یک الگوریتم طبقه‌بندی خودکار اثر انگشت

محمدحسن قاسمیان یزدی*

بخش مهندسی برق، دانشگاه تربیت مدرس

(دریافت مقاله: ۱۳۷۶/۲/۱۰ - دریافت نسخهٔنهایی: ۱۳۷۶/۹/۱۵)

چکیده - الگوریتمهای دستی متفاوتی برای طبقه‌بندی اثر انگشت ارائه شده است که کاملترین آنها الگوریتم FBI است. به کارگیری الگوریتمهای دستی برای یک سیستم خودکار از نظر دقت و سرعت جستجو مناسب نیست. در این مقاله با انتخاب و استخراج خودکار ویژگیهای مناسب، یک الگوریتم دقیقتر و سریعتر برای طبقه‌بندی اثر انگشت ارائه شده است. در روشهای دستی، نقاط قلب[۱]، مثلث[۲] و پیچ[۳] به عنوان ویژگیهای ساختاری و اصلی در طبقه‌بندی اثر انگشت به کار می‌روند. در الگوریتم ارائه شده، ویژگیهای ساختاری یک اثر انگشت قلب و مثلث‌اند که استفاده از جهت و مختصات نسبی آنها از ویژگیهای جدید این الگوریتم است. به کمک این ویژگیها می‌توان زیرگروههای جدیدی برای طبقه‌بندی اثر انگشت تعریف کرد. با این عمل، فضای جستجوی زیرگروهها تا حد ممکن کوچک می‌شود و سرعت و دقت شناسایی اثر انگشت به طور چشمگیر افزایش می‌یابد. روش ارائه شده، مستقل از چرخش بوده و مکان نسبی قلب و مثلث با دقت بسیار خوبی به دست می‌آید. در انتها نتایج طبقه‌بندی روی آثار متنوع انگشت ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهند که دقت طبقه‌بندی بالا بوده و این الگوریتم نسبت به اغتشاشات نمونه‌برداری حساسیت کمتری دارد.

An Automatic Fingerprint Classification Algorithm

M. H. Ghassemian Yazdi

Department of Electrical Engineering, Tarbiat Modares University

ABSTRACT- ***Manual fingerprint classification algorithms are very time consuming, and usually not accurate. Fast and accurate fingerprint classification is essential to each AFIS (Automatic Fingerprint Identification System). This paper investigates a fingerprint classification algorithm that reduces the complexity and costs associated with the fingerprint identification procedure. A new structural algorithm for classification of fingerprints is described. This algorithm is based on structural features: "core" and "delta", and their orientation. The accuracy and speed of the proposed method is tested for a large number of fingerprint images with different initial qualities. The results are independent of image orientation and, show a significant classification performance.***

---

* دانشیار

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]

۱- مقدمه

خطوط موجود در نوک انگشتان به وجود آورندهٔ نقشهای خاصی‌اند که آنها را قابل مطالعه و طبقه‌بندی می‌کند. آثار زیاد به‌دست آمده در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهند که انسان از دیرباز به نقشهای موجود در نوک انگشتان و کفهای دست و پای خود توجه داشته است. وی با این اندیشه که این خطوط گذشته و آینده او را نشان می‌دهند، به کف‌بینی و کف‌شناسی پرداخت. با توسعهٔ کف‌شناسی، علمی به وجود آمد که بعدها دانش شناسایی خطوط پوستی[۴] نامگذاری شد. هر چند اهمیت این دانش به خوبی معلوم شده و در ایران نیز چندین بررسی در این زمینه انجام گرفته است [۱]، ولی این مهم، هنوز در کشور ما تا حدود زیادی ناشناخته باقیمانده است. این دانش به مطالعهٔ خطوط پوستی با توجه به ویژگیهای آن در انسان‌شناسی، توارث، رابطهٔ آن با بیماریها، و نیز استفادهٔ آن در تشخیص هویت می‌پردازد و به طور کلی جدا از کف‌بینی و کف‌شناسی است. به عبارت دیگر، علم خطوط پوستی دانشی است که به مطالعهٔ صحیح و اصولی خطوط موجود در نوک انگشتان و کف دست و پای انسان می‌پردازد.

یکی از مهمترین خطوط پوستی، نقش سر انگشتان است. ظرافت و دقت این خطوط به حدی است که خداوند متعادل در قرآن کریم، بازسازی آنها را بعد از مرگ از نشانه‌های قدرت خود دانسته است [سوره قیامت، آیه ۴]. نقش سر انگشتان از سه خصیصهٔ بسیار جالب برخوردار است:

خصیصهٔ اول: دو نقش سر انگشت یکسان در جهان وجود ندارد. گالتون در تحقیقات خود نشان داده است که نقشهای سر انگشتان ارثی نیستند. بعد از گالتون چندین دانشمند دیگر نیز این موضوع را مورد بررسی قرار داده‌اند. مثلاً در سال ۱۷۹۲ فورژو در خانواده‌های مختلف که با یکدیگر ازدواج می‌کردند مطالعه کرد و تا سه نسل هم جلو رفت و نشان داد که آثار انگشت آنها متفاوت بوده است. سنیت پس از تحقیق در خانوادههای مختلف تا نسل پنجم هم به همان نتیجه رسید [۲]. مشاهدات اینجانب در سالهای ۶۹-۱۳۶۷ روی دوقلوهای تک‌تخمی نیز مؤید این مطلب است که خصوصیاتی که به عنوان تشخیص هویت این افراد به کار می‌روند کاملاً متمایز بوده ولی عوامل ژنتیک در شکل‌گیری نقشها مؤثرند. در هر صورت تاکنون گزارشی در مورد یکسان بودن آثار دو انگشت در جهان مشاهده نشده است.

