')}{A^c} \right) \right) \quad (7)$$

در این بخش نقشه عمق اولیه برای ناحیه‌های مجاور هم در تصویر با ابعاد 15×15 پیکسل به دست آمد. در بخش بعدی نقشه عمق بهبود یافته شد.

۲-۲ هموارسازی نقشه عمق

تصویر حاصل از نقشه عمق اولیه با استفاده از کانال تاریک هموار نیست. برای بهبود و هموارسازی نقشه عمق، باید تابع هزینه زیر کمینه شود:

$$E(\tilde{m}) = \tilde{m}^T L \tilde{m} + \lambda (\tilde{m} - m)^T (\tilde{m} - m) \quad (8)$$

به طوری که L ماتریس لاپلاسی هموارسازی و λ پارامتر تنظیم است. عبارت سمت چپ حاصل جمع برای هموارسازی و عبارت سمت راست مقدار داده است. عنصر (i, j) ماتریس L به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum_{k|(i,j) \in w_k} \left(\delta_{ij} - \frac{1}{|w_k|} (1 + (I_i - \mu_k)^T (\Sigma_k + \frac{\epsilon}{|w_k|} U_3))^{-1} (I_j - \mu_k) \right) \quad (9)$$

در رابطه (۹) I_i و I_j رنگ تصویر ورودی i, j دلتای Kronecher، μ_k و Σ_k ماتریس میانگین و کواریانس رنگ‌ها در پنجره w_k ، U_3 ماتریس همانی 3×3 ، ϵ پارامتر تنظیم و $|w_k|$ تعداد پیکسل‌ها در پنجره w_k است. با حل معادله خطی و پراکنده زیر نقشه عمق بهینه به دست می‌آید [5]:

$$(L + \lambda U) \tilde{m} = \lambda m \quad (10)$$

در رابطه (۱۰)، U ماتریس همانی هم‌اندازه L و λ برابر با مقدار کوچکی (برابر با 10^{-4}) است. بدین صورت لبه‌های گسسته در نقشه عمق هموارتر می‌شوند و نقشه عمق دقیق‌تر می‌شود. در شکل (۲) نتایج حاصل از کانال تاریک، نقشه عمق اولیه و نهایی آورده شده است.

و اضافه کردن به مدل مرجع به دست می‌آید. سپس داده‌های به دست آمده هموار می‌شوند و مدل سه بعدی ساخته می‌شود. در جدول (۲) روند کلی بازسازی مدل سه بعدی از روی تصویر رنگی نشان داده شده است:

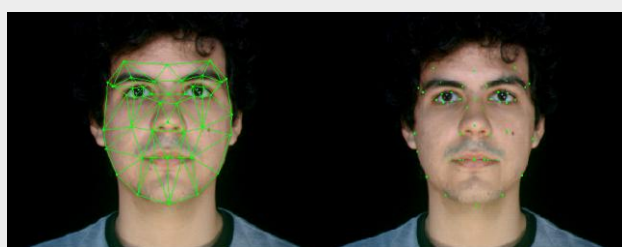
جدول (۲) : الگوریتم بازسازی

3D Reconstruction (x, l_x)
1. $x^d \leftarrow \text{Creation}(x^t)$
2. $x^d \leftarrow \text{Triangular_subdivision}(x^d, l_x)$
3. $\alpha_x^d \leftarrow E^d(x^d - d_0)$
4. $s_x \leftarrow \text{LSQR}(\alpha_x^d, \alpha^d)$
5. $\alpha_x^g \leftarrow \text{LSQR}(\alpha_x^d, \alpha^d)$
6. $x^g \leftarrow (E^g \cdot \alpha_x^g) + g_0$
7. $x^g \leftarrow \text{GeometricSmoothing}(x^g)$
8. return (x^t, x^g)

۴- نتایج و ارزیابی

برای ارزیابی روش مطرح شده از پایگاه داده IMAP_FACE3D استفاده شده است. این پایگاه داده شامل تصاویر چهره با فرمت bmp. و مدل سه بعدی چهره با فرمت ply. از ۳۸ فرد (۱۶ زن و ۲۲ مرد) است و برای هر فرد ۷ حالت مختلف چهره وجود دارد که از لینک www.app.visgraf.impa.br قابل دسترسی است. تصویر چهره افراد را روبرو است و در تصویر این افراد وسایلی مانند عینک و کلاه و... وجود ندارد تا بر بازسازی اثر منفی نگذارد.

