

آشکارسازی صورت با استفاده از فیلترهای گابور و شبکه‌های عصبی

محمود محلوچی و رضا محمدیان

در قشر بینایی مغز پستانداران می‌توانند توسط توابع گابور شبیه‌سازی شده و تحلیل تصویر توسط این توابع به احساس و ادراک در سیستم بینایی انسان بسیار شبیه است [۶]. این توانایی فیلترهای گابور باعث شده که از آنها در کاربردهای مختلفی استفاده شود. در [۷] از فیلترهای گابور برای بالابردن کیفیت تصویر اثر انگشت به منظور استفاده در سیستم‌های امنیتی استفاده می‌شود. مرجع [۸] از آشکارسازی لبه توسط این فیلترها برای مشخص کردن حالت‌های عصبانیت، ترس، شادی، غم و هیجان در چهره انسان استفاده کرده است. مرجع [۹] فیلتر گابور را برای جداسازی نوع بافت‌ها استفاده می‌کند و [۱۰] آشکارسازی صورت از نمای روبه‌رو و در زوایای $\pm 15^\circ$ و $\pm 30^\circ$ را با استفاده از فیلتر گابور انجام می‌دهد.

فیلتر گابور به کمک توابع ریاضی تولید می‌شود. تابع ریاضی تولید این فیلتر دارای شکل‌های متفاوتی بوده و این تفاوت حتی در کاربردهای مشابه نیز وجود دارد، برای مثال در زمینه آشکارسازی و شناسایی صورت انسان، تابع ریاضی استفاده‌شده در [۱۰] تا [۱۲] با تابع ریاضی استفاده‌شده در [۳]، [۱۳] و [۱۴] متفاوت است. در نحوه مقاردهای پارامترهای ورودی تابع تولید این فیلترها نیز نمی‌توان یک رویه ثابت را پیدا کرد. برای مثال مقاردهای پارامترهای ورودی تابع تولید فیلتر گابور برای شناسایی بافت‌ها در [۹] با مقاردهای پارامترهای ورودی تابع تولید فیلتر گابور برای آشکارسازی صورت در [۱۰] متفاوت است. این تفاوت در نحوه مقاردهای این پارامترها همچنین در کاربردهای مشابه نیز وجود دارد. به عنوان مثال [۱۰] نشان می‌دهد که در آشکارسازی ناحیه صورت به کمک فیلتر گابور مقدار پارامترهای مؤثر در تولید این فیلتر برای هر مجموعه عکس متفاوت بوده و حتی این مقادیر برای تصاویر صورت از نمای روبه‌رو و تصاویر صورت در زوایای مختلف نیز متفاوت می‌باشد.

برای پیاده‌سازی فیلترهای گابور روش‌های مختلفی وجود دارد. در [۱۵] به منظور آشکارسازی وسایل نقلیه در جاده در کنار فیلتر گابور از SVM استفاده شده و [۱۱] و [۱۶] به منظور آشکارسازی ناحیه صورت از ترکیب فیلتر گابور و شبکه‌های عصبی استفاده می‌کنند.

این مقاله روشی قدرتمند برای آشکارسازی صورت از زوایای مختلف با استفاده از فیلترهای گابور و شبکه عصبی را بیان می‌کند. ساختار مقاله به شکل زیر پیاده‌سازی شده است: در بخش اول فیلتر گابور و ویژگی‌های آن معرفی شده و در بخش دوم با بررسی ۷۵ بانک فیلتر گابور مختلف بهترین مقادیر برای پارامترهای مؤثر در تولید بانک فیلتر گابور به دست آورده می‌شود. در بخش سوم الگوریتم آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی بیان شده و در بخش چهارم نتایج حاصل از اجرای روش پیشنهادی روی دو مجموعه پایگاه تصویر فرت [۱۷] و مارکوس وبر [۱۸] آورده شده و با نتایج به دست آمده از اجرای الگوریتم ویولا-جونز [۱۹] مقایسه می‌شود.

۲- فیلتر گابور و ویژگی‌های گابور

فیلتر گابور مستقیماً با موجک گابور در ارتباط است. موجک‌ها با یک موج ناشناخته ترکیب شده تا از آن موج ناشناخته اطلاعات به دست آورند. فیلتر گابور در دو نوع تک‌بعدی و دوبعدی وجود دارد که حالت تک‌بعدی

چکیده: در این مقاله، روشی قدرتمند برای آشکارسازی صورت از زوایای مختلف با استفاده از ترکیب فیلترهای گابور و شبکه عصبی بیان می‌شود. در ابتدا رابطه ریاضی تولید فیلتر گابور مورد بررسی قرار می‌گیرد و در مرحله بعد با بررسی ۷۵ بانک فیلتر مختلف، محدوده مقادیر پارامترهای مؤثر در تولید فیلتر گابور مشخص شده و سپس بهترین مقدار برای آنها به دست می‌آید. شبکه عصبی مورد استفاده در این مقاله از نوع پیش‌خور با روش بازگشتی است و بردار ورودی این شبکه عصبی از کانالو تصویر با تنها یک فیلتر گابور با زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ در حوزه فرکانس به دست می‌آید. الگوریتم پیشنهادی در این مقاله روی ۵۵۰ تصویر از ۲ پایگاه تصویر فرت با پس‌زمینه ساده و مارکوس وبر با پس‌زمینه پیچیده آزمایش شده و دقت آشکارسازی آن به ترتیب 98.4% و 95% است. همچنین به کمک الگوریتم ویولا-جونز ناحیه صورت را در ۵۵۰ نمونه تصویر به دست آورده و مقایسه‌ای بین نتایج به دست آمده از الگوریتم ویولا-جونز و الگوریتم پیشنهادی آورده می‌شود.

کلید واژه: آشکارسازی صورت، شبکه عصبی، فیلتر گابور، ویژگی‌های گابور.

۱- مقدمه

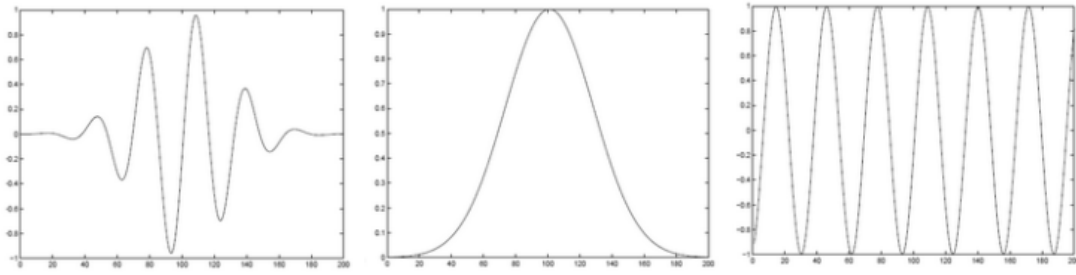
آشکارسازی دقیق ناحیه صورت در تصاویر رنگی و سطح خاکستری ابتدایی‌ترین و شاید مهم‌ترین قدم در فرایندهایی مانند شناسایی افراد به کمک ویژگی‌های صورت، تشخیص بیماری اوتیسم در کودکان با تحلیل حالت صورت آنها [۱] و ... می‌باشد. وجود چندین صورت در یک تصویر، وجود حالات احساسی در چهره (گریه، عصبانیت و ...) و تنوع رنگ پوست در نژادهای مختلف (سفید، سیاه و ...) از جمله چالش‌های پیش روی آشکارسازی صورت در تصویر است [۲]. در طول زمان محققان سعی کرده‌اند با ارائه روش‌های مختلف از میزان تأثیر چالش‌های مذکور کاسته و ناحیه صورت را با بهترین کیفیت تولید نمایند. پیاده‌سازی سیستم آشکارسازی صورت به کمک شبکه عصبی با روش تبدیل تصویر اصلی به پنجره‌های کوچک و بررسی وجود صورت در هر یک از این پنجره‌ها در [۳] آورده شده است. در [۴] به کمک فضای رنگ YCbCr ابتدا نواحی پوستی از غیر پوستی جدا شده و سپس در بین نواحی پوستی به دنبال ناحیه‌هایی که حفره‌ای در آنها وجود دارد (به نشانه وجود چشم و دهان) می‌گردد، این مقاله اشاره‌ای به روش یافتن حفره‌ها در نواحی پوستی نکرده است. در [۵] روش انطباق قالب برای پیدا کردن صورت در تصویر به کار گرفته شده است.

دانشمندان از گذشته تاکنون به دنبال یافتن روش‌هایی برای شبیه‌سازی هرچه بهتر دید انسان بوده و هستند. داگمن فیزیکدان و پروفیسور در زمینه بینایی کامپیوتر در سال ۱۹۸۵ طی مقاله‌ای بیان کرد که سلول‌های ساده

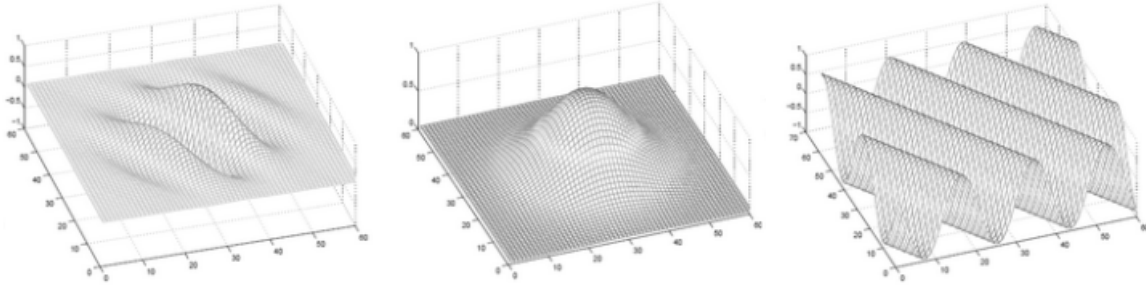
این مقاله در تاریخ ۲۴ فروردین ماه ۱۳۹۳ دریافت و در تاریخ ۱۷ تیر ماه ۱۳۹۳ بازنگری شد.

محمود محلوچی، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشان، کاشان، (email: mmahlouji@yahoo.com).

رضا محمدیان، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد کاشان، کاشان، (email: mohammadian_reza@hotmail.com).



شکل ۱: تولید فیلتر گابور تک بعدی [۲۲].



شکل ۲: نحوه تولید فیلتر گابور دوبعدی، (الف) موج سینوسی با زاویه ۳۰ درجه نسبت به محور x، (ب) تابع گوسین و (ج) فیلتر گابور [۲۲].