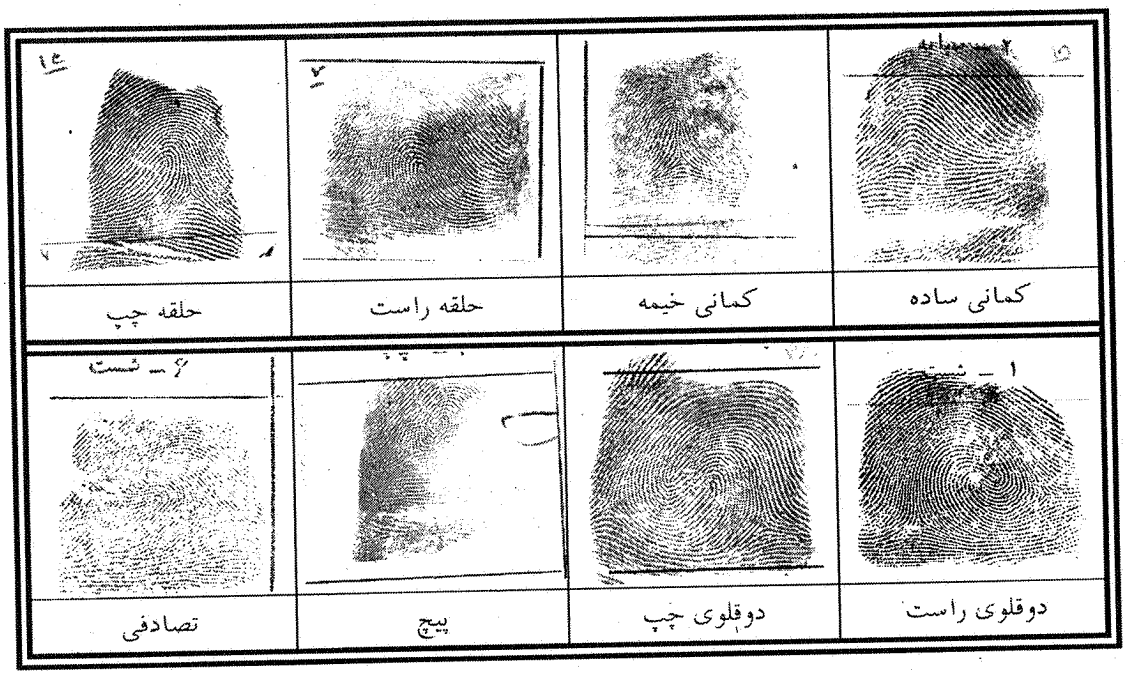
خصیصهٔ دوم: خطوط نقش سرانگشت تغییر ناپذیرند. خطوط انگشتان در ماه چهارم جنین به وجود می‌آیند و از آن به بعد فقط بزرگتر می‌شوند، ولی به هیچ وجه تغییری در طرح و ترتیب آنها حاصل نمی‌شود. تناسب بین آثار انگشت زمان طفولیت شخص با آثار انگشت وی در مراحل بلوغ و بعد از آن، مثل تناسب بین عکس عادی و عکس بزرگ شدهٔ همان اثر انگشت است. حتی اگر پوست انگشت بسوزد و یا زخمی بشود پس از بهبود کامل، طرح خطوط انگشت با تمام جزییات مجدداً به ظهور خواهد رسید. سعی جنایتکاران برای تغییر و یا از بین بردن نقش سرانگشت با عمل جراحی پلاستیکی هم ناموفق بوده است. خطوط انگشتان، تنها پس از مرگ و متلاشی شدن پوست از بین می‌روند.

خصیصهٔ سوم: نقش سر انگشتان قابل طبقه‌بندی‌اند. با وجود تنوع فراوان در نقش اثر انگشتان، شکل (۱) این آثار قابل طبقه‌بندی‌اند. این خصیصه در بخش دوم این مقاله مورد بررسی قرار می‌گیرد.

با توجه به سه خصیصهٔ فوق، بیش از یک قرن است که از اثر انگشت به منظور شناسایی و تشخیص هویت افراد استفاده می‌شود. شناسایی اثر یک انگشت یا مجموعهٔ انگشتان دودست و تمیز دادن آن از میان سایر آثار موجود، یکی از مسائل مهم در فن شناسایی الگوست. در سیستم تشخیص هویت در ایران، هنوز از روشهای دستی کلاسیک که با خطا نیز توام است استفاده می‌شود. این عمل بسیار وقتگیر و کاملاً بر تجربه‌های قبلی متخصصان استوار است. این فرایند معمولاً به صورت سعی و خطا صورت می‌گیرد. به طوری که گاهی اوقات، نظرات دو کارشناس این حرفه کاملاً متفاوت است. ازدیاد جمعیت و جرایم، بایگانی مراکز جرم‌شناسی را به شدت بزرگ کرده است. با توجه به محدودیت توانایی انسان در این امر، گامهای زیادی در جهت شناسایی خودکار اثر انگشت برداشته شده است [۳-۵]. در کلیه روشهای مورد مطالعه و ارائه شده، دقت و سرعت شناسایی رابطهٔ مستقیمی با انتخاب خصیصه‌های اثر انگشت دارد. مسئلهٔ مشترکی که در تمام سیستمهای شناسایی خودکار اثر انگشت وجود دارد، حساسیت شدید این خصیصه‌ها نسبت به اغتشاش در مراحل نمونه‌برداری اثر انگشت است، که اجتناب‌ناپذیر است. روشهای متداول پردازش و برجسته کردن تصویر می‌توانند کیفیت ظاهری اثر را بهبود بخشند، ولی عملاً

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]



شکل ۱ - چند نمونه اثر انگشت

سبب جابه‌جایی و عوض شدن ویژگیهای اثر انگشت می‌شوند. در نتیجه، سیستم در شناسایی اثر انگشت دچار خطا می‌شود. برای برطرف کردن این مشکل دو روش زیر مورد بررسی قرار گرفت

روش اول : بازیافت و ناحیه‌بندی بهینهٔ اثر انگشت با توجه به خواص ساختاری اثر انگشت [۶].

روش دوم: انتخاب ویژگیها و ارائهٔ الگوریتم مناسب طبقه‌بندی که نسبت به اغتشاشات نمونه‌برداری اثر انگشت، حساسیت کمتری داشته باشند. در این مقاله روش دوم ارائه شده است. ضمناً تعداد زیرگروهها را افزایش داده تا فضای جستجو کاهش و در نتیجه دقت و سرعت شناسایی افزایش یابد.

۲- الگوریتهای طبقه‌بندی اثر انگشت

سطح نوک انگشتان صاف نبوده و دارای پستی و بلندی است. این پستی و بلندیها به شکل خطوط تقریباً موازی قابل مشاهده‌اند. خطوط برجسته را رگه و خطوط فرورفته را شیار می‌نامند. رگه‌ها دارای نظم و طرح خاصی‌اند که آن را اثر انگشت می‌نامند. مطالعات علمی روی طبقه‌بندی اثر انگشت، با مقالهٔ فولدز در مجلهٔ طبیعت در سال ۱۸۸۰ و پاسخ هرشل به آن آغاز می‌شود. فولدز در این مقاله به بحث دربارهٔ اهمیت خطوط پوستی در امر تشخیص هویت پرداخته، و هرشل در پاسخ گفته است که او عملاً از خطوط پوستی در امر تشخیص هویت برای مدت بیست سال در هندوستان استفاده کرده است. فرانسیس گالتون در سال ۱۸۹۲ به این خطوط توجه کرده و کتاب "انگشت‌نگاری" را در مورد خصوصیات اثر انگشت و چگونگی طبقه‌بندی آن نوشته است. "ادوارد هنری" نیز در سال ۱۹۳۷ روش طبقه‌بندی خود را ارائه کرد. طبقه‌بندی او در حقیقت شکل گسترش یافتهٔ طبقه‌بندی گالتون است. چندین الگوریتم برای طبقه‌بندی نقشهای اثر انگشت ارائه شده‌اند [۱-۴]. ما در این بخش، فقط به الگوریتمهای مرسوم می‌پردازیم.