مکان ۴۸ جزء چهره در تصاویر به صورت دستی مشخص شده است و در یک فایل متنی مختصات مکانی آن‌ها برای هر فرد وجود دارد. همچنین به صورت پیش‌فرض با استفاده از این ۴۸ نقطه یک توری مثلثی که نشان‌دهنده چهره فرد است، ساخته شده است و دارای ۷۴ وجه مثلث شکل است. در شکل (۳) مکان ۴۸ جزء چهره و توری مثلثی اولیه نشان داده شده است.



(ب) (الف)

شکل (۳) (الف) : ۴۸ جزء اصلی چهره که به صورت دستی مشخص شده اند. (ب) توری مثلثی اولیه که با استفاده از ۴۸ جزء چهره ساخته شده است و از ۷۴ مثلث ساخته شده است.

برای بررسی نتایج به دست آمده از ۳۰ مدل موجود در پایگاه داده (۱۴ زن و ۱۶ مرد) استفاده شده است. هر مدل سه بعدی دارای ۹۶۴۸ رأس و ۱۸۹۴۴ وجه است. روند کلی الگوریتم مطرح شده در مرحله آموزش در شکل (۴) آورده شده است که در آن نقشه عمق از تصویر ورودی ساخته شده است و اطلاعات آن استخراج شده و شکل هندسی آن ایجاد شده است. بافت مدل بر روی آن قرار می‌گیرد و مدل سه بعدی نهایی ساخته می‌شود.

پس از ساخت نقشه عمق از تصویر ورودی، ویژگی‌های تصویر عمق با استفاده از نقاط اجزای اصلی و ساخت توری نهایی استخراج می‌شود و با داشتن داده‌های بافت، عمق و شکل هندسی (x^t, x^d, x^g) می‌توان مدل نهایی را ساخت. در بخش‌های بعدی مراحل آموزش و بازسازی مدل به طور مفصل توضیح داده شده است.

۳-۱- آموزش

در این مرحله برای یادگیری فضای اجزای اصلی از تعدادی مدل استفاده می‌شود که همگی دارای مدل توری مثلثی هستند و ۹۶۴۸ رأس و ۱۸۹۴۴ وجه دارند. همان طور که در بخش ۲ گفته شد، در مرحله آموزش ابتدا نقشه عمق تصاویر بافت مدل‌های سه بعدی ساخته و ذخیره می‌شود. سپس داده‌های شکل هندسی و نقشه عمق نرمال می‌شوند و اطلاعات مربوط به هر مدل استخراج می‌شود. پس از آن مدل مرجع از کلیه نمونه‌های موجود در پایگاه داده ایجاد می‌شود و در نهایت دسته‌بند تحلیل اجزای اصلی بر روی داده‌های نقشه عمق و شکل هندسی اعمال می‌شود و ضرایب و بردارهای پایه هر کدام به دست می‌آید.

از بردارهای پایه‌ای که حداقل ۹۵٪ واریانس کلی شکل هندسی و نقشه عمق را داشته باشند، استفاده می‌شود. لازم به ذکر است مدل مرجع یک بار میانگین کلیه نمونه‌ها و بار دیگر میان کلیه نمونه‌های موجود در پایگاه داده است. روند کلی مرحله آموزش در جدول (۱) آورده شده است:

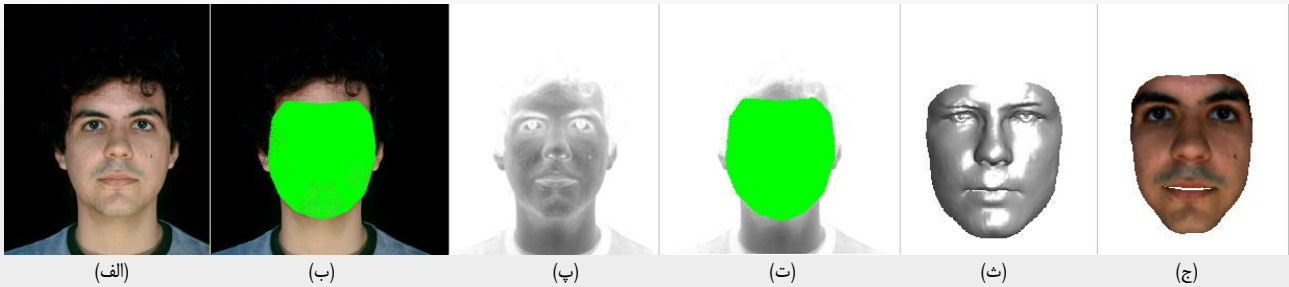
جدول (۱) : الگوریتم آموزش

Input: ($X = \{(x_1^t, x_1^g), \dots, (x_N^t, x_N^g)\}$, Triangulation, LandMarks = $\{l_1, \dots, l_N\}$)
1. $\{L^d\} \leftarrow \text{Creation}(x^t)$
2. $\{L^d, L^g\} \leftarrow \text{Normalization}(X, L^d, \text{Triangulation, Landmarks})$
3. $\{d_0, g_0\} \leftarrow \text{Reference}(L^d, L^g)$
4. $\{(E^d, \alpha^d), (E^g, \alpha^g)\} \leftarrow \text{PCA}(L^d, L^g)$

۳-۲- بازسازی

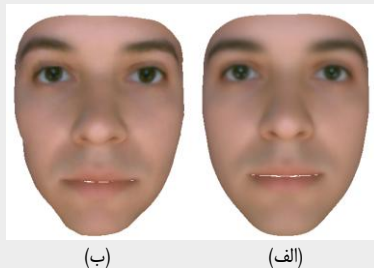
ورودی این مرحله یک تصویر رنگی و فایل متنی است که در آن مکان ۴۸ جزء صورت به صورت دستی مشابه شکل (۳) مشخص شده است. پس از آن نقشه عمق تصویر ورودی به دست می‌آید. با استفاده از این ۴۸ جزء مشخص شده و مثلث‌بندی پیش‌فرض با ۷۴ وجه، تور اولیه با استفاده از الگوریتم‌های linear و loop [18] ایجاد می‌شود به طوری که تعداد رأس‌ها ۹۶۴۸ و تعداد وجه‌ها ۱۸۹۴۴ می‌شود.

در مرحله بعد اطلاعات مربوط به رأس‌ها و وجه‌های ساخته شده، استخراج می‌شود. سپس ضرایب تصویر عمق از ضرب $(x^d - d_0)$ در پایه E (ماتریس انتقال به فضای عمق به دست آمده در مرحله آموزش) به دست می‌آید. سپس اختلاف ضرایب تصویر عمق ورودی با ضرایب به دست آمده در مرحله آموزش به دست می‌آید و ضرایب وزن s_x که نشان‌دهنده حداقل اختلاف بین نقشه عمق ورودی با نمونه‌های آموزشی است، به دست می‌آید. پس از آن ضرایب شکل هندسی مدل از حاصلضرب ماتریس وزن در ضرایب شکل هندسی به دست آمده از مرحله آموزش، به دست می‌آیند و شکل هندسی نهایی طبق جدول (۱) از طریق ضرب ضرایب به دست آمده در پایه‌ها



شکل (۴): مراحل بازسازی مدل سه بعدی. الف) تصویر رنگی ورودی ب) توری بندی بر روی تصویر بافت پ) نقشه عمق ت) توری بندی بر روی نقشه عمق ث) بازسازی شکل هندسی مدل ج) نگاهت بافت بر روی شکل هندسی و ساخت نهایی مدل سه بعدی چهره.

