

تطبیق بخشی از اثرانگشت با استفاده از ویژگی ترکیبی مبتنی بر مشخصه‌های اصلی

ناصر مزینی

منیره عبدوس

دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

چکیده

اثرانگشت یکی از مشخصه‌های بیومتریک است که امروزه به طور گسترده برای احراز هویت انسان به کار می‌رود. تاکنون مطالعات زیادی در حوزه شناسایی اثرانگشت صورت گرفته است. اکثر روش‌ها، اطلاعات کل تصویر را جهت تطبیق به کار می‌برند. تطبیق اثرانگشت با استفاده از اطلاعات بخشی از اثرانگشت، امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های اثرانگشت می‌باشد، به ویژه هنگامی که تصویر فاقد اطلاعات ساختاری نقاط منفرد حلقه و دلتا باشد. در این مقاله، روشی برای تطبیق بخشی از اثرانگشت و مستقل از نقاط منفرد حلقه و دلتا، معرفی کرده‌ایم. روش ارائه شده بر مبنای ویژگی جدیدی به نام "ویژگی ترکیبی" می‌باشد که از اطلاعات محلی مشخصه‌ها نسبت به هم، حاصل می‌گردد. ویژگی ترکیبی برای هر دو مشخصه و با استفاده از تصویر اسکلتی حاصل می‌شود و نسبت به جابجایی و چرخش حساس نمی‌باشد. نتایج تجربی بر روی پایگاه داده استاندارد FVC2004 کارائی و دقت روش ارائه شده را نشان می‌دهند.

کلمات کلیدی: مشخصه اصلی، ویژگی ترکیبی، تصویر جزئی، هم تراز، نقاط دوشاخه، نقاط پایانی.

۱- مقدمه

الگوهای رگه‌ها استخراج می‌گردند مانند نقاط دوشاخه و نقاط پایانی. ویژگی‌های سراسری در برگیرنده ساختار کلی تصویر می‌باشند. نقاط منفرد حلقه و دلتا از ویژگی‌های سراسری محسوب می‌شود. ویژگی‌های محلی نسبت به تبدیلات سراسری، پایدار می‌باشند و در مواردی که اطلاعات مربوط به ساختار کلی اثرانگشت وجود ندارد، مناسب هستند. تطبیق فقط مبتنی بر مشخصه‌های محلی، تأثیر رابطه‌های مکانی ساختار سراسری را که بسیار متمایز کننده می‌باشد، کاهش می‌دهند.

تاکنون روش‌های زیادی پیشنهاد شده است که از مزایای هر دو روش برای تطبیق بهره برده‌اند [۱]. تاکنون روش‌های بسیاری جهت تطبیق مبتنی بر مینوشیاهای اثرانگشت ارائه شده است [۴-۱]. روش‌هایی جهت تطبیق بخشی از تصویر اثرانگشت نیز پیشنهاد شده‌است. برخی از این روش‌ها از مشخصات بافت تصویر جهت تطبیق استفاده می‌کنند [۵] و برخی دیگر از اطلاعات مینوشیاهای اثرانگشت بهره می‌برند [۹-۶].

به دلیل ناقص بودن تصاویر جزئی اثرانگشت، تطبیق بخشی از اثرانگشت نیازمند ویژگی‌های محلی است که مستقل از ساختار سراسری و نقاط منفرد باشد [۶].

تطبیق اثرانگشت با استفاده از بخشی از تصویر، امروزه یکی از مهم‌ترین چالش‌های موجود در تشخیص هویت به کمک اثرانگشت می‌باشد [۱]. تصویر اثرانگشت چه به روش سنتی یعنی جوهر و کاغذ حاصل شود و چه به روش نوین یعنی با استفاده از سنسورهای اثرانگشت، ممکن است تنها بخشی از اثرانگشت را در بر گیرد. در بسیاری از کاربردها نیز از سنسورهای کوچک استفاده می‌شود که این سنسورها تنها می‌توانند قسمتی از تصویر اثرانگشت را اخذ نمایند. بنابراین داشتن روشی که تنها با استفاده از اطلاعات بخشی از تصویر، اثرانگشت را تشخیص دهد، حائز اهمیت می‌باشد.

در تطبیق مبتنی بر مینوشیاهای اثرانگشت، جابجایی، چرخش، تغییرات شکل، نویز و خطای استخراج مینوشیا باید در نظر گرفته شود. اما در تطبیق بخشی از اثرانگشت، علاوه بر موارد ذکر شده، از دست دادن نقاط منفرد حلقه و دلتا و کم بودن تعداد مینوشیاهای نیز باید در نظر گرفته شود.

در تطبیق اثرانگشت دو نوع ویژگی می‌توان به کارگرفت: ویژگی‌های سراسری و ویژگی‌های محلی. ویژگی‌های محلی براساس اطلاعات محلی از

۲-۱- استخراج مینوشیا

در این روش، مینوشیای تصویر با استفاده از تصویر اسکلتی و پس از طی مراحل زیر حاصل می‌گردد:

- نرمال‌سازی و حذف نویز
- تخمین جهت
- استخراج رگه
- باینری کردن تصویر
- تبدیل به تصویر اسکلتی
- بهبود تصویر اسکلتی
- استخراج مینوشیا
- پس پردازش

در این روش از تصویر باینری حاصل از نرم‌افزار کاربردی [۱۱] استفاده شده‌است. این نرم‌افزار یک سیستم تشخیص اثرانگشت می‌باشد، که در این روش از تصویر باینری آن به عنوان ورودی استفاده شده است. استخراج مشخصه‌های اصلی طی مراحل زیر انجام می‌گیرد:

- ۱- ایجاد تصویر اسکلتی از تصویر باینری
- ۲- بهبود تصویر اسکلتی
- ۳- استخراج مشخصه‌های اصلی
- ۴- پس پردازش

۲-۱-۱- تبدیل به تصویر اسکلتی

تصویر اسکلتی اثر انگشت با استفاده از الگوریتم نازک‌سازی انجام می‌گیرد. این الگوریتم با روش تکراری تحت شرایط زیر، نقاط مرزی رگه‌های تصویر اثرانگشت را حذف می‌کند [۱۲]:

- الف) نقاط پایانی حذف نشوند.
- ب) اتصالات قطع نشوند.
- ج) باعث سایش بیش از حد نشود.