۹۰ و ۹۰- فیلتر نامتقارن و یا فرد است [۲۴] و λ معرف طول موج در دامنه فرکانس فضایی می باشد. برای تولید فیلترهای گابور با دامنه های مختلف ضریب K لازم است [۲۳] و با اعمال ضریب K و ترکیب (۲) و (۴) تابع فیلتر گابور را می توان به صورت (۵) نشان داد

$$G(x, y) = k \times \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_r^2}{\sigma^2} + \frac{y_r^2}{\beta^2}\right)\right) \times \exp\left(i\left(2\pi\frac{x_r}{\lambda} + \phi\right)\right) \quad (5)$$

مرجع [۶] نسبت انحراف استاندارد در راستای محور x ها به انحراف استاندارد در راستای محور y ها را نرخ شکل ظاهر در تابع گابور دوبعدی نامیده و با علامت γ نشان می دهد. در [۲۱] و [۲۴] تا [۲۶] با در نظر گرفتن رابطه $\gamma = \sigma/\beta$ پارامتر β را از تابع تولید فیلتر گابور حذف کرده اند. معادله (۶) نتیجه اعمال این تغییر را نشان می دهد

$$G(x, y) = k \times \exp\left(-\frac{1}{2}\frac{x_r^2 + \gamma^2 y_r^2}{\sigma^2}\right) \times \exp\left(i\left(2\pi\frac{x_r}{\lambda} + \phi\right)\right) \quad (6)$$

با در نظر گرفتن مقدار ضریب k برابر $\gamma/2\pi\sigma^2$ مطابق [۲۱] و با استفاده از نسبت طول موج به فرکانس فضایی برابر $f = 1/\lambda$ مطابق [۲۷] (با تغییر نام پارامترها) و همچنین با در نظر گرفتن رابطه اوایلر [۲۳] در این مقاله فیلتر گابور از (۷) تولید می شود

$$\begin{aligned} g(x, y, \lambda, \sigma, \gamma, \theta, \phi) &= \\ g_{\text{Real}}(x, y, \lambda, \sigma, \gamma, \theta, \phi) &+ jg_{\text{Imaginary}}(x, y, \lambda, \sigma, \gamma, \theta, \phi) \\ g_{\text{Real}}(x, y, \lambda, \sigma, \gamma, \theta, \phi) &= \\ \frac{\gamma}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x_r^2 + \gamma^2 y_r^2}{2\sigma^2}\right) \cos(2\pi f x_r + \phi) & \quad (7) \\ g_{\text{Imaginary}}(x, y, \lambda, \sigma, \gamma, \theta, \phi) &= \\ \frac{\gamma}{2\pi\sigma^2} \exp\left(-\frac{x_r^2 + \gamma^2 y_r^2}{2\sigma^2}\right) \sin(2\pi f x_r + \phi) & \end{aligned}$$

برای شبیه سازی رفتار بخش پذیرنده سلول های ساده قشر بینایی به کمک فیلتر گابور دوبعدی لازم است تا تصویر اصلی با استفاده از ماسک فیلتر گابور جاروب شود. به عمل جاروب کردن تصویر اصلی با استفاده از ماسک فیلتر گابور کانوال گفته می شود و [۱۶] علامت * را به عمل

آن می تواند در نقش یک فیلتر میان گذر عالی برای پردازش سیگنال های تک بعدی مانند گفتار استفاده شود [۲۰]. فیلتر گابور دوبعدی به صورت گسترده در آشکارسازی و تشخیص ناحیه صورت استفاده می شود [۲۱]. شکل ۱ فیلتر گابور را در حالت تک بعدی نشان داده و شکل ۲ فیلتر گابور را در حالت دوبعدی نشان می دهد.

۲-۱ تولید فیلتر گابور دوبعدی و تفاوت استفاده از آن در حوزه فضایی و حوزه فرکانس

طبق (۱) فیلتر گابور دوبعدی حاصل از ترکیب یک تابع گوسین دوبعدی به نام پوش و شکل مختلط یک موج سینوسی به نام حامل است [۲۰]

$$G(x, y) = w(x, y) \times m(x, y) \quad (1)$$

شکل کلی تابع گوسین دوبعدی با فرض قرار گرفتن مرکز آن روی مرکز مختصات به صورت (۲) می باشد که این رابطه مشابه رابطه استفاده شده در [۲۳] است با این تفاوت که اسامی پارامترها در آن تغییر کرده است

$$w(x, y) = \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{x_r^2}{\sigma^2} + \frac{y_r^2}{\beta^2}\right)\right) \quad (2)$$

که σ^2 واریانس تابع گوسین دوبعدی در راستای محور x ها و β^2 واریانس تابع گوسین دوبعدی در راستای محور y ها است. متغیرهای x_r و y_r از طریق (۳) به دست می آید

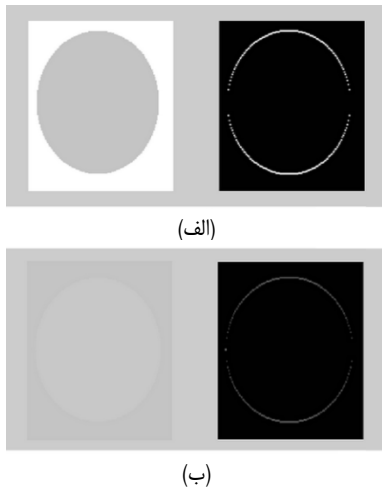
$$\begin{aligned} x_r &= x \cos \theta + y \sin \theta \\ y_r &= -x \sin \theta + y \cos \theta \end{aligned} \quad (3)$$

که θ میزان چرخش محورهای بیضی تابع گوسین دوبعدی (میزان چرخش فیلتر گابور) می باشد.

برای تولید شکل مختلط یک موج سینوسی در [۷]، [۱۱]، [۲۱] و [۲۴] از (۴) استفاده شده است

$$m(x, y) = \exp\left(i\left(2\pi\frac{x_r}{\lambda} + \phi\right)\right) \quad (4)$$

که ϕ فاز افست است و تقارن تابع گابور را نشان می دهد. برای ϕ مساوی صفر و ۱۸۰ فیلتر گابور متقارن یا زوج است و برای ϕ مساوی



شکل ۴: تأثیر شدت اختلاف رنگ در خروجی فیلتر گابور.

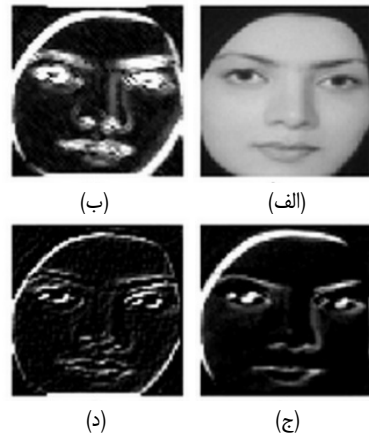
از آنجایی که در روش پیشنهادی فیلتر گابور به شکل عدد مختلط است پاسخ آن به تصویر ورودی نیز به صورت عدد مختلط بوده و دارای بخش حقیقی و موهومی است، لذا در (۹) منظور از $\text{real}(r_{f,\theta})$ بخش حقیقی پاسخ فیلتر گابور در ازای فرکانس f و زاویه θ بوده و منظور از $\text{imaginary}(r_{f,\theta})$ بخش موهومی پاسخ فیلتر گابور در ازای فرکانس f و زاویه θ می‌باشد.

۳- مقداردهی پارامترهای مؤثر بر تولید فیلتر گابور

به منظور داشتن یک ویژگی انرژی گابور قدرتمند برای آشکارسازی صورت لازم است پارامترهای مؤثر در تولید بانک فیلتر گابور به درستی تنظیم شوند. لذا در این بخش ابتدا نحوه تأثیر سه پارامتر زاویه، فرکانس و انحراف استاندارد در خروجی حاصل از کانالو تصویر با یک فیلتر گابور بیان شده و سپس مقداردهی پارامترهای مؤثر بر تولید فیلتر گابور در مقالات مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد. در پایان نحوه تعیین مقادیر پارامترهای تولید فیلتر گابور در روش پیشنهادی بیان می‌شود.

۳-۱ نمایش تأثیر پارامترهای زاویه، فرکانس و انحراف استاندارد در خروجی فیلتر گابور

به زبان ساده تأثیر فیلتر گابور روی یک نمونه تصویر را می‌توان به این صورت بیان کرد که هر کجا در تصویر ورودی تغییر رنگی رخ دهد فیلتر گابور مرز بین این دو ناحیه را مشخص می‌کند، لذا هرچه تغییر رنگ بین نواحی بیشتر باشد فیلتر گابور در شناسایی مرز بین آنها توانمندتر خواهد بود. به منظور استفاده از فیلتر گابور در تصاویر رنگی لازم است ابتدا این تصاویر را به تصاویر سطح خاکستری تبدیل کنیم. شکل ۴ تأثیر شدت اختلاف رنگ بین نواحی را در خروجی فیلتر گابور نشان می‌دهد. در شکل ۴- الف به دلیل اختلاف زیاد رنگ بین دو ناحیه دایره و مستطیل مرز بین آنها کاملاً در خروجی فیلتر گابور مشخص است در حالی که در شکل ۴- ب به دلیل کم بودن اختلاف رنگ بین این دو ناحیه مرز بین آنها کاملاً مشخص نمی‌باشد. در کیفیت تعیین مرز بین نواحی با رنگ‌های متفاوت سه عامل زاویه، فرکانس و انحراف استاندارد فیلتر گابور مؤثر است. شکل ۵ تأثیر انتخاب زاویه را در خروجی فیلتر گابور نشان می‌دهد. در این حالت در بین نقاط مرزی نقاطی که با زاویه فیلتر گابور مطابق هستند سیاه می‌شوند. در شکل ۵- ج فیلتر گابور با زاویه ۴۵ درجه به شکل اعمال شده و بنابراین تمامی نقاطی که زاویه آنها نسبت به افق زاویه ۴۵ درجه می‌باشد سیاه شده‌اند.



شکل ۳: (الف) تصویر اصلی، (ب) خروجی انرژی حاصل از کانالو تصویر اصلی با فیلتر گابور، (ج) خروجی حالت حقیقی فیلتر گابور و (د) خروجی حالت موهومی فیلتر گابور. مقداردهی پارامترهای فیلتر گابور به صورت $f = \pi/2$, $\sigma = 0.4$, $\gamma = 1$, $\theta = \pi/2$ است.

کانالو نسبت می‌دهد که عمل کانالو در حوزه فضایی انجام می‌شود. پیچیدگی عمل کانالو در حوزه فضایی با اندازه ماسک کانولوشن نسبت مستقیم دارد به طوری که اگر اندازه ماسک $S \times S$ بوده و تصویر نیز دارای $P \times P$ پیکسل باشد تعداد محاسبات به $P^2 \times S^2$ خواهد رسید. یک راه حل ساده برای کاهش این محاسبات اجرای عمل فیلتر کردن در حوزه فرکانس است که در این روش ابتدا تصویر توسط پاسخ سریع فوریه به حوزه فرکانس برده می‌شود. تصویر تبدیل شده به حوزه فرکانس در یک فیلتر گابور (که آن هم به حوزه فرکانس برده شده است) ضرب می‌شود. سرانجام پاسخ به دست آمده با استفاده از عمل معکوس پاسخ سریع فوریه به حوزه فضایی برگردانده می‌شود. در این روش به جای عمل پیچیده کانالو با عمل ساده ضرب روبه‌رو بوده و در نتیجه تعداد محاسبات به $p^2 \log p$ خواهد رسید [۲۸]. این بدان معنی است که اندازه ماسک S در انجام محاسبات بی‌تأثیر خواهد بود لذا عمل کانالو در روش پیشنهادی در حوزه فرکانس انجام می‌شود.