دقت حاصل از بازسازی به کمک تصویر بافت رنگی [13] و نقشه عمق براساس معیارهای ارزیابی مطرح شده، در جدول (۳) آورده شده است. همچنین در بررسی‌های انجام شده در یک حالت مدل مرجع، میانگین کلیه نمونه‌ها و در حالت دیگر مدل مرجع، میانگین کلیه نمونه‌های پایگاه داده است. در شکل (۵) مدل مرجع ساخته شده به روش میانگین و میانگین نشان داده شده است به طوری که مدلی که از میانگین نمونه‌ها ساخته شده ماتر از مدل ساخته شده از میانگین است. تفاوت‌های حاصل از این دو مدل به خوبی در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل (۵): مدل مرجع الف) میانگین و ب) میانگین نمونه‌های پایگاه داده

جدول (۳): نتایج حاصل از ارزیابی روش مطرح شده

معیار ارزیابی	مدل میانگین		مدل میانه	
	تصویر بافت رنگی	تصویر نگاهت عمق	تصویر بافت رنگی	تصویر نگاهت عمق
فاصله اقلیدسی	۷۶۳۰۰۰	۷۲۸۰۰۰	۷۴۲۰۰۰	۷۲۸۰۰۰
فاصله Hausdorff	۴۰,۷۶۳۱۶	۳۴,۱۶۶۴۲	۳۶,۵۹۴۲۲	۳۶,۱۸۱۳۴
اختلاف زاویه بین نرمال‌های وجهها(درجه)	۴,۵۸۸۷۳۲	۴,۵۳۱۳۹۴	۵,۹۱۷۲۶۶	۵,۸۴۴۸۵۱
اختلاف زاویه وجهها(درجه)	۲,۷۷۰۳۲۱	۲,۷۳۲۸۰۲	۳,۳۸۶۲۵۷	۳,۳۴۷۷۴۶

همان‌طور که در جدول (۳) مشخص شده است بهترین دقت بازسازی مدل که برای تمامی معیارهای ارزیابی نتایج بهتری دارد، مدل سازی با استفاده از نقشه عمق و با مدل مرجع میانگین است. پس از آن مدل سازی با استفاده از تصویر نگاهت عمق و با مدل مرجع میانه برای معیار ارزیابی فاصله اقلیدسی و فاصله Hausdorff بهترین نتایج را داشته است و برای معیارهای اختلاف زاویه بین نرمال‌های وجهها و اختلاف زاویه وجهها بازسازی مدل با استفاده از تصویر بافت رنگی و با مدل مرجع میانگین نتیجه مناسب‌تری داشته است.

برای مقایسه دو مدل سه بعدی معیارهای مختلفی وجود دارد. در این‌جا با استفاده از ۴ معیار که در ادامه معرفی می‌شوند، میزان دقت مدل بازسازی شده نشان داده می‌شود. یکی از مزیت‌های پروژه انجام شده، معیارهای ارزیابی است که برای مقایسه مدل‌ها به کار رفته شده و مقایسه مدل‌ها از تمامی جهات انجام شده است. نتایج به دست آمده از تمامی معیارها بیان‌گر بهبود مدل سازی سه بعدی به کمک روش مطرح شده است در صورتی که در کار Mena-Chalco و همکاران [13] تنها از یک معیار ارزیابی استفاده شده که توضیحات واضح و مشخصی در مورد آن داده نشده است. یکی از معیارهای مقایسه دو مدل سه بعدی فاصله اقلیدسی یا normII است که از معادله (۱۳) محاسبه می‌شود:

$$d(x_i, x_j)_{l_2} = \frac{1}{V} \sqrt{\sum_{k=1}^V \|x_{k,i} - x_{k,j}\|^2} \quad (13)$$

به طوری که x_i و x_j دو مدل سه بعدی هستند و $x_{k,i}$ و $x_{k,j}$ رئوس متناظر در دو مدل و V تعداد رئوس در هر مدل است. معیار دیگر فاصله Hausdorff نام دارد. اگر X و Y دو مدل سه بعدی و x و y رئوس متناظر در آن‌ها باشند آن‌گاه فاصله Hausdorff به صورت معادله (۱۴) تعریف می‌شود:

$$d(X, Y)_H = \max\{\sup_{x \in X} \inf_{y \in Y} d(x, y)_{l_2}, \sup_{y \in Y} \inf_{x \in X} d(x, y)_{l_2}\} \quad (14)$$