گالتون نقشهای موجود در نوک انگشتان را به سه دستهٔ کمانی[۵]، حلقه[۶] و پیچ تقسیم کرده که هنوز هم از اعتبار علمی برخوردار است. نقش کمانی از تعدادی خط کمانی تشکیل شده که به طور تقریباً موازی از یک طرف نقش به طرف مقابل ادامه می‌یابد. قوسی که این نقش به وجود می‌آورد گاهی بسیار کوچک، گاهی درست در وسط و گاهی نیز در کنارهٔ نوک انگشت قرار دارد. طبق این گروه‌بندی، نقش کمانی خود به دو دستهٔ کمانی ساده و کمانی خیمه‌ای تقسیم می‌شود، شکل (۱). نقش خیمه‌ای فقط یک مثلث دارد، و قلب

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]

تقریباً در بالای آن قرار می‌گیرد. حلقه بیشترین فراوانی نقش در نوک انگشتان را تشکیل می‌دهد. در نقش حلقه‌ای، تعدادی خطوط از یک طرف نقش (چپ یا راست) وارد شده و پس از چرخش از همان طرف وارد شده، خارج می‌شوند، شکل (۱). براساس طبقه‌بندی گالتون، نقش پیچی نقشی است که دارای دو یا چند مثلث باشد [۲].

در طبقه‌بندی هنری، نقشهای پیچی نیز به چند دسته تقسیم می‌شوند. نقشی راکه خطوط داخلی آن به دور نقطهٔ مرکزی بچرخند پیچی ساده، و بقیه نقشهای پیچی راکه چنین نباشند، ترکیبی[۷] می‌نامند. در پیچ ساده، خطوط به موازات هم به طور دایره‌ای یا بیضوی در داخل نقش قرار می‌گیرند. به این نوع نقش، پیچ متمرکز نیز گفته می‌شود. در نوع دیگری از نقش پیچ، قوس داخلی نقش به طور مارپیچ به دور نقطهٔ مرکزی (ساعتگرد یا پادساعتگرد) می‌چرخد. به این نوع نقش، پیچ مارپیچ می‌گویند. مطابق تعریف هنری، نقشهای ترکیبی خود به حلقهٔ مرکزی، حلقهٔ دوقلو و حلقهٔ کناری تقسیم می‌شوند. در حلقهٔ مرکزی یک نقش حلقه وجود دارد که وسط آن به شکل پیچ است. این نوع نقش هم می‌تواند مانند نقش حلقه به چپ یا راست باز شود. در بعضی از آثار دو حلقه وجود دارد. اگر هر دو حلقه به یک طرف (چپ یا راست) باز شوند حلقهٔ کناری هستند و چنانچه دو نقش حلقه به دو طرف باز شوند آن را حلقهٔ دوقلو می‌نامند. چنانچه نقشی در هیچیک از گروههای فوق طبقه‌بندی نشود در گروه اشکال تصادفی[۸] قرار می‌گیرد.

اداره FBI از یک طبقه‌بندی مشابه طبقه‌بندی هنری استفاده می‌کند [۱-۴]. طبقه‌بندی FBI شامل سه گروه اصلی: کمانی، حلقه‌ای، و پیچی است. در این طبقه‌بندی، کمانی به دو نوع ساده و خیمه‌ای، حلقه‌ای به دو نوع رادیال و اولنار (مانند راست و چپ)، و پیچی به چهار دستهٔ پیچ ساده، حلقهٔ مرکزی، حلقهٔ دوتایی و اتفاقی تقسیم می‌شوند. مطابق آمار FBI بیشترین نقش موجود در میان انگشتان، نقش حلقه‌ای با ۶۵٪ فراوانی و سپس نقش پیچی با ۳۰٪ فراوانی و در آخر نقش کمانی قرار دارد. این نشان‌دهندهٔ عدم توازن بین گروههای هنری است که مشکلات بایگانی کردن را به دنبال خواهد داشت.

رایجترین الگوریتم طبقه‌بندی و شناسایی اثر انگشت که در ایران نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد، مربوط به الگوریتم هنری است. این الگوریتم، آثار انگشتان را در چهار دستهٔ اصلی کمانی، حلقه‌ای، پیچی و اتفاقی طبقه‌بندی می‌کند. خط شمار (تعداد خطوط بین یک قلب و یک مثلث در اثر انگشت) نیز به عنوان یک ویژگی کمی در این طبقه‌بندی اثر انگشت به کار گرفته شده است. با انتخاب ویژگیهای مناسب، طبقه‌بندی اثر انگشت را می‌توان با دقت خیلی بیشتر از روشهای دستی انجام داد. به علاوه با افزایش تعداد زیرگروهها، می‌توان فضای جستجو را برای شناسایی و تطبیق اثر انگشت کوچک کرد و در نتیجه سرعت و دقت شناسایی و تطابق را بالا برد. قلب و مثلث (که آنها را نقاط منفرد[۹] نیز می‌نامند) ویژگیهای ساختاری یک اثر انگشت را تشکیل می‌دهند.

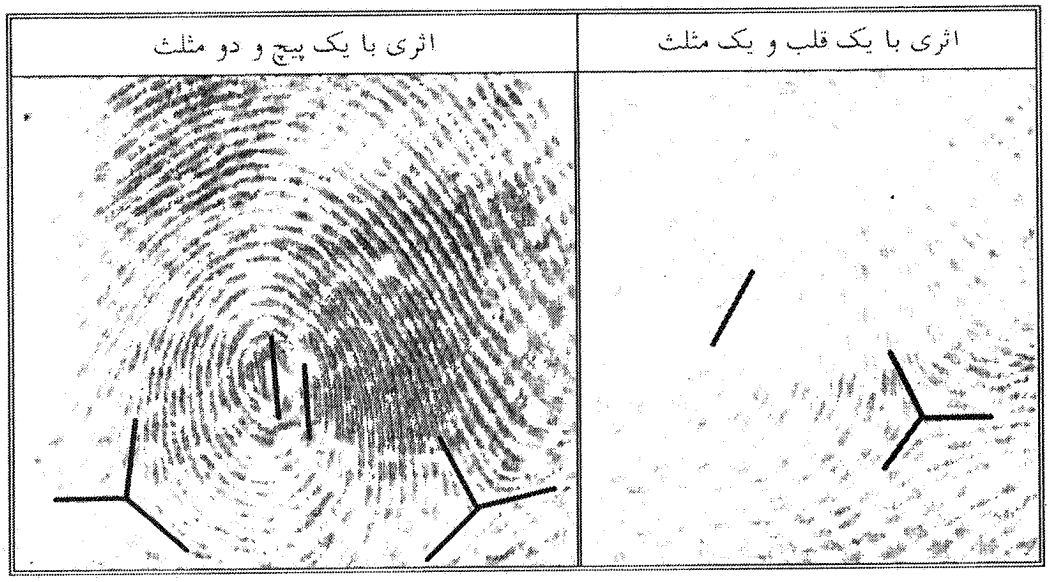
۳- تعریف ویژگیهای ساختاری در اثر انگشت

اگر نگاهی دقیق به آثار انگشت در گروههای مختلف داشته باشیم، متوجه می‌شویم که هر گروه دارای ساختار و طرح مخصوص به خود است. ویژگیهای ساختاری اثر انگشت مربوط به نواحی منفرد است. نواحی منفرد یا نقاط کانونی، محلهایی هستند که جریان خطوط، حالت عادی نداشته و به شکل خاصی تغییر جهت می‌دهند. در سایر نواحی جریان خطوط موازی و در یک امتدادند.