تصویر باینری اثرانگشت دارای مقدار صفر برای شیارها و مقدار یک برای رگه‌های تصویر می‌باشد. نازک‌سازی شامل تکرار مراحل زیر می‌باشد:

- ۱) تعیین نقاط مرزی جهت حذف
- ۲) حذف نقاط تعیین شده
- ۳) تعیین نقاط غیرمرزی جهت حذف
- ۴) حذف نقاط تعیین شده

تکرار تا جایی انجام می‌گیرد که دیگر نتوان نقطه‌ای را حذف کرد. مرحله ۱: تعیین نقاط مرزی بر اساس همسایگی هشت‌گانه انجام می‌گیرد. هر نقطه p_1 از تصویر که دارای شرایط زیر باشد برای حذف شدن علامت می‌خورد:

$$\text{الف) } 2 \leq N(p_1) \leq 6$$

$$\text{ب) } S(p_1) = 1$$

$$\text{ج) } p_2 \cdot p_4 \cdot p_6 = 0$$

$$\text{د) } p_4 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$$

که $N(p_1)$ تعداد همسایه‌های غیر صفر p_1 می‌باشد و $S(p_1)$ تعداد تغییر حالت از صفر به یک در دنباله مرتب p_0, \dots, p_3, p_2 می‌باشد (شکل ۲).

مرحله یک در تمام پیکسل‌های مرزی تصویر اجرا می‌شود، اگر تمام شرایط الف) تا د) در پیکسلی از تصویر برقرار باشد، آن پیکسل جهت حذف علامت می‌خورد، اما تا پایان پردازش تمام نقاط مرزی، حذف نمی‌شود.

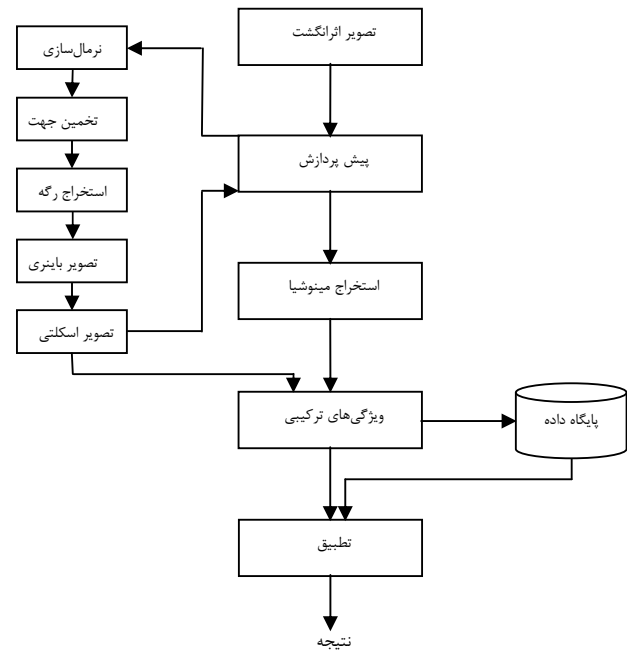
در این مقاله، روشی برای تشخیص قسمتی از اثرانگشت معرفی شده است که مستقل از نقاط منفرد می‌باشد. در این روش، یک ویژگی ترکیبی جدید جهت تطبیق بخشی از اثرانگشت ارائه شده است. ویژگی ترکیبی، عبارت است از تعداد رگه‌ها و راستای آنها بین نقاط مینوشیا که با استفاده از اطلاعات مینوشیای تصویر حاصل می‌شود [۱۰]. این ویژگی‌ها حاوی اطلاعات مهمی از تصویر می‌باشند که می‌تواند کارائی حاصل از مینوشیاهای کل تصویر و نقاط منفرد را جبران نماید.

ویژگی ترکیبی که در این مقاله به معرفی آن خواهیم پرداخت، با استفاده از مینوشیا و تصویر اسکلتی اثرانگشت حاصل می‌شوند.

۲- روش پیشنهادی

روش پیشنهادی، تطبیق با استفاده از بخشی از تصویر اثرانگشت و با استفاده از مینوشیای تصویر اثرانگشت می‌باشد. مینوشیای مورد استفاده در این روش، نقطه پایانی و نقطه دوشاخه است. اطلاعات حاصل از مشخصه‌های اصلی در بخش کوچکی از تصویر، برای تطبیق کافی نمی‌باشند، لذا در این روش از ویژگی‌های ترکیبی جهت تطبیق استفاده شده‌است. با توجه به اینکه در بسیاری موارد تصویر ناقص از اثر انگشت موجود است، نیاز به استخراج دانش بیشتری می‌باشد.

اهمیت ویژگی ترکیبی استخراج شده در پاسخ به این سوال است که آیا بخشی از تصویر اثر انگشت نیز یکتا و منحصر به فرد است. این ویژگی‌ها با استفاده از نقاط مینوشیا و با به کارگیری اطلاعات تصویر اسکلتی به دست می‌آیند. طرح کلی روش پیشنهادی در شکل ۱ آمده‌است.



شکل ۱- طرح کلی روش پیشنهادی

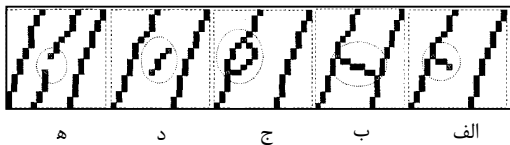
روش پیشنهادی ما دارای سه مرحله اصلی می‌باشد:

- استخراج مینوشیا
- استخراج ویژگی‌های ترکیبی
- تطبیق

۲-۱-۴- پس پردازش

پس پردازش عبارت است از تعیین مینوشیاهای درست و حذف مینوشیای نادرست اثرانگشت. بهبود تصویر اسکلتی تا حدودی از ایجاد مینوشیای نادرست جلوگیری می‌کند، با این وجود ممکن است در تصویر مینوشیای نادرست وجود داشته باشند.

معروف‌ترین ساختار مینوشیای نادرست در یک تصویر اسکلتی در شکل ۳ آورده شده است.



شکل ۳- نمونه هایی از مینوشیاهای نادرست

روشی که برای تعیین مینوشیای نادرست انجام گرفته به این صورت است که ابتدا لیستی از دو مینوشیا که فاصله نسبی آنها از حد آستانه کمتر است، مشخص می‌گردد. این مینوشیها علامت می‌خورند و با توجه به نوع آنها به یکی از سه گروه زیر تعلق می‌یابند:

۱- مینوشیای پایانی - دوشاخه: یکی از مینوشیها نقطه پایانی و دیگری نقطه دوشاخه باشد، در این صورت چنانچه هر دو متعلق به یک رگه باشند حذف می‌گردند (شکل ۳الف).

۲- مینوشیای دوشاخه - دوشاخه: هر دو مشخصه نقاط دوشاخه باشند، در این صورت چنانچه هر دو متعلق به یک رگه باشند، حذف می‌گردند (شکل ۳ب و ج).

۳- مینوشیای پایانی - پایانی: هر دو مشخصه نقاط پایانی باشند. در این صورت، دو حالت پیش می‌آید:

الف) هر دو مشخصه، متعلق به رگه باشند (شکل ۳د). در این مورد، هر دو مشخصه حذف می‌شوند.