که در آن sup کوچک‌ترین کران بالا^۱ و inf بزرگ‌ترین کران پایین^۱ است. معیار دیگر برای مقایسه مدل ساخته شده با مدل اصلی، مقایسه بردار نرمال وجه‌های متناظر، در مدل‌ها است و اختلاف زاویه بین بردارهای نرمال وجه‌های متناظر مشخص کننده دقت مدل بازسازی شده است. در صورتی که $n_{k,i}$ و $n_{k,j}$ بردار نرمال و یکه مربوط به مدل‌های i و j و f تعداد وجه‌های مدل‌ها باشد، در این صورت میانگین اختلاف زوایای بردارهای نرمال وجه‌ها به صورت معادله (۱۵) تعریف می‌شود:

$$d(x_i, x_j) = \frac{1}{f} \sum_{k=1}^f \frac{\|n_{k,i} - n_{k,j}\|}{\|n_{k,i}\| * \|n_{k,j}\|} \quad (15)$$

معیار دیگر برای مقایسه مدل‌های سه بعدی، یافتن میانگین اختلاف زاویه وجه‌های متناظر در مدل‌هاست. با توجه به این‌که وجه‌های سازنده شبکه مثلث شکل است، سه زاویه دارد و f نشان دهنده تعداد وجه‌های شبکه است و میانگین اختلاف زوایا به صورت معادله (۱۶) محاسبه می‌شود:

$$d(x_i, x_j) = \frac{1}{f} \sum_{k=1}^f \sum_{n=1}^3 \|Angle_{n,k,i} - Angle_{n,k,j}\| \quad (16)$$

shadow under general, unknown lighting", Pattern Recognition, Vol. 46, No. 1, pp. 38-44, 2013.

[9] Lee, Y.J., Lee, S.J., Park, K.R., Jo, J., Kim, J., "Single view-based 3D face reconstruction robust to self-occlusion", EURASIP Journal on Advances in Signal Processing, Vol. 2012, No. 1, pp. 1-20, 2012.

[10] Leo, M.J., Manimegalai, D., "3D modeling of human faces- A survey", Trendz in Information Sciences and Computing (TISC), 2011 3rd International Conference on, pp. 40-45, 2011.

[11] Liao, H.-b., Chen, Q.-h., Zhou, Q.-j., Guo, L., "Rapid 3D face reconstruction by fusion of SFS and Local Morphable Model", Journal of Visual Communication and Image Representation, Vol. 23, No. 6, pp. 924-931, 2012.

[12] Mena-Chalco, J.P., Macêdo, I., Velho, L., Cesar Jr, R.M., "3D face computational photography using PCA spaces", The Visual Computer, Vol. 25, No. 10, pp. 899-909, 2009.

[13] Mena-Chalco, J.P., Velho, L., Junior, R.M.C., "3D human face reconstruction using principal components spaces", WTD SIBGRAPI-Conference on Graphics, Paterns and Images, pp. 1-6, 2011.

[14] Noh, J.-y., Neumann, U., "A survey of facial modeling and animation techniques", USC Technical Report, 99-705, 1998.

[15] Oliveira-Santos, T., Baumberger, C., Constantinescu, M., Olariu, R., Nolte, L.-P., Alaraibi, S., et al., "3D face reconstruction from 2D pictures: first results of a web-based computer aided system for aesthetic procedures", Annals of biomedical engineering, Vol. 41, No. 5, pp. 952-966, 2013.

[16] Szeliski, R., *Computer Vision: Algorithms and Applications*, Springer, 2010. <http://szeliski.org/Book/>

[17] Vezzetti, E., Marcolin, F., Stola, V., "3D human face soft tissues landmarking method: an advanced approach", Computers in Industry, Vol. 64, No. 9, pp. 1326-1354, 2013.