ناحیه‌ای راکه جریان خطوط دوشاخه می‌شود مثلث می‌نامند، شکل (۲). طبق این تعریف، مثلث محلی است که سه جریان متفاوت با هم تلاقی می‌کنند. محل تلاقی سه جریان در اثر انگشت را مکان هندسی مثلث فرض می‌کنند. در بهترین وضعیت، سه جریان با زاویه ۱۲۰ درجه نسبت به هم تلاقی می‌کنند. در سایر موارد مکان مثلث به طور مبهم مشخص می‌شود. ناحیه‌ای راکه جریان خطوط حدود ۱۸۰ درجه می‌چرخد قلب می‌نامند. در تعاریف مرسوم، مانند FBI ، در تعیین مکان دقیق مثلث و مخصوصاً قلب با مشکل روبرو هستیم. در این پژوهش، مکان این نقاط با استفاده از تصویر جهتی، که بعداً معرفی خواهد شد تعیین می‌شود. ناحیه‌ای راکه جریان خطوط حول یک مرکز فرضی می‌چرخند پیچ می‌نامند، شکل (۲). در این پژوهش، این مکان توسط دو قلب با محورها و مختصات هندسی خاص، تعیین می‌شود. در نتیجه لازم نیست برای استخراج این نقاط از فرایند جداگانه‌ای استفاده کنیم.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]



شکل ۲- انواع نقاط منفرد (ویژگیهای ساختاری) در اثر انگشت

با انتخاب ویژگیهای مناسب، طبقه‌بندی اثر انگشت را می‌توان به طور خودکار و با دقتی خیلی بیشتر از روش دستی انجام داد. توو [۷] یک روش توپولوژیکی برای شناسایی نقاط قلب روی اثر انگشت شبیه‌سازی شده و بدون نویز پیشنهاد داده است. شرمن [۸] روشی را برای تعیین محل تقریبی نقطهٔ قلب در حوزهٔ فرکانس پیشنهاد داده که به علت محاسبهٔ تبدیل فوریه پرهزینه است. رائو [۹] روشی را برای تعیین محل تقریبی ناحیه قلب و سپس محل دقیق آن با استفاده از مسیر جریان خطوط پیاده کرده است. شرلوک [۱۰] روشی را برای بهبود اثر انگشت براساس جهت خطوط پیشنهاد داده است. سرینیواسان [۱۱] روشی را براساس هیستوگرام جهات در همسایگی این نقاط ارائه کرده که مستقل از چرخش نیستند.

در این مقاله نقاط منفرد (ویژگیهای ساختاری) یک اثر انگشت، فقط قلب و مثلث هستند. تعداد و موقعیت نسبی نقاط منفرد و جهت محورهای آنها نیز به عنوان ویژگیهای کمی در طبقه‌بندی اثر انگشت به کار رفته‌اند. معیار انتخاب ویژگیها عبارت‌اند از: دقت تفکیک گروهها، هزینهٔ لازم برای استخراج ویژگیها، و عدم حساسیت طبقه‌بندی به اغتشاشات حاصل از فرایند نمونه‌برداری از اثر انگشت.

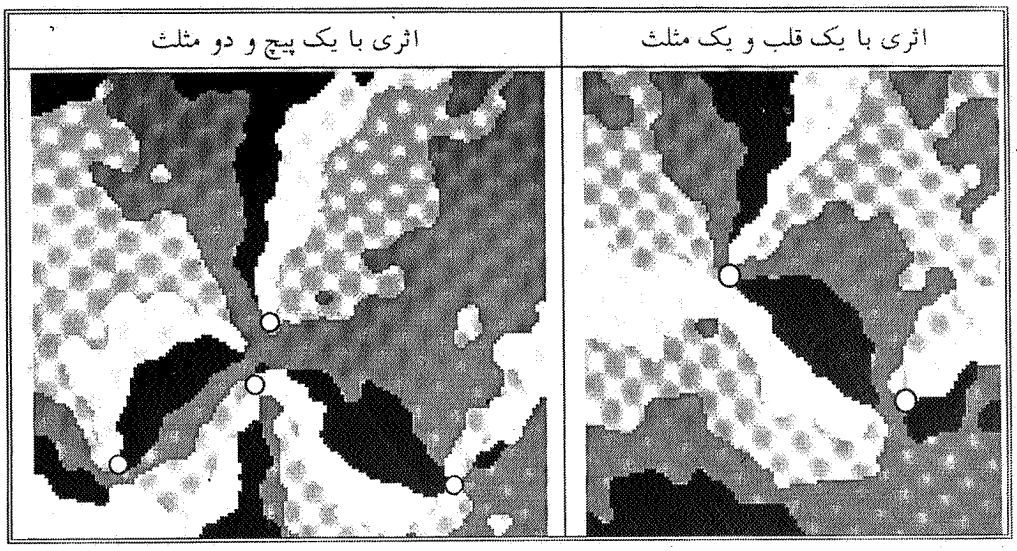
۴- استخراج خودکار نقاط منفرد

مهمترین ویژگی ساختاری اثر انگشت جهتدار بودن الگوهای رگه و شیار در آن است. بنابراین، به نظر می‌رسد که بهترین روش برای استخراج خودکار نقاط منفرد، استفاده از ویژگیهای جهتی اثر انگشت باشد. تصویر جهتی، تبدیل یافتهٔ تصویر اثر انگشت است و جهت موضعی خطوط را در اثر انگشت نشان می‌دهد، شکل (۳). اطلاعات این تصویر مستقل از متوسط شدت روشنایی بوده و فقط تابع جهات رگه‌هاست. لذا، می‌توان به روشهای ساده، ابهام در تولید تصویر جهتی راکاهش داد.

همان طورکه در تصویر جهتی مشاهده می‌شود، شکل (۳)، در مکان نقاط منفرد این جهات به صورت گرداب با یکدیگر تلاقی می‌کنند. با توجه به این پدیده، پس از تهیه تصویر جهتی، نواحی گردابی شکل به عنوان نامزد نقاط منفرد استخراج می‌شوند.