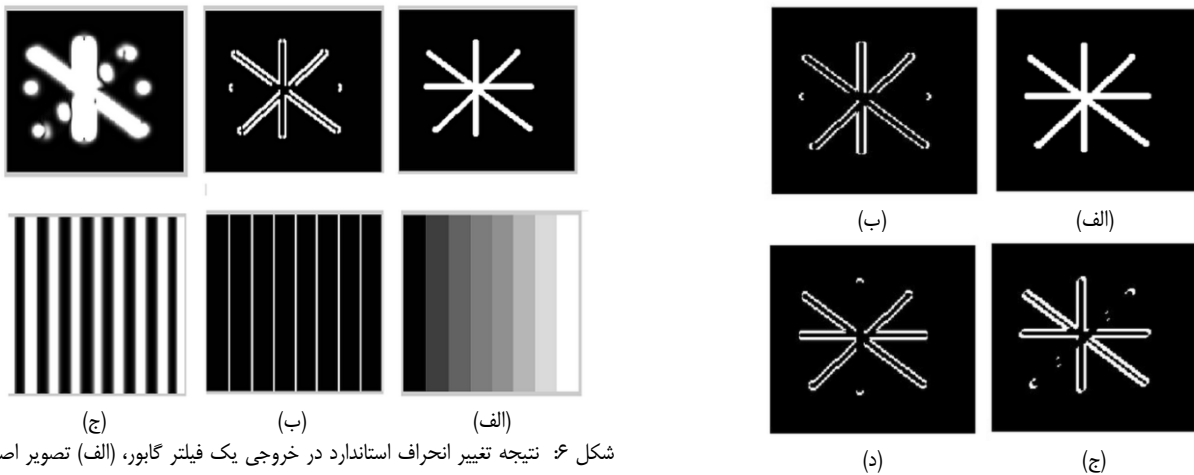
۲-۲ ویژگی‌های گابور

به پاسخ‌های یک تصویر به بانکی از فیلترهای گابور ویژگی گابور می‌گویند [۲۸] و برای تولید ویژگی‌های گابور می‌توان از بخش حقیقی [۲۵]، موهومی و یا مختلط تابع تولید فیلتر گابور استفاده کرد [۲۹]. مطابق (۸) اندازه شکل مختلط خروجی فیلتر گابور به انرژی گابور معروف است [۲۴]

$$e_{\lambda,\theta}(x,y) = \sqrt{r_{\lambda,\theta,\cdot}^2(x,y) + r_{\lambda,\theta,\cdot-\frac{\pi}{2}}^2(x,y)} \quad (۸)$$

در این رابطه منظور از r پاسخ فیلتر گابور با زاویه θ و فرکانس $1/\lambda$ به تصویر ورودی می‌باشد. بخش اول رابطه زیر رادیکال معادل پاسخ فیلتر گابور در حالت متقارن بوده و بخش دوم آن معادل پاسخ همان فیلتر در حالت نامتقارن است. در شکل ۳ بخش حقیقی، موهومی و انرژی حاصل از کانالو یک نمونه تصویر از اینترنت با یک فیلتر گابور آورده شده است. همان طور که در شکل نیز مشخص است ویژگی انرژی گابور، اجزای صورت (چشم، بینی و لب) را بهتر نشان می‌دهد. با توجه به این مطلب در روش پیشنهادی از ویژگی انرژی گابور استفاده شده و این ویژگی از (۹) به دست می‌آید

$$e_{f,\theta}(x,y) = \sqrt{\text{real}(r_{f,\theta})^2 + \text{imaginary}(r_{f,\theta})^2} \quad (۹)$$



شکل ۵: تغییر زاویه در خروجی یک فیلتر گابور، (الف) تصویر اصلی، (ب) خروجی فیلتر گابور با زاویه ۰ درجه، (ج) خروجی فیلتر گابور با زاویه ۴۵ درجه و (د) خروجی فیلتر گابور با زاویه ۹۰ درجه. مقدار سایر پارامترها به صورت $f = \pi/2, \gamma = 2.5, \sigma = 0.4$ است.

شکل ۶: نتیجه تغییر انحراف استاندارد در خروجی یک فیلتر گابور، (الف) تصویر اصلی، (ب) خروجی فیلتر گابور با انحراف استاندارد ۰.۴ و (ج) خروجی فیلتر گابور با انحراف استاندارد π . مقدار سایر پارامترها به صورت $f = \pi/2, \gamma = 1, \theta = 0$ است.

جدول ۱: نمونه‌هایی از مقادیر در نظر گرفته شده برای چند پارامتر مؤثر در تولید فیلتر گابور.

منبع							نام پارامتر
[۲۱]	[۲۵]	[۱۶]	بانک فیلتر کلاسیک [۹]	[۹]	[۹]	[۹]	
CMU Multi-PIE	JAFFE & CK	شخصی	شخصی	XM۲VTS	FRGC	FERET	پایگاه تصویر
۸	۸	۸	۸	۸	۶	۸	تعداد زاویه
$\frac{\pi}{8}$	$\frac{\pi}{8}$	$\frac{\pi}{8}$	$\frac{\pi}{8}$	$\frac{\pi}{8}$	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{8}$	گام افزایش زاویه
$0-\pi$	$0-\pi$	$0-\pi$	$0-\pi$	$0-\pi$	$0-\pi$	$0-\pi$	محدوده زاویه
۴	۳	۵	۵	۶	۵	۵	تعداد فرکانس
$\lambda = \alpha \times \sigma$	$\lambda = \alpha \times \sigma$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	$\sqrt{2}$	۲	گام افزایش فرکانس
$\alpha = \{0.25, 0.57, 1, 2\}$	$\alpha = \{1, 2.5\}$						
-	-	π	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	$\frac{\pi}{2}$	فرکانس ماکسیمم
$\sigma = \{2, 3, 5, 7, 11, 17, 23, 29\}$	$\sigma = 0.036s^2 + 0.25s + 0.18$ s : filter size = ۱۱, ۲۰, ۲۹	$\sigma = \pi$	$\sigma = \sqrt{2}$	$\sigma_x = 1$ $\sigma_y = 1$	$\sigma_x = \sqrt{2}$ $\sigma_y = \sqrt{2}$	$\sigma_x = 1$ $\sigma_y = \sqrt{2}$	انحراف استاندارد
$\gamma = \{1, 2.5, 5, 7.5, 10, 12.5\}$	۰/۵	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	ندارد	نسبت انحراف استاندارد در راستای محور x و y (گاما)

در روش پیشنهادی برای تولید بخش حقیقی و موهومی پاسخ فیلتر گابور به این پارامتر به ترتیب مقدار صفر و $\pi/2$ داده می‌شود. در جدول ۱ نمونه‌هایی از مقادیر در نظر گرفته شده برای دیگر پارامتر مؤثر در تولید فیلتر گابور به منظور آشکارسازی صورت همراه نام مجموعه تصویر آزمایش شده در آنها آورده شده است. با بررسی این جدول می‌توان دریافت که:

- پارامتر زاویه بیشتر دارای ۸ مقدار بوده و محدوده مقادیر آن بین صفر و $7\pi/8$ است

$$\theta = \pi \times \frac{i}{8}, \quad i = 1, 2, \dots, 7$$

- برای مقاردهی پارامتر فرکانس بسیاری از مقالات از یک مقدار فرکانس ماکسیمم و یک گام افزایش فرکانس استفاده کرده و با استفاده از این دو مقدار ۵ فرکانس مختلف را تولید می‌کنند

$$f = \frac{f_{\max}}{f_{rate}^i}, \quad f_{\max} = \frac{\pi}{2}, \quad i = 0, 1, \dots, 4$$

در شکل ۶ تأثیر تغییر مقدار انحراف استاندارد در دو نمونه شکل آورده شده است. در ستون ب مقدار انحراف استاندارد برابر ۰/۴ بوده و در ستون ج مقدار انحراف استاندارد برابر π می‌باشد. همان طور که مشخص است افزایش مقدار انحراف استاندارد باعث افزایش ضخامت خط مرز می‌گردد. شکل ۷ نتیجه تغییر فرکانس در خروجی یک فیلتر گابور را نشان می‌دهد.

۲-۳ بررسی روش‌های مقاردهی پارامترهای مؤثر بر تولید فیلتر گابور در آشکارسازی صورت

در بخش ۲ آورده شد که تابع تولید فیلتر گابور در روش پیشنهادی دارای ۴ پارامتر ورودی زاویه، فرکانس، فاز افست و انحراف استاندارد (در راستای محور x و y) است. از بین این ۴ پارامتر، پارامتر فاز افست اصولاً دارای مقدار ثابت بوده و در تولید شکل حقیقی و موهومی فیلتر گابور نقش دارد به طوری که برای تولید شکل حقیقی فیلتر گابور مقدار صفر یا π برای این پارامتر در نظر گرفته و برای تولید شکل موهومی فیلتر گابور نیز از مقدار $\pi/2$ یا $-\pi/2$ برای آن استفاده می‌شود [۲۴].

جدول ۲: مقداردهی ۴ پارامتر ثابت بانک فیلتر گابور در روش پیشنهادی.

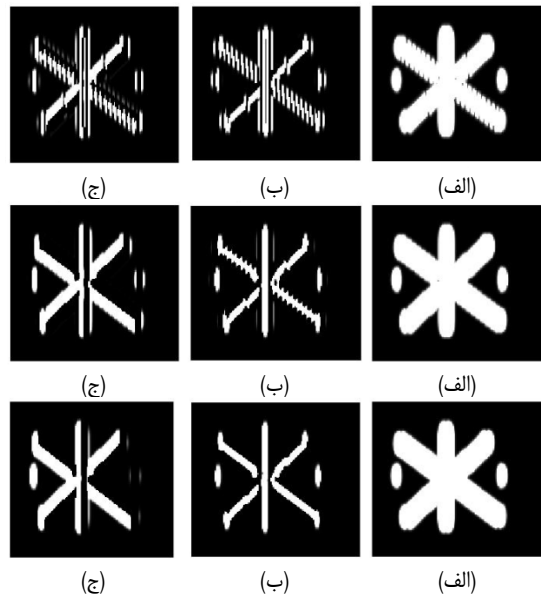
مقدار پارامتر	نام پارامتر	مقدار پارامتر	نام پارامتر
$\frac{\pi}{2}$	فرکانس ماکسیمم	$\frac{\gamma\pi}{8}$	تعداد زاویه
$\sqrt{2}$	گام تغییر فرکانس	۵	تعداد فرکانس

جدول ۳: مقادیر ۲ پارامتر سیگما و گاما برای تولید ۲۵ بانک فیلتر مختلف برای مشخص کردن محدوده مقادیر.

	Sigma	۰/۵	۱	۱/۹	۳/۱۴	۶/۲۸
Gamma	۰/۵	۱	۲	۲/۵	۵	

جدول ۴: مقادیر ۲ پارامتر سیگما و گاما برای تولید ۵۰ بانک فیلتر مختلف برای مشخص کردن بهترین مقادیر.

Sigma	Gamma
۰/۱	۰/۲
۰/۲	۰/۴
۰/۳	۰/۶
۰/۴	۰/۸
۰/۵	۱
	۱/۲
	۱/۴
	۱/۶
	۱/۸
	۲



شکل ۷: نتیجه تغییر فرکانس در خروجی یک فیلتر گابور، (الف) خروجی فیلتر گابور در حالت مختلط، (ب) در حالت حقیقی و (ج) در حالت موهومی و اندازه فرکانس در سطر اول تا سوم به ترتیب $\pi/(2\sqrt{2})$ ، $\pi/(2\sqrt{3})$ و $\pi/(2\sqrt{4})$ می‌باشد. مقدار سایر پارامترها به صورت $\sigma = \pi/2$ ، $\gamma = 0.5$ ، $\theta = 0$ است.