ب) دو مشخصه، متعلق به رگه‌های متفاوت باشند (شکل ۳ه). اگر این دو مشخصه با A و B نمایش داده شوند، در صورتی حذف می‌گردند که شرایط زیر برقرار باشد (شکل ۴):

$$|\angle BAA' - \pi| < \alpha \quad (1)$$

$$|\angle B'BA - \pi| < \alpha \quad (2)$$

A' و B' به فاصله ۵ پیکسل از A و B در نظر گرفته شده است. α ، عدد مثبت و کوچک در نظر گرفته شده است. این مینوشیها حذف می‌گردند و در تصویر اسکلتی به یکدیگر متصل می‌گردند (شکل ۴).

بدین ترتیب کلیه مینوشیاهای صحیح تصویر استخراج گشته و به صورت برداری با چهار عنصر $[x_i, y_i, type_i, \theta_i]$ ذخیره می‌شوند. مجموعه M، شامل مشخصه‌های تصویر به صورت زیر می‌باشد:

$$M = \{m_i \mid m_i = (x_i, y_i, type_i, \theta_i)\} \quad (3)$$

p_9	p_2	p_3
p_8	p_1	p_4
p_7	p_6	p_5

شکل ۲- p_1 و پیکسل‌های همسایگی

این تعویق، از تغییر ساختار داده‌ها در حین اجرای الگوریتم جلوگیری می‌کند. سپس مرحله ۳، جهت تعیین پیکسل‌های غیرمرزی تحت شرایط زیر انجام می‌گیرد:

$$2 \leq N(p_1) \leq 6 \quad (\text{الف})$$

$$S(p_1) = 1 \quad (\text{ب})$$

$$p_2 \cdot p_4 \cdot p_8 = 0 \quad (\text{ج})$$

$$p_2 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0 \quad (\text{د})$$

حذف پیکسل‌های تعیین شده، بعد از پردازش تمام پیکسل‌ها انجام می‌شود [۱۲].

تابع `bwmorph` در محیط `Matlab`، عملیات بسیاری را روی تصویر انجام می‌دهد. الگوریتم نازک‌سازی فوق با استفاده از تابع زیر در `Matlab` انجام می‌شود [۱۳].

$$g = \text{bwmorph}(f, 'thin', Inf);$$

بدین ترتیب تصویر اسکلتی اثرانگشت حاصل می‌گردد.

۲-۱-۲- بهبود تصویر اسکلتی

تصویر اسکلتی حاصل ممکن است دارای نویز و یا شکستگی باشد. وجود پیکسل‌های منفرد در پیش زمینه و اتصالات کوتاه بین رگه‌ها، موسوم به پیکسل‌های متصل H و رگه‌های کوتاه در تصویر اسکلتی اثرانگشت، منجر به ایجاد مینوشیای نادرست در تصویر می‌شوند، بنابراین باید حذف گردند. حذف موارد ذکر شده و بهبود تصویر اسکلتی به دست آمده، با به‌کارگیری متوالی عملگرهای مورفولوژی زیر انجام شده است [۱۳].

$$g = \text{bwmorph}(f, 'clean');$$

حذف پیکسل‌های منفرد در پیش زمینه

$$g = \text{bwmorph}(f, 'hbreak');$$

حذف پیکسل‌های متصل H

$$g = \text{bwmorph}(f, 'spur');$$

حذف رگه‌های کوتاه

۲-۱-۳- استخراج مینوشیا

استخراج مینوشیا از تصویر اسکلتی، با استفاده از تحلیل پیکسل‌های همسایگی هر نقطه انجام می‌گیرد. اگر N_8 همسایگی ۸ پیکسل‌ها را نشان دهد، برای نقاط پایانی و نقاط دوشاخه داریم:

$$N_8 = 1 \quad \text{نقاط پایانی:}$$

$$N_8 > 2 \quad \text{نقاط دوشاخه:}$$

به این ترتیب مینوشیا از تصویر اسکلتی، استخراج می‌گردند. جهت مینوشیا با استفاده از اطلاعات پیکسل‌های مجاور تعیین می‌شود. هر مینوشیا m_i به صورت بردار چهارتایی $[x_i, y_i, type_i, \theta_i]$ در نظر گرفته می‌شود که X و Y، مختصات مکانی مشخصه، type نوع مشخصه و θ_i جهت مینوشیا را در تصویر مشخص می‌سازد.

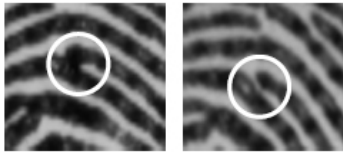
اگر تعداد رگه‌های بین دو مینوشیا را با rc و زاویه هریک از رگه‌های میانی با خط ab را با θ نشان دهیم، ویژگی ترکیبی با بردار cf نمایش داده می‌شود و عبارت است از:

$$cf = [rc, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{rc}] \quad (4)$$

برای هر تصویر اثر انگشت، بردارهایی شامل مختصات مکانی دو مشخصه (برای هم‌ترازی دو تصویر به کار می‌رود)، به همراه عناصر بردار cf ذخیره می‌گردند. این بردار با rf نشان داده می‌شود:

$$rf_{ij} = [x_i, y_i, x_j, y_j, rc, \theta_1, \theta_2, \dots, \theta_{rc}] \quad (5)$$

تشخیص نوع مینوشیای اثر انگشت در مواردی که تغییر فشار وجود دارد، مشکل می‌باشد به عنوان مثال در شکل (۶) نمونه‌ای از نوع یک مشخصه را در دو تصویر ملاحظه می‌کنید [۶].



شکل ۶- نمونه‌ای از یک مشخصه در دو تصویر [۶]

بنابراین استفاده از ویژگی نوع مینوشیا در تطبیق، رفتار ناپایداری را موجب می‌شود. بردار ویژگی پیشنهادی، فاقد نوع مینوشیا می‌باشد. همانطور که ذکر شد، ویژگی ترکیبی، برای هر دو مینوشیا محاسبه و ذخیره می‌گردد. برای تصویری با n مینوشیا، تعداد ویژگی‌های ترکیبی برابر است با:

$$\# \text{ of secondary features} = P(n, 2) = n(n-1) \quad (6)$$

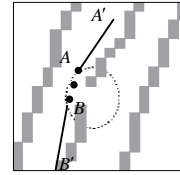
ویژگی‌هایی که rc بین آنها صفر است، فاقد اطلاعات با ارزش می‌باشند. حذف این ویژگی‌ها، باعث کاهش حجم داده در پایگاه مرجع و تطبیق ساده‌تر می‌شود. با در نظر گرفتن یک حد آستانه می‌نیم جهت فاصله بین دو مشخصه، این ویژگی‌ها حذف شده و حجم محاسبات کاهش می‌یابد. از طرف دیگر، روش پیشنهادی، بر مبنای تطبیق بخشی از اثر انگشت است، بنابراین در نظر گرفتن حد آستانه ماکسیمم، برای حذف مینوشیاهایی که فاصله زیادی دارند، نه تنها باعث کاهش محاسبات می‌شود، بلکه مفهوم محلی بودن ویژگی ترکیبی جدید را نیز عملی می‌سازد. ویژگی ترکیبی برای مینوشیاهای m_i و m_j در صورتی که شرط زیر برقرار باشد، محاسبه می‌گردد:

$$T_{\min} \leq d_{ij} \leq T_{\max} \quad (7)$$

$$d_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (8)$$

d_{ij} ، فاصله اقلیدسی بین دو مشخصه، T_{\min} ، حد آستانه می‌نیم و T_{\max} ، حد آستانه ماکسیمم برای فاصله دو مشخصه می‌باشد.