همان طور که در مرجع [۶] آمده است، اثر انگشت پس از نمونه‌برداری و رقومی شدن، با استفاده از فرایند بازیافت به تصویر جهتی تبدیل می‌شود. در این فرایند با استفاده از تابع عضویت فازی، $\mu_\theta(\mathbf{r})$، درجهٔ تعلق هر عنصر تصویری به یکی از جهات هشتگانه، بین صفر و ۱۸۰ درجه، تعیین می‌شود. سمت مثبت و منفی جهت رگه نقشی در شکل‌گیری الگوی اثر انگشت ندارد، لذا، فقط به استخراج جهات بین صفر و ۱۸۰ درجه توجه شده است. به‌عبارت دیگر، درجهٔ عضویت در جهات بین ۱۸۰ و ۳۶۰ درجه

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]



شکل ۳- تصویر جهتی حاصل از دو اثر نمایش داده شده در شکل ۲

معادل درجهٔ عضویت در جهت مخالفشان است. سپس با استفاده از معیارهای ساختاری، مانند پیوستگی و سازگاری جهات در یک همسایگی، آن نقطه به یکی از جهات هشتگانه طبقه‌بندی می‌شود. در آخر پس از رفع ابهام، با استفاده از شواهد موضوعی اثر انگشت، تصویر جهتی تولید می‌شود. الگوریتم پیشنهادی مشتمل بر مراحل زیر است

مرحلهٔ اول: با توجه به لزوم همگونی و سازگاری یک نقطه با نقاط مجاورش، همسایگی متقارن $\aleph$ حول هر نقطه (x,y)، در برگیرندهٔ حداقل یک رگه و یک شیار، را در تابع عضویت منظور می‌کنیم. تابع عضویت، $\mu_\theta(r)$، براساس ساختار هندسی و طبیعی اثر انگشت طرح شده است. مقدار $\mu_\theta(r)$ حقیقی و بین صفر و یک است.

$$\mu_\theta(r)\in[0,1]\ ,\ r=x^2+y^2 \in \aleph \qquad (1)$$

مرحلهٔ دوم: درجهٔ عضویت این نقطه برای جهات هشتگانه، θ_i، محاسبه می‌شود.

$$\mu_{\theta_i}(r)=\lambda_r(e^{-\frac{\alpha}{2}r^2(\frac{\pi}{2}-\theta_i)})(1-\alpha r^2(\theta_i))(e^{-\alpha r^2(\theta_i)}) \qquad (2)$$

مرحلهٔ سوم: با بررسی درجهٔ عضویت این نقطه در جهات بالا و با توجه به اینکه تعلق یک نقطه به دو جهت عمود بر هم محال است، نقطه به یکی از جهات هشتگانه تخصیص می‌یابد.

$$\mu_{\theta_i}(r) = \mathrm{Max}\{\mu_{\theta_k}(r)\ ;\ k=1,2,...,8\} \qquad (3)$$

مرحلهٔ چهارم: با منظور کردن قید پیوستگی و سازگاری جهات با توجه به ساختار هندسی رگه در یک همسایگی شامل حداقل دو رگه، جهت سایر نقاط مبهم تعیین خواهد شد. در این مرحله، تصویر جهتی، مستقل از نویز شدت روشنایی رگه‌ها بوده و فقط تابع جهات رگه‌هاست. لذا، نویز اثر انگشت به شدت کاهش یافته است.

قوانین ساختاری الگوریتم بر مبنای طبیعت هندسی و جهتی بودن رگه‌ها در نوک انگشتان وضع شده است. بر اساس این قوانین بریدگیها و اتصالات نابه‌جا در رگه‌ها تشخیص داده شده و ترمیم می‌شوند [۶]. ضرایب تابع عضویت به صورت وفقی، همزمان با مرحلهٔ تصویربرداری، استخراج می‌شود. لذا، تهیه تصویر جهتی اثر انگشت یک فرایند بی‌درنگ بوده و می‌توان آن را همزمان با مرحلهٔ تصویربرداری اثر انگشت انجام داد. این فرایند نیاز به تعیین پارامترهای اولیه ندارد. خوانندهٔ عزیز برای جزییات بیشتر به مرجع [۶] رجوع کند.

در تصویر جهتی، نقاط منفرد به صورت نواحی گردابی شکل تظاهر می‌کنند. این نواحی به عنوان نامزد نقاط منفرد تعیین می‌شوند. برای استخراج این نقاط، مقدار چرخش نسبی عناصر تصویر جهتی را حول هر نقطه (در یک پنجرهٔ ۳×۳) در جهت ساعتگرد محاسبه می‌کنیم. در محل نقاط منفرد، مقدار چرخش نسبی تابع نوع نقطهٔ منفرد است و از قانون خاصی پیروی می‌کند.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]

براساس این قانون و با توجه به مقدار چرخش نسبی حول این نقطه یکی از حالت زیر صادق است

حالت اول: فقط در محل قلب مقدار چرخش نسبی دقیقاً ۱۸۰ درجه است.

حالت دوم: فقط در محل مثلث مقدار چرخش نسبی دقیقاً ۱۸۰- درجه است.

حالت سوم: فقط در محل بحرانی (پیچ متمرکز) مقدار چرخش نسبی دقیقاً ۳۶۰ درجه است.

حالت چهارم: در سایر نقاط (غیرمنفرد) مقدار چرخش با سه مقدار فوق متفاوت است.

برای تسریع در عملیات بالا، از تصویر بلوک جهتی (به جای تصویر جهتی) استفاده می‌کنیم. برای تهیه تصویر بلوک جهتی، تصویر جهتی را در بلوکهای ۸×۸ تقسیم کرده و جهت قالب در هر بلوک را به جای عناصر تصویر بلوک جهتی قرار می‌دهیم. جهتی را که دارای بیشترین فراوانی در بلوک است جهت غالب می‌نامیم. در همین مرحله بلوکهایی را که دارای جهت غالب نیستند، به عنوان نواحی احتمالاً منفرد برچسب می‌خورند. توجه داریم که در این حالت سرعت محاسبات ۶۴ برابر شده است.

در مرحلهٔ بعدی، با استفاده از تصویر جهتی، حول نواحی نامزد جهت جریانهای غالب اندازه‌گیری می‌شود. پس از رفع ابهام یکی از سه حالت زیر مشخص می‌شود

الف) دو جهت غالب با اختلاف زاویه کمتر از یکصد و بیست درجه: این نقطهٔ قلب است. محور اصلی آن نیمساز بین دو جهت غالب، در تصویر جهتی، حول این مکان است. مرکز آن، مختصات هندسی مرکز گرداب در تصویر جهتی است.

ب) سه جهت غالب: این نقطهٔ مثلث است. محورهای مثلث را سه جهت غالب، در تصویر جهتی، حول این مکان تشکیل می‌دهند. مرکز آن محل تلاقی نیمساز زوایای دوبه‌دو محورها روی تصویر جهتی است.

ج) هیچ یک از حالات بالا: نقطهٔ منفرد نیست و ناحیه نویزی است.

۵- طبقه‌بندی آثار

در این مقاله، گروه هر اثر انگشت براساس نوع و تعداد نقاط منفرد و همچنین موقعیت نسبی نقطه و جهت محورهای نقطهٔ منفرد، مطابق روندنما در شکل (۴) طبقه‌بندی می‌شود. برای تعریف زیرگروههای جدید می‌توان از موقعیت نسبی نقاط منفرد و محورهای آنها استفاده کرد

- اگر تعداد نقاط منفرد یک اثر صفر باشد این نمونه متعلق به گروه کمانی ساده است.

- اگر اثر انگشت دارای یک قلب و صفر مثلث باشد، این نمونه متعلق به گروه کمانی سادهٔ نوع دوم است.

- اگر اثر انگشت دارای یک قلب و یک مثلث باشد برحسب موقعیت نسبی این دو نقطه و محورهای آنها، نمونه متعلق به گروه کمانی خیمه، حلقهٔ چپ، یا حلقهٔ راست است.

- اگر اثر انگشت دارای دو قلب باشد بدون توجه به تعداد مثلثهای نمونه جزو گروه پیچهاست که با توجه به موقعیت نسبی محورهای دوقلب جزو یکی از زیرگروههای: پیچ ساده، پیچ چپ، پیچ متقارن، پیچ راست، دوقلوی ساده، دوقلوی چپ، دوقلوی متقارن، دوقلوی راست، دوقلوهای نوع دوم، پیچهای نوع دوم است.

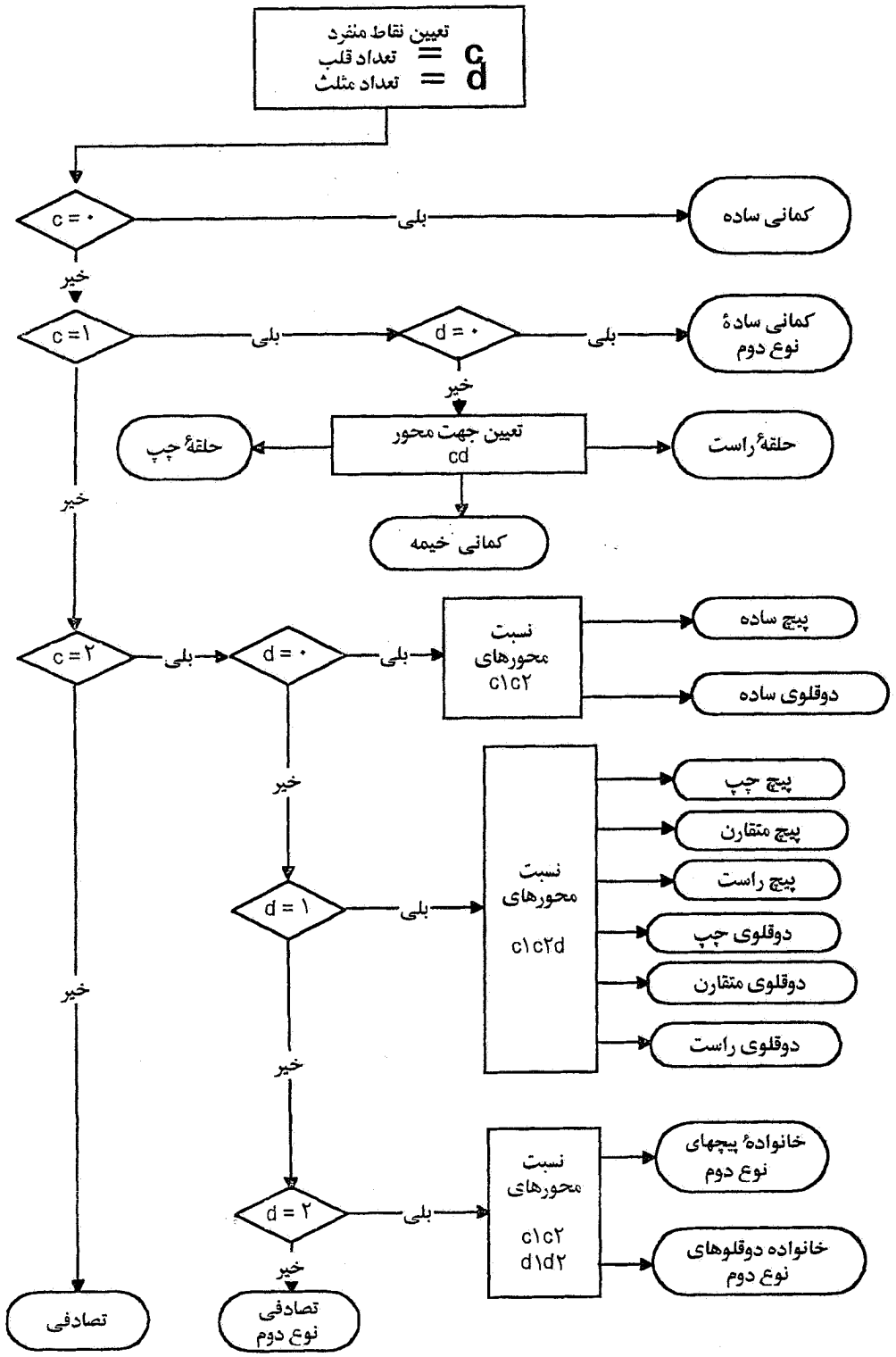
- اگر دارای بیش از دو قلب باشد جزو گروه تصادفی خواهد بود. در این صورت می‌توان برحسب تعداد نقاط قلب و مثلث، در اثر انگشت، و جهات محورهای آنها به چندین زیرگروه تقسیم کرد.

- اگر دارای بیش از دو مثلث باشد جزو گروه تصادفی نوع دوم خواهد بود و می‌توان آنها را برحسب تعداد نقاط قلب و مثلث در اثر انگشت و جهات محورهای آنها به چندین زیرگروه تقسیم کرد.

الگوریتم پیشنهادی برای استخراج ویژگیهای ۲۰۰ اثر انگشت متنوع (با کیفیتهای سیگنال به نویز مختلف) به کار گرفته شد. با استفاده از الگوریتم شناسایی جهت رگه‌ها، تصویر جهتی تهیه شد. با استفاده از تصویر بلوک جهتی نقاط منفرد مستعد به عنوان نامزد استخراج می‌شود. با به کارگیری تابع عضویت و شواهد موضوعی، نوع، مکان و محورهای نقاط منفرد مشخص می‌شوند. لازم به تذکر است که به کارگیری شواهد موضوعی مانند زوایای بین محورهای مثلث تایید کنندهٔ ناحیه مثلث‌اند و در شناسایی نواحی مغشوش که در روشهای دیگر به عنوان یکی از نقاط منفرد تشخیص داده می‌شوند بسیار مؤثر بوده است. همچنین از زوایای محورها به عنوان یک مشخصهٔ کمّی برای یک مرحلهٔ دیگر از شناسایی و تطابق استفاده شد که در هیچ یک از روشهای ارائه شده تاکنون مطرح نشده است.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

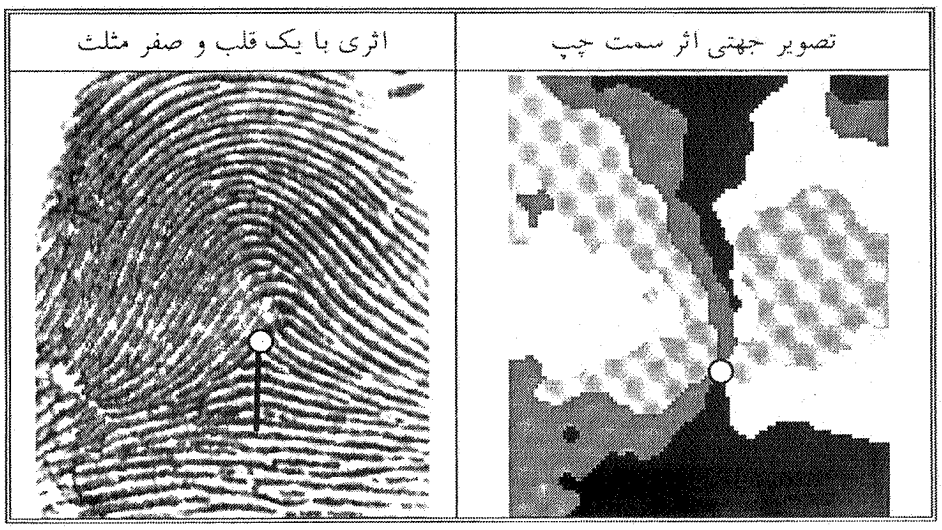
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]



شکل ۴- روند نمای الگوریتم طبقه بندی اثر انگشت

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]



شکل ۵- نتیجهٔ استخراج نقاط منفرد یک اثر از گروه کمانی سادهٔ نوع دوم

جدول ۱- نتایج گروه‌بندی براساس طبقه‌بندی گالتون

نتیجه گروه‌بندی / جمع	کمانی ساده	حلقه	پیچی	صحت ٪
کمانی ساده = ۳۰	۳۰	۰	۰	٪۱۰۰
حلقه = ۹۲	۰	۹۲	۰	٪۱۰۰
پیچی = ۷۸	۰	۰	۷۸	٪۱۰۰

در شکل (۵)، مکان و مختصات قلب و جهت محورهای آن که به طور خودکار استخراج شده بر روی تصویر اصلی اثر مشخص شده است (امکان نمایش رنگ در این مقاله مقدور نیست، لذا محورها با جوهر مشکی برجسته شده‌اند). با توجه به تعداد نقاط منفرد مستخرج از تصویر، این اثر به گروه کمانیهای سادهٔ نوع دوم تخصیص می‌یابد. اندازهٔ این تصویر ۲۴۳×۱۸۶ عنصر بوده و کل زمان پردازش و طبقه‌بندی با یک پنتیوم MHz ۶۶، برابر ۰/۸۸۸ ثانیه است.

در شکل (۲)، سمت راست، محل مختصات مرکز و محور اثری که دارای یک قلب و یک مثلث است با همین روش مشخص شده است. با توجه به اینکه مکان نسبی مثلث در سمت راست قلب است، این اثر از نوع حلقهٔ چپ است.

در شکل (۲)، سمت چپ، اثری با دو قلب و دو مثلث شناسایی شده است. مختصات نسبی و موازی بودن محورهای دو قلب نمایندهٔ استخراج یا شناسایی یک پیچ است. حال با توجه به مکان نسبی این پیچ و دو مثلث دیگر، این اثر به گروه پیچ چپ از نوع دوم متعلق است. شناسایی نقاط منفرد، مستخرج از تصویر ۲۰۰ اثر انگشت متنوع با دقت بالایی صورت گرفت به طوری که در کلیه موارد همهٔ نقاط بدون خطا و به طور صحیح شناسایی شدند.

۶- نتیجه‌گیری

در جدولهای (۱) و (۲) نتایج اعمال الگوریتم پیشنهادی روی ۲۰۰ نمونه متنوع اثر واقعی انگشت ارائه شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، با روش استخراج نقاط منفرد ارائه شده در این مقاله، دقت گروه‌بندی در سیستم گالتون ٪۱۰۰ است. در حالی که در سیستم هنری ٪۹۶/۵ است. علت خطا در تشابه و همپوشی بعضی از آثار کمانی خیمه شکل با حلقه‌ایها، و همچنین بعضی از آثار پیچی شکل با دوقلوهاست (که کمتر از خطای چشم انسان

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]
[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]

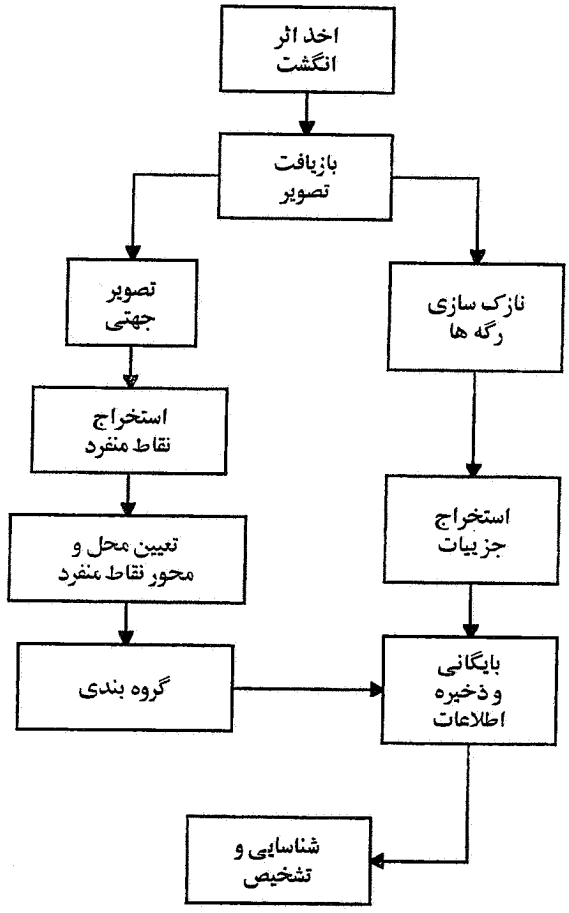
جدول ۲- نتایج گروه‌بندی بر اساس طبقه‌بندی هنری

نتیجهٔ گروه‌بندی / جمع	کمانی ساده	کمانی خیمه	حلقه چپ	حلقه راست	پیچ	دوقلوی چپ	دوقلوی راست	تصادفی	صحت ٪
کمانی ساده = ۳۰	۳۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	٪۱۰۰
کمانی خیمه = ۳۰	۰	۲۷	۱	۲	۰	۰	۰	۰	٪۹۰
حلقهٔ چپ = ۳۱	۰	۰	۳۱	۰	۰	۰	۰	۰	٪۱۰۰
حلقهٔ راست = ۳۱	۰	۰	۰	۳۱	۰	۰	۰	۰	٪۱۰۰
پیچ = ۳۰	۰	۰	۰	۰	۲۶	۱	۳	۰	٪۸۷
دوقلوی چپ = ۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	۰	٪۱۰۰
دوقلوی راست = ۲۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۰	٪۱۰۰
تصادفی = ۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۸	٪۱۰۰

است). برای رفع این گونه خطاها، با توجه به ماهیت عدم قطعیت در تعریف کلاسهای هنری، پیشنهاد می‌شود از منطق فازی برای طبقه‌بندی آثار بهره جست.

لازم به تذکر است که انتخاب ساختار طبقه‌بندی بالا با توجه به ضرورت سازگاری روش خودکار با سیستم بایگانی موجود در اداره تشخیص هویت صورت گرفته است. مثلاً، یک پیچ ساده به صورت یک زوج قلب استخراج شده که محورهای آنها با هم موازی است و دارای مختصات نسبی معینی است. بدیهی است که ویژگیهای تعریف شده در این پروژه، قابلیت طبقه‌بندی خیلی بیشتری را دارند که کارایی آنها در سیستم طراحی و ساخته شدهٔ کنترل تردد [۱۲]، بر مبنای این الگوریتم به اثبات رسیده است.

ذکر این نکته ضروری است که در روشهایی که هدف انطباق و یافتن اثر انگشت مجهول در میان تعداد زیادی اثر است، استفاده از جزییات (انتهای رگه و دوشاخ) انکارناپذیر است. این جزییات هستند که آثار انگشتان را منحصر به فرد می‌کنند. هدف از گروه‌بندی آثار، کاهش زمان و فضای جستجو برای یافتن اثر مجهول است به طوری که قبل از انطباق دقیق، گروهی محدود از آثار جهت آزمون تطابق انتخاب شوند. شکل (۶)، روند نمای سیستم شناسایی خودکار اثر انگشت را نشان می‌دهد. توجه داریم که جزییات در گروههای اصلی آثار، و شکل کلی آنها جایگاهی ندارند، بلکه به طور تصادفی و نامنظم در اثر انگشت وجود داشته و حاوی اطلاعات



شکل ۶- روند نمای الگوریتم شناسایی اثر انگشت

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]

باارزشی برای گروه‌بندی اثر نیستند و تنها در تطبیق و شناسایی آثار استفاده می‌شوند.

در ارزیابی الگوریتم پیشنهادی برای گروه‌بندی اثر انگشت باید گفت که هزینه‌ای به مراتب کمتر از سایر روشهای ارائه شده دارد. حساسیت این الگوریتم به نویز تصویربرداری از اثر انگشت در مقایسه با روشهای متداول بسیار کم است. ویژگیهای کمی جدید مانند مختصات نسبی و زوایای محورهای نقاط منفرد می‌توانند برای ارائهٔ یک سیستم مختصات جدید به کار برده شوند. در این صورت با به‌کارگیری سایر جزییات اثر انگشت (مانند انتهای رگه و دوشاخه) یک سیستم دقیق و سریعتر شناسایی خودکار اثر انگشت (AFIS) تولید می‌شود.

قدردانی

در پایان بر خود لازم می‌دانم که از ریاست محترم مرکز تحقیقات پردازش هوشمند علائم برای حمایت بی‌دریغ از این پروژه، و ادارهٔ محترم تشخیص هویت جمهوری اسلامی ایران برای فراهم ساختن نمونه‌های اثر انگشت از طبقات مختلف صمیمانه تشکر و قدردانی نمایم.

واژه نامه

1. core
2. delta
3. whorl
4. dermatoglyphics
5. arch
6. loop
7. composite
8. accidental
9. singular point

مراجع

۱. کمالی، م. ش. و فرهود، د.، *خطوط پوستی*، مؤسسه فرهنگی رسا، ۱۳۶۶.

2. Bridges, B.C., *Practical Fingerprinting,* Furank & Wagnalls Co., 1942.
3. Moayer, B., and Fu, K.S., "A Tree System Approach for Fingerprint Pattern Recognition," *IEEE Trans.* PAMI, Vol. 8, No. 3, pp. 376-387, May 1986.
4. Candella, G.t., and Chellappa, R., "Comparative Performance of Classification Methods for Fingerprints," National Institute of Standards and Technology, April 1993.
5. Miller, B., "Biometrics: Vital Signs of Identity," *IEEE Spectrum,* pp. 22-30, Feb. 1994.
6. Ghassemian, M.H., "A Robust on Line Restoration Algorithm for Fingerprint Segmentation," *Proc. of IEEE Int. Conf. on Image Processing,* Vol. 2, pp. 181-184, Sept. 1996.
7. Tou, J.T., and Hankley, W., *Automatic Fingerprint Identification and Classification,* Pictorial Pattern Recognition, Tompson Book Company, 1963.
8. Aushermann, D.A., and Fairchild, R.C., "A Proposed Method for the Analysis of Dermatogliphic Patterns," *Proc. Soc., Photo Instrument Engr.,* No. 40, 1973.
9. Rao, C.K., and Balck, K., "Finding Core Point in an Fingerprint," *IEEE Trans. On Computer,* Vol. C-27, No. 1, Jan. 1978.
10. Sherlock, B.G., et al, "Fingerprint Enhancement by Directional Fourier Filtering," *IEE Proc.* Vis. *Image Signal Process.,* Vol. 141, No. 2, April 1994.
11. Srinivasan, V.S., and Murthy, N.N., "Detection of Singular Points in Fingerprint Images," *Pattern Recognition*, Vol. 25, No. 2, pp. 139-153, 1992.

۱۲. قاسمیان، ح. "ساخت اسکنر زنده بدون جوهر و سیستم شناسایی خودکار اثر انگشت،" گزارشات فنی طرح تحقیقاتی، مرکز تحقیقات هوشمند علائم، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵-۱۳۷۰.

[Downloaded from iutjournals.iut.ac.ir on 2024-05-16]

[DOR: 20.1001.1.22287698.1378.18.1.2.3]