[18] Yangyang, J., Xuzhi, W., Xiuli, M., Jinbo, L., Xueli, Z., "Model optimization by loop and linear subdivision", Audio, Language and Image Processing (ICALIP), 2012 International Conference on, pp. 384-387, 2012.

زیر نویس ها

- ¹ Depth Cue
- ² Texture
- ³ Lambertian Reflectance
- ⁴ Morphable
- ⁵ Depth Map
- ⁶ Dark Channel
- ⁷ Transmission Map
- ⁸ Mesh
- ⁹ Supremum
- ¹⁰ Infimum

بدرترین نتایج برای معیارهای ارزیابی فاصله اقلیدسی و Hausdorff مربوط به بازسازی با تصویر بافت رنگی و مدل مرجع میانگین است و برای دو معیار اختلاف زاویه بین نرمال‌های وجه‌ها و اختلاف زاویه وجه‌ها، بازسازی مدل با استفاده از تصویر بافت رنگی و با مدل مرجع میانه است.

۵- نتیجه و کارهای آینده

همان‌طور که نتایج نشان داده است بازسازی مدل سه بعدی چهره با استفاده از تصویر نقشه عمق و مدل مرجع میانگین دقت بالاتری را نسبت به سایر روش‌های بررسی شده دارد و برای مدل مرجع میانگین و مدل مرجع میانه بازسازی مدل سه بعدی با استفاده از تصویر نقشه عمق نتایج بهتری نسبت به مدل‌سازی با استفاده از تصویر بافت رنگی داشته است. مدل‌سازی با استفاده از تصویر نقشه عمق و مدل مرجع میانگین بهبود حدوداً ۱۷٪ برای معیار فاصله Hausdorff، بهبود ۵٪ برای فاصله اقلیدسی و بهبود حدوداً ۳٪ برای دو معیار ارزیابی اختلاف زاویه بین نرمال‌های وجه‌ها و اختلاف زاویه وجه‌ها نسبت به روش ارائه شده توسط Mena-Chalco و همکاران [13] دارد.

با توجه به این که دسته‌بند PCA نشان دهنده ویژگی‌های سراسری است و هر بردار پایه نیز مربوط به چند جزء چهره است، انتظار می‌رود برای اعمال تغییرات محلی خاص از روش‌های چندرزولوشنی برای بهبود روش مطرح شده استفاده نمود تا بتوان مدل‌ها را با دقت بالاتری ساخت.

مراجع

[1] Blanz, V., Vetter, T., "Face recognition based on fitting a 3D morphable model", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol. 25, No. 9, pp. 1063-1074, 2003.

[2] Clarke, L., Chen, M., Mora, B., "Automatic generation of 3D caricatures based on artistic deformation styles", Visualization and Computer Graphics, IEEE Transactions on, Vol. 17, No. 6, pp. 808-821, 2011.

[3] Fooprateepsiri, R., Kurutach, W., "A general framework for face reconstruction using single still image based on 2D-to-3D transformation kernel", Forensic science international, Vol. 236, No. pp. 117-126, 2014.

[4] Guo, F., Tang, J., Peng, H., "Adaptive estimation of depth map for two-dimensional to three-dimensional stereoscopic conversion", Optical Review, Vol. 21, No. 1, pp. 60-73, 2014.

[5] He, K., Sun, J., Tang, X., "Single image haze removal using dark channel prior", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol. 33, No. 12, pp. 2341-2353, 2011.

[6] Heo, J., Savvides, M., "Gender and ethnicity specific generic elastic models from a single 2d image for novel 2d pose face synthesis and recognition", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol. 34, No. 12, pp. 2341-2350, 2012.

[7] Kemelmacher-Shlizerman, J., Basri, R., "3d face reconstruction from a single image using a single reference face shape", Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol. 33, No. 2, pp. 394-405, 2011.

[8] Lee, M., Choi, C.-H., "A robust real-time algorithm for facial shape recovery from a single image containing cast