با استفاده از شرط (۷) تعداد ویژگی‌های ترکیبی کاهش می‌یابد. در شکل ۷ نمودار تعداد ویژگی‌های ترکیبی، $f(n)$ بر حسب تعداد مینوشیای تصویر، n



شکل ۴- مینوشیای پایانی - پایانی نادرست

۲-۲- استخراج ویژگی ترکیبی

چنانچه در شکل ۱ نشان داده شده است، تطبیق بخشی از اثر انگشت با استفاده از ویژگی‌های ترکیبی جدیدی انجام می‌گیرد که از مینوشیای تصویر و با تحلیل پیکسل‌های بین دو مشخصه از تصویر اسکلتی استخراج می‌گردند. هدف از معرفی ویژگی ترکیبی جدید، استفاده هر چه بیشتر از اطلاعات موجود در بخشی از تصویر اثر انگشت می‌باشد. مکان، جهت و نوع مینوشیا، تنها اطلاعاتی نیستند که برای تشخیص به کار برده می‌شود. چنانچه تصویر ناقص و مربوط به بخشی از اثر انگشت باشد، این اطلاعات ناکافی هستند و نمی‌توانند به تنهایی برای تشخیص اثر انگشت به کار روند.

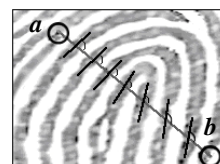
روش پیشنهادی بر اساس این فرضیه است که بخشی از تصویر اثر انگشت با حداقل نویز موجود می‌باشد. این فرض، به درستی می‌تواند به کار گرفته شود چون:

الف) در تصاویری که از سنسورهای اثر انگشت به دست می‌آیند، معمولاً ساختار رگه‌ها واضح است.

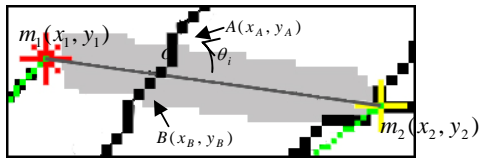
ب) تصاویری که با استفاده از جوهر و کاغذ حاصل می‌گردند، ممکن است واضح نبوده و دارای نویز باشند. در این صورت حداقل یک ناحیه در تصویر وجود دارد که در آن ساختار رگه‌ها واضح است. این ناحیه از تصویر را در نظر گرفته و تشخیص فقط با استفاده از اطلاعات این ناحیه می‌تواند انجام گیرد.

تاکنون چندین ویژگی جدید بر اساس مینوشیاهای اصلی تعریف شده‌است. این ویژگی‌ها از اطلاعاتی چون فاصله نسبی مینوشیاها، زاویه بین جهت مینوشیاها و تعداد رگه‌های بین دو مینوشیا و نوع آن بهره برده‌اند. برخی از روشها، اطلاعات جهت و فاصله مینوشیا از دو مینوشیای مجاور را به کار گرفته‌اند [۶و۷] اگر a و b دو نقطه از تصویر باشند، تعداد رگه بین آنها، شمار رگه‌هایی است که در اشتراک با خط ab قرار دارند (شکل ۴). استفاده از تعداد رگه‌ها، قابلیت اطمینان مینوشیاها را افزایش می‌دهد و باعث افزایش کارایی سیستم‌های اثر انگشت می‌شود [۱]. تعداد رگه‌های بین دو مینوشیا نسبت به جابجایی و چرخش حساس نمی‌باشد. چنانچه تصویر دارای کیفیت مناسبی باشد، این ویژگی به خوبی می‌تواند به کار گرفته شود.

ویژگی ترکیبی که در این روش مورد استفاده قرار می‌گیرد، بر اساس تعداد رگه‌های بین دو مینوشیا می‌باشد، علاوه بر آن از مقدار زاویه بین رگه‌های میانی با خط وصل دو مینوشیا نیز استفاده شده‌است. این ویژگی ترکیبی در شکل ۵ نشان داده شده‌است [۱۰].



شکل ۵- ویژگی ترکیبی



شکل ۸- چگونگی ایجاد ویژگی ترکیبی

تصاویر مختلف از یک اثر انگشت، ممکن است منجر به زوایای مختلف برای دو مشخصه متناظر گردند. برای رفع این مشکل، چهار ناحیه مثلثاتی برای θ_i در نظر گرفته شده است. این نواحی عبارتند از:

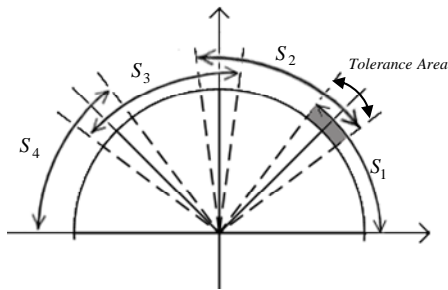
$$R_1: 0 \leq \theta_i < \frac{\pi}{4} \quad (10)$$

$$R_2: \frac{\pi}{4} \leq \theta_i < \frac{\pi}{2} \quad (11)$$

$$R_3: \frac{\pi}{2} \leq \theta_i < \frac{3\pi}{4} \quad (12)$$

$$R_4: \frac{3\pi}{4} \leq \theta_i \leq \pi \quad (13)$$

برای افزایش پایداری و تحمل پذیری خطا، بازه‌های برای تغییرات زاویه در نظر گرفته شده که در شکل ۹ نشان داده شده است.



شکل ۹- ناحیه‌های زاویه‌ای

اگر AB تقریباً موازی با خط m_1m_2 باشد، در محاسبه شمارش رگه‌ها قرار نمی‌گیرد و حذف می‌شود. رگه‌هایی موازی محسوب می‌شوند که یکی از شرایط زیر داشته باشند:

$$0 \leq \theta_i \leq \alpha \quad (14)$$

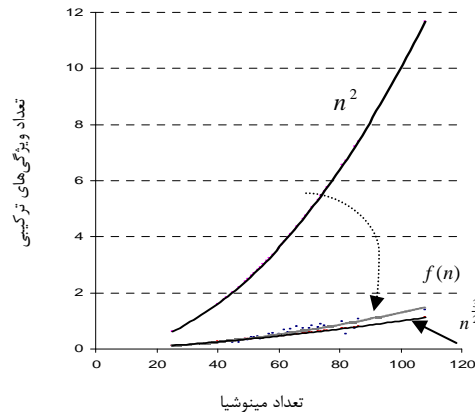
$$\pi - \alpha \leq \theta_i \leq \pi \quad (15)$$

که α مقداری ثابت و کوچک در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲- تطبیق

تطبیق اثر انگشت شامل دو مرحله می‌باشد:

آمده است. این نمودار برای تصاویر DB1 از پایگاه داده استاندارد FVC 2004 حاصل شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود، $f(n)$ حداقل از مرتبه $n^{\frac{3}{2}}$ و حداکثر از مرتبه n^2 خواهد بود.