شکل ۸: نمونه صورت از فرت برای آزمایش عملکرد ۷۵ بانک فیلتر.

تکرار مقدار این پارامترها در جدول ۱ است و مقادیر این ۴ پارامتر در جدول ۲ آورده شده است.

برای به دست آوردن محدوده مقادیر برای پارامترهای تولید بانک فیلتر گابور مطابق جدول ۳ پارامترهای سیگما و گاما مقداردهی شده و $5 \times 5 = 25$ بانک فیلتر گابور مختلف تولید می‌شود که بانک‌های فیلتر تولیدشده روی نمونه تصویر شکل ۸ در اندازه 70×70 پیکسل اعمال می‌شود.

بانک فیلتر گابور با مقدار سیگما بالاتر از 0.5 خروجی مناسبی تولید نمی‌کند. شکل ۹ بهترین بانک فیلتر گابور تولیدشده را با مقدار سیگما برابر ۱ نشان می‌دهد. همان طور که قبلاً بیان شد افزایش بی‌اندازه مقدار سیگما باعث زیاد شدن ضخامت خط مرز بین نواحی در خروجی فیلتر گابور شده و در نتیجه بخش عمده‌ای از خروجی فیلترها در شکل ۹ سفید شده است.

شکل ۱۰ تأثیر نامطلوب مقدار پارامتر گاما برابر ۲ را در خروجی بانک فیلتر گابور نشان می‌دهد. این افزایش باعث می‌شود بخش عمده‌ای از خروجی فیلترهای گابور سیاه شوند. با توجه به این بررسی مشخص می‌شود که می‌بایست $\gamma < 2$ و $\sigma < 0.5$ باشد. برای به دست آوردن بهترین مقدار برای پارامترهای سیگما و گاما این دو پارامتر طبق جدول ۴ مقداردهی شده و $5 \times 10 = 50$ بانک فیلتر گابور جدید تولید می‌شود.

از مقایسه نتایج به دست آمده مشخص می‌شود بهترین مقدار برای پارامترهای سیگما و گاما برابر $\gamma = 1$ و $\sigma = 0.4$ است. شکل ۱۱ بهترین بانک فیلتر گابور در مجموعه ۷۵ بانک فیلتر و شکل ۱۲ پیاده‌سازی بانک فیلتر کلاسیک را مطابق جدول ۱ نشان می‌دهد. همان طور که از شکل ۱۲ مشخص است خروجی بعضی از فیلترهای بانک فیلتر گابور کلاسیک کاملاً سفید است در حالی که خروجی تمامی ۴۰ فیلتر گابور در

پارامتر انحراف استاندارد به روش‌های گوناگونی مقداردهی می‌شود. دسته‌ای از منابع از دو انحراف استاندارد در راستای محورهای x و y استفاده می‌کنند و دسته‌ای دیگر انحراف استاندارد در راستای محور x را مقداردهی کرده و انحراف استاندارد در راستای محور y را با استفاده از پارامتر گاما به دست می‌آورند. دسته سوم از یک مقدار مساوی برای انحراف استاندارد در راستای محور x و y ها استفاده می‌کنند. در این میان بعضی از منابع از طریق رابطه $\lambda = \alpha \times \sigma$ مقداردهی پارامتر انحراف استاندارد را به پارامتر طول موج وابسته کرده‌اند در حالی که تعداد زیادی از منابع مقداردهی پارامتر انحراف استاندارد را به صورت مستقل انجام داده‌اند.

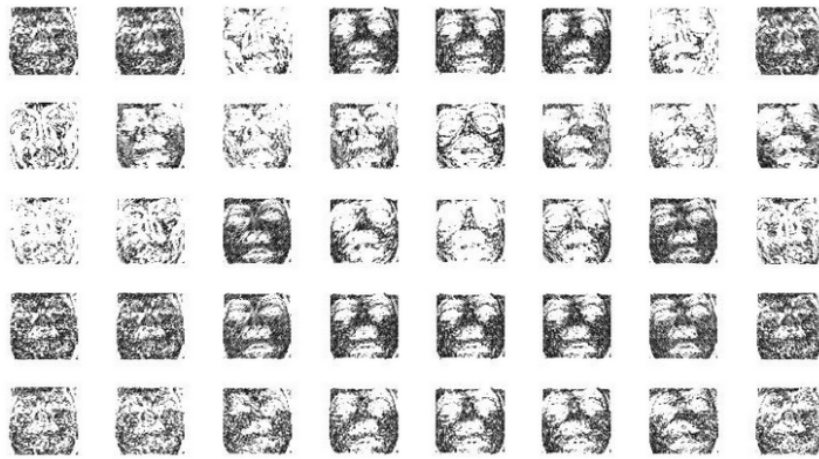
از آنجایی که بخش عمده‌ای از اختلاف در مقادیر ارائه شده برای تولید فیلتر گابور به پارامتر انحراف استاندارد مربوط می‌شود در بخش ۳-۳ با دادن مقادیر مختلف برای این پارامتر مقدار بهینه پارامتر انحراف استاندارد برای آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی به دست آورده می‌شود.

۳-۳ تعیین مقدار پارامترهای مؤثر بر تولید فیلتر گابور

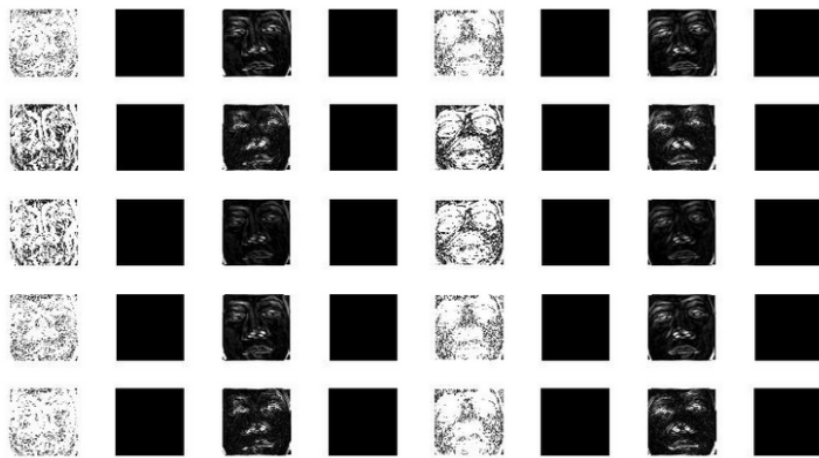
در روش پیشنهادی

در این بخش ابتدا نحوه به دست آوردن مقادیر پارامترهای مؤثر در تولید فیلتر گابور در روش پیشنهادی آورده می‌شود، در ادامه دلیل انتخاب فیلتر گابور با زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ در آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی بیان شده و در پایان عملکرد فیلتر گابور در روش پیشنهادی روی تصاویر با اندازه‌های مختلف مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در روش پیشنهادی پارامتر سیگما (انحراف استاندارد) مستقل بوده و به فرکانس یا اندازه فیلتر وابسته نمی‌باشد. مقدار ۴ پارامتر دیگر (تعداد زاویه، تعداد فرکانس، بیشترین فرکانس و گام تغییر فرکانس) برابر بیشترین



شکل ۹: بهترین حالت بانک فیلتر گابور با مقدار سیگما برابر یک. مقداردهی سایر پارامترهای فیلتر گابور به صورت $f = \pi / (2\sqrt{2}) : \pi / (2\sqrt{2})$, $\gamma = 2$, $\theta = 0 : 7\pi/8$ می‌باشد.



شکل ۱۰: تأثیر نامناسب افزایش پارامتر گاما بیش از مقدار ۲. مقداردهی سایر پارامترهای فیلتر گابور به صورت $f = \pi / (2\sqrt{2}) : \pi / (2\sqrt{2})$, $\gamma = 5$, $\sigma = 0.4$, $\theta = 0 : 7\pi/8$ است.



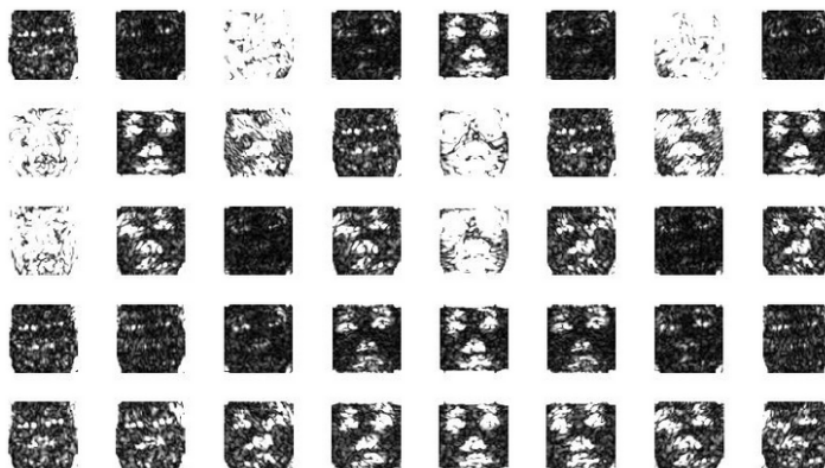
شکل ۱۱: بهترین بانک فیلتر گابور در روش پیشنهادی بعد از تنظیم دقیق پارامترهای سیگما و گاما با مقداردهی پارامترها به صورت $f = \pi / (2\sqrt{2}) : \pi / (2\sqrt{2})$, $\gamma = 1$, $\sigma = 0.4$, $\theta = 0 : 7\pi/8$.

استفاده کرد. استفاده از ترکیب دو یا چند فیلتر گابور موجب افزایش حجم محاسبات شده و سرعت آشکارسازی را بسیار پایین می‌آورد لذا بهتر است تنها از یک فیلتر استفاده شود. برای انتخاب بهترین فیلتر از بین ۴۰ فیلتر گابور توجه به این نکته لازم است که در آشکارسازی صورت از نمای روبه‌رو ناحیه چشم، لب و حفره‌های بینی در زاویه صفر درجه نسبت به افق قرار دارند لذا استفاده از فیلتر گابور با زاویه بین صفر تا ۹۰ درجه کمترین آشکارسازی را به دنبال خواهد داشت، در حالی که استفاده از فیلتر گابور با زاویه ۹۰ درجه بیشترین آشکارسازی را به دنبال دارد. با توجه به

بانک فیلتر روش پیشنهادی قابل دیدن می‌باشند. جدول ۵ مقدار به دست آمده برای پارامترهای مؤثر در تولید بانک فیلتر گابور در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۳-۴ انتخاب فیلتر گابور مناسب و تعیین اندازه بهینه تصویر برای آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی

به منظور آشکارسازی صورت با استفاده از فیلتر گابور می‌توان از هر یک از فیلترهای بانک فیلتر گابور یا از ترکیب دو یا چند عدد از آنها



شکل ۱۲: پیاده‌سازی بانک فیلتر گابور کلاسیک. مقایسه بانک فیلتر گابور به دست آمده در روش پیشنهادی با بانک فیلتر کلاسیک کیفیت بانک فیلتر در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد.