شکل ۷- نمودار تعداد ویژگی‌های ترکیبی به تعداد مینوشیا

۲-۲-۱- تخمین تعداد رگه

دو روش کلی برای شمارش تعداد رگه‌های بین دو نقطه a و b وجود دارد:

- ۱- تعیین تعداد انتقال از صفر به یک در تصویر باینری اثر انگشت
- ۲- تعیین تعداد ماکسیمم‌های محلی بین a و b در تصویر خاکستری

در موارد زیر، تخمین تعداد رگه‌ها، ممکن است به درستی انجام نگیرد:
الف - در تصاویر دارای نویز
ب - در نزدیکی نقاط منفرد

ج - هنگامی که رگه تقریباً موازی با خط ab قرار دارد (شکل ۵)

روشی که برای تخمین تعداد رگه‌ها به کار گرفته شده، بر اساس تصویر اسکلتی اثر انگشت می‌باشد. در این روش ابتدا دو مشخصه کاندید m_i و m_j که دارای شرط (۷) باشند، در نظر گرفته می‌شود. ناحیه بین این دو مشخصه، انتخاب و مورد پیمایش قرار می‌گیرد. این ناحیه دارای حداقل طول و عرض ۵ پیکسل می‌باشد. جهت تعیین رگه‌های میانی و زاویه آنها از یک ماسک ۵*۵ استفاده شده است.

۲-۲-۲- تعیین θ_i

خط m_1m_2 در شکل ۸ را در نظر بگیرید. اگر O نقطه تلاقی رگه AB و خط m_1m_2 باشد، θ_i با رابطه ۹ محاسبه می‌گردد.

$$\theta_i = \left| \tan^{-1} \left(\frac{y_B - y_A}{x_B - x_A} \right) - \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \right|, 0 \leq \theta_i \leq \pi \quad (9)$$

θ_i ، زاویه خط AB و بردار m_1m_2 در جهت خلاف حرکت عقربه‌های ساعت (پادساعتگرد) می‌باشد. در شکل ۸ چگونگی ایجاد ویژگی ترکیبی ملاحظه می‌شود. در این شکل، ناحیه بین دو مشخصه m_1 و m_2 که مورد پیمایش قرار می‌گیرد با رنگ خاکستری مشخص شده است.

- یافتن نقطه مرجع و هم‌تراز کردن تصویر
- محاسبه امتیاز شباهت

۲-۳-۱- هم‌ترازی تصویر

نقطه مرجع در این روش، ویژگی ترکیبی با بیشترین rc می‌باشد. طبق قوانین احتمال، نقاطی که rc بالایی دارند، احتمال وقوع آنها پائین است. اگر چهار ناحیه برای زاویه رگه‌ها در نظر گرفته شده باشد، تعداد حالت‌های ممکن ویژگی ترکیبی با تعداد rc رگه، برابر با 4^{rc} خواهد بود. بنابراین، مینوشیاهایی که rc بالاتری دارند، حاوی اطلاعات بیشتری از تصویر می‌باشند و احتمال وقوع پائین‌تری دارند.

الگوریتم استخراج ویژگی‌های ترکیبی بر روی تصویر ورودی اجرا می‌شود، ویژگی ترکیبی با بیشترین rc به عنوان نقطه مرجع انتخاب می‌گردد. اگر نقطه مرجع در تصویر ورودی را با RP^I نشان دهیم، داریم:

$$RP^I(x_1^I, y_1^I, x_2^I, y_2^I, rc_{max}, \overline{\theta}_1, \dots, \overline{\theta}_{rc}) = \max_{rc}(rf) \quad (16)$$

یافتن نقطه مرجع متناظر در تصویر الگوی ذخیره شده در پایگاه داده به این صورت انجام می‌گیرد که ابتدا ویژگی‌های ترکیبی که rc برابر با rc_{max} دارند به عنوان کاندید در نظر گرفته می‌شوند. اگر مجموعه ویژگی‌های ترکیبی کاندید در تصویر الگو را با A نشان دهیم داریم:

$$A = \{rf_i \mid rf_i(5) = rc_{max}\} \quad (17)$$

که $rf_i(5)$ مؤلفه پنجم ویژگی‌های ترکیبی یا rc می‌باشد. فاصله مؤلفه‌های زاویه نسبت به نقطه مرجع برای هر یک از ویژگی‌های کاندید محاسبه می‌گردد (رابطه (۱۸)).

$$d(rf_j) = \sqrt{\sum_{i=1}^{rc} |\theta_{ij} - \overline{\theta}_i|} \quad (18)$$

ویژگی از A که کمترین فاصله را داشته باشد، به عنوان نقطه مرجع در تصویر الگو در نظر گرفته می‌شود.

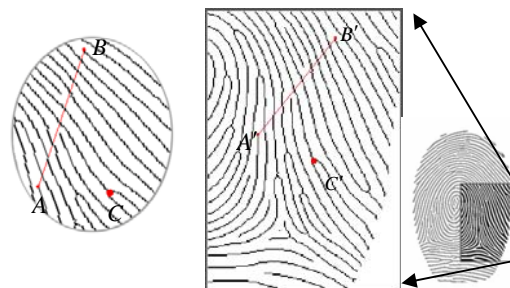
$$RP^I = (x_1^I, y_1^I, x_2^I, y_2^I, rc^I, \theta_1^I, \dots, \theta_{rc}^I)$$

نقطه مرجع در تصویر ورودی

$$RP^T = (x_1^T, y_1^T, x_2^T, y_2^T, rc^T, \theta_1^T, \dots, \theta_{rc}^T)$$

نقطه مرجع در تصویر الگو

هم‌ترازی بین تصویر ورودی و تصویر الگو با استفاده از مختصات مکانی RP^I و RP^T انجام می‌گیرد. به عنوان مثال تصویر I و T را در شکل ۱۰ در نظر بگیرید.



ب

الف

شکل ۱۰- نقطه مرجع الف) در تصویر الگو، T، ب) در تصویر ورودی، I

اگر نقطه مرجع در تصویر I ویژگی متناظر با AB و در تصویر T متناظر با $A'B'$ باشد، ابتدا لازم است تبدیل مختصات این دو خط نسبت به هم مشخص گردد. این تبدیل شامل انتقال، دوران و انتقال می‌باشد:

- انتقال به نقطه A به عنوان مبدأ (T_1)
- دوران به اندازه φ (R_φ)
- انتقال به نقطه A' به عنوان مبدأ (T_2)

C' تبدیل یافته نقطه C به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$T_1: \begin{pmatrix} x_C \\ y_C \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} x_A \\ y_A \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} \quad (19)$$

$$R_\varphi: \begin{pmatrix} \cos \varphi & \sin \varphi \\ -\sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} p \\ q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t \\ u \end{pmatrix} \quad (20)$$

$$T_2: \begin{pmatrix} t \\ u \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} x_{A'} \\ y_{A'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_{C'} \\ y_{C'} \end{pmatrix} \quad (21)$$

با توجه به اینکه AB تبدیل به $A'B'$ شده‌است، $\sin \varphi$ و $\cos \varphi$ با حل یک دستگاه معادلات خطی با چهار معادله و چهار مجهول قابل محاسبه می‌باشد. این مقادیر عبارتند از:

$$\cos \varphi = \frac{(y_{A'} - y_{B'})(y_A - y_B) + (x_{A'} - x_{B'})(x_A - x_B)}{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (22)$$

$$\sin \varphi = \frac{(x_{A'} - x_{B'})(y_A - y_B) - (x_A - x_B)(y_{A'} - y_{B'})}{(x_A - x_B)^2 + (y_A - y_B)^2} \quad (23)$$

با توجه به T_2 و R_φ ، T_1 داریم:

$$\begin{pmatrix} x_{C'} \\ y_{C'} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (x_C - x_A) \cos \varphi + (y_C - y_A) \sin \varphi + x_{A'} \\ -(x_C - x_A) \sin \varphi + (y_C - y_A) \cos \varphi + y_{A'} \end{pmatrix} \quad (24)$$

با تبدیل فوق، مختصات مینوشیاهای تصویر ورودی تبدیل به مختصات تصویر الگو می‌شوند.

۲-۳-۲- محاسبه امتیاز شباهت

تصمیم نهایی بر اساس دو امتیاز اتخاذ می‌شود:

الف) تعداد ویژگی‌های متناظر فاقد اطلاعات مکانی

در این مرحله از تطبیق، تعداد ویژگی‌های ترکیبی متناظر تصویر ورودی (I) با هر یک از تصاویر الگو (T) محاسبه می‌شود. ویژگی‌های ترکیبی که در این بخش مورد استفاده قرار می‌گیرند، فاقد اطلاعات مکانی x و y هستند. در این مرحله، بردار ویژگی ترکیبی به صورت $(rc, \theta_1, \dots, \theta_{rc})$ در نظر گرفته می‌شود. اگر M_i تعداد ویژگی‌های ترکیبی متناظر تصویر ورودی با i امین تصویر الگو باشد و T تعداد کل ویژگی‌های ترکیبی تصویر ورودی را نشان دهد، $SC_1(T_i, I)$ امتیاز شباهت در این مرحله به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$SC_1(T_i, I) = \frac{M_i}{T} \quad (25)$$

$$R_1: \frac{\pi}{18} \leq \theta_i \leq \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{36} \quad (29)$$

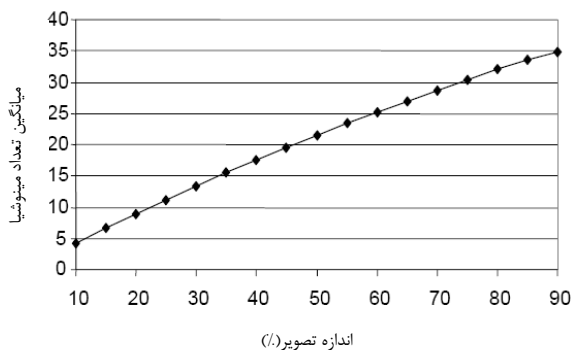
$$R_2: \frac{\pi}{4} - \frac{\pi}{36} \leq \theta_i \leq \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{36} \quad (30)$$

$$R_3: \frac{\pi}{2} - \frac{\pi}{36} \leq \theta_i \leq \frac{3\pi}{4} + \frac{\pi}{36} \quad (31)$$

$$R_4: \frac{3\pi}{4} - \frac{\pi}{36} \leq \theta_i \leq \pi - \frac{\pi}{18} \quad (32)$$

زیر مجموعه A از DB1 از پایگاه داده FVC 2004، شامل ۱۰۰ تصویر مختلف به عنوان مجموعه تصاویر الگو به کار گرفته شده است [15]. ویژگی‌های ترکیبی هر یک از تصاویر این مجموعه در پایگاه داده الگو ذخیره شده است. زیر مجموعه B از این پایگاه داده به عنوان تصاویر غیر الگو برای محاسبه FAR^۱، به کار گرفته شده است.

برای هر تصویر اثرانگشت، تصاویر جزئی در اندازه‌های مختلف، ۱۰٪، ۲۰٪، ... و ۹۰٪ به طور تصادفی ایجاد شده‌اند. جهت ایجاد تصاویر جزئی یک نقطه از تصویر به طور تصادفی انتخاب و با روش رشد ناحیه‌ای^۲ تصویر حول آن نقطه تا اندازه مورد نظر گسترش یافته و ذخیره شده است. میانگین تعداد مینوشیای تصویر با سطح تصویر رابطه تقریباً مستقیمی دارد (شکل ۱۲) [6]. ملاک ایجاد تصاویر جزئی، تعداد مینوشیا بوده است.



شکل ۱۲- نمودار تعداد مینوشیای تصویر به درصد تصویر

نتایج حاصل از آزمایش روش ارائه شده بر روی تصاویر جزئی در جدول ۱ آورده شده است. این نتایج مربوط به شناسایی^۳ اثرانگشت در پایگاه داده شامل ۱۰۰ عضو، می‌باشد. پایگاه داده آزمون شامل ۱۸۰۰ تصویر، یعنی ۲۰۰ نمونه در هر اندازه می‌باشد.

در ارزیابی روش، دو نوع خطای FAR و TAR^۴ محاسبه شده است. نتایج ارائه شده در این مقاله بر اساس EER^۵، نقطه‌ای که مقدار هر دو نوع خطا با هم برابر است، گزارش شده است.