(الف) (ب) (ج) (الف) (ب) (ج)

شکل ۱۵: خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی تحت زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ روی چند نمونه تصویر از پایگاه تصاویر فرت، (الف) تصویر اصلی، (ب) گابور انرژی و (ج) تبدیل گابور انرژی به تصویر سیاه و سفید.

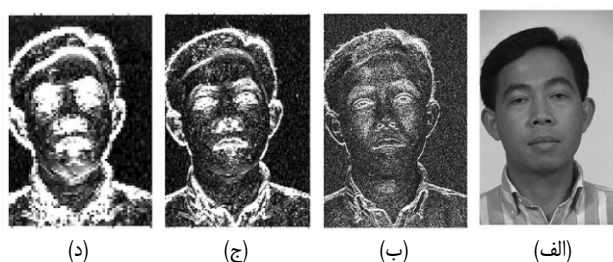
جدول ۵: مقدار به دست آمده برای پارامترهای تولید بانک فیلتر گابور در روش پیشنهادی.

مقدار پارامتر	نام پارامتر	مقدار پارامتر	نام پارامتر
۵	تعداد فرکانس	۸	تعداد زاویه
$\frac{\pi}{2}$	بیشترین فرکانس	$\frac{7\pi}{8} : \frac{\pi}{8}$	محدوده زاویه
$\sqrt{2}$	گام تغییر فرکانس	۰٫۴	انحراف استاندارد
۰	فاز افست	۱	نسبت انحراف استاندارد در راستای محور x و y (گاما)

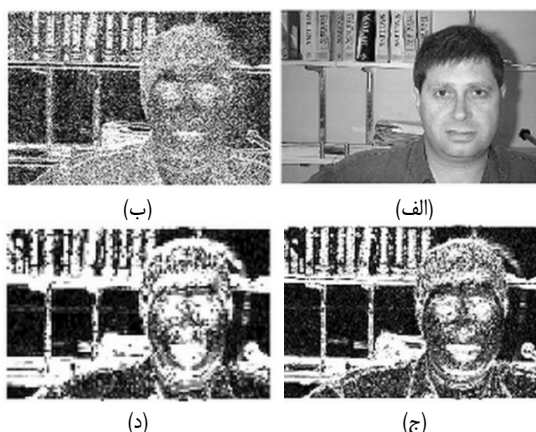
شکل ۱۵ و ۱۶ خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی را روی چند نمونه تصویر از پایگاه فرت و مارکوس وبر نشان می‌دهد. تصویر الف در این دو شکل تصویر اصلی، تصویر ب گابور انرژی و تصویر ج تبدیل گابور انرژی به تصویر سیاه و سفید را نشان می‌دهد.

۴- آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی

به منظور آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی در بخش اول بهترین ترکیب اجزای صورت برای آشکارسازی ناحیه صورت انتخاب می‌شوند. در بخش دو عملکرد الگوریتم پیشنهادی روی ۵۵۰ تصویر از نماهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و بخش سوم تأثیر عمل هیستوگرام اکولایزیشن روی آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. در آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی از شبکه عصبی پیش‌خور به روش بازگشتی استفاده می‌شود. آموزش شبکه‌های عصبی با داده‌های



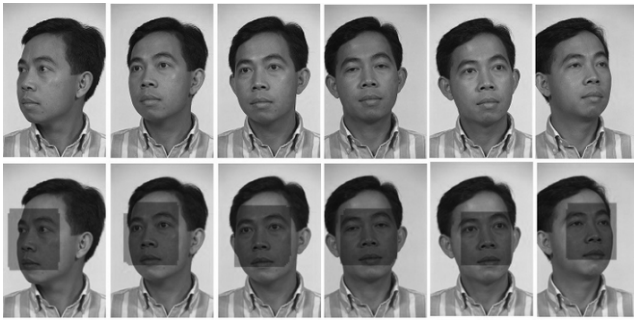
شکل ۱۳: خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی روی یک نمونه تصویر از پایگاه فرت با اندازه‌های (ب) 512×768 ، (ج) 128×192 و (د) 64×96 .



شکل ۱۴: خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی روی یک نمونه تصویر از پایگاه مارکوس وبر با اندازه‌های (ب) 896×592 ، (ج) 224×148 و (د) 112×74 .

این مطلب در روش پیشنهادی با استفاده از فیلتر با زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ آشکارسازی صورت انجام خواهد شد.

با توجه به این که از یک بانک فیلتر گابور نمی‌توان برای عکس‌ها با اندازه‌های مختلف استفاده کرد، تعیین اندازه بهینه تصاویر ورودی برای آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی لازم است. شکل ۱۳ و ۱۴ خروجی حاصل از کانال فیلتر گابور در روش پیشنهادی را روی یک نمونه تصویر از پایگاه فرت و مارکوس وبر نشان می‌دهد. بخش الف از شکل ۱۳ و ۱۴ تصویر اصلی بوده و در بخش‌های ب تا د نیز خروجی فیلتر گابور به ازای تصویر ورودی با اندازه‌های مختلف می‌باشد. با دقت در بخش ج از شکل ۱۳ و ۱۴ می‌توان دریافت که فیلتر گابور در روش پیشنهادی در تصاویر فرت با اندازه 128×192 و در تصاویر مارکوس وبر با اندازه 224×148 کیفیت بهتری را تولید می‌نماید.



شکل ۱۷: آشکارسازی ناحیه صورت در یک نمونه تصویر با زوایای مختلف از پایگاه فرت.

جدول ۶: مقایسه نتایج آشکارسازی صورت با استفاده از ترکیب‌های مختلف اجزای صورت در روش پیشنهادی.

مجموعه اجزای صورت	DN	FAN	FRN	TSWN	FAR	DR
چشم	۴۴	۱۴	۶	۱۲۵۶۵۰	۱۱×۱۰^{-۳}	%۸۸
چشم و بینی	۴۲	۵	۸	۱۰۲۹۵۰	۴×۱۰^{-۳}	%۸۴
چشم، بینی و لب	۵۰	۰	۰	۸۲۶۵۰	۰	%۱۰۰

آموزشی ۳ شبکه عصبی مختلف ایجاد شده و عملکرد آن روی ۵۰ نمونه تصویر از پایگاه فرت مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. جدول ۶ نتایج به دست آمده از این بررسی را نشان می‌دهد. از این جدول می‌توان دریافت که برای آشکارسازی ناحیه صورت وجود ۳ عامل چشم، بینی و لب از کارایی بهتری برخوردار است.

۲-۴ بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی روی ۵۵۰ تصویر از نماهای مختلف

به منظور بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی ۳ مجموعه تصویر جمع‌آوری می‌گردد. مجموعه اول دارای ۳۰۰ تصویر از پایگاه مارکوس وبر است، مجموعه دوم که با نام A می‌شناسیم دارای ۲۱۷ تصویر صورت غیر تکراری از فرت بوده و مجموعه سوم که با B می‌شناسیم شامل تصاویر مجموعه A و ۳۳ صورت تکراری در فواصل مختلف از دوربین و در زوایای بین ۱۵- تا ۳۰ درجه از پایگاه تصاویر فرت می‌باشد. شکل ۱۷ نتیجه اجرای الگوریتم پیشنهادی را روی یک تصویر با زوایای مختلف از پایگاه فرت نشان می‌دهد.

شکل ۱۸ روندنمای آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در بین ۵۵۰ نمونه تصویر جمع‌آوری شده صورت‌هایی با فواصل دور و نزدیک از دوربین وجود دارد. الگوریتم پیشنهادی قادر است در تصاویری که ناحیه صورت از ۴٪ به بالا تصویر را اشغال کرده‌اند ناحیه صورت را با موفقیت آشکارسازی نماید. شکل ۱۹ چند نمونه از این تصاویر را نشان می‌دهد. در تصویر ردیف اول با ۲۴ تصویر از ناحیه صورت (۴×۶) می‌توان کل عکس را پوشاند پس تصویر ناحیه صورت $(۱/۲۴)$ تصویر اصلی را اشغال کرده است. برای آشکارسازی صورت در این موارد تصویر ورودی با زیرپنجره‌های ۳۵×۳۵ تا ۷۰×۷۰ با گام افزایش ۵×۵ پیکسل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

در بین ۵۵۰ تصویر جمع‌آوری شده تصاویری با درجه روشنایی کم در ناحیه صورت نیز وجود دارد. شکل ۲۰ چند نمونه از این نوع تصاویر از پایگاه مارکوس وبر را نشان می‌دهد. در بخش ۳-۱ آورده شده که فیلتر گابور مرز بین نواحی که شدت اختلاف رنگ بین آنها زیاد است را با کیفیت بهتری به دست می‌آورد. از آنجایی که در تصاویر با میزان روشنایی کم در ناحیه صورت شدت اختلاف رنگ بین بخش صورت و چشم‌ها کم



شکل ۱۶: خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی تحت زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ روی چند نمونه تصویر از پایگاه تصاویر مارکوس وبر، (الف) تصویر اصلی، (ب) گابور انرژی و (ج) تبدیل گابور انرژی به تصویر سیاه و سفید.

از نوع صفر و یک از سادگی بیشتر و سرعت آموزش بالاتری برخوردار است، لذا خروجی فیلتر گابور به تصویر سیاه و سفید تبدیل شده و در فرایند آشکارسازی استفاده می‌شود. شبکه عصبی استفاده‌شده در روش پیشنهادی از ۳ لایه تشکیل شده و لایه میانی آن دارای ۱۰۰ نرون است. تابع تبدیل این شبکه تانژانت سیگموئید بوده و بردار ورودی آن بسته به نوع ورودی دارای اندازه‌های متفاوت است. بررسی نتایج حاصل از آزمایشات انجام‌گرفته در این مقاله به کمک پارامترهای زیر صورت می‌گیرد:

(TSWN): تعداد زیرپنجره‌های بررسی‌شده در مجموعه تصاویر مورد آزمایش.

(DN): تعداد مواردی که ناحیه صورت در تصویر صحیح آشکار شده است. مواردی که علاوه بر ناحیه صورت یک ناحیه دیگر نیز به اشتباه به عنوان صورت تشخیص داده شده شامل این تعداد می‌شود.

(DR): نسبت DN به تعداد کل صورت‌ها در مجموعه آزمایشی.

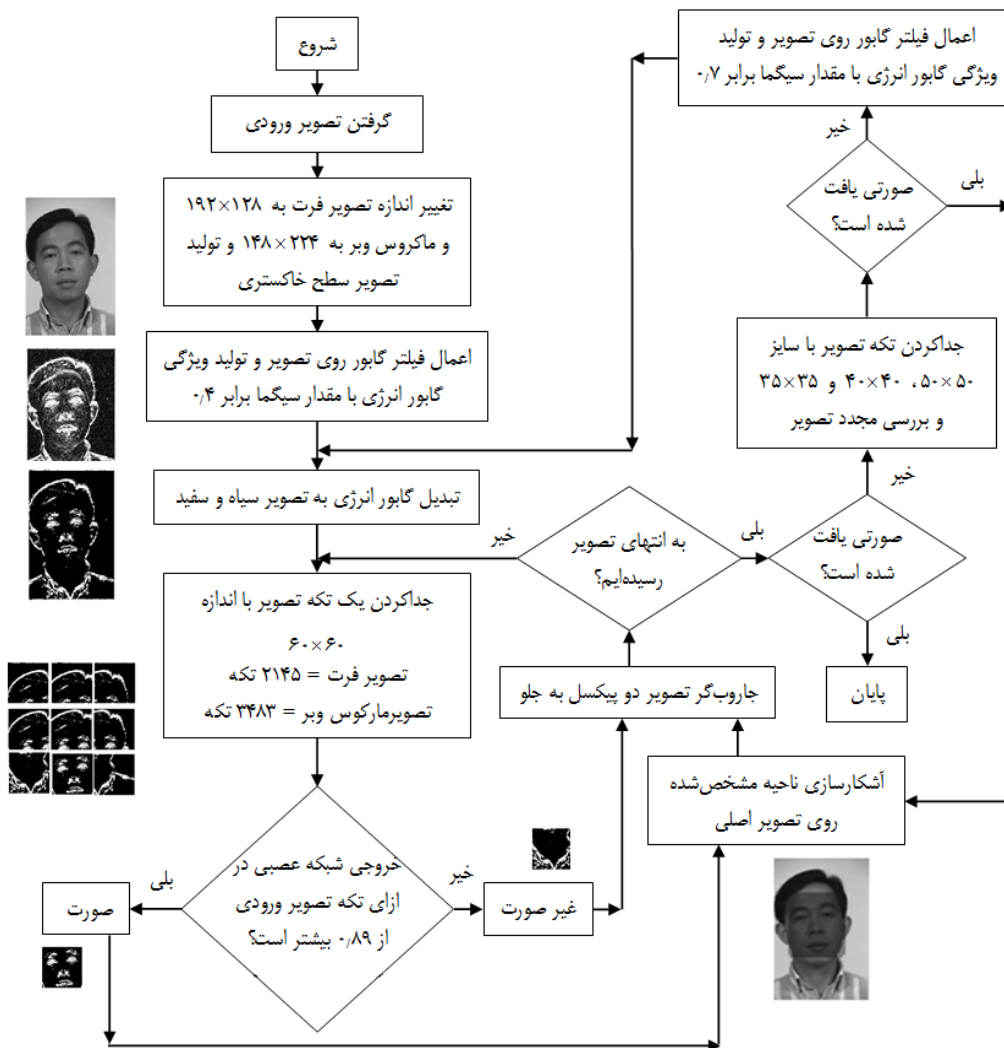
(FAN): تعداد مواردی که یک ناحیه به اشتباه به عنوان ناحیه صورت تشخیص داده شده است.

(FAR): نسبت FAN به TSWN.

(FRR): تعداد مواردی که با وجود ناحیه صورت در تصویر آشکارسازی صورت نگرفته است.

۱-۴ انتخاب بهترین ترکیب اجزای صورت برای آشکارسازی ناحیه صورت

در آشکارسازی صورت می‌توان از ناحیه چشم، ناحیه چشم و بینی یا از ترکیب ناحیه چشم، بینی و لب استفاده کرد. برای تشخیص این که کدام از این ترکیبات بهترین بازدهی را در آشکارسازی ناحیه صورت دارند، ۳ مجموعه داده آموزشی جمع‌آوری می‌شود. مجموعه اول شامل ۱۰ تصویر از ناحیه چشم و ۳۰ تصویر از ناحیه غیر چشم و بینی است. مجموعه دوم شامل ۱۰ تصویر از ناحیه چشم و بینی و ۳۰ تصویر از ناحیه غیر از چشم و بینی در اندازه‌های ۵۰×۷۰ است. مجموعه سوم دارای ۱۰ تصویر از ناحیه چشم، بینی و لب بوده و دارای ۳۰ تصویر غیر از این ناحیه در اندازه‌های ۷۰×۷۰ می‌باشد. بر اساس این ۳ مجموعه داده



شکل ۱۸: روندنمای آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی.

بخش ۳-۱ آورده شد که افزایش میزان پارامتر سیگما موجب افزایش سطح خط مرز آشکارشده بین نواحی با رنگ‌های مختلف می‌شود و با توجه به این مطلب برای آشکارسازی تصاویر با میزان روشنایی کم در ناحیه صورت مقدار پارامتر سیگما را از ۰.۴ به ۰.۷ افزایش می‌دهیم. شکل ۲۰- ج خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی با مقدار پارامتر سیگما برابر ۰.۷ در تصاویری با میزان روشنایی کم در ناحیه صورت را نشان می‌دهد. شکل‌های ۲۱ تا ۲۳ نمودار FAR و FRR حاصل از مجموعه ۳۰۰ تصویر از پایگاه مارکوس، مجموعه ۲۱۷ تصویر غیر تکراری از فرت (مجموعه A) و مجموعه ۲۵۰ تصویر از پایگاه فرت (مجموعه B) را نشان می‌دهد.

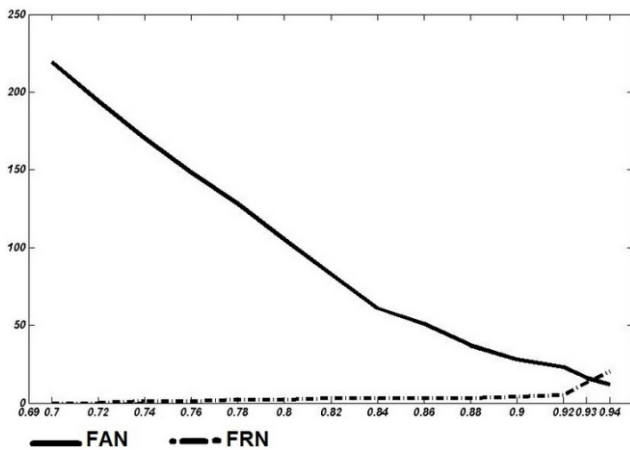
به منظور بررسی دقت آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی، با استفاده از الگوریتم ویولا جونز ناحیه صورت روی ۵۵۰ نمونه تصویر آشکارسازی می‌گردد. نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ویولا جونز روی ۳ مجموعه تصویر در جدول ۷ آورده شده است.

همان طور که در جدول ۷ آمده است دقت آشکارسازی ناحیه صورت در پایگاه مارکوس و بر توسط الگوریتم پیشنهادی بر اساس نمودار FAR به میزان $10^{-4} \times 14$ آشکارسازی صورت را با دقت 99.66% اجرا نماید. در مجموعه A از پایگاه فرت دقت آشکارسازی الگوریتم پیشنهادی بر اساس نمودار FAN-FRR 98.15% بوده و این در حالی است که این الگوریتم قادر است با FAR به میزان $10^{-6} \times 32$ آشکارسازی صورت را

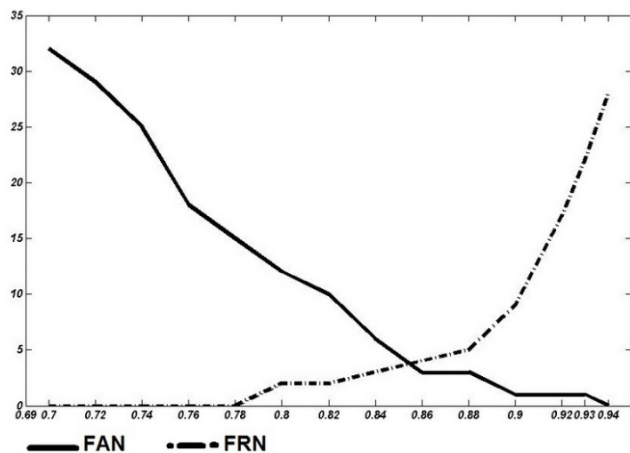


شکل ۱۹: آشکارسازی ناحیه صورت توسط الگوریتم پیشنهادی در تصاویری از پایگاه مارکوس و بر و BIO با فاصله‌های مختلف صورت از دوربین.

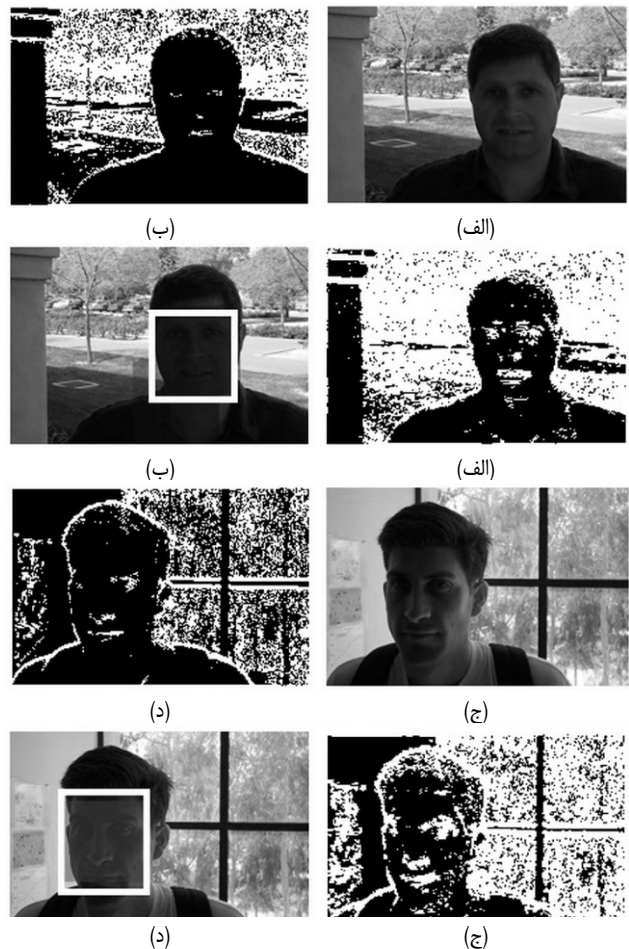
است لذا خروجی فیلتر گابور از کیفیت لازم برای آشکارسازی توسط شبکه عصبی برخوردار نیست. شکل ۲۰- ب چند نمونه خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی در حالت شدت نور کم را نشان می‌دهد. همچنین در



شکل ۲۱: نمودار FAN-FRN حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی ۳۰۰ تصویر از پایگاه مارکوس وبر.



شکل ۲۲: نمودار FAN-FRN حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی ۲۱۷ تصویر از پایگاه فرت (مجموعه A).



شکل ۲۰: تأثیر تغییر پارامتر سیگما از ۰.۴ به ۰.۷ در آشکارسازی صورت از تصاویر با میزان نور کم در ناحیه صورت روی چند نمونه تصویر از پایگاه مارکوس وبر، (الف) تصویر اصلی، (ب) خروجی فیلتر گابور با سیگما برابر ۰.۴، (ج) خروجی فیلتر گابور با پارامتر سیگما برابر ۰.۷ و (د) آشکارسازی ناحیه صورت توسط الگوریتم پیشنهادی.

جدول ۷: مقایسه نتایج حاصل از آشکارسازی ۵۵۰ تصویر از دو پایگاه مارکوس وبر و فرت با استفاده از الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم ویولا جونز.

نام پایگاه تصویر	نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی					نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ویولا جونز						
	آستانه تشخیص	DN	FAN	FRN	DR	TSWN	FAR	DN	FAN	FRN	DR	FAR
مارکوس وبر	۰/۹۳	۲۹۴	۱۶	۱۳	٪۹۵	$300 \times 3483 = 1044900$	15×10^{-4}	۲۹۹	۵۷	۱	٪۹۹/۶۶	-
	۰/۷۶	۲۹۹	۱۴۸	۱	٪۹۹/۶۶		14×10^{-4}					
مجموعه A	۰/۸۶	۲۱۳	۳	۴	٪۹۸/۱۵	$217 \times 2145 = 465465$	6×10^{-4}	۲۱۷	۵	۰	٪۱۰۰	-
	۰/۷۸	۲۱۷	۱۵	۰	٪۱۰۰		32×10^{-4}					
مجموعه B	۰/۸۶	۲۴۶	۳	۴	٪۹۸/۴	$250 \times 2145 = 536250$	5×10^{-4}	۲۴۹	۶	۱	٪۹۹/۶	-
	۰/۷۹	۲۴۹	۱۵	۱	٪۹۹/۶		27×10^{-4}					

۳۰ تصویر غیر صورت آموزش دیده است. شکل ۲۴ و ۲۵ مقایسه‌ای از عملکرد الگوریتم ویولا جونز و الگوریتم پیشنهادی را در چند نمونه از تصاویر پایگاه مارکوس وبر و چند نمونه از تصاویر پایگاه فرت نشان می‌دهد. ستون الف از این دو شکل خروجی الگوریتم ویولا جونز بوده و ستون ب خروجی روش پیشنهادی است. از نمونه‌های ارائه شده مشخص است روش پیشنهادی در آشکارسازی صورت در تصاویر با روشنایی کم در ناحیه صورت موفق‌تر از الگوریتم ویولا جونز بوده و همچنین در شناسایی نکردن نواحی غیر صورت در تصاویر با پس‌زمینه پیچیده نیز از دقت بالایی برخوردار است.

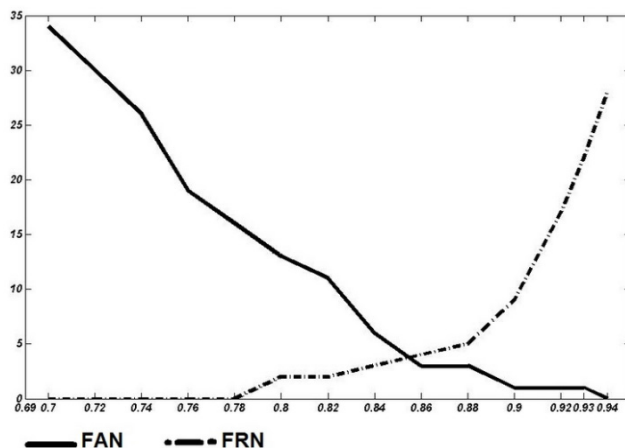
در جدول ۸ مقایسه درصد موفقیت روش پیشنهادی با ۳ روش دیگر آورده شده و در اینجا لازم به ذکر است که در [۳] از ترکیب ویژگی‌های

با دقت ٪۱۰۰ اجرا نماید. در مجموعه B از پایگاه فرت دقت آشکارسازی الگوریتم پیشنهادی بر اساس نمودار FAN-FRR ٪۹۸/۴ بوده و این در حالی است که این الگوریتم قادر است با FAR به میزان 27×10^{-6} آشکارسازی صورت را با دقت ٪۹۹/۶ اجرا نماید. در جدول ۷ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ویولا جونز نیز آورده شده و همان طور که از این نتایج مشخص است میزان FAN در روش ویولا جونز از روش پیشنهادی کمتر می‌باشد. در اینجا لازم به ذکر است الگوریتم ویولا جونز از آشار ۳۲ لایه برای آشکارسازی صورت استفاده می‌کند، در حالی که در روش پیشنهادی تنها از یک شبکه عصبی استفاده می‌شود و همچنین الگوریتم ویولا جونز با استفاده از ۱۰۰۰۰ تصویر صورت و ۱۵۰۰۰ تصویر غیر صورت آموزش دیده [۱۹]، در حالی که الگوریتم پیشنهادی تنها از ۱۰ تصویر صورت و



(ب) (الف)

شکل ۲۴: مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با خروجی الگوریتم ویولا جونز روی چند نمونه تصویر از پایگاه مارکوس وبر، (الف) خروجی الگوریتم ویولا جونز و (ب) خروجی الگوریتم پیشنهادی.



شکل ۲۳: نمودار FAN-FRN حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی ۲۵۰ تصویر از پایگاه فرت (مجموعه B).



(ب) (الف) (ب) (الف)

شکل ۲۵: مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم ویولا جونز بر روی چند نمونه تصویر از پایگاه فرت، (الف) خروجی الگوریتم ویولا جونز و (ب) خروجی الگوریتم پیشنهادی.



(۱)



(۲)

شکل ۲۶: بررسی تأثیر عمل هیستوگرام اکولایزیشن بر خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی روی یک نمونه تصویر از پایگاه فرت.

بهتر است و بنابراین انجام عمل هیستوگرام اکولایزیشن تأثیر مثبتی در خروجی فیلتر گابور در روش پیشنهادی نخواهد داشت. به منظور اثبات این نظریه آشکارسازی ناحیه صورت روی ۱۵۰ تصویر از پایگاه مارکوس

جدول ۸: مقایسه الگوریتم پیشنهادی با دیگر روش‌ها.

	روش پیشنهادی	[۳]	[۱۰]	[۳۰]
پایگاه تصاویر	Feret	Feret	Feret	Feret
درصد موفقیت	۹۸/۴٪	۹۹/۷۷٪	۸۹/۵٪	۹۵٪

هار، فیلتر گابور و الگوریتم آدابوست به دقت ۹۹/۷۷٪ رسیده، در حالی که در الگوریتم پیشنهادی تنها با استفاده از یک فیلتر گابور از ۴۰ فیلتر گابور دقت ۹۸/۴٪ به دست آمده است.

۳-۴ بررسی تأثیر عمل هیستوگرام اکولایزیشن روی آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی

در بخش ۳-۱ بیان شد که فیلتر گابور در نواحی که شدت تغییر رنگ بین آنها بیشتر باشد بهتر مرز میان آن دو ناحیه را مشخص می‌کند. در اینجا این سؤال مطرح می‌شود که آیا انجام عمل هیستوگرام اکولایزیشن می‌تواند خروجی فیلتر گابور را بهبود بخشد؟ در شکل ۲۶ مقایسه خروجی فیلتر گابور با زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ را روی یک نمونه تصویر قبل از انجام عمل هیستوگرام و بعد از انجام آن نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل نیز مشخص است انجام عمل هیستوگرام اکولایزیشن اختلاف شدت رنگ را در پیکسل‌های ناحیه صورت ایجاد کرده و این در حالی است که هرچه ناحیه صورت از رنگ یکنواخت‌تری برخوردار باشد

لازم به ذکر است از آنجایی که در روش پیشنهادی هدف اصلی آشکارسازی صورت با دقت بالا بوده، تکه‌تکه کردن تصاویر با اختلاف بسیار کم بین آنها صورت گرفته به طوری که اختلاف دو تکه تصویر پیاپی ۳/۳ درصد معادل ۱۲۰ پیکسل است. بنابراین در صورت انتخاب روشی که تصویر ورودی را به ۲۲ تکه تصویر تبدیل نماید، روش پیشنهادی قادر خواهد بود هر تصویر را در زمان ۱ ثانیه پردازش کند.

۵- نتیجه‌گیری

این مقاله به آشکارسازی صورت از نماهای مختلف به کمک یک فیلتر از بانک فیلتر گابور و شبکه عصبی پیش‌خور به روش بازگشتی پرداخت و بیان شد که پارامترهای زاویه، فرکانس و انحراف استاندارد (طول پوش گوسین) از جمله پارامترهای مؤثر در تولید فیلتر گابور بوده و نحوه تأثیر این پارامترها بر خروجی فیلتر گابور نشان داد که افزایش پارامتر سیگما می‌تواند خطوط به دست آمده در خروجی فیلتر گابور را ضخیم‌تر و واضح‌تر نماید. این نتیجه باعث شد امکان آشکارسازی صورت در تصاویر با روشنایی بسیار کم به الگوریتم پیشنهادی اضافه گردد.

با بررسی ۷۵ بانک فیلتر مختلف مشخص شد که بهترین مقدار برای پارامترهای سیگما و گاما به ترتیب ۰/۴ و ۱ است. به دست آمدن مقدار پارامتر گاما برابر ۱ نشان داد که مساوی گرفتن مقدار انحراف استاندارد در راستای محورهای x و y مناسب می‌باشد و همچنین مشخص کرد که مقدار به دست آمده برای پارامترهای تولید فیلتر گابور، تصاویر با اندازه‌های مختلف را پوشش نداده و تعیین بهینه مقدار پارامتر سیگما تأثیر زیادی در کیفیت خروجی فیلتر گابور دارد.

بیان شد در تصاویر صورت از نمای روبه‌رو چون اجزای صورت (چشم، حفره بینی و لب) زاویه صفر درجه با افق دارند فیلتر گابور زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ بیشترین آشکارسازی این اجزا را داشته و لذا ویژگی گابور این فیلتر به عنوان بردار ورودی در شبکه عصبی استفاده شد.

از اجرای الگوریتم آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی روی ۵۵۰ نمونه تصویر از دو پایگاه فرت و مارکوس وبر مشخص شد که این الگوریتم علی‌رغم این که در آموزش شبکه عصبی خود تنها از ۱۰ تصویر صورت و ۳۰ تصویر غیر صورت استفاده کرده و همچنین تنها از فیلتر گابور زاویه $\pi/2$ و فرکانس $\pi/2$ به عنوان بردار ورودی به شبکه عصبی استفاده می‌کند،

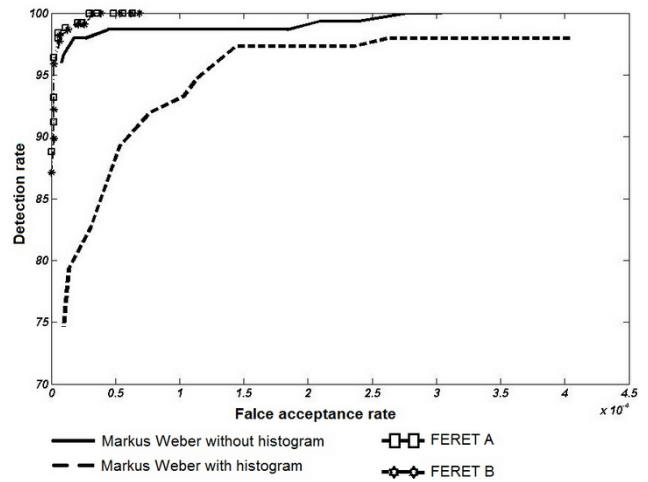
- قادر است در پایگاه تصاویر فرت با دقت ۹۸/۴٪ درصد ناحیه صورت را درست تشخیص دهد و این در حالی است که این الگوریتم قادر می‌باشد با FAR به میزان 27×10^{-6} آشکارسازی صورت را با دقت ۹۹/۶٪ در این پایگاه اجرا نماید.

- در پایگاه تصاویر مارکوس وبر که تصاویر آن از پشت صحنه‌های پیچیده برخوردار است با دقت ۹۵٪ ناحیه صورت را درست تشخیص دهد و این در حالی است که این الگوریتم قادر می‌باشد با FAR به میزان 14×10^{-4} آشکارسازی صورت را با دقت ۹۹/۶۶٪ در این پایگاه اجرا نماید.

- این الگوریتم قادر است در تصاویری که ناحیه صورت از ۴٪ به بالا تصویر را اشغال کرده‌اند ناحیه صورت را با موفقیت آشکارسازی کند.

- همچنین تصاویر با زاویه صورت از ۱۵- تا ۳۰+ درجه را آشکارسازی نماید.

در این مقاله به کمک نمودار ROC نشان داده شد که انجام پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن روی تصویر تأثیر مثبتی در خروجی فیلتر گابور برای آشکارسازی ناحیه صورت نخواهد داشت.



شکل ۲۷: نمودار ROC حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی مجموعه تصاویر A، B و مارکوس وبر در دو حالت بدون پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن و همراه با پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن.

جدول ۹: سرعت پردازش تصویر در دو نمونه تصویر از پایگاه فرت و مارکوس وبر با استفاده از روش پیشنهادی.

تعداد تکه تصویر قابل بررسی در یک ثانیه	زمان بررسی یک تکه تصویر (ثانیه)	زمان صرف‌شده (ثانیه)	تکه تصاویر بررسی‌شده	نام پایگاه تصاویر
۲۲/۲	۰/۰۴۵	۱۰۳	۲۲۴۴	فرت
۲۲/۲	۰/۰۴۵	۱۶۵	۳۶۰۸	مارکوس وبر

وبر در دو روش انجام می‌شود. روش اول استفاده از الگوریتم پیشنهادی بدون استفاده از پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن و روش دوم استفاده از الگوریتم پیشنهادی همراه با استفاده از پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن است. شکل ۲۷ نمودار ROC حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی روی مجموعه A، مجموعه B و مارکوس وبر در دو حالت بدون پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن و همراه با پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن می‌باشد. همان طور که در این نمودار نیز مشخص است انجام پیش‌پردازش هیستوگرام اکولایزیشن تأثیر مثبتی بر روی الگوریتم پیشنهادی ندارد.

۴- بررسی سرعت آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی

به منظور بررسی سرعت آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی آزمایش‌هایی با استفاده از یک مینی لپ‌تاپ مدل PX ۱۰۱۵ ایسوس با پردازنده اتم مدل ۵۷۰ n570 و سرعت پردازش ۱/۶۶ GHz با ۲ گیگابایت RAM روی یک نمونه تصویر از پایگاه مارکوس وبر و یک نمونه تصویر از پایگاه فرت انجام می‌گیرد. روش پیشنهادی نمونه تصویر از پایگاه مارکوس وبر را به ۳۶۰۸ تکه تصویر تبدیل کرده و نمونه تصویر از پایگاه فرت را به ۲۲۴۴ تکه تصویر با اندازه $60 \times 60 = 3600$ پیکسل تبدیل می‌کند. مطابق جدول ۹ زمان صرف‌شده برای آشکارسازی صورت در نمونه تصویر از پایگاه مارکوس وبر ۲ دقیقه و ۴۵ ثانیه بوده و زمان صرف‌شده برای آشکارسازی صورت در نمونه تصویر از پایگاه فرت ۱ دقیقه و ۴۳ ثانیه است. این اعداد نشان می‌دهد که روش پیشنهادی به طور متوسط هر تکه تصویر را در زمان ۰/۰۴۵ ثانیه پردازش می‌کند و در اینجا

- [16] A. Sahu and S. Prakash, "Face detection by fine tuning the Gabor filter parameter," *Int. J. of Computer Science and Information Technologies*, vol. 2, no. 6, pp. 2719-2724, Nov./Dec. 2011.
- [17] *Feret Database*, Available FTP: <http://www.nist.gov/itl/iad/ig/colorferet.cfm>.
- [18] *Markus Weber Database*, Available FTP: http://www.vision.caltech.edu/Image_Datasets/faces/faces.tar.
- [19] P. Viola and M. Jones, "Robust real-time object detection," in *Proc. 2nd Int. Workshop on Statistical and Computational Theories of Vision - Modeling Learning, Computing, and Sampling*, pp. 1-25, Jul. 2001.
- [20] A. Movellan, Tutorial on Gabor filter [Online], Available: http://mplab.ucsd.edu/wordpress/?page_id=75, 2008.
- [21] J. Oh and S. Choi, "Selective generation of Gabor features for fast face recognition on mobile devices," *Pattern Recognition Letters*, vol. 34, no. 13, pp. 1540-1547, Oct. 2013.
- [22] V. Shiv, N. Prasad, and J. Domke, *Gabor Filter Visualization*, Technical Report, Maryland, 2005.
- [23] A. Palmer and J. Jones, "An evaluation of the two-dimensional Gabor filter model of simple receptive fields in cat striate cortex," *J. of Neuro Physiology*, vol. 58, no. 6, pp. 1233-1258, 1987.
- [24] P. Kruijzinga, N. Petkov, and S. E. Grigorescu, "Comparison of texture features based on Gabor filters," in *Proc. of the 10th Int. Conf. on Image Analysis and Processing*, vol. 1, pp. 142-147, Sep. 1999.
- [25] W. Cheng Xiang, V. Venkatesh, and D. HaiLin, "Facial expression recognition using radia lencoding of local Gabor features and classifier synthesis," *Pattern Recognition*, vol. 45, no. 1, pp. 80-91, 2012.
- [26] N. Petkov, "2D Gabor functions and filters for image processing and computer vision," University of Groningen, 2007.
- [27] L. Roger and J. Easton, *Fourier Methods in Imaging*, Rochester: John Wiley and Sons, Ltd, 2010.
- [28] G. Amayeh, A. Tavakkoli, and G. Bebis, "Accurate and efficient computation of Gabor features in real-time applications," Lecture Note in Computer Scinc, 2009.
- [29] N. Boulgouris, V. Konstantinos, N. Plataniotis, and E. Tzanakou, *Biometrics: Theory, Methods, and Applications*, John Wiley & Sons, 2009.
- [30] S. Meshgini, , and H. Seyedarabi, "Face recognition using Gabor-based direct linear discriminant analysis and support vector machine," *Computers and Electrical Engineering*, vol. 39, no. 3, pp. 727-745, Apr. 2013.

محمود محلوجی در سال ۱۳۶۸ مدرک کارشناسی مهندسی برق گرایش مخابرات و در سال ۱۳۷۳ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق گرایش الکترونیک خود را از دانشگاه صنعتی شریف دریافت نمود. از سال ۱۳۷۴ تاکنون نامبرده به عنوان عضو هیأت علمی دانشکده برق و کامپیوتر در دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان به کار مشغول بوده و در سال ۱۳۸۷ موفق به اخذ درجه دکتری در مهندسی برق گرایش مخابرات از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران گردید. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی نظیر پردازش تصویر، بینایی ماشین و شناسایی الگو می‌باشد.

رضا محمدیان در سال ۱۳۸۳ با رتبه ممتاز اول مدرک کارشناسی مهندسی کامپیوتر گرایش نرم‌افزار و در سال ۱۳۹۳ با رتبه ممتاز اول مدرک کارشناسی ارشد مهندسی مکترونیک خود را از دانشگاه آزاد اسلامی واحد کاشان دریافت نمود. از سال ۱۳۸۵ تاکنون نامبرده به عنوان مدیرعامل در بخش خصوص مشغول به کار می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: پردازش تصویر، شبکه‌های عصبی و رباتیک.

با بررسی سرعت آشکارسازی صورت در روش پیشنهادی نیز مشخص شد که الگوریتم پیشنهادی قادر است هر تکه تصویر را در زمان ۰/۰۴۵ ثانیه پردازش نماید. از آنجایی که در روش پیشنهادی برای بالا رفتن دقت آشکارسازی، تصویر ورودی به تکه تصاویر زیادی تبدیل می‌شود آشکارسازی صورت در آن کمی کند است ولی در صورت انتخاب روشی که تصویر ورودی را به ۲۲ تکه تصویر تبدیل نماید، روش پیشنهادی قادر خواهد بود هر تصویر را در زمان ۱ ثانیه پردازش نماید.

مراجع

- [1] L. Ismail, "Face detection technique of Humanoid Robot NAO for application in robotic assistive therapy," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Control System, Computing, and Engineering, ICCSCE'11*, pp. 517-521, Nov. 2011.
- [2] R. Sarkara, S. Bakshib, and P. Sac, "A real-time model for multiple human face tracking from low-resolution surveillance videos," *Procedia Technology*, vol. 6, pp. 1004-1010, 2012.
- [3] L. Xiaohua, K. Lam, S. Lansun, and Z. Jiliu, "Face detection using simplified Gabor features and hierarchical regions in a cascade of classifiers," *Pattern Recognition Letters*, vol. 8, no. 1, pp. 717-728, Jun. 2009.
- [4] K. Hawari, B. Ghazali, J. Ma, R. Xiao, and S. Aryza Lubis, "An innovative face detection based on YCgCr color space," *Physics Procedia*, 2012.
- [5] W. Yang and J. Hongmei, "Face detection based on template matching and 2DPCA algorithm," in *Proc. Congress on Image and Signal Processing, CISP'08*, vol. 4, pp. 575-579, May 2008.
- [6] D. Jin and S. Lin, *Advances in Mechanical and Electronic Engineering*, vol. 2, Springer, 2012.
- [7] R. Dhanabal, "Gabor filter design for fingerprint application using MATLAB and verilog HDL," *Int. J. of Engineering and Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 1386-139, Apr. 2013.
- [8] R. Samad and H. Sawada, "Edge-based facial feature extraction using Gabor wavelet and convolution filters," in *Prof. Conf. on Machine Vision Applications*, pp. 430-433, 2011.
- [9] A. Bianconi and F. Fernandez, "Evaluation of the effects of Gabor filter parameters on texture classification," *Pattern Recognition*, vol. 40, no. 12, pp. 3325-3335, Dec. 2007.
- [10] A. Serrano, I. Martin de Diego, C. Conde, and E. Cabello, "Analysis of variance of Gabor filter banks parameters for optimal face recognition," *Pattern Recognition Letters*, vol. 32, no. 15, pp. 1998-2008, Nov. 2011.
- [11] A. Bhuiyan and C. H. Liu, "On face recognition using Gabor filters," *Int. J. of Computer, Electrical, Automation, Control and Information Engineering*, vol. 1, no. 4, pp. 856-861, 2007.
- [12] D. Verma, V. Dhaka, and S. Agrwal, "An improved average Gabor wavelet filter feature extraction technique for facial expression recognition," *Int. J. of Innovations in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 35-41, Aug. 2013.
- [13] L. Huang, A. Shimizu, and H. Kobatake, "Robust face detection using Gabor filter features," *Pattern Recognition Letters*, vol. 26, no. 11, pp. 1641-1649, Aug. 2005.
- [14] H. Sahoozadeh, D. Sarikhanimoghadam, and H. Dehghani, "Face detection using Gabor wavelets and neural networks," *World Academy of Science, Engineering, and Technology*, vol. 2, no. 9, pp. 456-458, 2008.
- [15] Z. Sun, G. Bebis, and R. Miller, "On - road vehicle detection using evolutionary Gabor filter optimization," *IEEE Trans. on Intelligent Transportation Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 125-137, Jun. 2005.