۴- تحلیل نتایج

در این مقاله، روشی برای تطبیق بخشی از اثرانگشت با استفاده از ویژگی ترکیبی جدید ارائه شد. در این بخش، به بررسی روش پیشنهادی بر اساس معیارهای زیر پرداخته می‌شود:

(ب) فاصله ویژگی‌های ترکیبی متناظر

در این مرحله از تطبیق، صرفاً اطلاعات مکانی ویژگی‌های ترکیبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. $SC_2(T_i, I)$ ، برابر با مجموع اختلاف فاصله مکانی ویژگی‌های متناظر دو تصویر می‌باشد و با رابطه ۲۶ محاسبه می‌گردد.

$$SC_2 = \sum_i \sqrt{(x_{1i} - x'_{1i})^2 + (y_{1i} - y'_{1i})^2 + (x_{2i} - x'_{2i})^2 + (y_{2i} - y'_{2i})^2}$$

$$i = 1, 2, \dots, m \quad (26)$$

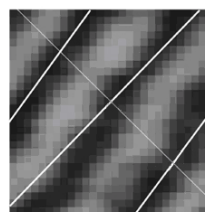
در تطبیق تصویر ورودی با هر یک از تصاویر الگو، ابتدا مجموعه کاندید از تصاویر الگو، MT ، با استفاده از $SC_1(T_i, I)$ ، ایجاد می‌گردد. سپس از بین تصاویر عضو MT ، تصویری که دارای SC_2 کمتری نسبت به تعداد ویژگی‌های متناظر باشد، به عنوان خروجی نهایی در نظر گرفته می‌شود.

$$MT = \{T_i \mid SC_1(T_i, I) > Threshold\} \quad (27)$$

$$T_{result} = \min_i \frac{SC_2(T_i, I)}{M_i} \quad (28)$$

۳- نتایج

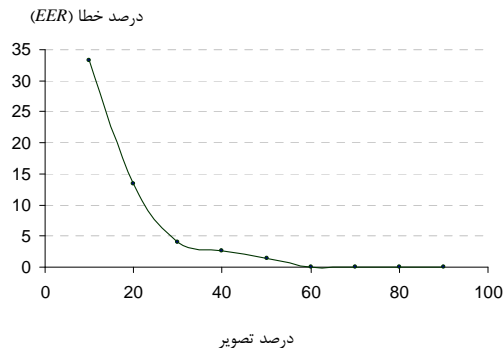
سیستم تشخیص اثرانگشت ارائه شده با استفاده از نرم‌افزار Matlab 7 پیاده‌سازی شده است. حد آستانه می‌نیم و ماکسیم فاصله برای تعیین ویژگی‌های ترکیبی، T_{min} و T_{max} در رابطه ۷ به ترتیب برابر با ۳۰ و ۹۰ پیکسل انتخاب شده است. این مقادیر به طور تجربی انتخاب شده‌اند و تأثیر چندانی در نتیجه خروجی نخواهند داشت و فقط حجم پایگاه داده را تغییر می‌دهند. اگر $T_{min} = 0$ انتخاب شود، در این صورت ویژگی‌های ترکیبی زیادی ایجاد می‌گردند که rc آنها برابر با صفر است. اگر بخواهیم حداقل یک رگه بین دو مشخصه قرار داشته باشد T_{min} ، حداقل مقداری معادل با دو برابر فاصله دو رگه در تصویر اسکلتی اثرانگشت باید داشته باشد. برای تعیین دقیق فاصله بین رگه‌ها می‌توان از [14] استفاده کرد (شکل ۱۱).



شکل ۱۱- فاصله بین رگه‌ها

از طرف دیگر، انتخاب T_{max} در تصاویر ورودی که شامل بخشی از تصویر اثرانگشت است، باید طوری صورت گیرد که از حداکثر اطلاعات تصویر بتوان بهره گرفت. اگر T_{max} عدد بزرگی اختیار شود باعث افزایش بیش از حد و غیر ضروری پایگاه داده الگو خواهد شد.

برای تعیین زوایای رگه‌های میانی، θ ، حد خطا به مقدار $\frac{\pi}{36}$ از هر طرف بازه در نظر گرفته شده است.



شکل ۱۳- نمودار خطای روش پیشنهادی

۵- نتیجه گیری

تاکنون روش‌های زیادی برای تطبیق اثرانگشت ارائه شده‌است، اما تطبیق بخشی از اثرانگشت بدون استفاده از اطلاعات نقاط منفرد، هنوز مسأله مهمی به شمار می‌رود و روش‌های محدودی معرفی شده‌است.

ویژگی ترکیبی که در این مقاله ارائه شد، دارای اطلاعات مهمی در مورد ساختار محلی مینوشیاهای می‌باشد. این ویژگی‌ها در نواحی مختلف از تصویر به صورت‌های مختلف ظاهر می‌شوند. نواحی اطراف نقاط منفرد حلقه و دلتا دارای تغییرات زاویه بیشتر و مشخصه‌های اطراف، در نواحی مرزی تصویر، تغییرات زاویه‌ای کمتری دارند. ویژگی ترکیبی می‌تواند در تعیین ناحیه جستجو مورد استفاده قرار گیرد و موجب کاهش هم‌ترازی دو تصویر گردد.

مفاهیم فازی می‌تواند در تعیین ویژگی‌های ترکیبی ارائه شده، مورد استفاده قرار گیرد. ویژگی‌هایی که IC بالاتری دارند، ویژگی‌های یکتاتری محسوب می‌شوند و بنابراین اهمیت بالایی دارند.

استفاده از رابطه‌ای جهت محاسبه امتیاز شباهت که تأثیر این ویژگی‌ها را بیشتر کند، یعنی رابطه وزن‌داری بر حسب IC باشد، می‌تواند به کاهش خطا منجر شود که در آینده می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد.

مراجع

[1] D. Maltoni, D. Maio, A.K. Jain, and S. Prabhakar, *Handbook of Fingerprint Recognition*, New York, Springer, 2003.

[2] X. Jiang, and W. Yau, "Fingerprint Minutiae Matching Based on the Local and Global Structures," *Proc. of International Conference on Pattern Recognition*, Vol. 2, pp. 1038-1041, 2000.

[3] N. Yager, and A. Amin, "Fingerprint verification based on minutiae features: a review," *Pattern Analysis Application*, Vol. 7, No. 1, pp. 94-113, 2004.

[4] F. Benhammedi, M.N. Amirouche, H. Hentous, K. Bey Baghdad, and M. Aissani, "Fingerprint Matching from minutiae texture maps," *Pattern Recognition*, Vol. 40, No. 1, pp. 189-197, 2007.

[۵] ع. محمودی، روشی مؤثر جهت تطبیق اثرانگشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، ۱۳۸۴.

۱- حجم الگوهای ذخیره شده در پایگاه داده

۲- سرعت اجرا

۳- دقت

جدول ۱- کارایی روش ارائه شده

درصد خطای تصویر	میانگین تعداد مینوشیا	میانگین تعداد ویژگی‌های ترکیبی	درصد خطای یکسان (EER)
۱۰٪	۶/۱۲	۱۱/۹۲	۳۶/۶۶٪
۲۰٪	۱۲/۲۸	۳۱/۵۶	۱۰/۶۶٪
۳۰٪	۱۸/۲	۶۲/۱۳	۴/۶۶٪
۴۰٪	۲۴/۵	۱۰۸/۵۲	۱/۳۳٪
۵۰٪	۳۰/۶۴	۱۶۷/۴۰	۱/۳۳٪
۶۰٪	۳۶/۷۶	۲۳۶/۷۵	۰/۶۶٪
۷۰٪	۴۲/۸	۳۱۰/۷۱	۰٪
۸۰٪	۴۹	۴۰۳/۳۱	۰٪
۹۰٪	۵۵/۱۵	۵۰۲/۸۳	۰٪

حجم الگوهای ذخیره شده: با توجه به اینکه هر ترکیب دوتایی از

مینوشیا را می‌توان به عنوان ویژگی ترکیبی در نظر گرفت، لذا به نظر می‌رسد حجم اطلاعات ذخیره شده در پایگاه داده بالا باشد. اما با در نظر گرفتن حد آستانه می‌نیم و ماکسیمم برای فاصله دو مشخصه، به مقدار قابل توجهی از حجم اطلاعات کاسته می‌شود. با استفاده از روش تخمین نمودار، تعداد ویژگی‌های ترکیبی از مرتبه $O(n^2)$ تخمین زده می‌شود که n تعداد مشخصه‌های اصلی تصویر است. به هر حال، تصویر ناقص اثرانگشت، تعداد کمی مشخصه اصلی دارد، برای اینکه بتوان حداکثر اطلاعات موجود را از تصویر استخراج کرد، نیاز به تعریف ویژگی جدید داریم. ویژگی‌های جدیدی که بر اساس مینوشیای تصویر تعریف می‌شوند، حجم پایگاه داده را افزایش می‌دهند و این امر در تطبیق جزئی از اثرانگشت اجتناب ناپذیر است.

سرعت اجرا: در تطبیق اثرانگشت، دو فرآیند وجود دارد:

۱- استخراج اطلاعات لازم برای تطبیق

۲- یافتن نقطه مرجع و هم‌ترازی دو تصویر

در روش ارائه شده، استخراج ویژگی‌های ترکیبی از پیچیدگی زمانی $O(n^2)$ برخوردار می‌باشد که n تعداد مینوشیای تصویر است. در تصاویری که فاقد نقاط منفرد حلقه و دلتا می‌باشند، هر کدام از مینوشیاهای تصویر می‌تواند به عنوان کاندید برای نقطه مرجع، در نظر گرفته شود و از میان آنها، بهترین نقطه به عنوان نقطه مرجع انتخاب می‌گردد. در این موارد، یافتن نقطه مرجع دارای پیچیدگی زمانی $O(n^2 m^2)$ می‌باشد که n و m ، تعداد مینوشیاهای تصویر ورودی و تصویر الگو می‌باشد [16]. اما در روش ارائه شده، یافتن نقطه مرجع معادل با جستجوی ویژگی‌های ترکیبی دو تصویر می‌باشد. پیچیدگی زمانی یافتن نقطه مرجع در روش پیشنهادی، عبارت است از جستجوی خطی ویژگی‌های ترکیبی در تصویر ورودی و تصویر الگو. بنابراین مطابق با نمودار ۷ یافتن نقطه مرجع متناظر دو تصویر، حداقل از مرتبه $O(n^2 + m^2)$ و حداکثر از مرتبه $O(n^2 + m^2)$ خواهد بود.

دقت: این روش از دقت بالایی برخوردار است. نمودار میانگین خطای حاصل از اجرای روش بر روی پایگاه داده مذکور، برحسب اندازه‌های مختلف تصویر در شکل ۱۳ آورده شده است.

نمودار شکل ۱۳ نشان می‌دهد که روش ارائه شده از دقت بالایی برخوردار است.



ناصر مزینی در سال ۱۳۶۹ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی شریف در گرایش کامپیوتر سخت‌افزار اخذ نمود و سپس در سال ۱۳۷۲ مدرک کارشناسی ارشد را در رشته سیستم‌های اطلاعاتی و تله ماتیک از سوپلک فرانسه دریافت نمود. ایشان در سال ۱۳۷۷ موفق به اخذ درجه دکترا در رشته انفورماتیک از دانشگاه رن یک فرانسه گردید. وی از سال ۱۳۷۹ در دانشکده مهندسی کامپیوتر دانشگاه علم و صنعت ایران مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این دانشکده می‌باشد. زمینه های علمی مورد علاقه نامبرده عمدتاً در زمینه رایانش نرم و شبکه های کامپیوتری و سیستم‌های چندعامله است.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از:

mozayani@iust.ac.ir

¹ False Acceptance Rate

² Region Growing

³ Identification

⁴ True Acceptance Rate

⁵ Equal Error Rate

[6] T. Jea, and V. Govindaraju, "A Minutia-based partial fingerprint recognition system," *Pattern Recognition*, Vol. 38, No. 10, pp. 1672-1684, 2005.

[7] T. Jea, and V. Govindaraju, "Partial Fingerprint Recognition Based on Localized Features and Matching," *Proceedings of Biometric Consortium Conference*, 2005.

[8] T. Jea, V. K. Chavan, V. Govindaraju, and J. K. Schneider, "Security and matching of partial fingerprint recognition systems," *Proceeding of SPIE 5404*, pp. 39-50, 2004.

[9] K.H. Ko, T. Maekawa, and N.M. Patrikalakis, "Algorithms for optimal partial matching of free-form objects with scaling effects," *Graphical Models*, Vol. 67, No. 2, pp. 120-148, 2005.

[۱۰] م. عبدوس و ن. مزینی، "تطبیق اثرانگشت با استفاده از اطلاعات نسبی مشخصه‌ها در بخشی از تصویر اثرانگشت"، *پانزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، مرکز تحقیقات مخابرات ایران، اردیبهشت ۸۶*.

[11] VeriFinger 4.2 Algorithm Demo, Neurotechnologija, 2005.

[12] R. C. Gonzalez, and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall, Second Edition, 2002.

[13] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing Using MATLAB*, Pearson Prentice Hall, First edition, 2004.

[14] Z. Kovacs-Vajna, R. Rovatti, and M. Frazzoni, "Fingerprint Ridge Distance Computation Methodologies," *Pattern Recognition*, Vol. 33, No. 1, pp. 69-80, 2000.

[15] <http://biometrics.cse.msu.edu/fvc04db>

[16] J. Jia, L. Cai, P. Lu, and X. Liu, "Fingerprint Matching Based on Weighting Method and the SVM," *Article in press, Neurocomputing*, Vol. 70, No 4-6, pp. 849-858, 2006.



منیره عبدوس در سال ۱۳۸۳ مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی کامپیوتر، گرایش نرم‌افزار از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نموده و در سال ۱۳۸۵ تحصیلات مقطع کارشناسی ارشد خود را در گرایش هوش مصنوعی و رباتیک در دانشگاه علم و صنعت ایران به پایان رسانیده است. وی هم اکنون دانشجوی دکتری هوش مصنوعی در همان دانشگاه می‌باشد. زمینه‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان عبارتند از: شبکه‌های عصبی، سیستم‌های بیومتریک، تشخیص الگو و سیستم‌های چندعامله.

آدرس پست‌الکترونیکی ایشان عبارت است از: