دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق -الکترونیک

تشخیص اثر انگشت به روش جدیدی مبتنی بر قطاع بندی

دانشجو :

مهدی پرهیزکاری

استاد راهنما :

دکتر حسین خسروی

استاد مشاور :

دکتر علیرضا احمدی‌فرد

تابستان 1391

بسم الله الرحمن الرحيم

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده :

گروه :

پایان نامه کارشناسی ارشد آقای/ خانم ....

تحت عنوان: تشخیص اثر انگشت به روش جدیدی مبتنی بر قطاع بندی

در تاریخ .... توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد مـورد ارزیـابی و بـا درجه .... مورد پذیرش قرار گرفت.

اساتید راهنما	امضاء	اساتید مشاور	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	

اساتید داور	امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء
نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی :	
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			
نام و نام خانوادگی :			

دانشگاه صنعتی شاهرود
دانشکده مهندسی برق و رباتیک

پایان‌نامه دوره کارشناسی ارشد مهندسی برق -الکترونیک

تشخیص اثر انگشت به روش جدیدی مبتنی بر قطاع بندی

دانشجو :

مهدی پرهیزکاری

استاد راهنما :

دکتر حسین خسروی

استاد مشاور :

دکتر علیرضا احمدی‌فرد

تابستان 1391

تقدیم به

خانواده عزیزم

تشکر و قدردانی

سپاس فراوان ایزد یکتا را که مهربانیش، یادش و همراهی پیوسته اش، همواره انگیزه من برای حرکت به سمت هدف بوده است.

- ارج می‌نهم زحمات بی دریغ استاد راهنمای بزرگوارم، دکترحسین خسروی را که بدون راهنمایی های دلسوزانه و پیشنهادهای موثری که در طول تحقیق به بنده ارائه دادند این اثر به انجام نمی‌رسید.
- همچنین از استاد مشاور گرانقدر خود دکتر علیرضا احمدی فرد نیز کمال تشکر و قدردانی را دارم.

از تمامی اساتید گروه الکترونیک دانشگاه صنعتی شاهرود سپاسگزاری و تشکر نموده و برای همه این بزرگواران آرزوی موفقیت و سلامتی دارم.

تعهد نامه

اینجانب **مهدی پرهیزکاری** دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته **مهندسی برق الکترونیک گرایش دیجیتال** دانشکده برق و رباتیک دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان‌نامه **تشخیص اثر انگشت به روش جدیدی مبتنی بر قطاع بندی** تحت راهنمائی **دکتر حسین خسروی** متعهد می شوم .

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است .
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است .
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است .
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید .
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه ، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است .
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری ، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است .

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج ، کتاب ، برنامه های رایانه ای ، نرم افزار ها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می باشد . این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود .

استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی باشد.

چکیده

اثرانگشت یکـی از مهمترین شاخص‌های فیزیولوژیکی است کـه برای تعیـین هویـت افـراد اسـتفاده می‌شـود. روش های مختلفی برای شناسایی اثر انگشت ارائه شده است. در ایـن پایـان نامـه پـس از بررسـی روش های مختلف ارائه شده در زمینه تشخیص اثر انگشت و نتـایج بدسـت آمـده بـرای آن هـا، روش هـای جدیدی معرفی شدند. در روش اول از فیلتر گابور و قطاع بندی جدیدی برای تشخیص اثر انگشـت اسـتفاده شد به این ترتیب که در تصویر ورودی پس زمینه حذف شد و کیفیت تصویر بهبود داده شد سپس درتصـویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت پیدا شد. ناحیه ای حول مرکز اثر انگشت جدا شـد و ایـن ناحیـه توسـط فیلتـر گابور در 8 جهت فیلتر شد و 8 تصویر بدست آمد که همه تصاویر نرمالیزه شدند. در تصاویر نرمالیزه شـده از قطاع بندی جدیدی استفاده شد که میانگین و واریانس در هر قطاع به عنوان ویژگی استخراج شد. این روش بدلیل استفاده از فیلتر گابور به مدت زمان زیادی برای استخراج ویژگی و شناسایی نیاز داشت. در روش دوم از الگوریتم سوبل- رابرتز برای استخراج ویژگی استفاده شد که نسبت به روش اول زمان بسیار کمتـری نیـاز داشت بدین ترتیب که در تصویر ورودی پـس زمینـه حـذف شـد و کیفیـت تصـویر بهبـود داده شـد سـپس درتصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت پیدا شد و تصویر بهبود یافته را حول مرکز اثر انگشت 5 بار با گام های 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. ایـن نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و در تصاویر نرمالیزه شده با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتـز بردارهـای ویژگی بدست آمد. در روش سوم برای کاهش بیشتر زمان نسـبت بـه روش دوم بجـای اسـتفاده از الگـوریتم سوبل- رابرتز روی تصویر بهبود یافته، ابتدا با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی روی تصـویر بهبـود یافته تصویر تقریب بدست آمد سپس از الگوریتم سوبل- رابرتز روی تصویر تقریب استفاده شد. در سـه روش قبلی تعداد ویژگی های غیر مطلوب و قابـل حـذف کـردن زیـادی وجـود داشـت بنـابراین در گـام بعـدی از الگوریتم BPSO برای کاهش ویژگی استفاده شد که این الگوریتم روی روش دوم که دارای بهتـرین کـارآیی بود، اعمال شد. برای شناسایی در هر کدام از روش هـا از دو روش فاصـله اقلیدسـی و شـبکه ماشـین بـردار پشتیبان استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که در بـین سیسـتم هـای پیشـنهادی سیسـتم دوم دارای بهترین کارآیی، سیستم سوم دارای کمترین زمان شناسـایی و سیسـتم چهارم دارای کمتـرین تعـداد ویژگی همراه با درصد شناسایی مطلوب می باشد. برای این پایان نامه از مجموعه داده FVC2004 استفاده شده است.

کلمات کلیدی - شناسایی اثر انگشت، جداسازی پس زمینه، بهبود کیفیت، پیدا کردن مرکـز اثـر انگشـت، فیلتر گابور، نرمالسازی، ویژگی های سوبل–رابرتز، الگوریتم بهینه سازی توده ذرات، تبدیل موجک گسسـته، نمودار خطای سیستم، شبکه ماشین بردار پشتیبان

فهرست مطالب

1 فصل اول : مقدمه 1

1.1 مقدمه 1

2.1 بیومتریک 2

3.1 اصول علم انگشت نگاری 4

4.1 نحوه اخذ تصویر اثر انگشت 5

1.4.1 سنسور نوری 5

2.4.1 سنسور خازنی 6

3.4.1 سنسور حساس به گرما 6

4.4.1 سنسور حساس به فشار 7

5.4.1 سنسور امواج مافوق صوت 7

5.1 تاریخچه انگشت نگاری 7

1.5.1 تاریخچه انگشت نگاری غیر علمی 8

2.5.1 تاریخچه انگشت نگاری علمی 8

6.1 مروری بر کارهای گذشته 11

7.1 دلیل اهمیت علم انگشت نگاری 12

8.1 بیان مسئله و فصل بندی 13

2 فصل دوم : روش های بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت 15

1.2 مقدمه 15

2.2 پیش پردازش 16

1.2.2 جداسازی تصویر اثر انگشت 17

2.2.2 نرمالسازی تصویر اثر انگشت 18

3.2.2 تصویر جهتی 19
3.2 روش های بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت 21
1.3.2 نمودار هیستوگرام 21
2.3.2 تبدیل FFT 23
3.3.2 فیلتر گابور 24
4.3.2 مقایسه روش های بهبود کیفیت تصویر 25
4.2 بهبود اثر انگشت با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه 27
1.4.2 تبدیل فوریه زمان کوتاه 28
2.4.2 تصویر جهتی 29
3.4.2 تصویر فرکانس رگه ها 29
4.4.2 نواحی ماسک گذاری 30
5.4.2 تصویر یکپارچه 30
5.2 بهبود اثر انگشت با استفاده از پیش پردازش و فیلتر گابور 31
1.5.2 تصویر فرکانس رگه ها 32
2.5.2 نواحی ماسک گذاری 33
3 فصل سوم : روش های پیدا کردن مرکز اثر انگشت 35
1.3 مقدمه 35
2.3 روش های پیدا کردن مرکز اثر انگشت 36
1.2.3 الگوریتم GR 37
2.2.3 الگوریتم DC 38
3.2.3 ترکیب الگوریتم GR و DC 38
4.2.3 الگوریتم PC 42
5.2.3 الگوریتم SVRB 44
6.2.3 الگوریتم OFMF 47

1.6.2.3 میزان وابستگی گرادیانی 47
2.6.2.3 معیار پوآنکاره 48
3.6.2.3 میزان وابستگی زاویه ای 49
4.6.2.3 ماسک جهتی 49
5.6.2.3 الگوریتم 50
7.2.3 ترکیب فیلتر مختلط و تصویر جهتی 53
4 فصل چهارم : روش های تشخیص اثر انگشت 56
1.4 مقدمه 56
2.4 روش های شناسایی اثر انگشت 57
1.2.4 تشخیص بر اساس ویژگی های بافتی یا مینوتیا 57
1.1.2.4 مرحله اول 59
1.1.1.2.4 بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت 59
2.1.1.2.4 جداسازی پس زمینه 60
3.1.1.2.4 باینری کردن تصویر 61
4.1.1.2.4 نازک سازی تصویر 62
2.1.2.4 مرحله دوم 63
1.2.1.2.4 پیدا کردن مینوتیا ی انتهایی و دوشاخه ای 63
1.1.2.1.2.4 مجموع مقدار پیکسل های بلوک 63
2.1.2.1.2.4 استفاده از شبکه های عصبی 63
2.2.1.2.4 حذف مینوتیاهای غلط 66
3.1.2.4 استخراج ویژگی 67
4.1.2.4 تطبیق دادن 67
2.2.4 تشخیص بر اساس فیلترگابور و تبدیل FLDوRFLD 69
1.2.2.4 استخراج ویژگی 71

2.2.2.4 کاهش ویژگی 71
3.2.4 تشخیص به کمک روش قطاع بندی 75
1.3.2.4 جداسازی پس زمینه و پیدا کردن مرکز اثر انگشت 76
2.3.2.4 قطاع بندی 77
3.3.2.4 نرمالسازی تصویر 78
4.3.2.4 استخراج ویژگی 78
5.3.2.4 تطبیق دادن 79
5 فصل پنجم : روش های پیشنهادی 80
1.5 مقدمه 80
2.5 شناسایی اثر انگشت مبتنی بر روش جدید قطاع بندی 81
1.2.5 جداسازی پس زمینه 83
2.2.5 بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت 84
3.2.5 پیدا کردن مرکز اثر انگشت 86
4.2.5 نرمالیزه کردن 86
5.2.5 فیلتر گابور 87
6.2.5 استخراج ویژگی 88
3.5 شناسایی اثر انگشت بر اساس ویژگی های سوبل – رابرتز 88
1.3.5 چرخش حول مرکز اثر انگشت و برش زدن 90
2.3.5 نرمالیزه کردن 91
3.3.5 ویژگی های سوبل – رابرتز 91
4.5 شناسایی اثر انگشت براساس تبدیل موجک و ویژگی های سوبل - رابرتز 93
1.4.5 تبدیل موجک گسسته دو بعدی 95
5.5 شناسایی اثر انگشت بوسیله ویژگی های سوبل - رابرتز و BPSO 97
1.5.5 بهینه سازی توده ذرات 98

1.1.5.5 الگوریتم PSO ... 99
2.1.5.5 الگوریتم BPSO ... 100
3.1.5.5 انتخاب ویژگی ... 100
6 فصل ششم : نتایج آزمایش های انجام شده ... 102
1.6 مقدمه ... 102
2.6 مجموعه داده مورد استفاده ... 103
3.6 نتایج سیستم پیشنهادی اول ... 104
1.3.6 رسم نمودار خطای سیستم ... 105
2.3.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان ... 108
4.6 نتایج سیستم پیشنهادی دوم ... 109
1.4.6 رسم نمودار خطای سیستم ... 109
2.4.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان ... 113
5.6 نتایج سیستم پیشنهادی سوم ... 114
1.5.6 رسم نمودار خطای سیستم ... 114
2.5.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان ... 118
6.6 نتایج سیستم پیشنهادی چهارم ... 118
1.6.6 رسم نمودار خطای سیستم ... 119
2.6.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان ... 123
7.6 نتیجه گیری ... 123
8.6 پیشنهادات برای کارهای آینده ... 124
پیوست الف ... 125
الف.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان ... 125
الف.1.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان برای سیستمهای خطی جداپذیر ... 126
الف.2.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان برای سیستمهای خطی جداناپذیر ... 130

الف.3.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان غیرخطی 131
الف.4.1 ماشین بردار پشتیبان چند کلاسه 133
الف.2 نقاط قوت و ضعف شبکه ماشین بردار پشتیبان 133
مراجع 134
چکیده انگلیسی 137

فهرست اشکال

شکل 2-1) مینوتیاهای دو شاخه ای و انتهایی [3] 15

شکل 2-2) نحوه مشخص کردن مکان و زاویه مینوتیا [3]........ 16

شکل 2-3) جداسازی پس زمینه از پیش زمینه [4] 17

شکل 2-4) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر نرمالیزه شده [4] 19

شکل 2-5) (الف) تصویر اثرانگشت (ب) میدان جهتی بدون هموار سازی (ج) میدان جهتی هموار شده [5]........ 21

شکل 2-6) تصویر اثر انگشت و نمودار هیستوگرام آن [3] 22

شکل 2-7) تصویریکنواخت شده با نمودار هیستوگرام آن [3]........ 22

شکل 2-8) افزایش کیفیت با فیلتر FFT [3] 24

شکل 2-9) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر بهبود یافته با فیلتر گابور [3] 25

شکل 2-10) پیدا کردن نقاط مینوتیا با استفاده از روش هیستوگرام [3]........ 25

شکل 2-11) پیدا کردن نقاط مینوتیا با استفاده از فیلتر FFT [3]........ 26

شکل 2-12) پیدا کردن نقاط مینوتیا با استفاده از فیلتر گابور [3] 26

شکل 2-13) الگوریتم روش بهبود اثر انگشت با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه [14]........ 28

شکل 2-14) پنجره کسینوسی دو بعدی استفاده شده در تبدیل فوریه زمان کوتاه 28

شکل 2-15) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر جهتی رگه ها [14] 29

شکل 2-16) (الف) تصویر انرژی (ب) تصویر فرکانس رگه ها [14] 30

شکل 2-17) تصویر بهبود یافته با استفاده از تصویر شکل 15-الف [14] 31

شکل 2-18) فلوچارت روش بهبود اثر انگشت با استفاده از پیش پردازش و فیلتر گابور 31

شکل 2-19) پنجره ای روی تصویر جهتی همراه با بردار X [13] 32

شکل 2-20) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) تصویر بهبود یافته [13]........ 34

شکل 3-1) (1) نقطه قلب (2) نقطه دلتا (3) مینوتیای دو شاخه (4) مینوتیای انتهایی........ 35

شکل 3-2) ناحیه بندی تصویر نگاشت شده [15] 37

شکل 3-3) قطعه کدی برای هموارسازی میدان جهتی [5] 39

شکل 3-4) (الف) نحوه جدا سازی ناحیه مرکز توسط الگوریتم DC (ب) مرکز پیدا شده توسط الگوریتم DC (ج) مرکز پیدا شده توسط الگوریتم GR [5] 40

شکل 3-5) تصویر (الف) اثر انگشت چرب تصویر (ب) اثر انگشت بسیار چرب تصویر (ج) اثر انگشت خشک تصویر (د) اثر انگشت چین دار تصویر (ه) اثر انگشت عادی با آرک تصویر (و) اثر انگشت دو مرکزی [5]........ 41
شکل 3-6) نواحی مشخص شده برای مرکز اثر انگشت با استفاده از الگوریتم PC با آستانه های مختلف [18]........ 43
شکل 3-7) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر باینری [4]........ 44
شکل 3-8) قطعه کدی برای هموارسازی میدان جهتی [4]........ 45
شکل 3-9) مقایسه پیدا کردن مرکز با الگوریتم SVRB و سایر الگوریتم ها [4]........ 46
شکل 3-10) پیدا کردن مرکز اثر انگشت در تصویر انگشت های زبر [4]........ 46
شکل 3-11) تصویر تعدادی از اثر انگشت های بی کیفیت [4]........ 47
شکل 3-12) (الف) اثر انگشت (ب) معیار میزان وابستگی روی اثر انگشت (ج) میزان وابستگی هموار شده [19]........ 48
شکل 3-13) تصویر اثرانگشت و تصویر اعمال معیار پوآنکاره [19]........ 49
شکل 3-14) تصویر اثر انگشت و تصویر اعمال میزان وابستگی زاویه ای [19]........ 49
شکل 3-15) تصویر اثر انگشت با میدان جهتی و تصویر جهت میدان در اطراف مرکز اثر انگشت [19]........ 50
شکل 3-16) ماتریس ماسک جهتی برای جستجو مرکز اثر انگشت [21]........ 50
شکل 3-17) تصویر اثر انگشت و تصویر ناحیه پیدا شده به عنوان مرکز اثر انگشت با اعمال ماسک جهتی [19]........ 51
شکل 3-18) ستون سمت چپ تصویر اثر انگشت و ستون وسط ناحیه پیدا شده برای مرکز اثر انگشت با ماسک جهتی و ستون سمت راست ناحیه پیدا شده برای مرکز اثر انگشت با روش پوآنکاره [21]........ 51
شکل 3-19) تصویر ناحیه جدا شده به عنوان ناحیه مرکز اثر انگشت [19]........ 52
شکل 3-20) تصویر اعمال معیار پوآنکاره روی ناحیه مرکز اثر انگشت [19]........ 52
شکل 3-21) تصویر اعمال معیار میزان وابستگی روی ناحیه مرکز اثر انگشت [19]........ 52
شکل 3-22) تصویر اثر انگشت برای اعمال فیلتر مختلط [22]........ 53
شکل 3-23) تصویر جهتی با اعمال فیلتر پایین گذر گوسی [22]........ 54
شکل 3-24) تصویر حاصل از اعمال فیلتر مختلط به تصویر جهتی [22]........ 54
شکل 3-25) ماسک اول برای اعمال تصویر فیلتر مختلط [22]........ 54
شکل 3-26) ماسک دوم برای اعمال به فیلتر مختلط [22]........ 55
شکل 3-27) ماسک سوم حاصل از ترکیب دو ماسک اول و دوم برای اعمال به فیلتر مختلط [22]........ 55

شکل 4-1) نقاط پیدا شده بعنوان مینوتیای انتهایی و مینوتیای دو شاخه ای و مرکز اثر انگشت روی تصویر اثر انگشت [15] 57

شکل 4-2) نمایش نقاط مرکز اثر انگشت و دلتا روی تصویر اثر انگشت [4] 58

شکل 4-3) مرحله نازک سازی رگه ها در تصویر اثر انگشت 58

شکل 4-4) مرحله پیدا کردن مینوتیای انتهایی و مینوتیای دوشاخه روی تصویر نازک سازی شده 59

شکل 4-5) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر بهبود یافته [25] 60

شکل 4-6) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) ماتریس واریانس (ج) ماتریس جداساز پس زمینه 61

شکل 4-7) (الف) تصویر بهبود یافته (ب) تصویر باینری حاصل از تصویر بهبود یافته [25] 61

شکل 4-8) تصویر نحوه مشخص کردن همسایه های یک پیکسل [26] 62

شکل 4-9) (الف)تصویر اثر انگشت (ب) تصویر نازک سازی شده [25] 62

شکل 4-10) (الف) بلوک 3×3 برای مینوتیای دوشاخه ای (ب) بلوک 3×3 برای مینوتیای انتهایی [25] 64

شکل 4-11) تمام بلوک های مطلوب و نامطلوب با ابعاد 3×3 برای مینوتیای دوشاخه ای [27] 64

شکل 4-12) (الف) تصویر نازک سازی شده (ب) تصویر نازک سازی شده همراه با مینوتیاهای دوشاخه به رنگ سبز [25] 65

شکل 4-13) (الف) تصویر نازک سازی شده (ب) تصویر نازک سازی شده همراه با مینوتیاهای انتهایی به رنگ قرمز [25] 65

شکل 4-14) تصویر اثر انگشت با تعدادی از مینوتیاهای غلط [28] 66

شکل 4-15) تصویر نازک سازی شده اثر انگشت (الف) با کل مینوتیا ها (ب) با حذف مینوتیاهای غلط [25] 66

شکل 4-16) نحوه مشخص کردن جهت و محور مختصات (الف) مینوتیای انتهایی (ب) مینوتیای دوشاخه [28] 67

شکل 4-17) (الف) تصویر اثر انگشت تست (ب) تصویر اثر انگشت الگو [28] 68

شکل 4-18) تصویر اثر انگشت تست هم تراز شده با تصویر اثر انگشت الگو [28] 69

شکل 4-19) سیستم تشخیص اثر انگشت بر اساس فیلترگابور و تبدیل FLD و RFLD 70

شکل 4-20) تصویر ی خوب از یک نمونه دو کلاسی روی یک بردار برای کاهش ویژگی 71

شکل 4-21) تصویر ی نامناسب از یک نمونه دو کلاسی روی یک بردار برای کاهش ویژگی 72

شکل 4-22) تصویر یک نمونه دو کلاسی روی یک بردار برای کاهش ویژگی با نمایش میانگین و واریانس داده ها 72

شکل 4-23) نمای کلی یک سیستم تشخیص اثر انگشت با استفاده از روش قطاع بندی 75

شکل 4-24) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) ماتریس جداساز پس زمینه 76
شکل 4-25) ماتریس جداساز پس زمینه با اعمال دستورات imclose و imerode 77
شکل 4-26) مرکز اثر انگشت پیدا شده به رنگ سبز 77
شکل 4-27) نوع قطاع بندی حول مرکز اثر انگشت.. 77
شکل 4-28) (الف) ناحیه جدا شده حول مرکز اثر انگشت (ب) تصویر نرمالیزه شده ناحیه برش خورده.... 78

شکل 5-1) نحوه قطاع بندی در روش آقای jain و همکارانش.. 81
شکل 5-2) نحوه قطاع بندی در روش آقای دادگستر و همکارانش 81
شکل 5-3) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت 82
شکل 5-4) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) ماتریس واریانس.. 83
شکل 5-5) ماتریس جداساز پس زمینه 84
شکل 5-6) فلوچارت مراحل انجام شده برای بهبود تصویر اثر انگشت.. 84
شکل 5-7) (الف) تصویر جهتی (ب) تصویر هموار شده میدان جهتی 85
شکل 5-8) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) تصویر با کیفیت (ج) تصویر بهبود یافته با جداسازس پس زمینه 85
شکل 5-9) (الف) تصویر جهتی (ب) مرکز اثر انگشت پیدا شده به رنگ سبز 86
شکل 5-10) (الف) ناحیه قطاع بندی (ب) ناحیه جدا شده حول مرکز اثر انگشت (ج) تصویر نرمالیزه ناحیه جدا شده 87
شکل 5-11) فیلتر های گابور و تصاویر بدست آمده (الف) 0 درجه (ب) 22.5 درجه (ج) 45 درجه (د) 67.5 درجه 88
شکل 5-12) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت بر اساس ویژگی های سوبل – رابرتز............... 89
شکل 5-13) چرخش تصویر بهبود یافته حول مرکز اثر انگشت (الف) 45- درجه (ب) 22.5- درجه (ج) 0 درجه (د) 22.5 درجه (ه) 45 درجه... 90
شکل 5-14) نواحی جدا شده روی شکل 5-13 حول مرکز اثر انگشت برای w برابر 108 (الف) 45- درجه (ب) 22.5- درجه (ج) 0 درجه (د) 22.5 درجه (ه) 45 درجه 91
شکل 5-15) تصاویر نرمالیزه شده شکل 5-14 (الف) 45- درجه (ب) 22.5- درجه (ج) 0 درجه (د) 22.5 درجه (ه) 45 درجه 91
شکل 5-16) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت براساس تبدیل موجک و ویژگی های سوبل - رابرتز 94

شکل 5-17) بلوک دیاگرام تبدیل موجک یک بعدی برای یک مرحله.. 95
شکل 5-18) بلوک دیاگرام تبدیل موجک دو بعدی برای یک مرحله... 95
شکل 5-19) ساختار هرمی تبدیل موجک برای 2 مرحله 96
شکل 5-20) (الف) تصویر ناحیه جدا شده و نرمالیزه شده (ب) نمونه ای از تبدیل موجک دو بعدی روی ناحیه نرمالیزه شده.. 96
شکل 5-21) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت بوسیله ویژگی های سوبل - رابرتز و بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی.. 97
شکل 5-22) فلوچارت بدست آوردن الگوی انتخاب 101

شکل 6-1) نمودار FMR و نمودار FNMR بر حسب آستانه از صفر تا یک [11]................................ 103
شکل 6-2) نمونه ای از تصاویر پایگاه داده FVC2004 104
شکل 6-3) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش اول............................ 105
شکل 6-4) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش اول............................ 106
شکل 6-5) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش اول............................ 106
شکل 6-6) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش اول............................ 107
شکل 6-7) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش دوم 110
شکل 6-8) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش دوم 110
شکل 6-9) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش دوم 111
شکل 6-10) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش دوم 111
شکل 6-11) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش سوم 114
شکل 6-12) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش سوم 115
شکل 6-13) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش سوم 115
شکل 6-14) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش سوم 116
شکل 6-15) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش چهارم 119
شکل 6-16) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش چهارم 119
شکل 6-17) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش چهارم 120
شکل 6-18) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش چهارم..................... 120

شکل الف-1) صفحه جداساز بهینه با حداکثر مقدار حاشیه... 125

شکل الف-2) خطوط جداساز مختلف برای مقادیر مختلف w و b..127
شکل الف-3) صفحه جداساز و حاشیه ها 127
شکل الف-4) صفحه جداساز بهینه 129
شکل الف-5) سیستمهای خطی جداناپذیر 130
شکل الف-6) نحوه جداسازی داده ها در حالت غیر خطی 131

فهرست جداول

جدول 2-1) مقایسه سه روش معرفی شده در پیدا کردن مینوتیای انتهایی [3].. 26

جدول 2-2) مقایسه سه روش معرفی شده در پیدا کردن مینوتیای دو شاخه ای [3]................................ 27

جدول 3-1) مقادیر معیارهای ACP و FCP برای نمونه داده [5].. 40

جدول 3-2) تعداد نمونه های خراب و انواع آنها در نمونه داده کلی [5]... 40

جدول 5-1) تعداد ویژگی ها برای چرخش های مختلف... 93

جدول 5-2) (الف) و (ب) عملگر های سوبل.. 93

جدول 5-3) (الف) و (ب) عملگرهای رابرتز 93

جدول 6-1) اطلاعات مربوط به تکنولوژی سنسورهای استفاده شده برای پایگاه داده FVC2004........ 104

جدول 6-2) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم اول........................... 107

جدول 6-3) میانگین نتایج جدول 6-2 برای 4 مجموعه داده برای سیستم اول 107

جدول 6-4) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده اول 108

جدول 6-5) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش اول 109

جدول 6-6) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم دوم 112

جدول 6-7) میانگین نتایج جدول 6-6 برای 4 مجموعه داده برای سیستم دوم...................................... 112

جدول 6-8) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده دوم.. 112

جدول 6-9) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش دوم 113

جدول 6-10) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم سوم 116

جدول 6-11) میانگین نتایج جدول 6-10 برای 4 مجموعه داده برای سیستم سوم 116

جدول 6-12) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده سوم.. 117

جدول 6-13) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش سوم............................ 118

جدول 6-14) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم چهارم 121

جدول 6-15) میانگین نتایج جدول 6-14 برای 4 مجموعه داده برای سیستم چهارم.............................. 121

جدول 6-16) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده چهارم 121

جدول 6-17) تعداد ویژگی های جدید برای 4 مجموعه داده با استفاده BPSO 122

جدول 6-18) مقادیر انتخاب شده برای الگوریتم BPSO... 122

جدول 6-19) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش چهارم 123

جدول الف-1) چند نوع تابع کرنل 132

1 فصل اول

مقدمه

1.1 مقدمه

اثر انگشت [1] الگویی از برآمدگی ها و شیار ها روی سطح نوک انگشت می باشد. با رشد سریع تکنولوژی شاهد آن هستیم که ارتباط بین افراد بیش از پیش الکترونیکی می شود بنابراین نیاز داریم تا هویت افراد را بطور دقیق و خودکار تعیین کنیم. شناسایی اثر انگشت یکی از تکنیک های مهم بیومتریک[2] می باشد که در حال حاضر کاربردهای گسترده ای دارد.

روش های شناسایی اثر انگشت [3] یکی از مورد توجه ترین روش های تشخیص الگو برای تعیین هویت افراد هستند. تکنیک های شناسایی اثر انگشت اطمینان و ثبات در تشخیص هویت را تضمین می کنند و بدین ترتیب در کاربردهای مختلف مورد استفاده قرار می گیرد. از جمله از اثر انگشت در وسایلی مانند لپ تاپ، صفحه کلید، اتومبیل، قفل گاو صندوق، درب ها و کارت های اعتباری استفاده می شود. در گذشته سیستم های بیومتریکی مبتنی بر اثر انگشت برای مسائل پلیسی و جنایی مورد استفاده قرار می گرفت اما امروزه این سیستم ها برای موارد کنترلی و امنیتی سازمان ها و ادارات نیز استفاده می شود. در روش های سنتی اطلاعاتی که فرد در اختیار داشت بیانگر هویت او بود. از جمله این اطلاعات می توان به کلمه رمز و یا یک شماره شناسایی اشاره کرد که این روش های سنتی دارای مزایا و معایبی هستند .

---

[1] Fingerprint
[2] biometric
[3] Fingerprint Recognition

مزایای این روش عبارتست از سادگی و کم هزینه بودن آن به طوری که سیستمی که بخواهد چنین شاخص هایی را مورد شناسایی قرار دهد چندان پیچیده نخواهد بود و با هزینه اندکی نیز قابل پیاده سازی است. معایب این روش عبارتست از این که شاخص ها قابل سرقت هستند و یا ممکن است فراموش شوند. در واقع در روش های سنتی سیستم قادر نیست تا بین فرد واقعی و فرد نفوذ کننده تمایز قائل شود و هر کسی که دانش مورد نظر را در اختیار داشته باشد با جعل کردن اسناد و مدارک شخص دیگر، خود را بجای فرد واقعی معرفی می کند. از این رو سیستم های سنتی از امنیت کافی برای جامعه الکترونیکی امروزی ما برخوردار نیستند.

امروزه تعیین هویت قطعی افراد در مبادله اطلاعات یک عنصر حیاتی در ایمنی داده ها است. بنابراین روش های مختلفی برای تعیین هویت افراد وجود دارد. یکی از پایه های خودکار سازی تعیین هویت افراد، شناسایی انسان ها بر اساس ویژگی های بیومتریک آنها مانند چهره ، الگو های گفتاری و اثر انگشت است. تعیین هویت افراد با استفاده از اثر انگشت نسبت به سایر روش های بیومتریک بطور گسترده ای مورد توجه است. بزرگترین دلیل استفاده گسترده و عمومی از اثر انگشت بعنوان ابزار تعیین هویت این است که اثر انگشت افراد، منحصر به فرد است و در طول عمر فرد تغییر نمی کند. از طرف دیگر مشکلات عملی زیادی در سیستم های شناسایی اثر انگشت وجود دارد. هر دفعه که یک اثرانگشت گرفته می شود ممکن است بخاطر قابلیت کشسانی پوست، تحریفاتی در شکل و محل اثر انگشت ایجاد شود. علاوه بر این اطمینان بالا و پردازش بلادرنگ، فاکتورهای مهم مورد نیاز در سیستم خودکار شناسایی اثر انگشت هستند [1].

2.1 بیومتریک

امروزه با پیشرفت سیستم‌های امنیتی، نیاز به روش‌های دقیق تشخیص هویت از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. به طور کلی شناسایی و تشخیص هویت افراد بر اساس مشخصه‌های فیزیولوژیکی و رفتاری، بیومتریک می‌نامند. روش های بیومتریک از اثر انگشت ها، الگوهای رفتاری , خصوصیات چهره ای، اسکن شبکیه چشم و دستخط بعنوان خصیصه های قابل شناخت انسان استفاده می کنند. این ویژگی ها یا در وجود فرد مستتر است و یا رفتاری است که او از خود بروز می دهد. بنابراین به صورت ذاتی نسبت به روش های سنتی قابل اعتماد تر بوده است و از امنیت بیشتری برخوردار است. به همین نسبت نیز سیستم هایی که قادر به تشخیص شاخص های بیومتریکی هستند از پیچیدگی بیشتری برخوردارند. نکته قابل توجه اینست که سیستم های بیومتریک نیز قابل نفوذ هستند و در پاره ای موارد امکان تهیه یک کپی و یا تقلید از ویژگی مورد نظر وجود دارد. در چنین مواردی سیستم بیومتریک ممکن است دچار اشتباه گردد. با این حال سیستم های بیومتریک به مراتب نسبت به سیستم های سنتی قابل

اعتماد تر می باشند. یک سیستم بیومتریک در واقع یک سیستم شناسایی الگو است که هویت فرد را با تجزیه و تحلیل ویژگی های استخراج شده از خصیصه بیومتریکی تعیین می کند. یک سیستم بیومتریک از لحاظ منطقی به دو بخش تقسیم می شود :

1- بخش نام نویسی :

در بخش نام نویسی جمع آوری خصیصه های بیومتریکی افراد و ذخیره آن ها در سیستم انجام می شود. در طی این فاز ویژگی مورد نظر توسط بخش بیومتریک خوان خوانده شده و سپس توسط بخشی با نام استخراج کننده ویژگی، ویژگی های موجود در قالب الگوهایی جدا می شود و در بانک داده سیستم قرار می گیرد.

2- بخش شناسایی :

بخش شناسایی، تشخیص و تعیین هویت افراد در هنگام ورود و یا دستیابی به سیستم است. طی این فاز بخش بیومتریک خوان خصیصه بیومتریکی را خوانده و ویژگی های آن را استخراج می کند سپس این ویژگی ها را با الگو های موجود در بانک داده سیستم مقایسه می کند و در نهایت مجوز ورود یا عدم ورود به سیستم را صادر می کند.

در روش های سنتی دانشی که به سیستم ارائه می شود بطور دقیق هویت فرد را مشخص می کند. تفاوت اصلی بین یک سیستم بیومتریک و یک سیستم سنتی تشخیص هویت در پاسخی است که هر یک از این دو به خصیصه ارائه شده می دهند. برخلاف سیستم های سنتی یک سیستم بیومتریک جواب مطلق آری یا نه مبنی بر رد یا پذیرش نمی دهند. به عنوان مثال در یک سیستم سنتی یا عین کلمه رمز ارائه شده در سیستم موجود است و یا نیست. بنابراین حالت بینابینی وجود ندارد اما در یک سیستم بیومتریک عین خصیصه ارائه شده به سیستم را در بانک داده نداریم و آنچه ارزیابی می شود میزان شباهت خصیصه ارائه شده به سیستم با اطلاعات موجود در بانک داده است. مثلاً میزان شباهت امضای ارائه شده با امضایی که از قبل در سیستم موجود است، اندازه گیری می شود.

هدف ایده ال طراحی یک سیستم بیومتریک است که میزان تطبیق بین دو خصیصه را بطور صد در صد مشخص کند. اما در عمل دستیابی به چنین سیستمی غیر ممکن است. بنابراین همواره از یک مقدار حد آستانه برای تصمیم گیری در مورد یا پذیرش خصیصه مورد نظر استفاده می شود. با توجه به مطالب بیان شده دو نوع خطا برای یک سیستم بیومتریک می توان تعریف کرد که به صورت زیر است :

1- رد نادرست :

به این معنا که به فرد اصلی اجازه ورود به سیستم داده نشود. این خطا زمانی رخ می دهد که سیستم شباهت کافی بین خصیصه ارائه شده و خصیصه موجود در سیستم پیدا نکند.

2- پذیرش نادرست :

به این معنا که به کاربر غیر مجاز اجازه ورود به سیستم داده شود. این خطا زمانی رخ می دهد که شباهت بین خصیصه ارائه شده توسط کاربر غیر مجاز و خصیصهه موجود در سیستم از حد آستانه بیشتر باشد [1].

3.1 اصول علم انگشت نگاری

در علم انگشت نگاری دو اصل بسیار مهم وجود دارد که عبارتند از :

1 - دو انگشت یکسان در جهان وجود ندارد :

زمانی که برای اولین بار، انگشت نگاری برای تشخیص هویت به کار رفت، بعضی وکلای دادگستری به آن ایراد گرفته و می گفتند ممکن است آثار انگشتانی پیدا کرد که یکسان باشند، ولی" گالتون "در کتاب "آثار انگشتان " از روی علوم ریاضی ثابت نمود که ممکن نیست دو اثر انگشت مساوی و یکسان پیدا کرد. با این وجود مخالفین باز هم اعتراض کردند که این محاسبات کاملا فَرضی است، زیرا هنوز به اندازه کافی آثار انگشتان مختلف مورد آزمایش واقع نگردیده اند. اما امروزه پس از دیدن و امتحان دقیق میلیون ها اثر انگشت، به جرأت می توان گفت که دو اثر انگشت یکسان در جهان وجود ندارد. شکل و تعداد خطوط برجسته سر هر یک از انگشتان یک فرد با سایر انگشتان او متفاوت است و آثار انگشت افراد مختلف نیز با یکدیگر تفاوت دارد. در مقایسه نقش خطوط برجسته سرانگشتان والدین با فرزندان، فرزندان با یکدیگر و حتی دو قلوهای همسان باهم تفاوت هایی دیده می شود. چنین به نظر می رسد که آثار انگشت نیز مثل سایر اشیاء و موارد طبیعت تابع قانون معروف " کتله " می باشد که بر طبق آن " طبیعت هیچ وقت دو چیز یکسان خلق ننموده است و هر چیزی که به دست طبیعت ساخته می شود، اختلاف غیر محدودی با اشیاء مشابه دیگر دارد ". غیر از "گالتون" یک دانشمند قاره آمریکای جنوبی نیز این طور حساب کرده که اگر فقط بیست نقطه مخصوص را در یک اثر انگشت مشخص کنیم، پیدا شدن اثر انگشتی با بیست نقطه مشخص نظیر آن فقط در قرن چهار میلیارد و ششصد هزار و سیصد و سی و هفتم امکان پذیر است. به هر حال تاکنون در جهان آثار انگشت یکسانی از دو نفر مشاهده نشده است.

2 - خطوط انگشت غیر قابل تغییر هستند :

خطوط انگشتان در ماه چهارم حاملگی مادر و حدود صد و بیستمین روز پیدایش جنین به وجود می آید. یک جنین سه ماهه انگشتان کاملاً نرمی دارد و از این تاریخ به بعد خطوط برجسته در نوک انگشتان شروع به نمو می کند و نهایتاً تمام انگشت را در برمی گیرد. بعدها طی مراحل نمو جنین در داخل رحم و پس از تولد، خطوط انگشت بزرگتر می گردند، ولی به هیچ وجه تغییری در شماره و ترتیب آن ها حاصل نمی گردد. بنابراین باید گفت خطوط برجسته سرانگشتان از زمان به وجود آمدن تا زمان از بین رفتن تغییر شکل نمی دهد و تنها فرق آثار انگشت یک نوزاد با آثار انگشت همان شخص در سنین کهولت، کوچک و

بزرگی آن ها است و از نظر تعداد و شکل و حالت خطوط و سایر ممیزات، با هم تفاوتی ندارند. به عبارت دیگر، آثار انگشت دوران کهولت یک فرد همانند عکس بزرگ شده آثار انگشت دوران طفولیت وی است [2].

4.1 نحوه اخذ تصویر اثر انگشت

در روش های قدیمی برای تهیه تصویر اثر انگشت، از جوهر استفاده می شد. به این صورت که شخص پس از آغشته کردن انگشت خود به جوهر، آن را بر روی یک کاغذ سفید فشار می داد تا تصویر اثر انگشت وی تهیه شود. اما امروزه برای این منظور از اسکنرهای اثر انگشت استفاده می شود و کیفیت بالایی را نیز نسبت به روش قبل ارائه می دهد. روش اخیر که اصطلاحا اسکن زنده نیز نامیده می شود دستیابی به تصویری با کیفیت خوب را امکان پذیر می سازند.

با وجود این که اسکن زنده تصویری با کیفیت خوب از اثر انگشت در اختیار ما قرار می دهد اما باز هم مکانیزم هایی به موازات آن برای اخذ اثر انگشت به صورت کنترل شده به کار می رود. در اخذ اثر انگشت به صورت کنترل شده میزان فشاری که فرد در هر بار اخذ به سطح دستگاه وارد می کند توسط یک حسگر فشار اندازه گیری شده و به عنوان یک پارامتر ورودی به سیستم داده می شود بدین طریق می توان باز هم کارایی سیستم را افزایش داد [1] [2].

در حال حاضر انواع گوناگونی از اسکنرهای اثر انگشت وجود دارد که تفاوت آنها در نوع سنسور آنها است. انواع این سنسور ها عبارتند از :

1- سنسور نوری
2- سنسور خازنی
3- سنسور حساس به گرما
4- سنسور حساس به فشار
5- سنسور امواج مافوق صوت

1.4.1 سنسور نوری

در این نوع سنسورها، از نور مرئی برای تهیه اثر انگشت استفاده می شود. در حقیقت این سنسورها همان سنسورهای موجود در دوربین دیجیتال که عمدتاً CCD هستند، می باشند. سطح این نوع سنسورها از تعداد زیادی المان حساس به نور تشکیل شده است که این المان ها نور برگشتی از انگشت را به جریان الکتریسیته تبدیل می کنند. طرز کار این سنسور به این صورت است که در ابتدا نوری به انگشت تابیده می شود. برآمدگی های اثر انگشت، به دلیل روشن بودن، نور بیشتری را به سنسور و فرورفتگی ها به دلیل

تاریکی، نور کمتری را به سنسور بازتاب می دهند. سپس نور برگشتی از انگشت، توسط این المان ها سنجیده می شود و هر المان، نور جذب شده را به جریان الکتریکی تبدیل می کند. در این میان هر چه نور بیشتر باشد، میزان این جریان الکتریسیته بیشتر و هر چه کمتر باشد، میزان جریان الکتریسیته کمتر است البته می تواند برعکس هم باشد و این به نوع سنسور بستگی دارد. در ادامه این جریان های الکتریسیته به واحد پردازش مرکزی می روند و در آنجا پردازش های لازم صورت می گیرد. طرز کار به این صورت است که به ازای هر مقدار جریان الکتریسیته، مقداری بین 0 تا 255 از طیف خاکستری به آن جریان اختصاص داده می شود. این کار بر روی تمام جریان های الکتریکی دریافتی از المان ها صورت می گیرد و در نهایت تصویری از اثر انگشت تهیه می شود. عیب این نوع سنسورها، در این است که اگر احیاناً انگشت زخمی شده باشد، و یا لکه ای بر روی آن باشد، این لکه ها و جای زخم نیز در تصویر ثبت می شوند و می توانند در مراحل بعدی مشکل ساز باشند.

2.4.1 سنسور خازنی

در این نوع از سنسورها، از اصول کارکرد خازن ها استفاده می شود. سطح این سنسور، از المان های خازنی تشکیل شده است که هر المان، وظیفه ثبت یک پیکسل از تصویر نهایی را دارد. اندازه این المان خازنی، از اندازه عرض برآمدگی اثر انگشت نیز کمتر است. هر کدام از این المان ها به عنوان یک خازن به کار می رود. هر المان از دو قطعه فلزی تشکیل شده است که این دو قطعه فلزی با هم، به عنوان یک خازن به کار می روند. البته در ابتدا ظرفیت این خازن ثابت است. اما هنگامی که انگشت بر روی سنسور قرار می گیرد، به دلیل اینکه سطح انگشت هم به عنوان دی الکتریک و هم به عنوان صفحه سوم به کار می رود، ظرفیت این پیکسل خازنی نیز تغییر می کند. در جاهایی که فرو رفتگی اثر انگشت است، این تغییرات به علت فاصله بین پیکسل خازنی و سطح پوست، کمتر است و در برآمدگی های اثر انگشت، به دلیل نزدیکی سطح پوست به پیکسل خازنی، این تغییرات بیشتر است. با توجه به اینکه با تغییر ظرفیت خازن، مقدار بار موجود بر روی آن نیز تغییر می کند، جریان های متفاوتی نیز از پیکسل های خازنی دریافت می شود. این جریان ها به واحد پردازش مرکزی ارسال می شوند و سپس بر اساس هر جریان، مقداری بین 0 تا 255 از طیف خاکستری اختصاص داده می شود و در نهایت تصویری از اثر انگشت پدید می آید.

3.4.1 سنسور حساس به گرما

این نوع از سنسور، مانند یک دماسنج عمل می کند و بر اساس مقدار گرمای دریافتی، جریان خروجی این سنسور نیز تغییر می کند. در این سنسور، هر المان از دو قطعه تشکیل شده است. قطعه اول مانند یک المنت عمل کرده و گرمای لازم را تولید می کند که این گرما آنقدر کم است که انگشت چیزی را

احساس نمی کند. قطعه دوم یک سنسور گرمایی است که بر اساس گرمای دریافتی از سطح پوست، جریان متفاوتی را نیز به خروجی می برد. طرز کار بدین صورت است که در ابتدا، المنت انرژی گرمایی را به سطح پوست منتقل می کند. در جاهایی که برآمدگی اثر انگشت وجود دارد، به دلیل تماس با المنت، گرمای بیشتری را نسبت به فرورفتگی اثر انگشت دریافت می کند و سنسور قاعدتاً در جاهایی که برآمدگی اثر انگشت است، مقدار بیشتری گرما را نسبت به فرورفتگی اثر انگشت دریافت کرده و جریان کمتری را نیز به خروجی می برد. این مقدار جریان، برای فرورفتگی های اثر انگشت بیشتر است .حال جریان های دریافتی از این سنسورها، به واحد پردازش مرکزی ارسال می شوند و سپس بر اساس هر جریان، مقداری بین 0 تا 255 از طیف خاکستری اختصاص داده می شود و در نهایت تصویری از اثر انگشت پدید می آید.

4.4.1 سنسور حساس به فشار

این سنسور از دولایه تشکیل شده است که این لایه ها با نزدیک شدن به هم مقدار جریان متفاوتی را به خروجی ارسال می کنند. با توجه به اینکه بر آمدگی های اثر انگشت، فشار بیشتری را نسبت به فرورفتگی ها اعمال می کنند، پس جریان خروجی در برآمدگی های اثر انگشت، از فرورفتگی ها بیشتر است. این مقدار اختلاف جریان الکتریکی بین برآمدگی ها و فرو رفتگی ها کافی است، تا بتوانیم تصویری از اثر انگشت را بدست آوریم. جریان های دریافتی از این المان ها، به واحد پردازش مرکزی ارسال می شوند و سپس بر اساس هر جریان، مقداری بین 0 تا 255 از طیف خاکستری اختصاص داده می شود و در نهایت تصویری از اثر انگشت پدید می آید.

5.4.1 سنسور امواج مافوق صوت

امواج مافوق صوت، فرکانس بالایی دارند و می توانند تا لایه ای از پوست انگشت نفوذ کنند. در این سنسور، ابتدا موجی با فرکانس بالا، به سطح انگشت ارسال می شود و سپس این سنسور، انرژی دریافتی این امواج را از سطح انگشت، اندازه گیری می کند. با توجه به اینکه مقدار انرژی دریافتی از برآمدگی های اثر انگشت، از فرورفتگی ها بیشتر است، پس جریان خروجی سنسور نیز متفاوت خواهد بود .جریان های دریافتی از سنسور به واحد پردازش مرکزی ارسال می شوند و سپس بر اساس هر جریان، مقداری بین 0 تا 255 از طیف خاکستری اختصاص داده می شود و در نهایت تصویری از اثر انگشت پدید می آید، به تصویر زیر توجه نمایید.

5.1 تاریخچه انگشت نگاری

تاریخچه انگشت نگاری در دو بخش زیر بررسی می شود :

1- تاریخچه انگشت نگاری غیر علمی

1.5.1 تاریخچه انگشت نگاری غیر علمی

تاریخ انگشت نگاری چندان روشن و کامل نیست، مع الوصف از دوران قدیم نکات قابل توجهی یافت شده است. این نکات که با وجود تاریکی، باعث شگفت دانشمندان امروز گردیده است بیشتر متعلق به خاور دور می باشد و تا آنجایی که مدارک تاریخی نشان می دهد، فقط در چند مورد در اروپا و امریکای قدیم نسبت به آثار انگشت توجه نموده اند.

بشر از گذشته های خیلی دور به خطوط برجسته ای که خداوند متعال در کف دست و پا و سرانگشتان او خلق کرده، توجه نموده و این توجه را به طرز گوناگون نشان داده است. حتی چنین به نظر می رسد که انسان ها ابتدا در خلق آثار هنری از آنها الهام گرفته اند. مشاهده نقوش حجاری شده خطوط برجسته کف دست انسان های ماقبل تاریخ بر دیوار غاری در کوه پیرنه اسپانیا یا کشف لوح سنگی مربوط به چند صد سال قبل در کنار دریاچه" کجم کوجیک "در منطقه" نواسکاتیا "واقع در کشور کانادا که اثر خطوط کف دست و نوک انگشتان روی آن حکاکی شده است و همچنین اشکال حجاری شده خطوط برجسته سرانگشتان بر دیوار سنگی قبری در جزیره" گاورانیس" در ایالت "بریتانی" فرانسه مؤید این نظر است. در مورد اخیر در سال 1839 در جزیره" گاورانیس" قبر کهنه ای کشف گردید که روی دیوارهای سنگی آن اشکال و لوح های عجیبی به شکل مار و کمان و انگشت حک شده بود. امروزه معتقدند این شکل ها، طرح های شاخص نقش ها و اشکال و برجستگی های سرانگشت بوده است.

چینی ها نوعی طبقه بندی برای آثار انگشتان مجرمین ترتیب دادند که اساس آن روی" لوپ و ورل " بود. سیستم طبقه بندی چینی در سال 1886 به وسیله" دکتر ماکارتی "در یک روزنامه چاپ و منتشر گردید و" گالتون" از این مقاله استفاده نمود و چنانکه "هیندل" مدعی است "گالتون" سیستم طبقه بندی خود را احتمالا أز چینی ها اقتباس نموده است و سیستم طبقه بندی هانری گالتون که در غالب نقاط دنیا استعمال می شد، اقتباسی از سیستم طبقه بندی چینی ها است. قدیمی ترین موردی که تاکنون درباره استفاده از اثر انگشت برای شناسایی مجرمان و کشف جرم در تاریخ ثبت شده، مربوط به قرن اول بعد از میلاد است [2].

2.5.1 تاریخچه انگشت نگاری علمی

سابقه تاریخی بررسی خطوط برجسته سرانگشتان و کف دست و پا به صورت علمی به نیمه دوم قرن هفدهم میلادی بر می گردد. درسال 1684 دکتر" نهیما گریو " در انگلستان و در سال 1686 دکتر "مارسلو مالپیگی" در ایتالیا این خطوط برجسته و نیز منافذ ریز پوست کف دست و پا را از دیدگاه پزشکی

مورد مطالعه قرار دادند. در سال 1788 دانشمند دیگری به نام " مایر " از نظر تشریحی توضیحاتی درباره خطوط پوستی داد. وی عقیده داشت که هرگز این خطوط در دو نفر مانند هم نیستند. در سال 1823 "پروفسور جان پرکینج " استاد دانشگاه " برسلو" آلمان توانست 9 نمونه متمایز نقوش سرانگشتان را مشخص نماید.

تشخیص هویت به وسیله آثار انگشت، از سوی دو نفر انگلیسی که در آسیا زندگی می کردند، در یک زمان ولی به صورت جداگانه کشف گردید. یکی از این دو نفر " سر ویلیام هرشل " فرماندار ناحیه "هوقلی " ایالت بنگال در هندوستان بود، و نفر دیگر" دکتر هنری فالدز " بود که از کارمندان بیمارستان در "چسو کیجی " شهر توکیو درکشور ژاپن بود. هر دو نفر مزبور مدعی بودند که از هیچ گونه سابقه ای در مورد استفاده قبلی آثار انگشت به منظورتشخیص هویت در آسیا مطلع نبوده اند؛ ولی به هر صورت این طور به نظر می رسد که کشف و ظهور انگشت نگاری در قاره آسیا که قبلاً مهد انگشت نگاری به منظورهای دیگر بوده است یک امر تصادفی نبوده است. به هرحال باید گفت اساسی ترین تحقیقات علمی در مورد آثار انگشت از نیمه دوم قرن نوزدهم آغاز شد.

درسال " 1858ویلیام هرشل " افسر ارتش انگلیس که مأمور خدمت در کمپانی هند شرقی در بنگال هندوستان بود، به تقلید از کارفرمایان چینی و هندی، در تنظیم اسناد و عقد قراردادها از کارگران و افراد طرف معامله اثر انگشت می گرفت تا آن ها خود را موظّف به رعایت تعهدات خویش بدانند. از آنجایی که او از اعمال این روش نتایج مطلوبی به دست آورد، نسبت به خاصیت اثر انگشت کنجکاو شد و به مدت 20سال روی اثرات انگشت اشخاص مختلفی که در دفعات متفاوت از آن ها اخذ کرده بود مطالعه نمود و دریافت که اولاً: در اثر مرور زمان نقش خطوط برجسته سرانگشتان اشخاص تغییر پیدا نمی کند، ثانیاً: این نقوش در هر شخصی منحصر به فرد بوده و با دیگران تفاوت دارد. هرشل پس از کشف این موارد در سال 1877به مقامات زندان بنگال پیشنهاد نمود از اثر انگشت به عنوان یک نشان منحصر به فرد برای تشخیص هویت زندانیان استفاده شود. ولی مقامات زندان مذکور به دلیل عدم درک موضوع از روی تمسخر پیشنهاد او را رد کردند. به هر حال هرشل بدون آن که به چاپ و انتشار نظریه خود موفق شود به تنهایی به کار خود ادامه داد. قابل ذکر است در زمانی که هرشل اقدامات خود را شروع کرد (سال 1858) هیچ گونه اطلاعی برای استفاده از این آثار انگشت نداشت، ولی به زودی متوجه شد که می تواند آن ها را به منظور تشخیص هویت نیز به کار ببرد. بدین ترتیب شروع به کار نمود و اولین استفاده وی این بود که از پرداخت حقوق به افراد ناشناس جلوگیری کرد.

در سال 1880 یک پزشک اسکاتلندی مقیم ژاپن به نام" دکتر هنری فالدز " که قبلاً با ملاحظه آثار انگشت روی ظروف گلی قدیمی ژاپنی، به مطالعه و تحقیق پیرامون اثر انگشت اشخاص علاقه مند شده بود و از طرفی نیز توانسته بود در جریان بررسی یک سرقت ثابت نماید که اثر انگشت ناشی از تماس دست

آلوده به دوده با دیوار که در محل وقوع جرم به جای مانده، متعلق به متهم دستگیر شده نیست و او بی گناه است، طی مقاله ای نتیجه تحقیقات خود را انتشار داد و خود را کاشف انگشت نگاری دانست. هرشل با ملاحظه مجله ای راجع به اثر انگشت دچار تعجب شد و فوراً به مجله مذکور نامه ای نوشت و بدون ادعای حق تقدم در این موضوع، اظهار داشت که او انگشت نگاری را بیش از 20 سال عملاً در هندوستان به کار می برده است.

نظریه های هرشل و فالدز در انگلستان توسط" سر فرانسیس گالتون " ریاضی دان و انسان شناس شهیر انگلیسی پذیرفته شد و او برای آن ها اساس علمی به وجود آورد. گالتون آثار انگشت جمع آوری شده توسط هرشل را به کمک علم ریاضی بررسی و تجزیه و تحلیل کرد و به این نکته پی برد که امکان این که دو نفر دارای اثر انگشت یکسان باشند، 1 به 64 میلیارد است و عملا اُحتمال این که دو اثر انگشت یکسان بتوان یافت، وجود ندارد. در نتیجه می توان به اثر انگشت اشخاص به عنوان یک وسیله مطمئن برای شناسایی آنان اعتماد کرد. گالتون نخستین کسی است که نقوش سرانگشتان را به سه دسته کمانی، کیسه ای و پیچی تقسیم کرد. همچنین گالتون در صدد ابداع روشی برای طبقه بندی آثار انگشت اشخاص برآمد که قبل از اتمام این کار، عمرش به پایان رسید.

بعد ازگالتون در ادامه آقای " سر ادوارد ریچارد هنری " که با " ویلیام هرشل " در هندوستان کار کرده و بعدها رئیس شهربانی لندن شده بود، روش طبقه بندی آثار انگشت گالتون را تکمیل نموده و به دنیا عرضه کرد. این روش که به " روش هنری" شهرت دارد وافرادی نیز آن را روش" هنری گالتون " می نامند، از سال 1897 در ابتدا در هندوستان که در آن زمان مستعمره انگلیس بود مورد استفاده قرار گرفت و در سال 1901 از طرف" اسکاتلندیارد " در انگلستان پذیرفته شد و به تدریج در اکثر نقاط دنیا مورد استفاده قرار گرفت. در حال حاضر تعداد قابل ملاحظه ای از کشورهای جهان از جمله ایران در طبقه بندی و بایگانی آثار انگشتان از این روش استفاده می نمایند.

در اواخر قرن نوزدهم" یوهان وستیش " استاد جرم شناسی اهل آرژانتین نخستین کسی بود که از زندانیان برای تشخیص هویت آن ها انگشت نگاری به عمل آورد. وی در سال 1891 برای اولین بار در دنیا، روشی را برای طبقه بندی آثار انگشتان ابداع نمود که هنوز هم در کشورهای امریکای لاتین رایج است. این روش با وجود ساده و در عین حال جامع بودن، به دلیل عدم رواج زبان اسپانیولی در سایر نقاط دنیا، نتوانست در کشورهای بیشتری رواج پیدا کند.

در سال 1892 یک بازرس پلیس آرژانتینی به نام" آلوارز " که معاون و دستیار" وستیش " بود توانست از روی آثار انگشت خون آلود موجود بر روی در کلبه، مردی را که متهم به قتل فرزندانش بود، تبرئه کند و قاتل اصلی را که همسر وی بود شناسایی نماید. این کشف در جلب توجه مردم آن زمان به اهمیت اثر انگشت در کشف جرائم تأثیر بسزایی داشت.

به هر حال باید گفت انگشت نگاری در معنی امروزی آن تا زمان مرگ " آلفونس برتیون " در سال 1914مورد استفاده قرار نگرفت، زیرا با این که برتیون از انگشت نگاری طرفداری می کرد ولی معلوم بود که طرفداری او صمیمانه نبود. در واقع برتیون این روش تازه را رقیب" تن پیمایی " خود می دانست. با این وصف نکته جالب آن است که عده ای به طور قطعی برتیون را کاشف انگشت نگاری می دانند در حالی که باید دانست برتیون در اصل کاشف" تن پیمایی "بوده است.

" برتیوناژ " ، " تن پیمایی " یا " پیکر نگاری " یکی از راه های شناسایی و تعیین هویت اشخاص بوده و بنا به تعریف عبارت است از تعیین هویت مجرمان بر اساس توصیف و اندازه گیری قسمت هایی از بدن آنان که برتیون در ابداع این علم از تحقیقات پدر خویش و بررسی های" آدولف کتله " بهره فراوان جست. کتله کشف کرده بود که دو نفر انسان هرگز مشخصات بدنی برابر و یکسان ندارند.

عده ای از مؤلفان نیز متعقدند تشخیص هویت اشخاص به کمک آثار انگشتان دست، به روش علمی توسط دانشمند انگلیسی" گالتون "پایه گذاری شد. عده ای نیز بر این عقیده اند از آنجا که برتیون فرانسوی که در اداره پلیس پاریس مشغول به کار بود، به انگشت نگاری توجه کرده است، لذا او پدر علم انگشت نگاری است اما باید دانست اکثر محققان " سر ویلیام هرشل " را مؤسس این علم می دانند [2].

6.1 مروری بر کارهای گذشته

در سال 1999 آقای Lee و همکارانش برای تشخیص اثر انگشت از فیلتر های گابور استفاده کردند. آنها ابتدا مرکز اثر انگشت را پیدا و سپس از فیلتر گابور برای استخراج ویژگی استفاده کردند [33]. در سال 2001 آقای Tico و همکارانش جهت استخراج ویژگی از تبدیل موجک استفاده کردند [34]. در سال 2003 آقای Ross و همکارانش تصاویر را به وسیله بانک فیلتر گابور که دارای 8 جهت بود فیلتر کردند و 8 نگاشت برجستگی را استخراج کردند و نمره تطبیق نگاشت های بر جستگی را بدست آوردند. آنها مینوتیا ها را استخراج کردند سپس با استفاده از مینوتیا های بدست آمده نمره تطبیق مینوتیاها را بدست آوردند. در نهایت با ترکیب نمره تطبیق مینوتیا ها و نمره تطبیق نگاشت ها نمره تطبیق دو تصویر را بدست آوردند. چنانچه این نمره از حد آستانه ای بیشتر می شد این دو تصویر تطبیق یافته بودند [35]. در سال 2006 آقای Zhixin Shi و همکارانش برای استخراج ویژگی اثر انگشت از روش کد زنجیره استفاده کردند. در این روش تصاویر ابتدا ارتقا می یابند. تصاویر به بلوک هایی تقسیم شده و با استفاده از کد زنجیره جهت هر بلوک را مشخص و با فیلتر ناهمسانگرد تصویر را فیلتر کرده و ارتقا دادند. برای استخراج مینوتیاها تصویر از بالا به پایین و از راست به چپ پویش شد [36]. در سال 2007 آقای Nanni و همکارانش روش تطبیق اثر انگشت بر اساس موجک را ارائه کردند. آنها ابتدا کیفیت تصویر را افزایش دادند و مینوتیا ها را استخراج و نمره تطبیق مینوتیاها را پیدا کردند و سپس تبدیل موجک دو بعدی گسسته را با فیلتر گابور کانوولوشن

کردند و ویژگی های جدید را استخراج کردند و نمره تطبیق ویژگی های موجک را بدست آوردند سپس با ترکیب نمره تطبیق مینوتیاها و نمره تطبیق ویژگی های موجک نمره تطبیق را برای تصاویر الگو و تست بدست آوردند [37]. در بعضی از روش ها برای طبقه بندی تصاویر اثر انگشت از شبکه ماشین بردار پشتیبان استفاده می شود [38]. در این پایان نامه از شبکه ماشین بردار پشتیبان برای شناسایی اثر انگشت استفاده شده است که در ادامه این شبکه را بررسی می کنیم.

7.1 دلیل اهمیت علم انگشت نگاری

تشخیص هویت از طریق انگشت نگاری بر این اصل استوار است که دو اثر انگشت کاملاً یکسان وجود ندارد. اثر انگشت های بسیاری از لحاظ شکل، طرح و یا اندازه وجود دارند، اما تا به امروز دو اثر انگشت که کاملاً مشابه هم باشند به دست نیامده است. بنابراین مهمترین فایده علم انگشت نگاری تعیین هویت مجرمان می باشد، زیرا مجرمان همیشه هویت واقعی خود را مخفی می کنند و هر بار با مشخصاتی متفاوت مرتکب جرم می شوند اما انگشت نگاری وسیله تشخیص هویت واقعی آن ها می باشد. به عبارت دیگر اگر آثار باقی مانده انگشتان مجرم که بر روی در، میز شیشه یا در سایر نقاط صحنه جرم باقی می ماند، با استفاده از دانش انگشت نگاری جمع آوری و طبقه بندی علمی شود، به تشخیص هویت مجرمان کمک خواهد نمود و مقامات قضایی را در انجام وظایف محوله یاری خواهد کرد، به ویژه در مورد مجرمین با سابقه ای که مرتکب تکرار جرم می شوند و در حین دستگیری، برای مخفی نگاه داشتن سوابق مجرمیت خود در صدد تغییر نام و مشخصات خودشان بر می آیند. در این قبیل موارد دانش انگشت نگاری به کمک بایگانی آثار انگشتان مجرمان، سوابق و هویت اصلی مجرم را تعیین می کند، و مقامات قضایی نیز با کمک اطلاعات این علم امر تعقیب و محاکمه را انجام داده و مقررات تعدد یا تکرار جرم را اعمال می کنند.

به این ترتیب امروزه علم انگشت نگاری به طور مؤثری در کشف جرم و دستگیری بزهکاران و قضاوت صحیح درباره آن ها، به حقوق جزا کمک می کند. شاید بتوان گفت انگشت نگاری تنها وسیله قاطع برای شناسایی هویت واقعی افراد می باشد.

قابل ذکر است سابقاً روش طبقه بندی انگشت نگاری" هنری "یکی از پیشرفته ترین سیستم های طبقه بندی در جهان به شمار می رفت که با جمع آوری و نگهداری کارت های انگشت نگاری مجرمان حرفه ای، صدور گواهی نامه عدم سوء پیشینه امکان پذیر می گردید. این روش هنوز هم در بسیاری از کشورها اعمال می گردد. اما در کشورهای پیشرفته امروزه به وسیله کامپیوتر و با دستگاه الکترونیک اثر انگشت ها نگهداری می شوند [2].

8.1 بیان مسئله و فصل بندی

همانطور که گفته شد اثر انگشت های بسیاری از لحاظ شکل، طرح و یا اندازه وجود دارند، اما تا به امروز دو اثر انگشت که کاملاً مشابه هم باشند به دست نیامده است. بنابراین مهمترین فایده علم انگشت نگاری تعیین هویت می باشد که این کار بسیار حساس بوده و اشتباه در آن می تواند بسیار تأثیر گذار و جبران ناپذیر باشد. بنابراین تشخیص اثر انگشت با درصد و صحت بالا بسیار اهمیت دارد. با وجود پیشرفت های چشم گیر انجام شده در زمینه تشخیص اثر انگشت، هنوز قادر به ساخت سیستمی که بتواند با درصد بالایی اثر انگشت ها را شناسایی کند، نیستیم.

در این پایان نامه ابتدا روشی مبتنی بر قطاع بندی جدید و تبدیل گابور ارائه می شود و مزایا و معایب آن بیان می شود. در ادامه روشی با استفاده از الگوریتم سوبل- رابرتز ارائه خواهد شد که نسبت به روش اول زمان بسیار کمتری نیاز دارد. سپس برای تکمیل آن و افزایش بیشتر سرعت، بجای اعمال الگوریتم سوبل- رابرتز روی تصویر بهبود یافته، ما این الگوریتم را روی تصویر تقریب (تصویر حاصل از تبدیل موجک گسسته دوبعدی تصویر بهبود یافته) اعمال می کنیم. در روش های ارائه شده تعداد ویژگی های اضافی و قابل حذف زیاد بود لذا در گام بعدی از الگوریتم BPSO برای کاهش ویژگی روی روش دوم که دارای بهترین کارآیی بود، استفاده شد. برای شناسایی در هر کدام از روش ها از دو روش فاصله اقلیدسی و شبکه ماشین بردار پشتیبان استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که در بین سیستم های پیشنهادی سیستم دوم دارای بهترین کارآیی، سیستم سوم دارای کمترین زمان شناسایی و سیستم چهارم دارای کمترین تعداد ویژگی همراه با درصد شناسایی مطلوب است.

در ادامه در فصل دوم با روش های مختلفی که برای بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت استفاده شده است، آشنا می شویم و این روش ها را با هم مقایسه می کنیم. در فصل سوم ابتدا با ویژگی های موجود در اثر انگشت آشنا شده و سپس با روش های مختلفی که برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت استفاده شده است، آشنا می شویم و این روش ها را با هم مقایسه می کنیم. همچنین در این فصل با نحوه نرمالسازی و جداسازی پس زمینه تصویر اثر انگشت و نحوه پیدا کردن تصویر جهتی اثر انگشت آشنا می شویم. در فصل چهارم به طور خلاصه به بررسی کارهای انجام شده در زمینه تشخیص اثر انگشت پرداخته و هر کدام را بررسی می کنیم. در فصل پنجم روش های پیشنهاد شده از جمله تشخیص اثر انگشت مبتنی بر قطاع بندی جدید، تشخیص اثر انگشت بر اساس ویژگی های سوبل- رابرتز، تشخیص اثر انگشت بر اساس تبدیل موجک و الگوریتم سوبل- رابرتز، تشخیص اثر انگشت با استفاده از الگوریتم سوبل- رابرتز و الگوریتم بهینه سازی توده ذرات ارائه می شود. در فصل ششم نتایج آزمایشات انجام شده روی هر یک از روش های ارائه شده در

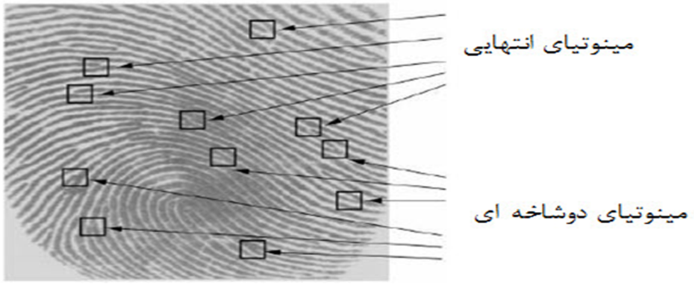
فصل پنجم قرار داده شده است و این روش ها با روش های دیگر از نظر کارآیی و مدت زمان شناسایی مقایسه شده است.

2 فصل دوم

روش های بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت

1.2 مقدمه

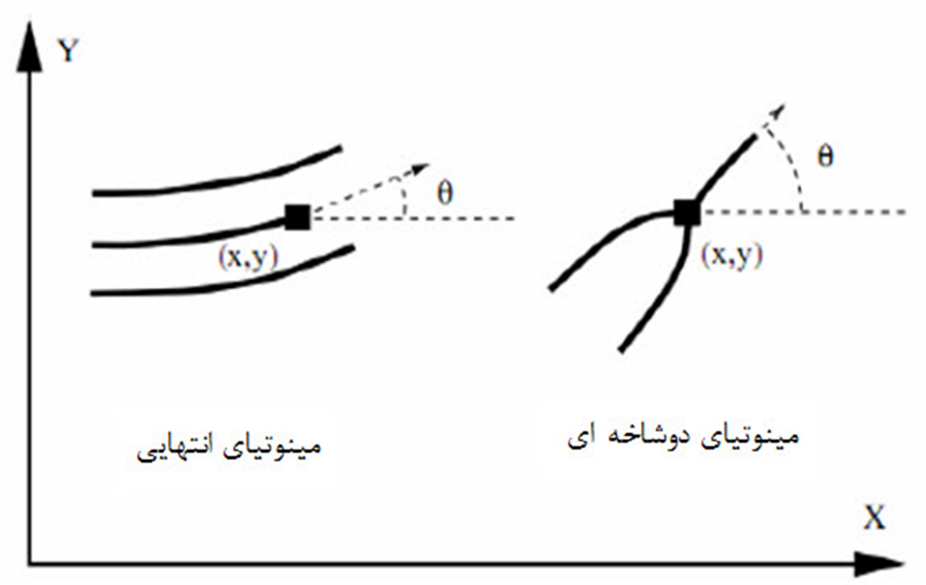
در این فصل روش های مختلف ارائه شده برای بهبود تصویر اثر انگشت را بررسی کرده و این روش ها را با یکدیگر مقایسه می کنیم. با دقت در تصویر گرفته شده از اثر انگشت با استفاده از اسکنر ها می توان دید که رگه ها به صورت موازی حرکت می کنند، گاهی اوقات خاتمه می یابند و گاهی اوقات دو شاخه می شوند. به این بی نظمی ها مینوتیا [1] گفته می شود. از بین 18 نوع مینوتیا دو نوع مینوتیای انتهایی [2] و مینوتیای دوشاخه [3] بیشتر کاربرد دارد که این دو نوع مینوتیا در شکل 2-1 نمایش داده شده است.



شکل 2-1) مینوتیاهای دو شاخه ای و انتهایی [3]

[1] Minutia
[2] Ending minutia
[3] Bifurcating minutia

مکان و زاویه این دو نوع مینوتیا به صورت شکل 2-2 مشخص می شود.



شکل 2-2) نحوه مشخص کردن مکان و زاویه مینوتیا [3]

یک مرحلهٔ مهم در سیستم های خودکار تشخیص اثر انگشت افزایش کیفیت اثـر انگشـت مـی باشـد. ارزش اینکار زمانی بیشتر مشخص می شود که بخواهیم از روش پیدا کردن مینوتیا روی تصـویر اثـر انگشـت استفاده کنیم. در صورتی که تصویر دارای کیفیت پایینی باشد بسیاری از نقاط به اشتباه بـه عنـوان مینوتیـا معرفی می شود. قبل از بررسی روش های مختلف افزایش کیفیت تصویر[1] اثـر انگشـت ابتـدا پـیش پـردازش هایی را که باید قبل از بهبود کیفیت انجام شود را همراه با الگوریتم آن ها معرفی می کنیم.

2.2 پیش پردازش[2]

تصاویر اثر انگشت می تواند به طور الکترونیکی با درجات تفکیک مختلفی تهیه شود کـه در جـه تفکیـک مناسب و متداول برای اثر انگشت 500dpi می باشد. کیفیت تصاویر بدست آمده ممکن است بدلیل محـل اثر انگشت و یا وضوح خود تصاویر متفاوت باشد که اولین مورد می تواند با استفاده از فریم مطلوب در هنگام اسکن کردن برطرف شود و برای دومین مورد کیفیت تصاویر بـه شـرایط انگشـت بسـتگی دارد. بنـابراین در مرحله افزایش کیفیت اثر انگشت تلاش می شود تا کیفیت عکس ها تا حـدی بـالا رود کـه بعـد از پـردازش نتایج بالایی بدست آید. در این مرحله نویز می تواند با استفاده از فیلتر های جهتی از بین رود. طبـق بحـث گفته شده در مرحله پیش پردازش کیفیت تصاویر خاکستری توسط تخمین جهتی بالا برده می شود.

[1] Enhancement
[2] Preprocessing

1.2.2 جداسازی تصویر اثر انگشت[1]

جداسازی پردازشی است که طی آن ناحیه پس زمینه اثر انگشت از ناحیه پیش زمینه اثر انگشت جدا می شود. ناحیه پیش زمینه ناحیه ای است که شامل برآمدگی ها و فرورفتگی های اثر انگشت می شود و ناحیه پس زمینه ناحیه ای است که هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت را شامل نمی شود. پس از جدا سازی ناحیه پس زمینه که اطلاعات بسیار کمی و یا هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت در آن وجود ندارد، مقدار صفر به پیکسل های موجود در ناحیه پس زمینه و مقدار یک به پیکسل های موجود در ناحیه پیش زمینه داده می شود. بنابر این با ضرب این ماتریس به نام ماتریس جداساز در تصویر اصلی، پس زمینه جدا می شود. در ادامه الگوریتم این روش توضیح داده شده است [4].

1 - ابتدا تصویر اثر انگشت به بلوک هایی با ابعاد $w \times w$ که به صورت غیر همپوشان می باشند تقسیم بندی می شود.

2 - میانگین هر بلوک با استفاده از معادله 2-1 محاسبه می شود.

$$M(I) = \frac{1}{w^2}\sum_{i=-w/2}^{w/2}\sum_{j=-w/2}^{w/2} I(i,j)$$

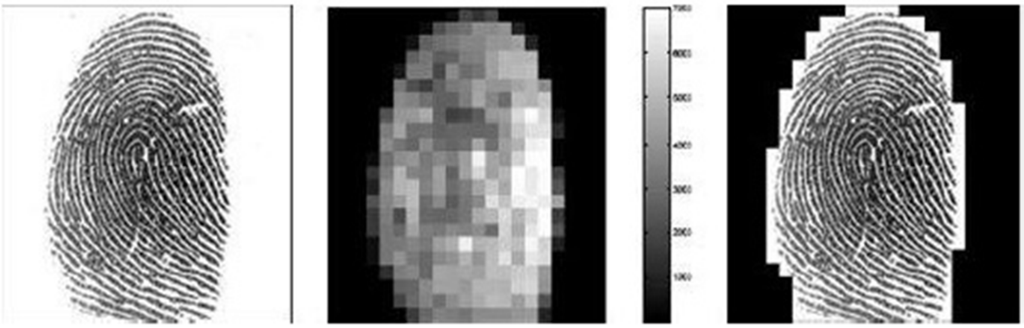
معادله 2-1

3 - با استفاده از میانگین محاسبه شده با معادله 2-1 واریانس در هر بلوک با معادله 2-2 محاسبه می شود.

$$V(I) = \frac{1}{w^2}\sum_{i=-w/2}^{w/2}\sum_{j=-w/2}^{w/2}\big(I(i,j) - M(I)\big)^2$$

معادله 2-2

4 - هر بلوکی که دارای واریانسی کمتر از مقدار آستانه[2] است با صفر مقدار دهی می شود و سایر بلوک ها با یک مقدار دهی می شود. از آنجائیکه مقدار واریانس پس زمینه بسیار کمتر از پیش زمینه است با این روش ماتریس جدا سازی پس زمینه بدست می آید که به صورت شکل 2-3 می باشد.



شکل 2-3) جداسازی پس زمینه از پیش زمینه [4]

[1] Segmentation

[2] Threshold

2.2.2 نرمالسازی [1] تصویر اثر انگشت

در پردازش تصویر اثر انگشت نرمالسازی پروسه ای است که طی آن محدوده روشنایی پیکسل تغییر پیدا می کند. نرمالسازی در بیشتر کاربرد های کلی پردازش داده از جمله DSP[2] به افزایش محدوده دینامیکی اشاره دارد. هدف از افزایش محدوده دینامیکی [3] در کاربرد های مختلف معمولاً بردن تصاویر و سیگنال ها از انواع گوناگون به رنجی است که کل تصویر یا سیگنال، مشابه یا معادل احساس می شود. نرمالسازی یک پردازش خطی است مثلاً اگر روشنایی تصویر بین 50 تا 180 باشد و ما تصویری با محدوده 0 تا 250 بخواهیم باید در پردازش ابتدا مقدار 50 را از هر پیکسل کم کنیم که مقدار محدوده بین 0 تا 130 شود سپس مقدار هر پیکسل در 250/130 ضرب شود تا محدوده مطلوب ما یعنی 0 تا 250 ایجاد شود.

برای نرمالسازی تصویر اثر انگشت می توان آن را به یک میانگین و واریانس خاص نرمالیزه کرد که الگوریتم این روش در زیر توضیح داده شده است [4] [5].

1 - ابتدا تصویر اثر انگشت به بلوک هایی با ابعاد $w_l \times w_l$ که به صورت غیر همپوشان می باشند تقسیم بندی می شود.

2 - میانگین هر بلوک با استفاده از معادله 2-3 محاسبه می شود.

معادله 2-3

$$Me(I) = \frac{1}{w_l^2}\sum_{i=-w_l/2}^{w_l/2}\sum_{j=-w_l/2}^{w_l/2} I(i,j)$$

3 - با استفاده از میانگین محاسبه شده با معادله 2-3 واریانس در هر بلوک با معادله 2-4 محاسبه می شود.

معادله 2-4

$$Var(I) = \frac{1}{w_l^2}\sum_{i=-w_l/2}^{w_l/2}\sum_{j=-w_l/2}^{w_l/2}\big(I(i,j) - Me(I)\big)^2$$

4 - در این مرحله با تعیین M_0 و V_0 از معادله 2-5 استفاده می شود.

معادله 2-5

$$N(i,j) = \begin{cases} M_0 + \sqrt{\frac{V_0(I(i,j)-M_i)^2}{V_i}} & \text{if } I(i,j) > M \\ M_0 - \sqrt{\frac{V_0(I(i,j)-M_i)^2}{V_i}} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$I(i,j)$ مقدار روشنایی پیکسل i,j و M_i و V_i به ترتیب میانگین و واریانس تخمین زده شده تصویر می باشد و $N(i,j)$ مقدار نرمالیزه شده روشنایی پیکسل i,j می باشد . در این فرمول M_0 و V_0 به

[1] Normalization
[2] Digital Signal Processing
[3] Dynamic range

ترتیب میانگین و واریانسی مد نظر برای نرمالسازی می باشد. مقدار M_0 و V_0 در بیشتر روش های تشخیص اثر انگشت که از این روش نرمالسازی استفاده می کنند معملاً بین 100 تا 200 در نظر گرفته می شود.

برای پیدا کردن M_0 و V_0 بلوکی با اندازه $k \times k$ تعریف می شود. میانگین این بلوک با میانگین کل تصویر مقایسه شده سپس یک ناحیه بریده شده تعریف می شود. میانگین این قسمت بریده شده می تواند در نمایش تصاویر خیلی روشن ویا خیلی تاریک استفاده شود.

هدف اصلی از نرمالنرمالسازی کاهش واریانس تصویر در طول برآمدگی ها و فرورفتگی ها می باشد. این عملکرد تاثیری روی وضوح برآمدگی ها وفرورفتگی ها ندارد. اگر الگوریتم بالا را روی تصویر اثر انگشت مانند شکل 2-4-الف اعمال کنیم تصویر 2-4-ب حاصل می شود.

ب الف

شکل 2-4) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر نرمالیزه شده [4]

3.2.2 تصویر جهتی[1]

یک مرحله رایج در بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت، پیدا کردن مرکز اثر انگشت و تشخیص اثر انگشت تخمین جهت رگه ها می باشدکه با پارامتر $\theta(i, j)$ مشخص شده و این پارامتر جهت رگه در پیکسل (i, j) را نشان می دهد.

جهت رگه برای یک بلوک نسبت به یک پیکسل مناسب تر است. بنابراین یک تصویر به بلوک هایی با اندازه $w \times w$ تقسیم بندی می شود و برای هر بلوک یک جهت خاص بدست می آید .

در ادامه الگوریتم این روش توضیح داده می شود [4] [5].

1 - تصویر ورودی I به بلوک های $w \times w$ تقسیم بندی می شود.

2 - گرادیان های σ_x و σ_y در هر پیکسل (i, j) که مرکز بلوک می باشد محاسبه می شود. عملگر های گرادیان می تواند با محاسبات مختلط بدست آید.

[1] Orientation image

3 - زاویه با استفاده از معادلات 2-6 و 2-7 تخمین زده می شود.

$$V_x(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2}\sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} 2\sigma_x(u,v)\sigma_y(u,v)$$ معادله 2-6

$$V_y(i,j) = \sum_{u=i-w/2}^{i+w/2}\sum_{v=j-w/2}^{j+w/2} \sigma_x(u,v)^2\sigma_y(u,v)^2$$ معادله 2-7

در نتیجه با استفاده از معادلات 2-6 و 2-7 زاویه مرکز بلوک با استفاده از معادله 2-8 بدست می آید.

$$\theta(i,j) = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{V_x(i,j)}{V_y(i,j)}\right)$$ معادله 2-8

در اینجا $\theta(i,j)$ تخمین زاویه رگه ها در مرکز هر بلوک در پیکسل (i,j) می باشد. اگر الگوریتم بالا را روی یک نمونه اثر انگشت مانند شکل 2-5-الف انجام دهیم شکل 2-5-ب بدست می آید.

4 - فرض براین است که در مرکز اثر انگشت زاویه رگه ها به آرامی تغییر می کند. ناپیوستگی رگه ها و شیار ها و آرک های موجود در تصویر باعث نویز شده که با یک فیلتر پایین گذر می توان اثر آن ها را کم کرد به طوری که با اعمال فیلتر پایین گذر تصویر جهتی به یک میدان برداری پیوسته تبدیل می شود. در میدان برداری پیوسته که x و y اجزای آن است به ترتیب φ_x و φ_y تعریف می شوند که با معادلات 2-9 و 2-10 بیان می شوند.

$$\emptyset_x(i,j) = \cos(2\theta(i,j))$$ معادله 2-9

$$\emptyset_y(i,j) = \sin(2\theta(i,j))$$ معادله 2-10

5 - با استفاده از نتایج میدان برداری فیلتر پایین گذر دو بعدی G با انتگرال یگانه بکار برده می شود. سایز خاص فیلتر $w_\varphi \times w_\varphi$ می باشد که با معادله 2-11 و 2-12 بیان می شوند.

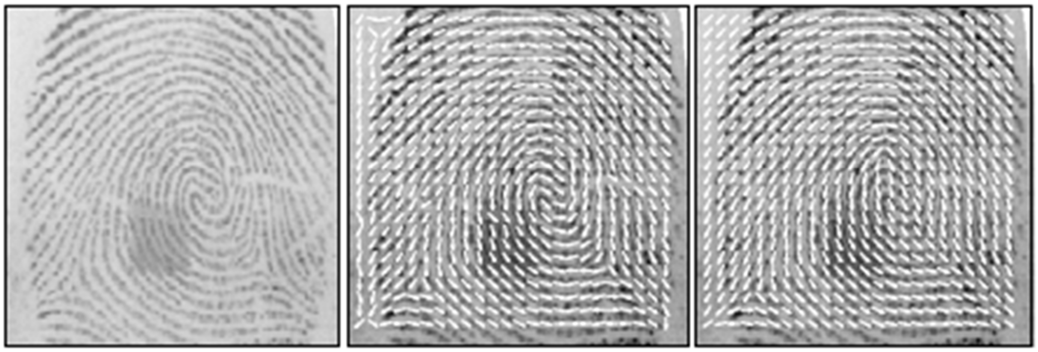
$$\emptyset_x(i,j)' = \sum_{u=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2}\sum_{v=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2} G(u,v) \times \emptyset_x(i-uw, j-vw)$$ معادله 2-11

$$\emptyset_y(i,j)' = \sum_{u=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2}\sum_{v=-w_\varphi/2}^{w_\varphi/2} G(u,v) \times \emptyset_y(i-uw, j-vw)$$ معادله 2-12

6 - جهت میدان که نویز در آن تا حد بالایی از بین رفته است با معادله 2-13 محاسبه می شود.

$$\theta(i,j)' = \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(\frac{\emptyset_y(i,j)'}{\emptyset_x(i,j)'}\right)$$ معادله 2-13

اگر الگوریتم بالا را روی تصویر جهتی مانند شکل 2-5-ب اعمال کنیم شکل 2-5-ج بدست می آید.



الف ب ج

شکل 2-5) (الف) تصویر اثرانگشت (ب) میدان جهتی بدون هموار سازی (ج) میدان جهتی هموار شده [5]

3.2 روش های بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت

در بین روش هایی که تا کنون برای افزایش کیفیت اثر انگشت ابداع شده است سه روش که در زیر معرفی می شود پایه کار در روش های دیگر می باشند. این سه روش را بررسی کرده و در نهایت با هم مقایسه می کنیم تا ببینیم کدامیک کارآمدتر است. این سه روش عبارتند از :

1. نمودار هیستوگرام [1]
2. تبدیل FFT [2]
3. گابور فیلتر[3]

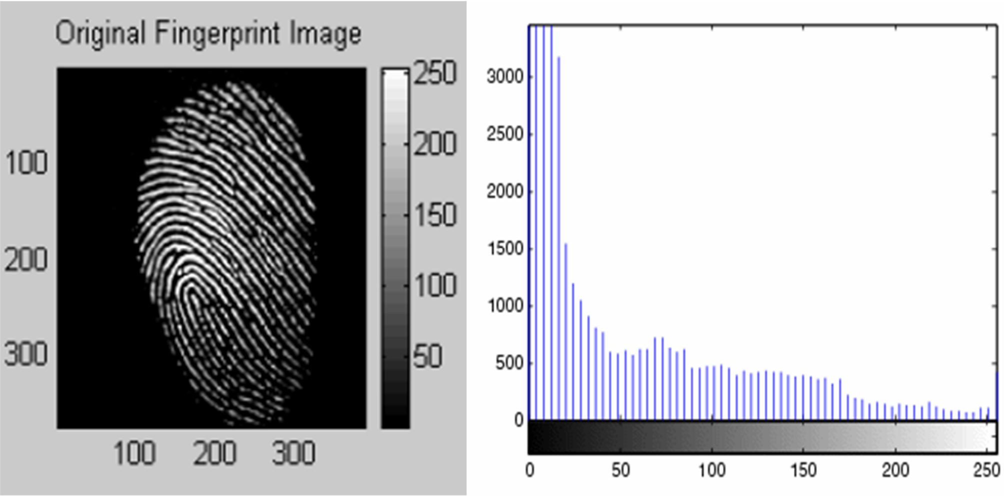
1.3.2 نمودار هیستوگرام

پس از اینکه تصویر اثر انگشت به تصویر خاکستری تبدیل شد یعنی محدوده پیکسل ها بین 0 تا 255 قرار گرفت سپس با استفاده از معادله 2-14 نموداری ترسیم می شود که در این نمودار فراوانی شدت هر پیکسل به صورت میله ای نمایش داده می شود.

$$P(r_k) = n_k/n$$ معادله 2-14

که در این فرمول n تعداد کل پیکسل ها می باشد و n_k تعداد پیکسل های دارای یک مقدار خاکستری و r_k برابر k امین مقدار خاکستری می باشد و k از 0 تا 255 می باشد. با استفاده از این فرمول نموداری به شکل 2-6 بدست می آید.

[1] Histogram curve
[2] Fast Fourier Transform
[3] Gabor filter



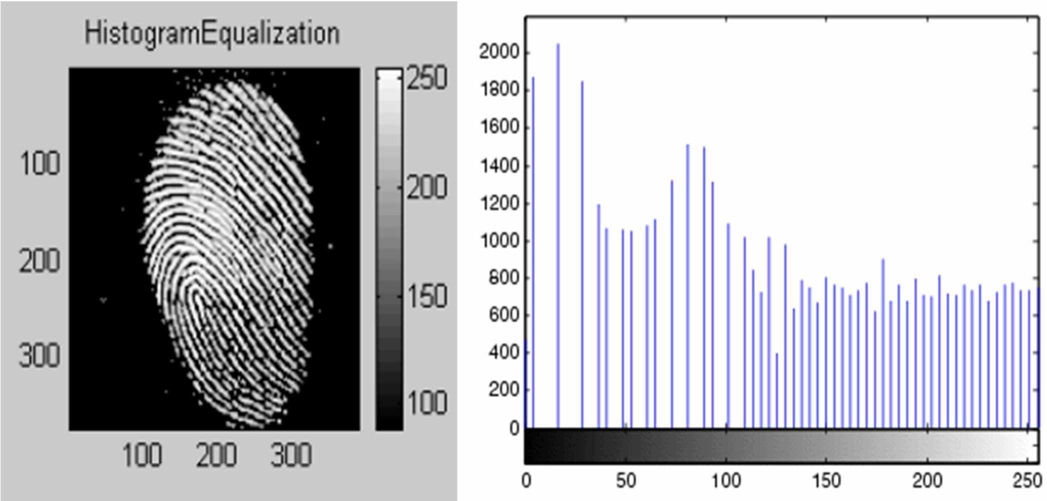
شکل 2-6) تصویر اثر انگشت و نمودار هیستوگرام آن [3]

در این صورت می توان نحوه پخش شدن شدت پیکسل ها را در این نمودار که نمودار هیستوگرام نامیده می شود دید. برای اینکه این پخش شدن ها به گونه ای باشد که شدت روشنایی تصویر بالا رود از معادله 2-15 استفاده می کنیم که c_0 و c_1 مقادیر روشنایی در دو مکان مختلف می باشد.

$$H(k) = \left|c_1(T(k)) - c_0(k)\right| \qquad \text{(2-15)}$$

معادله 2-15

در مناطقی از نمودار بالا که تعدادی مشخص از پیکسل ها با روشنایی[1] متفاوت قرار گرفته است با استفاده از فرمول بالا تا مقدار آستانه یکسان شده و سپس از نو مقدار جدید به پیکسل ها داده می شود که نمودارهیستوگرام حاصل و تصویر حاصل به صورت شکل 2-7 می باشد.



شکل 2-7) تصویریکنواخت شده با نمودار هیستوگرام آن [3]

[1] Contrast

این روش ساده ترین روش افزایش کیفیت اثر انگشت می باشد که در گذشته استفاده می شد اما با ایجاد نمونه داده ها با تصاویری زیاد و کیفیت کم کارآیی خود را از دست داد [3] [6].

2.3.2 تبدیل FFT

در سیستم های ابتدایی که برای تشخیص اثر انگشت طراحی شد این روش دارای کاربرد گسترده ای بود [7]. در این روش تصویر به بلوک های غیر همپوشان با ابعاد w × w تقسیم بندی می شود. سپس در این بلوک ها تبدیل فوریه با استفاده از معادله 2-16 گرفته می شود.

معادله 2-16
$$F(u,v) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y) \times \exp(j2\pi \times \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)$$

در این فرمول u از 0 تا 31 و v از 0 تا 31 تغییر می کند تا تبدیل فوریه در کل بلوک انجام شود. M و N تعداد بلوک ها در سطر ها و ستون ها می باشند.

برای افزایش کیفیت تصویر اندازه تبدیل فوریه گرفته شده از بلوک را طبق معادله 2-17 به توان خاص می رسانیم و سپس در تبدیل فوریه بلوک طبق معادله 2-18 ضرب می کنیم تا فرکانس های خاصی از بلوک افزایش یابد.

معادله 2-17
$$FFT = abs\big(F(u,v)\big) = |F(u,v)|^k$$

معادله 2-18
$$G(u,v) = F(u,v) \times |F(u,v)|^k$$

حال با گرفتن عکس تبدیل فوریه[1] طبق معادله 2-19 بلوکی با کیفیت تصویر زیاد ایجاد می شود.

معادله 2-19
$$g(x,y) = F^{-1}G(u,v)$$

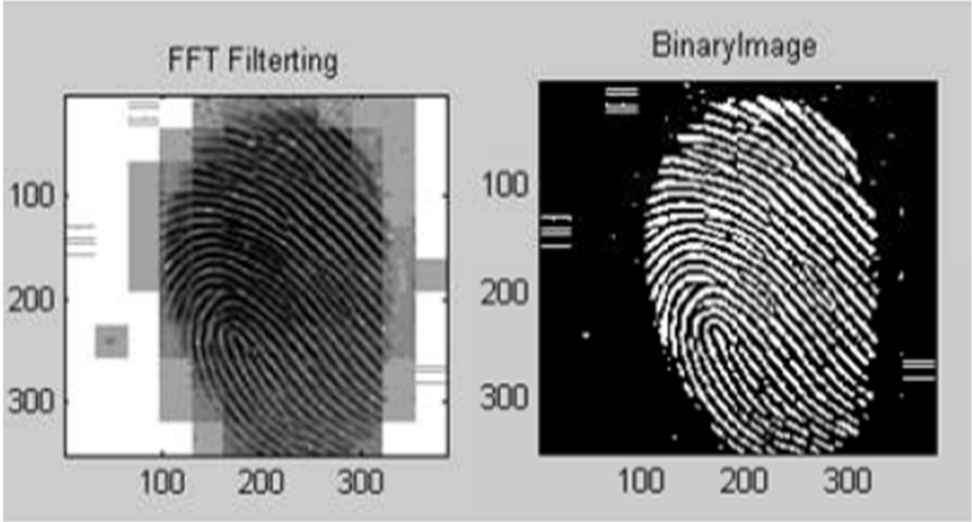
که عکس تبدیل فوریه به صورت معادله 2-20 می باشد.

معادله 2-20
$$g(x,y) = \frac{1}{MN}\sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} G(u,v) \times \exp(j2\pi \times \left(\frac{ux}{M} + \frac{vy}{N}\right)$$

در معادلات بالا مقدار k طی انجام آزمایشاتی روی نمونه داده به صورت ثابت انتخاب می شود که این مقدار معمولاً 0.45 می باشد. مقدار زیاد k باعث می شود که نمایش رگه ها بهبود یابد و حفره های داخل رگه ها از بین رود اما اگر از حدی بالاتر رود باعث می شود که رگه ها به اشتباه به هم متصل گردند و

[1] Inversion Fast Fourier Transform

بنابراین ممکن است یک مینوتیای انتهایی به یک مینوتیای دو شاخه تبدیل شود. تاثیر این الگوریتم در شکل 2-8 نمایش داده شده است.



شکل 2-8) افزایش کیفیت با فیلتر FFT [3]

همانطور که در تصویر دیده می شود اعمال تبدیل فوریه باعث شده است تا نقاط شکسته اشتباه در رگه ها به هم متصل شوند و اتصالات اشتباه بین رگه ها از بین رود [3] [8].

3.3.2 فیلتر گابور[1]

برای پاکسازی نویز و بهبود ساختار رگه ها و شیار ها و افزایش روشنایی تصویر، تصویر اثر انگشت توسط بانک فیلتر گابور در جهت های مختلف فیلتر می شود. فیلتر های گابور، فیلتر های میانگذری هستند که انتخاب جهت و فرکانس را با هم دارند و دارای رزولوشن ایده ال در هر دو فضای مکانی و فرکانسی می باشند [9]. رگه ها و شیارهای اثر انگشت دارای فرکانس و جهت محلی مختلفی هستند که با تنظیم فیلتر های گابور می توان ساختار رگه ها و شیار ها را حفظ کرد و نویز را کاهش داد. فیلتر گابور با معادلات 2-21 و 2-22 و 2-23 مشخص می شود.

$$G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{\acute{x}^2}{{\delta_x}^2} + \frac{\acute{y}^2}{{\delta_y}^2}\right]\right\}\cos(2\pi f \acute{x})$$ معادله 2-21

$$\acute{x} = x sin\theta + y cos\theta$$ معادله 2-22

$$\acute{y} = x cos\theta - y sin\theta$$ معادله 2-23

---

[1] Gabor Filter

پارامتر f فرکانس سینوسی فیلتر در راستای جهت θ از محور عمود و پارامترهای δ_x و δ_y متناظراً ثابت های فضای پنجره گوسی در راستای x و y هستند. با فرض اینکه میانگین فاصله بین رگه ها مقدار k می باشد فرکانس به صورت $f = 1/k$ می باشد [10].

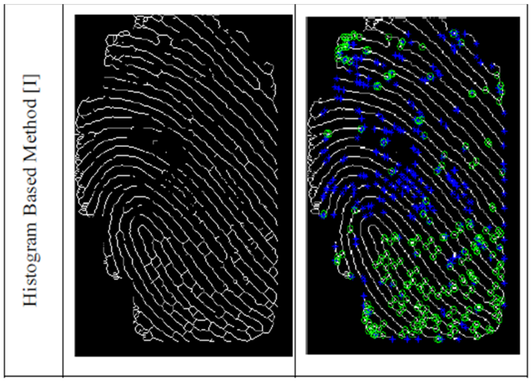
بازای هر زاویه θ یک فیلتر وجود دارد که با اعمال به تصویر اثر انگشت یک تصویر در آن جهت ایجاد می شود. بنابراین تعدادی تصویر فیلتر شده بدست می آید. فیلتر صفر درجه رگه های موازی جهت محور x ها را تقویت می کند و رگه های دیگر را تضعیف می کند. فیلتر ها در جهت های دیگر نیز به صورت مشابه عمل می کنند. مقادیر δ_x و δ_y به صورت تجربی انتخاب می شوند. برای اعمال این فیلتر به تصویر، ابتدا بلوکی با ابعاد w × w با استفاده از فرمول بالا ساخته می شود. با استفاده از فیلتر گابور روی یک نمونه تصویر اثر انگشت مانند شکل 2-9-الف شکل 2-9-ب حاصل می شود [3] [6] [8].

الف　　　　　ب

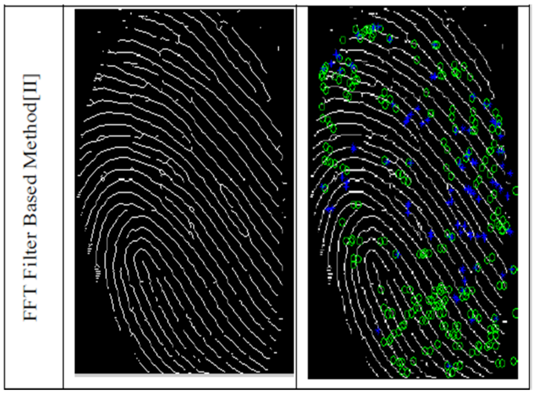
شکل 2-9) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر بهبود یافته با فیلتر گابور [3]

4.3.2 مقایسه روش های بهبود کیفیت تصویر

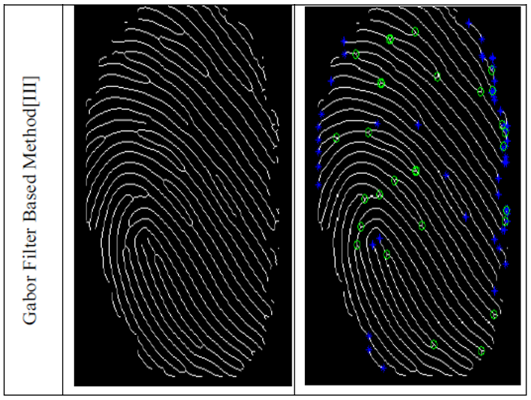
حال این سه روش معرفی شده را در پیدا کردن نقاط مینوتیا با هم توسط شکل های 2-10 و 2-11 و 2-12 مقایسه می کنیم که در این شکل ها نقاط آبی رنگ مینوتیا انتهایی و نقاط سبز رنگ مینوتیا دو شاخه می باشد [3].



شکل 2-10) پیدا کردن نقاط مینوتیا با استفاده از روش هیستوگرام [3]



شکل 2-11) پیدا کردن نقاط مینوتیا با استفاده از فیلتر FFT [3]



شکل 2-12) پیدا کردن نقاط مینوتیا با استفاده از فیلتر گابور [3]

برای مقایسه سه روش بالا از مجموعه داده FVC2000[1] استفاده شـده اسـت [11] [12].جـدول 1-2 و 2-2 نشان می دهد که روش سوم یعنی استفاده از فیلتر گابور کارآمد تر است.

جدول 2-1) مقایسه سه روش معرفی شده در پیدا کردن مینوتیای انتهایی [3]

Sl. No	Fingerprint Image	Approximate Count of Ridge Endings			
		By Human Expert	By Algorithm		
			I	II	III
1	101_1.tif	20	278	131	52
2	101_2.tif	15	115	117	19
3	101_3.tif	17	278	152	31
4	102_1.tif	20	156	240	65
5	102_2.tif	21	128	153	48
6	102_3.tif	20	123	241	54
Average		19	180	172	45
False detection of Ridge Endings			161	153	26

[1] Fingerprint Verification Competition 2000

جدول 2-2) مقایسه سه روش معرفی شده در پیدا کردن مینوتیای دو شاخه ای [3]

Sl. No	Fingerprint Image	Approximate Count of Bifurcation			
		By Human Expert	By Algorithm		
			I	II	III
1	101_1.tif	16	218	35	29
2	101_2.tif	14	94	36	17
3	101_3.tif	17	276	67	25
4	102_1.tif	26	209	76	67
5	102_2.tif	24	142	85	42
6	102_3.tif	17	298	57	23
Average		19	206	59	34
False detection of Bifurcation			187	40	15

این سه روش دارای استفاده بیشتر هستند که پایه ای برای روش های دیگر مـی باشـند. بـرای بررسـی روش های دیگر می توانید به مرجع [13] مراجعه کنید.

بهترین روش ها برای بهبود کیفیت تصاویر اثر انگشت، روش هایی هستند که علاوه بر فیلتـر هـای نـام برده شده شامل پیش پردازش های گفته شده نیز باشند. در زیـر دو نمونـه از ایـن روش هـا را معرفـی مـی کنیم.

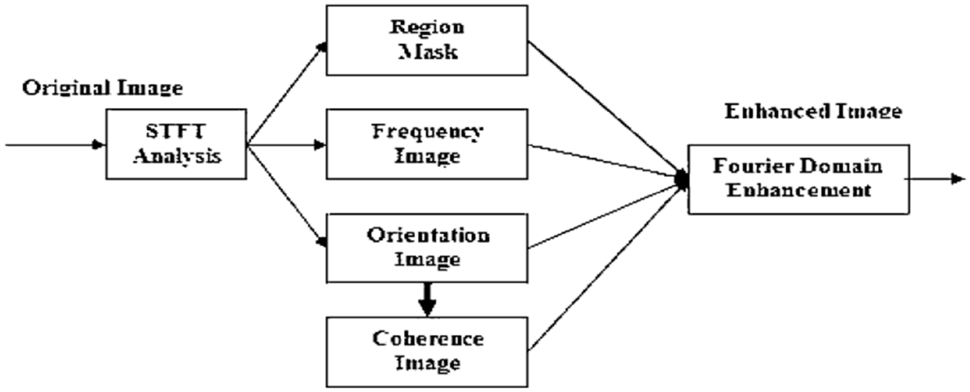
4.2 بهبود اثر انگشت با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه

الگوریتم این روش شامل دو مرحله می شود که بصورت زیر است :

مرحله 1 – در این مرحله از تبدیل فوریه زمان کوتاه روی تصویر اثر انگشت ورودی استفاده می شود. این مرحله شامل بدست آوردن تصویر جهتی، تصویر فرکانس رگه ها و تصویر انرژی می شود. در این مرحله ناحیه ماسک گذاری نیز پیدا می شود که اگر نواحی قابل بازیابی کمتر از مقدار آستانه باشد تصویر ورودی رد شده و به مرحله بعدی نمی رود.

مرحله 2 – در این مرحله تصویر ورودی فیلتر می شود که روی ترکیب تصاویر بدست آمده با گرفتن عکس تبدیل فوریه زمان کوتاه تصویر بهبود یافته بدست می آید.

الگوریتم این روش در شکل 2-13 نمایش داده شده است. با توجه به شکل 2-13 در ابتدا روی تصویر ورودی اثر انگشت از تبدیل فوریه زمان کوتاه استفاده می شود سپس از روی خروجی حاصل از تبدیل ناحیه ماسک گذاری، تصویر فرکانس رگه ها و تصویر جهتی بدست می آید و از روی تصویر جهتی نیز تصویر یکپارچه بدست می آید. از ترکیب تصاویر بدست آمده و با گرفتن عکس تبدیل فوریه زمان کوتاه تصویر بهبود یافته بدست می آید. در ادامه هر کدام از مراحلی که در شکل 2-13 نام برده شده است را بطور جداگانه معرفی می کنیم [14].



شکل 2-13) الگوریتم روش بهبود اثر انگشت با استفاده از تبدیل فوریه زمان کوتاه [14]

1.4.2 تبدیل فوریه زمان کوتاه

برای یک سیگنال یک بعدی مانند $x(t)$ تبدیل فوریه زمان کوتاه بصورت معادله 2-24 می باشد.

معادله 2-24

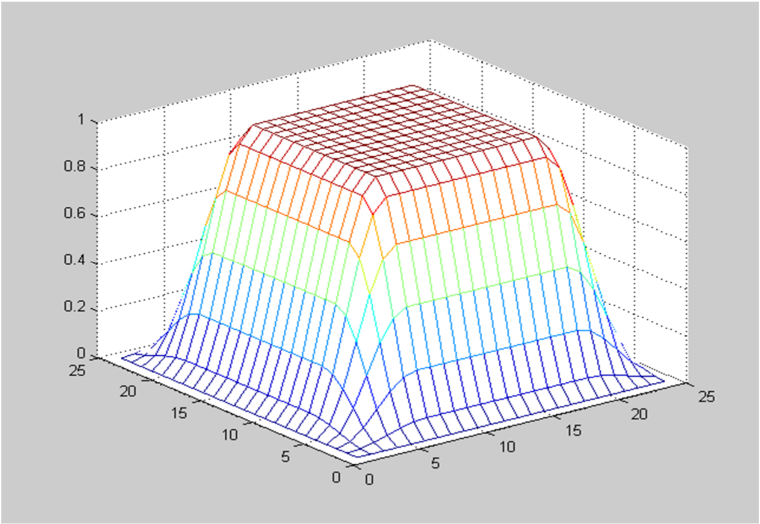
$$X(\tau,\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} x(t)W^*(t-\tau)e^{-j\omega t}dt$$

برای یک سیگنال دو بعدی همانند تصویر اثر انگشت تبدیل فوریه زمان کوتاه بصورت معادله 2-25 می باشد.

معادله 2-25

$$X(\tau_1,\tau_2,\omega_1,\omega_2) = \int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty} I(x,y)W^*(x-\tau_1,y-\tau_2)e^{-j(\omega_1 x+\omega_2 y)}dxdy$$

در فرمول تبدیل فوریه زمان کوتاه W تابع پنجره می باشد که در اینجا از پنجره کسینوسی دو بعدی استفاده شده است که بصورت شکل 2-14 می باشد [14].



شکل 2-14) پنجره کسینوسی دو بعدی استفاده شده در تبدیل فوریه زمان کوتاه

2.4.2 تصویر جهتی

برای بدست آوردن تصویر جهتی همانند بخش 2-3 عمل می کنیم با این تفاوت که برای هموار کردن با یک فیلتر پایین گذر از پنجره کسینوسی دو بعدی که در بخش قبل معرفی شد طبق معادله 2-26 استفاده می کنیم.

$$O'(x,y) = \frac{1}{2}\left\{\tan^{-1}\frac{\sin(2O(x,y))\times W(x,y)}{\cos(2O(x,y))\times W(x,y)}\right\}$$ معادله 2-26

با استفاده از بخش 2-3 و نیز معادله 2-26 روی تصویر اثر انگشتی به شکل 2-15-الف، تصویر جهتی رگه ها بصورت شکل 2-15-ب بدست می آید [14].

الف

ب

شکل 2-15) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر جهتی رگه ها [14]

3.4.2 تصویر فرکانس رگه ها

میانگین فرکانس رگه ها مشابه با جهت رگه ها تخمین زده می شود. ما می توانیم فرض کنیم که فرکانس رگه ها مقداری تصادفی با تابع چگالی احتمال $p(r)$ طبق معادله زیر دارد. مقدار مورد انتظار برای رگه ها بوسیله معادله 2-27 و 2-28 بیان می شود. انرژی تصویر نیز از معادله 2-29 بدست می آید.

$$p(r) = \int_\theta p(r,\theta)d\theta$$ معادله 2-27

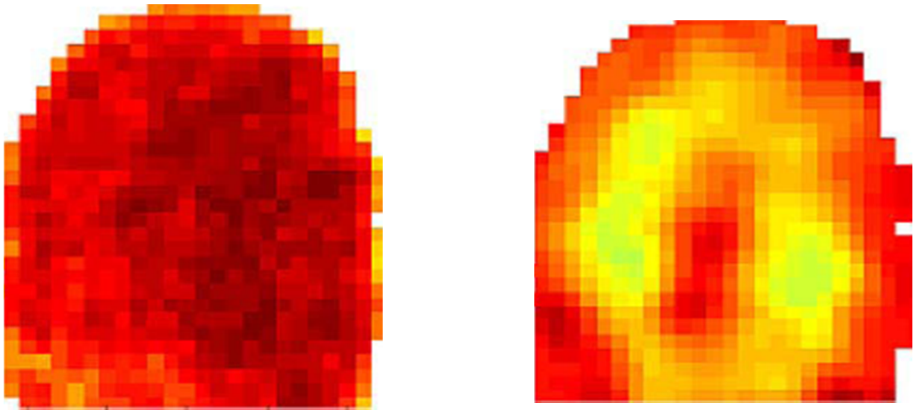
$$p(r,\theta) = \frac{|F(r,\theta)|^2}{\int_r\int_\theta |F(r,\theta)|^2}$$ معادله 2-28

$$E(r) = \int_r p(r)rdr$$ معادله 2-29

در فرمول های بالا r , θ به ترتیب جهت و فاصله نسبت به مرکز اثر انگشت و یا نقطه دلتا می باشد. با استفاده از فرآیند انتشار ایزوتروپیک طبق معادله 2-30 نقشه فرکانسی رگه ها هموار می شود.

$$F'(x,y) = \frac{\sum_{u=x-1}^{x+1}\sum_{v=y-1}^{y+1} F(u,v)W(u,v)I(u,v)}{\sum_{v=y-1}^{y+1} W(u,v)I(u,v)}$$ معادله 2-30

تصویر انرژی که مقدار انرژی در هر بلوک روی تصویر اثر انگشت می باشد بصورت شکل 2-16-الف و تصویر هموار شده فرکانس رگه ها بصورت شکل 2-16-ب می باشد [14].



الف ب

شکل 2-16) (الف) تصویر انرژی (ب) تصویر فرکانس رگه ها [14]

4.4.2 نواحی ماسک گذاری

تصویر اثر انگشت ممکن است بدلیل نگه نداشتن مدل سطح موج در نواحی ای که رگه وجود ندارد، جدا شود. در ناحیه ای از پس زمینه و نواحی نویزی، ساختار های بسیار کوچک دارای انرژی کم در طیف فوریه وجود دارد. روی تصویر انرژی که در بخش قبل معرفی شد با استفاده از آستانه انرژی می توان پس زمینه را جدا کرد. در اینجا ما با استفاده از لگاریتم طبق معادله 2-31 از یک محدوده دینامیکی بزرگ برای انرژی به یک مقیاس خطی می رسیم.

$$E(x,y) = \log\left(\int_r \int_\theta |F(r,\theta)|^2\right)$$ معادله 2-31

ناحیه ماسک گذاری با استفاده از آستانه گذاری روی مقادیر انرژی مشخص می شود[14].

5.4.2 تصویر یکپارچه

روش پردازش بلوکی باعث ایجاد ناپیوستگی در مسیر رگه ها و در مرز بلوک ها می شود. این امر به ویژه در نقطه مرکز اثر انگشت و نقطه دلتا مشکلات غالبی دارد.

برای رفع این مشکل ازمعادله 2-32 استفاده می شود.

$$C(x_0, y_0) = \frac{\sum_{(i,j)\in W} |\cos(\theta(x_0,y_0) - \theta(x_i,y_i))|}{W \times W}$$ معادله 2-32

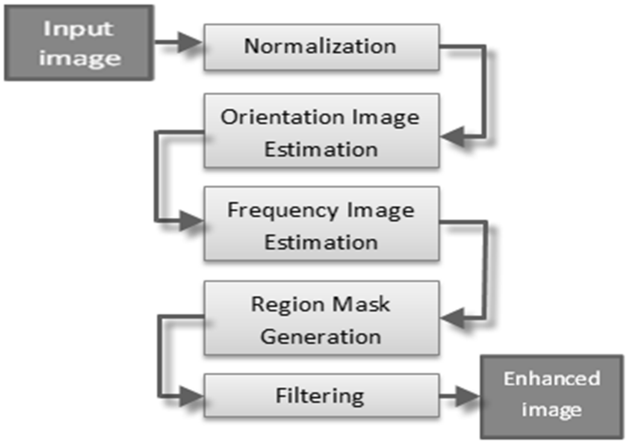
مقدار C زمانیکه مقدار $\theta(x_0, y_0)$ مشابه هر همسایه اش $\theta(x_i, y_i)$ باشد، بالاست. در تصویر اثر انگشت انتظار می رود که C در نقاط تکین مقدار کمی داشته باشد. در این الگوریتم برای بهبود تصویر اثر انگشت، از مقدار C برای انطباق زاویه پهنای باند فیلتر جهتی استفاده می شود.

با ترکیب کردن تصاویر بدست آمده در بخش های قبل و گرفتن عکس تبدیل فوریه زمان کوتاه، تصویر بهبود یافته شکل 15-الف بصورت شکل 2-17 می باشد [14].

شکل 2-17) تصویر بهبود یافته با استفاده از تصویر شکل 15-الف [14]

5.2 بهبود اثر انگشت با استفاده از پیش پردازش و فیلتر گابور

فلوچارت این روش بصورت شکل 2-18 می باشد.



شکل 2-18) فلوچارت روش بهبود اثر انگشت با استفاده از پیش پردازش و فیلتر گابور

برای نرمالسازی همانند بخش 2-2-2 عمل می شود و تصویر حاصل G نامیده می شود. برای پیدا کردن تصویر جهتی نیز همانند بخش 2-2-3 عمل می شود و تصویر حاصل O نامیده می شود.

1.5.2 تصویر فرکانس رگه ها

با استفاده از روش بلوکی و معادله 2-33 بردار $X(k): (X_0, X_1, \dots, X_{l-1}\}$ بدست می آید.

معادله 2-33
$$X(k) = \frac{1}{W}\sum_{d=0}^{W-1} G(u,v)$$

که u, v در این معادله با استفاده از معادله 2-34 و 2-35 بدست می آیند.

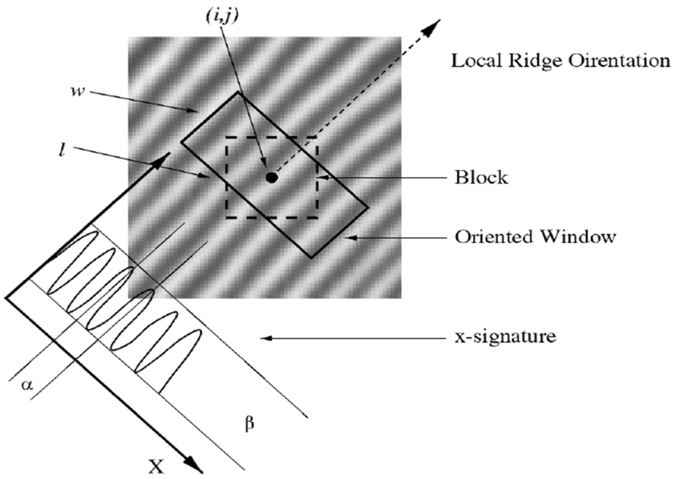
معادله 2-34
$$u = i + \left(d - \frac{W}{2}\right) cosO(i,j) + \left(k - \frac{l}{2}\right) sinO(i,j)$$

معادله 2-35
$$v = j + \left(d - \frac{W}{2}\right) sinO(i,j) + \left(\frac{l}{2} - k\right) \cos O(i,j)$$

اگر مینوتیاها و نقاط تکین در تصویر جهتی مشاهده نشود بردار X شکل موج گسسته سینوسی خواهد داشت که فرکانس آن مشابه فرکانس رگه ها و شیار ها در تصویر جهتی می باشد. بنابراین فرکانس رگه ها و شیار ها را می توان با بردار X تخمین زد. بردار X روی تصویر جهتی در شکل 2-19 نمایش داده شده است.

اگر فاصله میانگین بین دو پیک مجاور از بردار X را برابر $\tau(i,j)$ در نظر گرفته شود در نتیجه فرکانس با معادله 2-36 بدست می آید.

معادله 2-36
$$\Omega(i,j) = \frac{1}{\tau(i,j)}$$



شکل 2-19) پنجره ای روی تصویر جهتی همراه با بردار X [13]

در ادامه مقدار $\Omega'(i,j)$ با استفاده از معادلات 2-37، 2-38 و 2-39 بدست می آید.

$$\Omega'(i,j) = \begin{cases} \sum_{u=-\frac{w_\Omega}{2}}^{\frac{w_\Omega}{2}} \sum_{v=\frac{w_\Omega}{2}}^{\frac{w_\Omega}{2}} W_g(u,v)\mu(\Omega(i-uW,j-vW)) & if\ \Omega(i,j) \neq -1 \\ \sum_{u=-\frac{w_\Omega}{2}}^{\frac{w_\Omega}{2}} \sum_{v=\frac{w_\Omega}{2}}^{\frac{w_\Omega}{2}} W_g(u,v)\delta(\Omega(i-uW,j-vW)+1) & o.w \end{cases}$$ معادله 2-37

$$\mu(x) = \begin{cases} 0 & if\ x \leq 0 \\ x & o.w \end{cases}$$ معادله 2-38

$$\delta(x) = \begin{cases} 0 & if\ x \leq 0 \\ 1 & o.w \end{cases}$$ معادله 2-39

در معادلات بالا W_g پنجره کرنل گوسی با میانگین صفر و واریانس 9 می باشد و W_Ω برابر 7 در نظر گرفته می شود. بنابراین تصویر فرکانس رگه ها با معادله 2-40 محاسبه می شود.

$$F(i,j) = \sum_{u=-\frac{w_\Omega}{2}}^{\frac{w_\Omega}{2}} \sum_{v=\frac{w_\Omega}{2}}^{\frac{w_\Omega}{2}} W_I(u,v)\Omega'(i-uW,j-vW)$$ معادله 2-40

W_I یک فیلتر پایین گذر دو بعدی با ابعاد 7 × 7 می باشد [13].

2.5.2 نواحی ماسک گذاری

یک پیکسل در تصویر اثر انگشت ورودی می تواند در ناحیه قابل بازیابی و در ناحیه غیر قابل بازیابی بطور همزمان قرار گیرد. برای دسته بندی این پیکسل می توان از شکل موج محلی شیار ها و رگه ها استفاده کرد. در این الگوریتم سه ویژگی برای مشخص کردن شکل موج سینوسی استفاده می شود. ∝ مقدار دامنه شکل موج، β مقدار فرکانس شکل موج و γ با استفاده از معادله 2-41 بدست می آید.

$$\gamma = \frac{1}{L}\sum_{i=0}^{L}\left[X(i) - (\frac{1}{L}\sum_{i=0}^{L}X(i)\right]^2$$ معادله 2-41

تصویر اثر انگشت به بلوک های $W \times W$ تقسیم بندی می شود و در هر بلوک با استفاده از کلاسه بند $1NN$ و 6 مرکز انتخاب شده، نوع ناحیه ای که پیکسل به آن تعلق دارد مشخص می شود. اگر بلوک قابل بازیابی باشد $R(i,j) = 1$ و اگر بلوک غیر قابل بازیابی باشد $R(i,j) = 0$ قرار داده می شود. درصد نواحی قابل بازیابی و نواحی غیر قابل بازیابی مشخص می شود و اگر درصد نواحی قابل بازیابی کمتر از 40 باشد آنگاه تصویر اثر انگشت ورودی رد می شود در غیر اینصورت اثر انگشت برای انجام فیلتر گابور به مرحله بعدی می رود.

با انجام فلوچارت شکل 2-18 (که تمام مراحل آن معرفی شد) روی تصویر اثر انگشت شکل 2-20-الف، تصویر بهبود یافته شکل 2-20-ب بدست می آید [13].

الف

ب

شکل 2-20) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) تصویر بهبود یافته [13]

3 فصل سوم

روش های پیدا کردن مرکز اثر انگشت

1.3 مقدمه

مرکز اثر انگشت[1] نقش مهمی در تشخیص اثر انگشت دارد و نیز کاربرد گسترده ای در دسته بندی و تطبیق دادن اثر انگشت ها دارد. نمونه ای از نقاط مهم از جمله مرکز اثر انگشت روی یک تصویر اثر انگشت در شکل 3-1 نمایش داده شده است. در بسیاری از موارد اثر انگشت ها با شیار های متعدد و نا پیوسته باعث خطا در تشخیص اثر انگشت می شود و در بسیاری از موارد کلیه مراکز اثر انگشت های نمونه داده پیدا نمی شود.

شکل 3-1) (1) نقطه قلب (2) نقطه دلتا (3) مینوتیای دو شاخه (4) مینوتیای انتهایی

[1] Core point of fingerprint

برای بخشی از کار در تشخیص یک پایگاه داده، تکنیک تشخیص اثر انگشت بوسیله مینوتیا به طور گسترده استفاده می شود. مینوتیا پیرامون مرکز اثر انگشت نقش مهمی در سرعت تشخیص اثر انگشت هایی که از فیلتر گابور استفاده می کنند بازی می کند. در بسیاری از موارد احتیاجی به پیدا کردن محل دقیق مرکز اثر انگشت نیست.

قبل از شروع به پیدا کردن مرکز اثر انگشت باید یک پیش پردازش روی تصویر اثر انگشت انجام شود. در این پیش پردازش ابتدا جداسازی تصویر اثر انگشت یعنی جدا کردن پس زمینه از پیش زمینه اثر انگشت انجام می شود سپس تصویر با استفاده از بلوک هایی غیر همپوشان نرمال می شود. در مرحله بعد تصویر جهتی از اثر انگشت بدست می آید. این تصویر جهتی اساس کار بسیاری از روش های تشخیص اثر انگشت می باشد. اگر این پیش پردازش انجام نشود مرکز بسیاری از تصاویر در نمونه داده به اشتباه شناسایی می شود. و برای چند تصویر از یک انگشت در شرایط مختلف مراکز مختلف پیدا می شود. در ادامه روش های مختلف پیدا کردن مرکز اثر انگشت معرفی و بررسی می شود.

2.3 روش های پیدا کردن مرکز اثر انگشت

در مراحل تشخیص اثر انگشت پیدا کردن نقطه خاص در تمام نمونه داده مسئله مهمی است که این نقطه می تواند مرکز اثر انگشت باشد. برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت چندین روش پیشنهاد شده است ولی در صد موفقیت بالا به نمونه داده بستگی دارد و هنوز پیدا کردن مرکز اثر انگشت یک مرحله مهم و اساسی در تشخیص اثر انگشت می باشد. تعیین محل مرکز اثر انگشت به صورت دقیق، هم در دسته بندی اثر انگشت و هم در تشخیص اثر انگشت کاربرد دارد.

در این بخش هفت الگوریتم برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت معرفی می شود که عبارتند ا ز :

1- الگوریتم GR
2- الگوریتم DC
3- ترکیب الگوریتم GR و DC
4- الگوریتم PC
5- الگوریتم SVRB
6- الگوریتم OFMF
7- ترکیب فیلتر مختلط و تصویر جهتی

در ادامه هرکدام از این الگوریتم ها ی نام برده شده برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت بررسی می شود و با نحوه کار هر کدام آشنا می شویم.

1.2.3 الگوریتم GR[1]

روش GR برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت به صورت زیر می باشد :

1 - جهت میدان هموار توسط معادله 2-13 پیدا می شود .

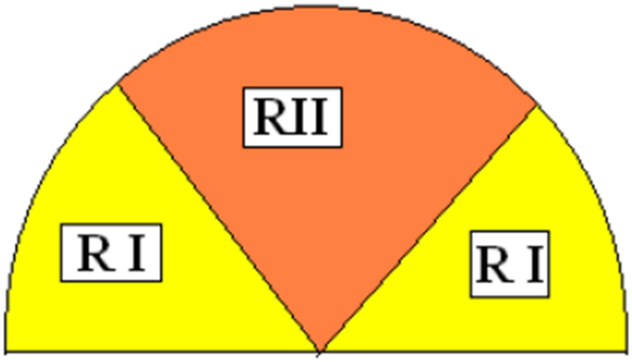
2 - $\varepsilon(i,j)$ توسط معادله 3-1 محاسبه می شود.

معادله 3-1
$$\varepsilon(i,j) = \sin(\theta(i,j)')$$

3 – تصویر اثر انگشت با نام A برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت انتخاب می شود.

4 - پس از بررسی نمونه داده ناحیه ای نیم دایره به علت انحنای رگه ها در نظر گرفته می شود که تصویر اثر انگشت به این نیم دایره نگاشت می شود که به دو قسمت تقسیم می شود که در قسمت وسط احتمال حضور مرکز اثر انگشت بیشتر می باشد. سپس با استفاده از معادله 3-2 ناحیه مرکز اثر انگشت پیدا می شود.

معادله 3-2
$$A(i,j) = \sum_{RI} \varepsilon(i,j) - \sum_{\mathrm{RII}} \varepsilon(i,j)$$



شکل 3-2) ناحیه بندی تصویر نگاشت شده [15]

نواحی RI و RII از راه تجربی با استفاده از الگوریتم تعیین محل مرکز اثر انگشت روی یک نمونه داده بزرگ بدست آمده است و همچنین شکل هندسی بر اساس ماکزیمم انحنای رگه ها طراحی شده است. به عنوان نمونه ناحیه در داخل شعاع 10 تا 12 پیکسل تعریف می شود. به علاوه ناحیه RI که ناحیه RII را ساندویچ کرده است انتظار می رود که شامل بیشتر نقاط باشد.

5 - ماکزیمم مقدار را در تصویر A پیدا کرده که این نقطه مختصات مرکز اثر انگشت می باشد.

6 - اگر هنوز نتوانستیم مرکز اثر انگشت را پیدا کنیم مراحل 1 تا 5 را با کوچک کردن پنجره در مرحله 1 تکرار می کنیم. برای مثال پنجره هایی به ترتیب با ابعاد 10،15 و 5 پیکسل استفاده می کنیم.

برای مطالعه این روش می توان به مرجع [15] مراجعه کرد.

---
1 Geometry of Region algorithm

2.2.3 الگوریتم DC [1]

1 - جهت میدان توسط معادله 2-8 پیدا می شود. اندازه بلوک ورودی W می تواند مقدار کوچک 3 انتخاب شود.

2 - بدلیل آرک های موجود در تصویر با استفاده از معادله 2-13 یک فیلتر پایین گذر گوسین به تصویر جهتی اعمال شده و نویز های احتمالی تا حدود زیادی از بین می رود.

3 - در هر بلوک مورد پردازش تفاضل جهت اجزا با استفاده از معادلات 3-3 و 3-4 محاسبه می شود.

$$Diff\ Y = \sum_{k=1}^{3} \sin 2\theta(k,3) - \sin 2\theta(k,1)$$ معادله 3-3

$$Diff\ X = \sum_{l=1}^{3} \cos 2\theta(3,l) - \cos 2\theta(1,l)$$ معادله 3-4

4 - نقطه مرکز اثر انگشت نقطه ای است که در آن $Diff\ X$ و $Diff\ Y$ هر دو منفی می باشند.

5 - اگر هنوز نتوانستیم مرکز اثر انگشت را پیدا کنیم با کوچک کردن پنجره مراحل 1 تا 4 را تکرار می کنیم. کوچک کردن پنجره و تکرار مراحل را تا پیدا کردن مرکز اثر انگشت ادامه می دهیم.

برای مطالعه این روش می توان به مرجع [16] مراجعه کرد.

3.2.3 ترکیب الگوریتم GR و DC [2]

با بازبینی در بخش های قبل ما می توانیم ببینیم که الگوریتم های پیشنهاد شده برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت خوب کار می کنند ولی برخی محدودیت ها وجود دارد. یک مورد این است که روش GR زمانی نتیجه خوبی می دهد که پنجره به اندازه کافی کوچک باشد در صورتیکه برای زمان نتیجه گیری کم پنجره باید بزرگ باشد. در ضمن در برخی موارد مرکز اثر انگشت در همه نمونه ها پیدا نمی شود. مزیت روش DC این است که می تواند مرکز اثر انگشت را با روشی سریع تر با قبول میزانی از خطا و همچنین محاسبات کمتر پیدا کند. با استفاده از مشاهدات انجام شده تکنیک پیدا کردن مرکز اثر انگشت با ترکیب دو روش مطلوب می شود.

شروع الگوریتم با نرمال سازی تصویر آغاز می شود. نرمالیزه کردن برای تخمین جهت میدان با استفاده از هموارسازی میدان استفاده می شود. مرکز اثر انگشت ابتدا با استفاده از تکنیک DC پیدا می شود سپس ناحیه مورد توجه که شامل اثر انگشت است جدا می شود. ناحیه جدا شده دوباره پردازش می شود و جهت میدان تخمین زده می شود سپس میدان هموار می شود و در ادامه با استفاده از روش GR مرکز اثر انگشت پیدا می شود.

---

[1] Detection of Curvature algorithm
[2] Combined GR algorithm and DC algorithm

در ادامه به بررسی الگوریتم کار برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت در ترکیب روش های GR و DC می پردازیم که بصورت زیر می باشد :

1 - تصویر انتخاب شده توسط معادله 2-5 نرمالیزه می شود که اندازه پنجره 21 × 21 پیکسل و $M_0 = 50$ و $V_0 = 50$ می باشد.

2 - میدان جهتی توسط معادله 2-8 محاسبه می شود. سپس از عملگر گرادیان سوبل استفاده می شود که W برابر 3 پیکسل در نظر گرفته می شود.

3 - با استفاده از هر p بلوک همسایه با سایز $w \times w$ مقادیر A و B با معادلات 3-5 و 3-6 تعیین می شوند.

معادله 3-5
$$A = \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} V_x$$

معادله 3-6
$$B = \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} V_y$$

به طوریکه V_x و V_y با استفاده از معادله های 2-6 و 2-7 مشخص می شود.

4 - هموار سازی جهت میدان برای پیدا کردن مرکز انگشت های زبر بوسیله تنظیم زوایا با استفاده از قطعه کد شکل 3-3 صورت می گیرد.

```
Procedure:
If : B(i,j) ≠ 0  then: θ = 0.5 tan^-1(B / A)
      else: θ = π/2 ,end
if θ < 0  then
    if : A < 0  then: θ = θ + π/2
    else:        θ = θ + π  ,end
else
    if : A < 0  then: θ = π/2 ,end
end
```

شکل 3-3) قطعه کدی برای هموارسازی میدان جهتی [5]

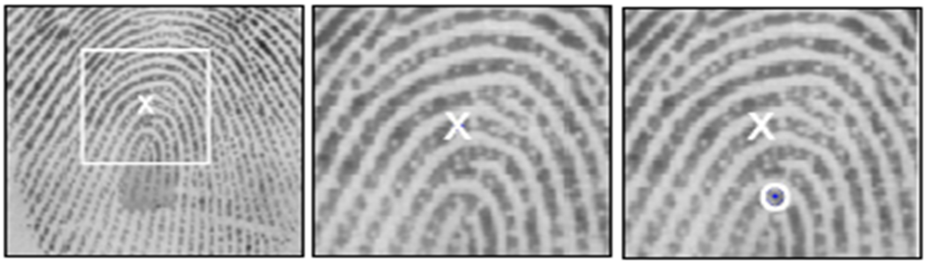
5 - مرکز اثر انگشت با استفاده از روش DC و معادلات 3-3 و 3-4 پیدا می شود.

6 - مرکز پیدا شده به عنوان مرکز مربع بریده شده با ابعاد 100 × 100 استفاده می شود. این مربع با AII مشخص می شود.

7 - هموارسازی جهت میدان با استفاده از تبدیل کردن به میدان برداری مشابه و به کار بردن فیلتر پایین گذر برای AII انجام می شود.

8 - مرکز اثر انگشت مطلوب با استفاده از تکنیک GR پیدا می شود. اندازه بلوک استفاده شده 3 × 3 پیکسل و شعاع 15 پیکسل می باشد.

این الگوریتم روی 800 تصویر از مجموعه داده FVC2000 بررسی شده است. تصاویر با اندازه 320 × 320 پیکسل می باشند و با رزولوشن $500dpi$ اسکن شده اند. نتیجه به صورت شکل 3-4 است.



الف　　　　ب　　　　ج

شکل 3-4) (الف) نحوه جدا سازی ناحیه مرکز توسط الگوریتم DC (ب) مرکز پیدا شده توسط الگوریتم DC (ج) مرکز پیدا شده توسط الگوریتم GR [5]

معیارهای ACP [1] و FCP [2] بدست آمده است که خلاصه نتایج آن در جدول های 3-1 و 3-2 آورده شده است. با استفاده از روش معرفی شده 57 تصویر از 800 تصویر به اشتباه تعیین محل شده که این اشتباهات روی تصاویری با کیفیت پایین رخ داده است.

جدول 3-1) مقادیر معیارهای ACP و FCP برای نمونه داده [5]

FVC 2002 (DB2_A) 800 images	Accepted CP		False CP	
	ACP	%	FCP	%
Poin'care index	488	61	312	39
Geometry of Region	616	77	184	23
Direction of Curvature	704	88	176	22
Optimal Core Point	743	93	57	7

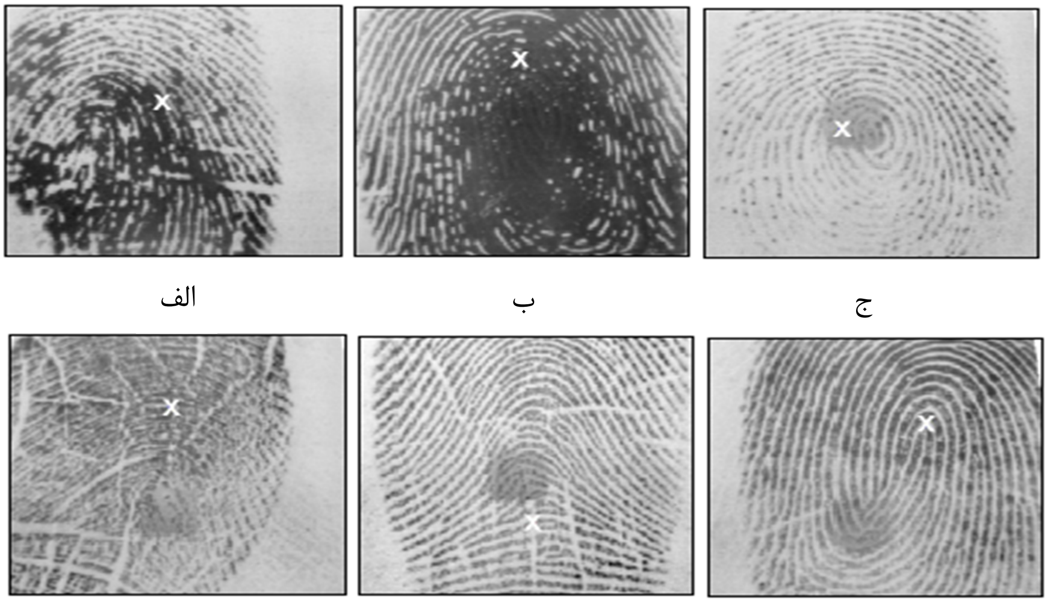
جدول 3-2) تعداد نمونه های خراب و انواع آنها در نمونه داده کلی [5]

Fail Cases					
Dry	Very dry	Oily	Very oily	Wrinkle	Arc
2	13	5	17	14	6

در شکل 3-5 نمونه داده های خراب و انواع آنها نمایش داده شده است که عامل اساسی داشتن خطا در الگوریتم های پیدا کردن مرکز اثر انگشت می باشند.

---

[1] Accepted Core Point
[2] False Core Point



شکل 3-5) تصویر (الف) اثر انگشت چرب تصویر (ب) اثر انگشت بسیار چرب تصویر (ج) اثر انگشت خشک تصویر (د) اثر انگشت چین دار تصویر (ه) اثر انگشت عادی با آرک تصویر (و) اثر انگشت دو مرکزی [5]

این روش نسبت به دو روش قبلی به بار محاسباتی کمتری نیاز دارد و احتمال پیدا کردن درست مرکز اثر انگشت را افزایش می دهد. در مرحله اول پیدا کردن دقیق مرکز اثر انگشت مهم نیست چون در مرحله دوم این مساله برطرف می شود. در مرحله دوم ناحیه جدا شده به عنوان ناحیه اثر انگشت که در مرحله قبل بدست آمده به پنجره های کوچکی تقسیم بندی می شود. به طور کلی درستی نتایج بهبود می یابد و نیز محاسبات کاهش می یابد.

در مقایسه با روش DC این روش می تواند دقت بیشتری در پیدا کردن مرکز داشته باشد. فرق این روش با روشهای مرسوم DC و GR این است که این روش ها با جستجوی کل تصویر با چندین تکرار تلاش می کنند تا مرکز اثر انگشت را پیدا کنند. این روش ها از نظر پردازش به حجم محاسبات بالایی نیاز دارند. با تست های انجام شده این روش 50 تا 43 درصد سریع تر از روش های DC و GR عمل می کند. میزان خطا 6.4 درصد برای تصاویر بی کیفیت می باشد. این روش در تشخیص مرکز تصاویری که دارای آرک می باشند اشتباه می کند به این دلیل که جهت میدان برای این تصاویر نسبت به تصاویر دیگر به سرعت تغییر نمی کند. در صد درستی نتایج می تواند افزایش یابد اگر قبل از تخمین جهت میدان تصاویر از انگشت های خشک یا خیلی خشک که بدون آرک می باشند گرفته شود. بر اساس نتایج بدست آمده انتظار می رود که مراکز اثر انگشت های بدست آمده بتواند برای دسته بندی اثر انگشت و تشخیص اثر انگشت مفید تر باشند. برای مطالعه این روش می توان به مراجع [5] [17] مراجعه کرد.

4.2.3 الگوریتم PC [1]

این روش بر اساس محاسبه معیار پوآنکاره برای همه نقاط تصویر جهتی تا N_P نقطه بعدی می باشد. در واقع معیار پوآنکاره بوسیله محاسبه اختلاف زاویه نقاط تصویر جهتی به صورت متوالی و جمع کردن آن ها با هم تعریف می شود. نقاطی که دارای انحنای رگه ها در اطراف خود هستند دارای معیار پوآنکاره بالاتری هستند.

در این روش اگر مرکز اثر انگشت پیدا نشود با هموار کردن تصویر جهتی دوباره تکرار می شود. اگر هنوز اثر انگشت پیدا نشود روشی بر اساس کواریانس برای نقاط باقی مانده اعمال می شود که باعث افزایش محاسبات می شود. معیار پوآنکاره برای مرکز اثر انگشت بین 0.45 تا 0.5 ، برای نقطه دلتا مقداری کمتر از 0.5- و برای نقاط معمولی تقریباً صفر می باشد.

الگوریتم این روش به صورت زیر می باشد :

1 – تصویر اثر انگشتی انتخاب شده و با A نام گذاری می شود.

2 - جهت میدان توسط معادله 2-8 پیدا می شود. اندازه بلوک ورودی می تواند مقدار کوچک W برابر 3 باشد.

3 - بدلیل آرک های موجود در تصویر توسط معادله 2-13 یک فیلتر پایین گذر گوسین به تصویر جهتی اعمال می شود تا نویز های احتمالی تا حدود زیادی از بین روند.

4 - برای هر پیکسل در تصویر جهتی معیار پوآنکاره با معادلات 3-7 و 3-8 و 3-9 محاسبه می شود.

$$PC(i,j) = \frac{1}{2\pi}\sum_{k=0}^{N_P-1}\Delta(k) \qquad \text{معادله 3-7}$$

$$\Delta(k) = \begin{cases} \delta(k) & \text{if } |\delta(k)| < \pi/2 \\ \pi + \delta(k) & \text{if } |\delta(k)| \leq -\pi/2 \\ \pi - \delta(k) & \text{otherwise} \end{cases} \qquad \text{معادله 3-8}$$

$$\delta(k) = \varepsilon\left(x_{(k+1)_{mod\,N_P}}, y_{(k+1)_{mod\,N_P}}\right) - \varepsilon(x_k, y_k) \qquad \text{معادله 3-9}$$

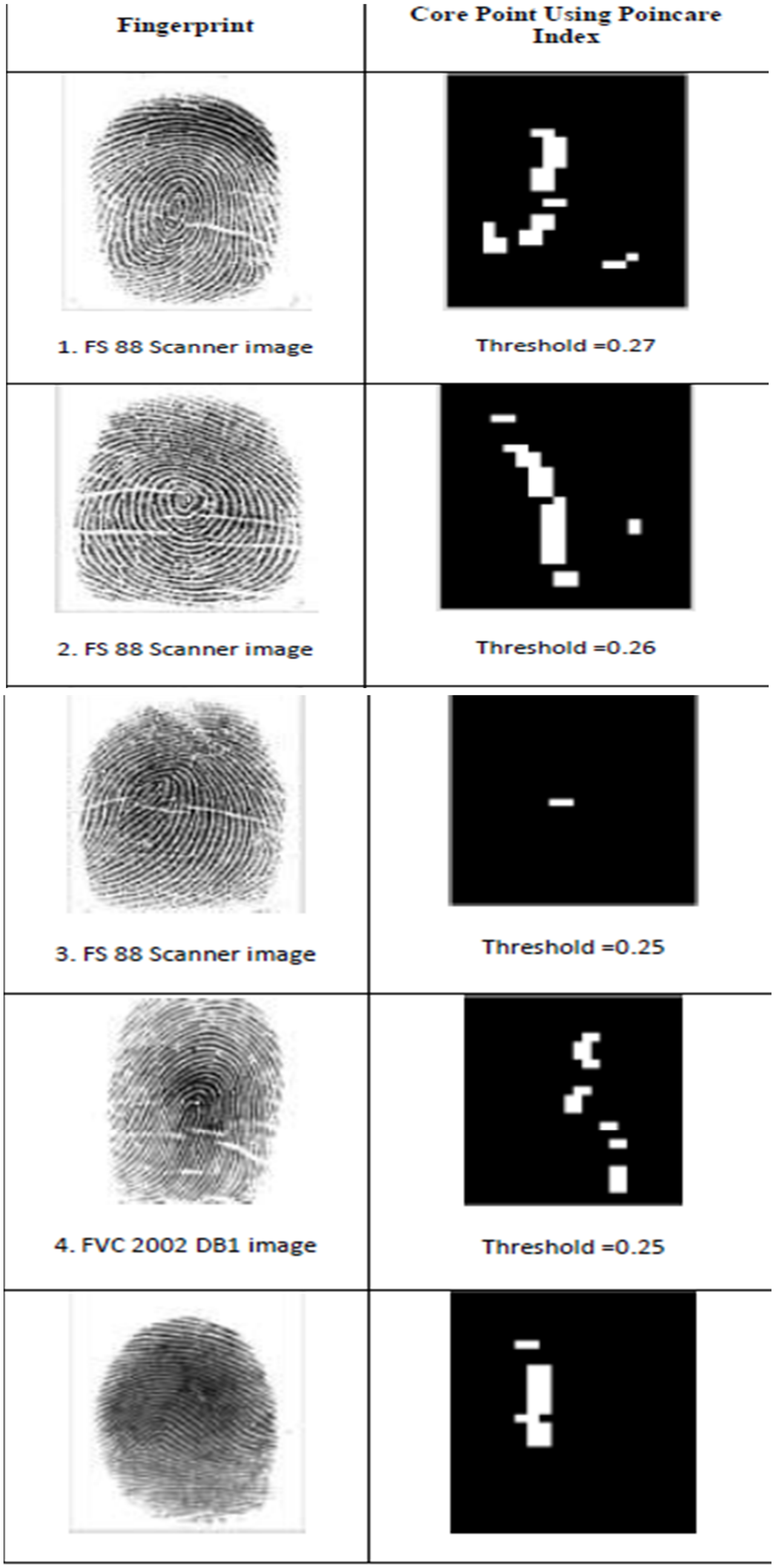
5 - اگر معیار پوآنکاره بین 0.45 تا 0.5 بود نقطه مرکز اثر انگشت خواهد بود و اگر کمتر از 0.5- باشد نقطه دلتا خواهد بود و اگر نزدیک صفر باشد نقطه ای معمولی است.

6 - مرکز بلوک با شرایط فوق مرکز اثرانگشت یا مرکز نقطه دلتا خواهد بود.

معیار پوآنکاره با آستانه های مختلف در شکل 3-6 نمایش داده شده است.

---

[1] Poincare index algorithm



شکل 3-6) نواحی مشخص شده برای مرکز اثر انگشت با استفاده از الگوریتم PC با آستانه های مختلف [18]

برای مطالعه این روش می توان به مرجع [18] مراجعه کرد.

5.2.3 الگوریتم SVRB [1]

تصویر اثر انگشت ابتدا نرمالیزه شده و پس زمینه جدا می شود. الگوریتم کار این روش به صورت زیر می باشد :

1 – تصویر اث انگشت انتخاب شده و با A نام گذاری می شود.

2 - جهت میدان توسط معادله 2-8 پیدا می شود. اندازه بلوک ورودی می تواند مقدار کوچک W برابر 3 باشد.

3 - بدلیل آرک های موجود در تصویر توسط معادله 2-13 یک فیلتر پایین گذر گوسین به تصویر جهتی اعمال می شود تا نویز های احتمالی تا حدود زیادی از بین روند.

4 - فرکانس مناسب تصویر باینری رگه ها پیدا می شود و با استفاده از این فرکانس و در جهت زوایای بدست آمده فیلتری طراحی شده و تصویر به صورت شکل 3-7 باینری می شود که پیدا کردن نقاط انحنا دار روی این تصویر باینری دارای دقت بالاتری می باشد.

الف

ب

شکل 3-7) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر باینری [4]

5 - با استفاده از هر p بلوک همسایه با سایز w × w مقادیر A و B با معادلات 3-10 و 3-11 تعیین می شوند.

معادله 3-10
$$A = \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} V_x$$

معادله 3-11
$$B = \sum_{k=0}^{p-1} \sum_{l=0}^{p-1} V_y$$

به طوریکه V_x و V_y با استفاده از معادله های 2-6 و 2-7 مشخص می شود.

[1] Slope Values Ranging Block

6 - هموار سازی جهت میدان برای پیدا کردن مرکز انگشت ها بوسیله تنظیم زوایا با استفاده از قطعه کد شکل 3-8 صورت می گیرد.

Procedure:

If $: B_{(i,j)} \neq 0$ *then:* $\theta = 0.5\tan^{-1}(B/A)$

  else: $\theta = \pi/2$ *,end*

if $\theta < 0$ *then*

  if $: A < 0$ *then:* $\theta = \theta + \pi/2$

  else: $\theta = \theta + \pi$ *,end*

else

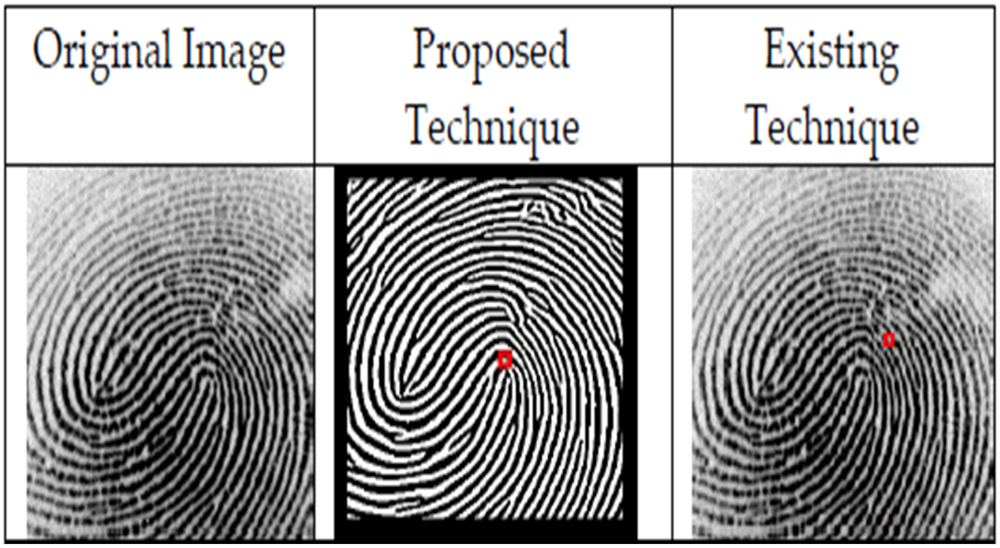
  if $: A < 0$ *then:* $\theta = \pi/2$ *,end*

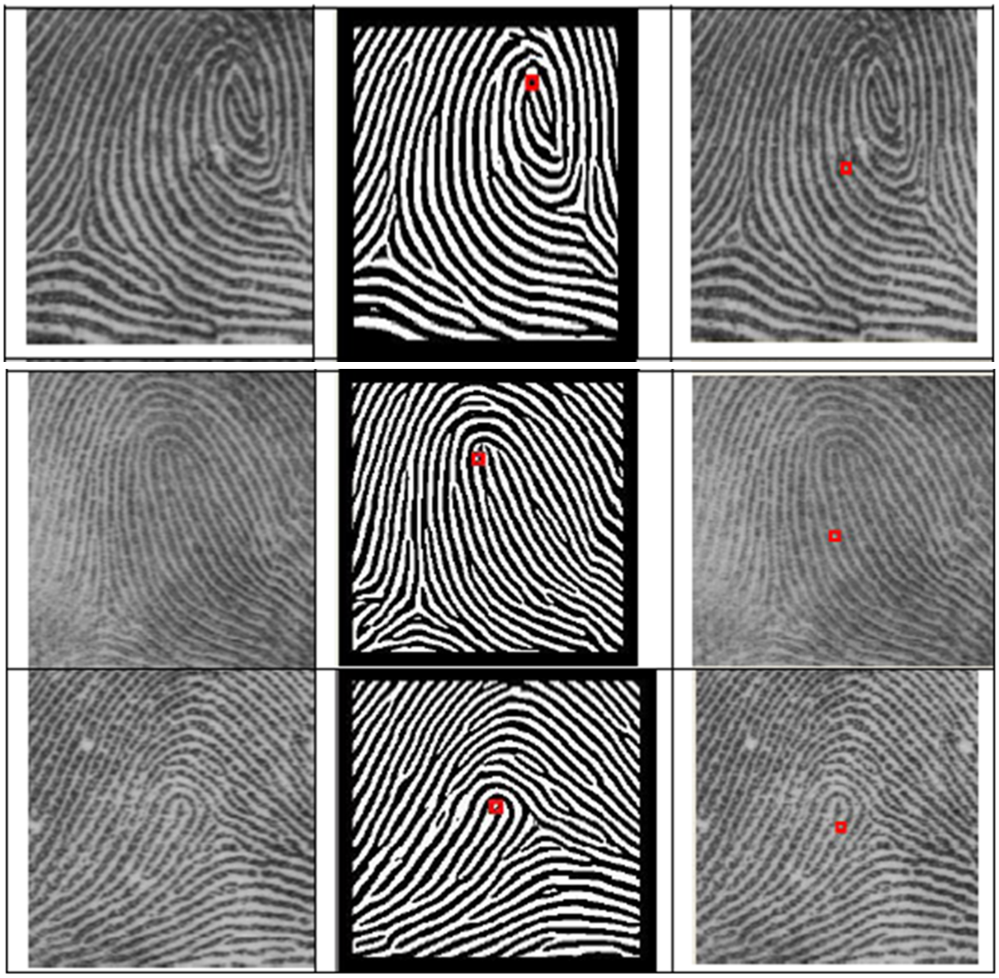
end

شکل 3-8) قطعه کدی برای هموارسازی میدان جهتی [4]

7 - بلوک هایی با محدوده شیب 0 تا $\pi/2$ تعیین می شوند. سپس مسیر رگه ها با این بلوک ها جستجو می شود و قسمت هایی که دارای شیب خارج از این محدوده هستند مشخص می شوند و برچسب می خورند. بلوکی که بیشتر از همه برچسب خورده شده باشد حاوی مرکز اثر انگشت است که مرکز بلوک به عنوان مختصات مرکز اثر انگشت می باشد.

این الگوریتم می تواند مرکز اثر انگشت را با دقت بالایی مشخص کند که در شکل 3-9 کارایی آن را در پیدا کردن مرکز اثر انگشت نسبت به سایر روش ها می بینیم :



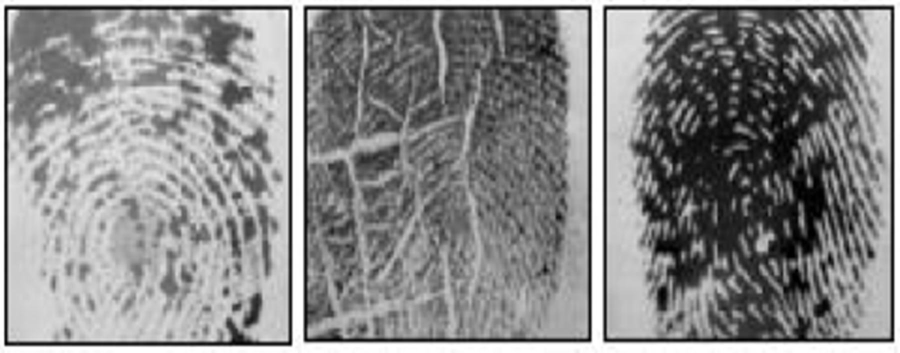


شکل 3-9) مقایسه پیدا کردن مرکز با الگوریتم SVRB و سایر الگوریتم ها [4]

الگوریتم بالا برای نمونه داده های نویزی کاربرد زیادی دارد چون بسیار نسبت به روش های دیگر در این گونه موارد کارآمد تر است (شکل 3-10)

شکل 3-10) پیدا کردن مرکز اثر انگشت در تصویر انگشت های زبر [4]

اما این الگوریتم در مواردی که تصویر از کیفیت پایینی برخوردار است به درستی کار نخواهد کرد. نمونه ای از تصاویر که الگوریتم فوق در آن دچار اشتباه می شود در شکل 3-11 آمده است.



شکل 3-11) تصویر تعدادی از اثر انگشت های بی کیفیت [4]

برای مطالعه این روش می توان به مرجع [4] مراجعه کرد.

6.2.3 الگوریتم OFMF [1]

این الگوریتم بر اساس ترکیب چند روش پیدا کردن نقاط انحنادار در اثر انگشت می باشد [19]. این روش ها به صورت زیر می باشد :

1- میزان وابستگی گرادیانی
2- معیار پوآنکاره
3- میزان وابستگی زاویه ای
4- ماسک جهتی

1.6.2.3 میزان وابستگی گرادیانی [2]

تصویر به بلوک هایی با ابعاد $w \times w$ که هم پوشانی ندارند تقسیم بندی می شود. در هر بلوک میزان گرادیان در جهت افقی با استفاده از ماسک سوبل [3] افقی و در جهت عمود با استفاده از ماسک سوبل عمودی پیدا می شود. در این روش گرادیان مرتبه دوم محاسبه می شود. بردار گرادیان مرتبه دوم در جهت افقی و عمودی به صورت $[g_{sx}\ g_{sy}]^{\mathrm{T}}$ نمایش داده می شود که با معادله 3-12 بدست می آید.

معادله 3-12
$$\begin{pmatrix} g_{sx} \\ g_{sy} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g^2 \cos 2\varphi \\ g^2 \sin 2\varphi \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} g^2(cos^2\varphi - sin^2\varphi) \\ g^2(2 \sin\varphi \cos\varphi) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} {g_x}^2 - {g_y}^2 \\ 2g_x g_y \end{pmatrix}$$

متوسط گرادیان مرتبه دوم به صورت $[\overline{g_{sx}}\ \overline{g_{sy}}]^T$ می باشد و با معادله 3-13 محاسبه می شود.

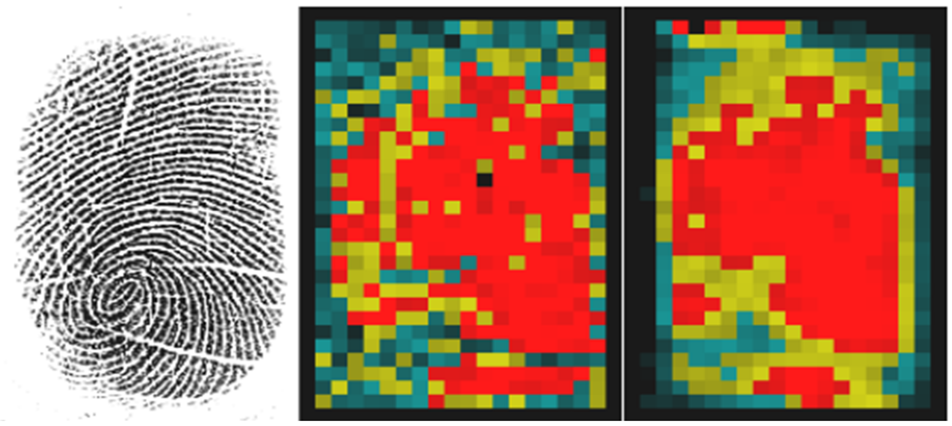
معادله 3-13
$$\begin{pmatrix} \overline{g_{sx}} \\ \overline{g_{sy}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{\mathrm{w}} \mathrm{g_{sx}} \\ \sum_{\mathrm{w}} \mathrm{g_{sy}} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{\mathrm{w}} ({g_x}^2 - {g_y}^2) \\ \sum_{\mathrm{w}} 2g_x g_y \end{pmatrix}$$

---
[1] Orientation Field based Multiple Feature
[2] Coherence of Gradient
[3] Sobel Mask

با تقسیم تصویر به بلوک هایی غیر هم پوشان مقدار وابستگی روی هر بلوک بطور مستقل بدست می آید. میزان وابستگی با استفاده از معادله 3-14 محاسبه می شود.

$$Coh_w = \frac{\left|\sum_{i=1}^{w}\sum_{i=1}^{w}(g_{sx}(i,j)g_{sy}(i,j))\right|}{\sum_{i=1}^{w}\sum_{i=1}^{w}\left|g_{sx}(i,j)g_{sy}(i,j)\right|}$$ معادله 3-14

مقدار وابستگی در نواحی دارای انحنا کم می باشد و چون مرکز اثر انگشت دارای انحنا می باشد بنابراین این روش برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت مفید می باشد. با ایجاد دسته های سه تایی از بلوک ها و متوسط گیری مقادیر وابستگی بدست آمده، می توانیم تصویر حاصل از مقادیر وابستگی را هموار کنیم. شکل 3-12-الف تصویر اثر انگشت، شکل 3-12-ب تصویر معیار میزان وابستگی روی اثر انگشت و شکل 3-12-ج تصویر میزان وابستگی هموار شده را نشان می دهد.



الف ب ج

شکل 3-12) (الف) اثر انگشت (ب) معیار میزان وابستگی روی اثر انگشت (ج) میزان وابستگی هموار شده [19]

ناحیه قرمز دارای میزان وابستگی زیاد می باشد و ناحیه زرد و آبی دارای میزان وابستگی کمی می باشد. همانطور که در شکل 3-12-ج دیده می شود ناحیه اطراف مرکز اثر انگشت دارای میزان وابستگی بسیار کم نسبت به سایر نواحی به دلیل داشتن انحنای زیاد می باشد. برای مطالعه این روش می توان به مرجع [20] مراجعه کرد.

2.6.2.3 معیار پوآنکاره

پس از اینکه ناحیه مرکز اثر انگشت جدا شد سپس معیار پوآنکاره برای این ناحیه جدا شده بدست می آید. ابتدا تصویر جهتی ناحیه جدا شده را بدست می آوریم سپس اختلاف زاویه نقاط تصویر جهتی به صورت متوالی تا N_p نقطه بعد محاسبه شده و با جمع کردن آن ها معیار پوانکاره را بدست می آوریم. نقاطی مانند مرکز اثر انگشت که دارای انحنای زیادی می باشد دارای معیار پوآنکاره بالا می باشد. همانطور

که در شکل 3-13 می بینید ناحیه زردرنگ دارای معیار پوآنکاره بالایی می باشد که ناحیه مرکز اثر انگشت می باشد. برای مطالعه این روش می توان به مرجع [18] مراجعه کرد.

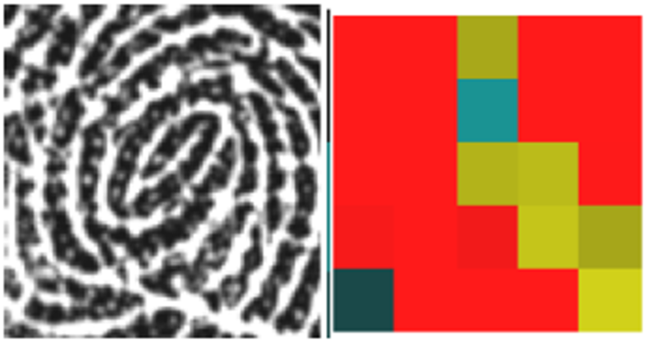
شکل 3-13) تصویر اثرانگشت و تصویر اعمال معیار پوآنکاره [19]

3.6.2.3 میزان وابستگی زاویه ای [1]

کسینوس تفاضل بین زاویه جهتی بلوک مرکز و بلوک های همسایه با اندازه W × W محاسبه شده و با هم جمع می شود. این مجموع کسینوسی برای مرکز اثر انگشت بر خلاف ناحیه های معمولی مقدار پایینی دارد. این روش با معادله 3-15 بیان می شود.

$$C = \sum_{w*w} \cos(o(c_x, c_y) - o(i, j))$$ معادله 3-15

در شکل 3-14 تأثیر میزان وابستگی زاویه ای روی تصویر اثر انگشت نشان داده شده است. برای مطالعه دقیق این روش می توان به مرجع [14] مراجعه کرد.



شکل 3-14) تصویر اثر انگشت و تصویر اعمال میزان وابستگی زاویه ای [19]

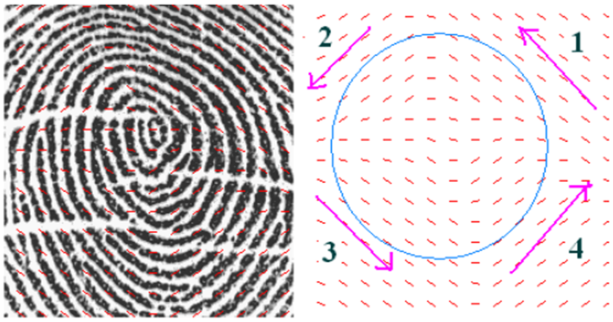
4.6.2.3 ماسک جهتی [2]

از این روش برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت استفاده می شود. این روش بر این اساس است که ناحیه اطراف اثر انگشت دارای الگوی خاصی است که این الگو به شکل یک حلقه است. در این روش ما از

---

[1] Angular Coherence
[2] Orientation Field Mask

ماسکی با حداکثر شباهت به این الگو استفاده می کنیم. الگوی مشابه پیرامون مرکز اثـر انگشـت بـه صـورت شکل 3-15 می باشد.



شکل 3-15) تصویر اثر انگشت با میدان جهتی و تصویر جهت میدان در اطراف مرکز اثر انگشت [19]

زاویه میدان جهتی در نواحی 1و3 بین 45 تا 90 درجه می باشد و برای نواحی 2و4 بـین 0 تـا 45 درجه می باشد. بعد از بدست آوردن تصویر جهتی نقاطی که دارای زوایای صفر و 90 درجه مـی باشـد برابـر صفر در نظر می گیریم و نقاطی که دارای زوایای بین 45 تا 90 درجه می باشد بـا 1+ و نقـاطی کـه دارای زوایای بین 0 تا 45 درجه می باشد با 1- مقداردهی می شود. ماسکی با ابعاد 9 × 9 به صورت شـکل3-16 تعریف می شود.

$$OM = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & -1 & -1 & -1 & 0 & +1 & +1 & +1 & +1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 & 0 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

شکل 3-16) ماتریس ماسک جهتی برای جستجو مرکز اثر انگشت [21]

با استفاده از این ماسک جهتی ماتریس بدست آمده از تصویر جهتی را جارو می کنـیم و ناحیـه ای که بیشترین میزان شباهت را با ماتریس OM با آستانه در نظر گرفته شده دارد برابـر یـک و بـاقی را برابـر صفر قرار می دهیم. برای مطالعه الگوریتم این روش به مرجع [21] مراجعه کنید.

5.6.2.3 الگوریتم

در نهایت با توجه به مراحل بالا الگوریتم این روش به صورت زیر می باشد :

1 – تصویر اثر انگشت انتخاب شده و با A نام گذاری می شود.

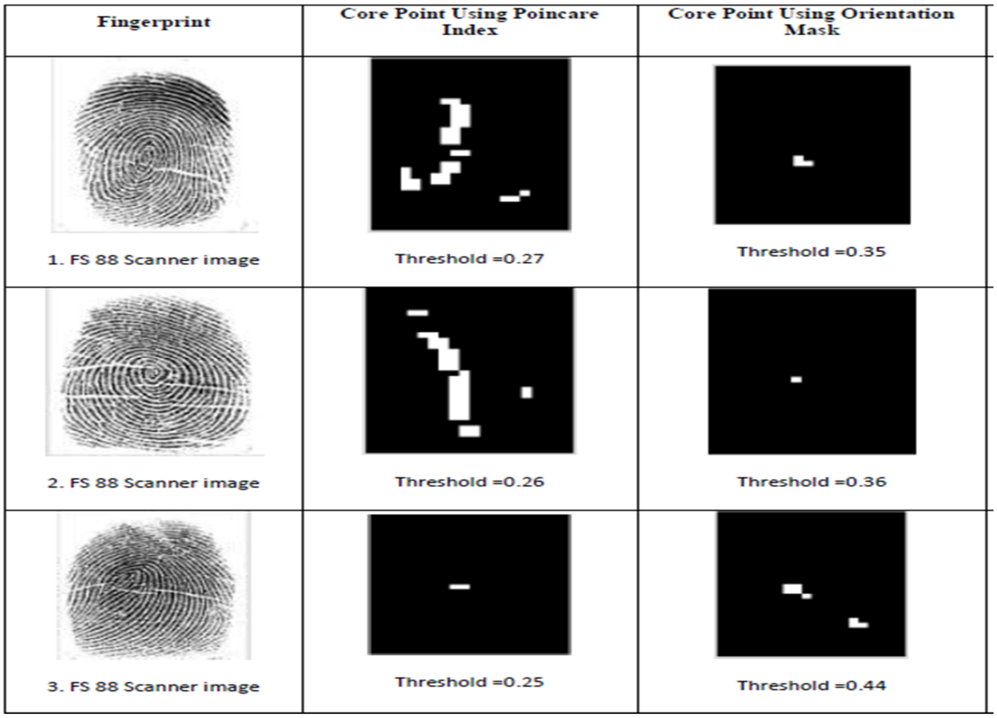
2 - جهت میدان توسط معادله 2-8 پیدا می شود. اندازه بلوک ورودی می تواند مقـدار کوچـک W برابـر 3 باشد.

3 - بدلیل آرک های موجود در تصویر توسط معادله 2-13 یک فیلتر پایین گذر گوسین به تصویر جهتی اعمال می شود تا نویز های احتمالی تا حدود زیادی از بین روند.

4 - تصویری جهتی بصورت ماتریسی شامل 0 و 1 و -1 طبق مطالب بالا تبدیل شده و ماسک جهتی OM به تصویراثر انگشت اعمال می شود که نتیجه به صورت شکل 3-17 است.

شکل 3-17) تصویر اثر انگشت و تصویر ناحیه پیدا شده به عنوان مرکز اثر انگشت با اعمال ماسک جهتی [19]

ناحیه سفید رنگ از تصویر کلی جدا می شود. اگر چند ناحیه سفید رنگ ایجاد شود باید ابعاد ماتریس OM را کاهش داد و اگر بازهم نشد مقدار آستانه را نیز کاهش دهید. مقایسه این کار با اعمال معیار پوآنکاره به صورت شکل 3-18 است.

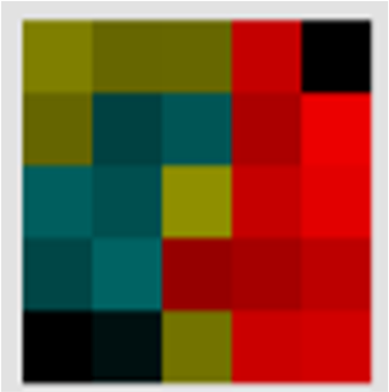


شکل 3-18) ستون سمت چپ تصویر اثر انگشت و ستون وسط ناحیه پیدا شده برای مرکز اثر انگشت با ماسک جهتی و ستون سمت راست ناحیه پیدا شده برای مرکز اثر انگشت با روش پوآنکاره [21]

ناحیه جدا شده از تصویر اصلی به عنوان ناحیه مرکز اثر انگشت به صورت شکل 3-19 می باشد.

شکل 3-19) تصویر ناحیه جدا شده به عنوان ناحیه مرکز اثر انگشت [19]

5 - در ناحیه جدا شده شکل 3-19میزان وابستگی گرادیانی را محاسبه کرده و مرکز ناحیه ای که دارای کمترین میزان وابستگی زاویه ای است را بدست می آوریم که به صورت شکل 3-20 می باشد.



شکل 3-20) تصویر اعمال معیار پوآنکاره روی ناحیه مرکز اثر انگشت [19]

6 - در ناحیه جدا شده شکل 3-19 میزان وابستگی زاویه ای را محاسبه کرده و مرکز ناحیه ای که دارای کمترین میزان وابستگی زاویه ای است را بدست می آوریم که به صورت شکل 3-21 می باشد.

شکل 3-21) تصویر اعمال معیار میزان وابستگی روی ناحیه مرکز اثر انگشت [19]

7) با استفاده از معادله 3-16 مختصات مرکز اثر انگشت بدست می آید.

$$Core(x,y) = Coherence(x,y) + Angular\ Coherence(x,y) - Poincare(x,y)$$ معادله 3-16

7.2.3 ترکیب فیلتر مختلط و تصویر جهتی

تصویر اثر انگشت انتخاب شده و با A نام گذاری می شود. این تصویر نرمالیزه شده و پس زمینه جدا می شود. سپس جهت میدان توسط معادله 2-8 پیدا می شود. اندازه بلوک ورودی می تواند مقدار کوچک W برابر 3 باشد. بدلیل آرک های موجود در تصویر توسط معادله 2-13 که یک فیلتر پایین گذر گوسین به تصویر جهتی اعمال می کند نویز های احتمالی تا حدود زیادی از بین می روند.

بدلیل اینکه فیلتر های مختلط به تفاوتهای چرخشی بسیار حساس هستند تصویر حاصل از فیلتر مختلط محل تقارن را به خوبی نشان می دهد. اثر انگشت دارای خطوط متقارنی در همسایگی مرکز اثرانگشت می باشد. بنابراین می توان با استفاده از فیلتر مختلط ناحیه ای دارای تقارن که شامل مرکز اثر انگشت است را پیدا کرد. فیلتر مختلط با معادلات 3-17 و 3-18 بیان می شود.

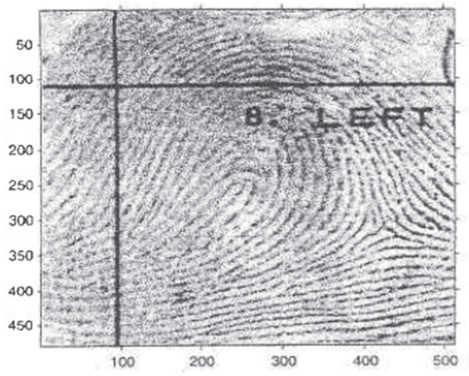
$$h(x,y) = (x + iy) \times g(x,y)$$ معادله 3-17

$$g(x,y) = \exp(-\frac{x^2+y^2}{2\delta_2})$$ معادله 3-18

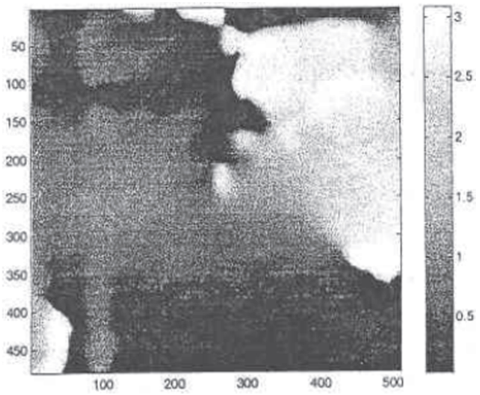
این فیلتر را به تصویر جهتی بدست آمده با معادله 3-19 اعمال می کنیم .

$$Z(x,y) = \left(G_x(x,y) + iG_y(x,y)\right)^2$$ معادله 3-19

اگر تصویر اثر انگشت به صورت شکل 3-22 باشد، تصویر جهتی با اعمال فیلتر پایین گذر گوسی بصورت شکل 3-23 می باشد.

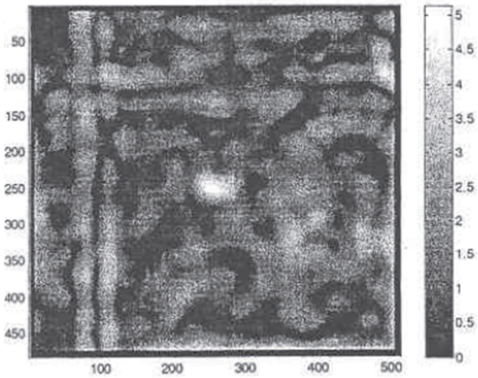


شکل 3-22) تصویر اثر انگشت برای اعمال فیلتر مختلط [22]



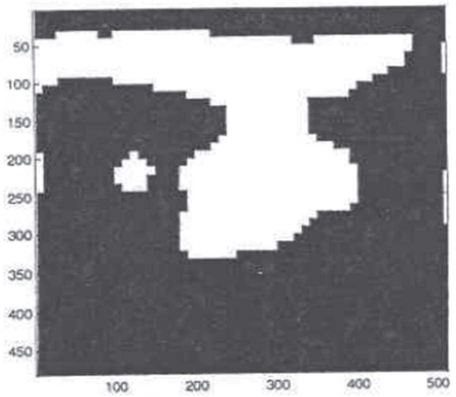
شکل 3-23) تصویر جهتی با اعمال فیلتر پایین گذر گوسی [22]

حال با اعمال یک فیلتر مختلط به تصویر جهتی شکل 3-23، شکل 3-24 بدست می آید.



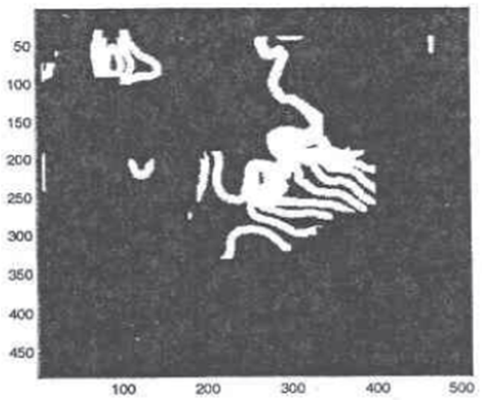
شکل 3-24) تصویر حاصل از اعمال فیلتر مختلط به تصویر جهتی [22]

تصویر شکل 3-24 در ماتریسی که پس زمینه را جدا می کند ضرب می شود سپس پیکسلی که دارای بیشترین مقدار می باشد به عنوان مرکز اثر انگشت انتخاب می شود. البته برای داشتن دقت بیشتر می توان از ماسک هایی نیز استفاده کرد. برای این کار در تصویر جهتی بدست آمده ابتدا با استفاده از روش GR که در بالا توضیح داده شد ماسک اول به صورت شکل 3-25 تولید می شود.



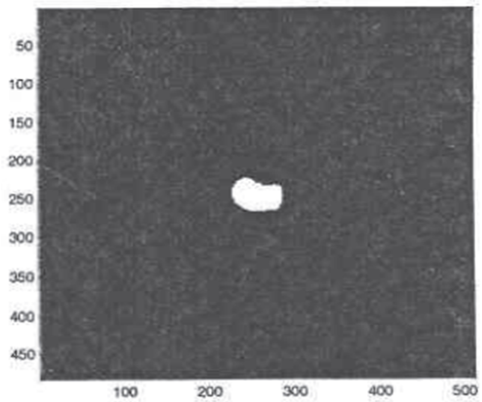
شکل 3-25) ماسک اول برای اعمال تصویر فیلتر مختلط [22]

در تصویر جهتی بدست آمده در شکل 3-23 مرز هایی با دقت 10 پیکسل مشخص می شوند. این مرز ها شامل نقاطی هستند که زاویه آن ها می تواند از 45 تا 135 درجه باشد. تصویر حاصل از جمع این مرزها ماسک دوم را به صورت شکل 3-26 ایجاد می کند.



شکل 3-26) ماسک دوم برای اعمال به فیلتر مختلط [22]

دو ماسک بالا در هم ضرب شده و داخلی ترین ناحیه با بزگترین مساحت انتخاب شده و ماسک سوم به صورت شکل 3-27 ایجاد می شود.



شکل 3-27) ماسک سوم حاصل از ترکیب دو ماسک اول و دوم برای اعمال به فیلتر مختلط [22]

با اعمال این ماسک به تصویر و انتخاب بزرگترین مقدار، مرکز اثر انگشت پیدا می شود. برای مطالعه الگوریتم این روش می توان به مراجع [22] [23] مراجعه کرد. برای ارزیابی روش پیشنهاد شده 250 اثر انگشت در پایگاه داده NIST4 مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که در 214 مورد نقطه مرجع درست تشخیص داده شده است.

4 فصل چهارم

روش های تشخیص اثر انگشت

1.4 مقدمه

خصوصیات اصلی در یک اثر انگشت رگه ها یا برجستگی ها و شیارها یا فرو رفتگی ها هستند که بصورت یک در میان قرار دارند. رگه ها و شیارها بصورت محلی دارای جهت یکسانی بوده و موازی می باشند. در خطوط رگه ها بی نظمی هایی مانند دو شاخه شدن خط رگه و پایان یافتن خط رگه دیده می شود. در چنین حالتی اصطلاحاً می گوییم با عدم پیوستگی محلی مواجه گشته ایم. چنین نقاطی را مینوتیا می نامند. رایج ترین مینوتیاهایی که امروزه از اثر انگشت استخراج می شود مینوتیاهایی هستند که توسط گالتن [1] معرفی شدند. در ابتدا این شخص چهار نوع مینوتیا معرفی کرد اما بعد ها این مینوتیاها توسط افراد دیگری هم توسعه پیدا کرد و تا هجده مینوتیا معرفی شد.

استخراج خودکار کلیه مینوتیاها توسط کامپیوتر بسیار مشکل بوده و حتی استخراج آنها بصورت دستی نیز نیاز به تخصص دارد. در اکثر سیستم های خودکار امروزی فقط به استخراج دو مینوتیای خاص با نام های انتهای رگه و دو شاخه شدن رگه بسنده می شود. این دو مینوتیای خاص بیشتر از مینوتیاهای دیگر در یک اثر انگشت قابل مشاهده است و الگوریتم های استخراج آن از قابلیت اعتماد بیشتری برخوردار می باشد. شناسایی اثر انگشت بر اساس تحلیل مینوتیاهای استخراج شده انجام می شود. بنابراین قابلیت اجرا و کارائی سیستم خودکار شناسایی اثر انگشت به دقت مینوتیاهای استخراج شده بستگی دارد.

[1] Galton

2.4 روش های شناسایی اثر انگشت

روش های زیادی برای پیدا کردن ویژگی ها در تصویر اثر انگشت وجود دارد. در بیشتر این روش ها تصاویر سیاه و سفید یا سطح خاکستری[1] اثر انگشت را به یک تصویر باینری[2] یا دو سطحی تبدیل می کنند. طی این فاز رگه ها از شیارها کاملاً تفکیک می شود. در بعضی روش ها نیز با اعمال فیلتر گابور بعد از نرمالسازی تصویر اثر انگشت ویژگی ها استخراج می شود. روش های مختلفی برای تشخیص اثر انگشت وجود دارد که هرکدام دارای مزایا یا معایبی می باشد در اینجا سه روش معرفی می شود.

1- تشخیص بر اساس ویژگی های بافتی یا مینوتیا
2- تشخیص بر اساس فیلتر گابور و تبدیل FLD و RFLD
3- تشخیص به کمک روش قطاع بندی

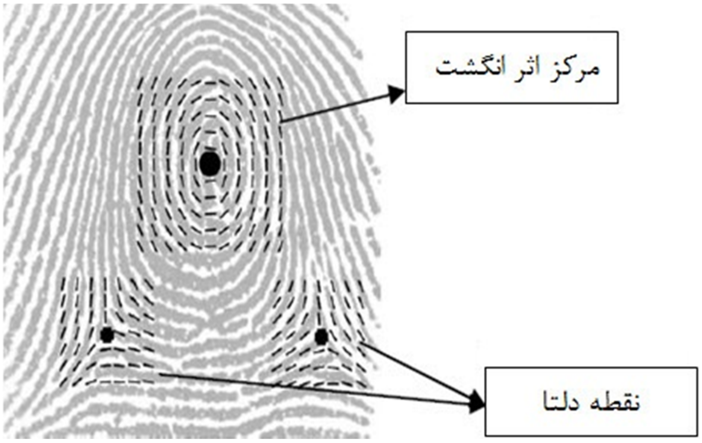
1.2.4 تشخیص بر اساس ویژگی های بافتی یا مینوتیا

همهٔ انسان ها دارای اثر انگشت های متفاوتی هستند که به صورت شیارها و رگه های مختلف روی نوک انگشتان شکل می گیرد. شیارها و رگه ها اغلب به صورت موازی حرکت می کنند اما در بعضی مناطق دوشاخه شده و یا خاتمه می یابد. به این ویژگی ها مینوتیا گفته می شود. مینوتیا شامل جزئیات بسیار کوچکی است که به روش های مختلف ناپیوستگی رگه ها اشاره دارد. جائیکه رگه ها پایان می یابند را مینوتیای انتهایی می نامند و جائیکه رگه ها به دو مسیر متفاوت تقسیم می شوند مینوتیا دوشاخه ای می نامند. در شکل 4-1 نقاط پیدا شده به عنوان مینوتیا روی یک تصویر اثر انگشت نمایش داده شده است.

شکل 4-1) نقاط پیدا شده بعنوان مینوتیای انتهایی و مینوتیای دو شاخه ای و مرکز اثر انگشت روی تصویر اثر انگشت [15]

---
[1] Grayscale image
[2] Binary image

نواحی خاصی نیز وجود دارد که در این نواحی رگه ها دارای انحنا می باشند. این نـواحی عبارتنـد از مرکز اثر انگشت و نقطه دلتا که به صورت شکل 4-2 می باشد.



شکل 4-2) نمایش نقاط مرکز اثر انگشت و دلتا روی تصویر اثر انگشت [4]

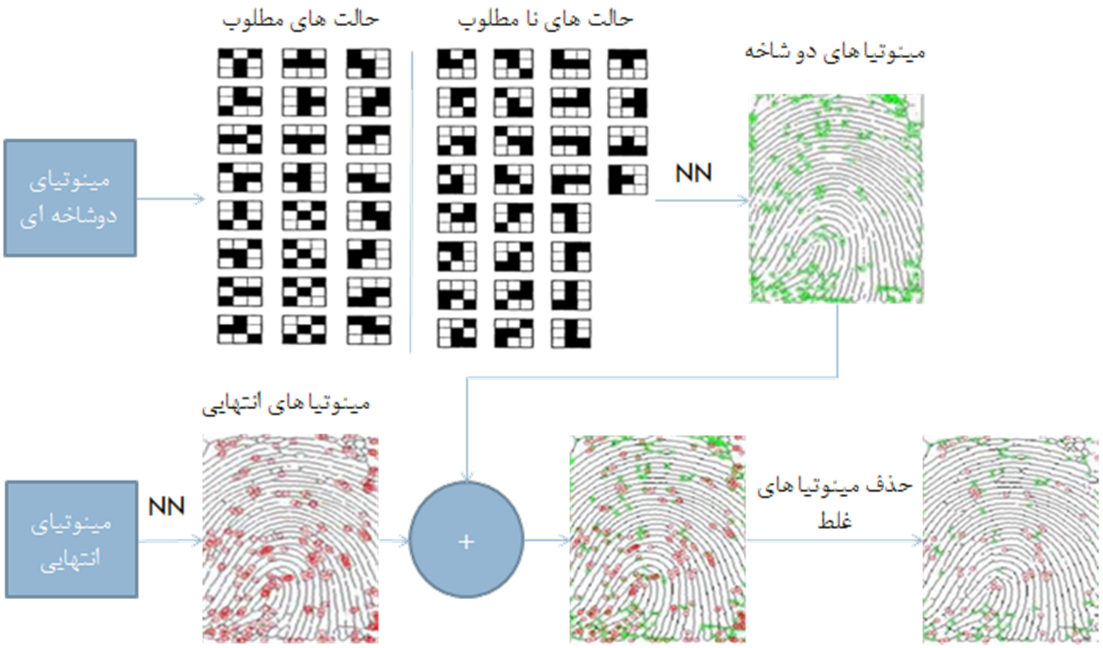
در کل هجده مینوتیا معرفی شده است که در اکثر روش های تشخیص اثر انگشت بر اساس مینوتیـا از دو مینوتیای انتهایی و مینوتیای دوشاخه استفاده می شود که برای تشخیص نیز کافی می باشند [24].

سیستم تشخیص اثر انگشت بر اساس ویژگی های بافتی و مینوتیا به دو مرحله زیر تقسیم می شود :

1- نازک سازی رگه ها در تصویر اثر انگشت (شکل 4-3)

2- پیدا کردن مینوتیای انتهایی و مینوتیای دوشاخه در تصویر نازک سازی شده (شکل 4-4)

شکل 4-3) مرحله نازک سازی رگه ها در تصویر اثر انگشت



شکل 4-4) مرحله پیدا کردن مینوتیای انتهایی و مینوتیای دوشاخه روی تصویر نازک سازی شده

1.1.2.4 مرحله اول

در این مرحله ابتدا با استفاده از فیلتر گابور کیفیت تصویر اثر انگشت بهبود داده می شود. روی تصویر بهبود یافته جداسازی انجام می شود و ماتریسی متشکل از صفر و یک که یک ماتریس جدا ساز می باشد بدست می آید همچنین تصویر بهبود یافته به یک تصویر باینری با استفاده از یک آستانه تبدیل می شود. در ادامه ماتریس جداساز در تصویر باینری ضرب می شود و در تصویر حاصل عمل نازک سازی صورت می گیرد و تصویری که در آن رگه ها نازک شده اند بدست می آید که از این تصویر برای پیدا کردن مینوتیاها در مرحله دوم استفاده می شود. هر کدام از مراحل نام برده در این بخش در ادامه معرفی می شوند.

1.1.1.2.4 بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت

همانطور که در بررسی قبل دیده شد افزایش کیفیت با استفاده از فیلتر گابور بهترین روش برای تشخیص اثر انگشت بر اساس ویژگی های بافتی و مینوتیا می باشد. بر این اساس برای پاکسازی نویز و بهبود ساختار رگه ها و شیار ها و افزایش کنتراست تصویر، تصویر اثر انگشت توسط بانک فیلتر گابور در جهت های مختلف فیلتر می شود. فیلتر زوج گابور با معادلات 4-1 و 4-2 و 4-3 مشخص می شود.

$$G(x, y, f, \theta) = \exp\left\{\frac{-1}{2}\left[\frac{\acute{x}^2}{\delta_x} + \frac{\acute{y}^2}{\delta_y}\right]\right\}\cos(2\pi f \acute{x})$$ معادله 4-1

$$\acute{x} = x\sin\theta + y\cos\theta$$ معادله 4-2

$$\acute{y} = xcos\theta - ysin\theta$$ معادله 3-4

پارامتر f فرکانس سینوسی فیلتر در راستای جهت θ از محور طول ها است. پارامترهـای δ_x و δ_y به ترتیب ثابت های پنجره گوسی در راستای x و y هستند. با فرض اینکه میانگین فاصله بین رگه ها مقـدار k می باشد فرکانس به صورت f = 1/k می باشد.

برای اعمال این فیلتر به تصویراثر انگشت، ابتدا بلوکی با ابعاد w × w بـا اسـتفاده از فرمـول 1-4 ساخته می شود و سپس با استفاده از این بلوک تصویر را فیلتر می کنـیم. اگـر ایـن مرحلـه از کـار را انجـام دهیم شکل 5-4 حاصل می شود. همانطور که در فصل دوم گفته شد این تصویر بهبود یافته بـرای تشـخیص بر اساس ویژگی های بافتی و مینوتیا مناسب می باشد [3] [25].

الف ب

شکل 5-4) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) تصویر بهبود یافته [25]

2.1.1.2.4 جداسازی پس زمینه

جداسازی پردازشی است که طی آن ناحیه پس زمینه اثر انگشت جدا می شود. ناحیه پـیش زمینـه ناحیه ای است که شامل برآمدگی ها و فرورفتگی های اثر انگشت می شـود و ناحیـه پـس زمینـه ناحیـه ای است که هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت را شامل نمی شود. پس از جدا سازی ناحیه پـس زمینـه کـه اطلاعـات بسیار کمی و یا هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت در آن وجود ندارد، مقدار صفر به پیکسـل هـای موجـود در ایـن ناحیه داده می شود و به پیکسل های دیگر که در ناحیه پیش زمینه قرار دارنـد مقـدار یـک داده مـی شـود. بنابر این با ضرب این ماتریس ایجاد شده به نام ماتریس جداساز در تصویر اصلی پس زمینه جـدا مـی شـود. الگوریتم این روش به صورت زیر می باشد :

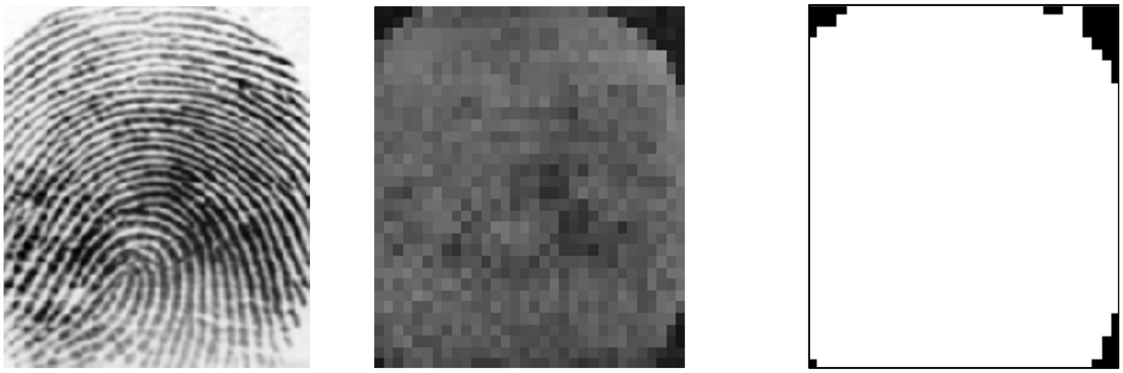
1 - ابتدا تصویر اثر انگشت به بلوک هایی با ابعاد w × w که به صورت غیر همپوشـان مـی باشـند تقسـیم بندی می شود.

2 - میانگین هر بلوک با استفاده از معادله 1-2 محاسبه می شود.

3 با استفاده از میانگین محاسبه شده با معادله 1-2 واریانس در هر بلوک با معادله 2-2 محاسبه می شود.

بنابراین ماتریسی شامل واریانس ها در هر بلوک بدست می آید که این ماتریس در شکل 4-6-ب نمایش داده شده است.

4 - هر بلوکی که دارای واریانسی کمتر از مقدار آستانه[1] است با صفر مقدار دهی می شود و سایر بلوک ها با یک مقدار دهی می شود. از آنجائیکه مقدار واریانس پس زمینه بسیار کمتر از پیش زمینه است با این روش ماتریس جدا ساز پس زمینه بدست می آید که به صورت شکل 4-6-ج می باشد [4].



الف ب ج

شکل 4-6) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) ماتریس واریانس (ج) ماتریس جداساز پس زمینه

3.1.1.2.4 باینری کردن تصویر

در این بخش تصویر بهبود یافته را به تصویر باینری با مقادیر صفر و یک تبدیل می شود. این کار باعث می شود تا روشنایی بین رگه ها و شیار ها افزایش پیدا کند. اگر این مرحله از کار روی شکل 4-7-الف که تصویر بهبود یافته است انجام شود شکل 4-7-ب حاصل می شود [25].

الف ب

شکل 4-7) (الف) تصویر بهبود یافته (ب) تصویر باینری حاصل از تصویر بهبود یافته [25]

[1] Threshold

4.1.1.2.4 نازک سازی تصویر

برای جستجو کردن روی تصویر اثر انگشت برای پیدا کردن ویژگی های مینوتیا نیاز داریم تا تصـویر باینری را نازک سازی کنیم. در روش نازک سازی پیکسل های همسایه یک پیکسل به صورت شـکل 4-8 در نظر گرفته می شود.

P4	P3	P2
P5	P	P1
P6	P7	P8

شکل 4-8) تصویر نحوه مشخص کردن همسایه های یک پیکسل [26]

عبارت $\sum(p)$ مجموع پیکسل های همسایه غیر صفر و عبارت δp تعداد تغییر حالـت از صـفر بـه یک در همسایگی یک پیکسل می باشد که با توجه به شکل 4-8 این دو عبارت محاسبه می شـود. شـرایطی به صورت معادله 4-4 و 4-5 برای پیکسل های همسایه در نظر گرفته می شود.

معادله 4-4 $$1 < \sum(p) < 7$$

معادله 4-5 $$\delta(p) = 2$$

اگر این دو شرط بالا برقرار باشد درنتیجه معادلات 4-6 و 4-7 را داریم.

معادله 4-6 $$p * p5 * p7 = 0$$

معادله 4-7 $$p3 * p5 * p7 = 0$$

این الگوریتم آنقدر تکرار می شود تا دیگر شرایط بالا رخ ندهد در اینصورت با اسـتفاده از شـکل 4-9-الف شکل 4-9-ب به صورت زیر حاصل می شود.

ب الف

شکل 4-9) (الف)تصویر اثر انگشت (ب) تصویر نازک سازی شده [25]

برای مطالعه طرز کار این روش به مرجع [26] مراجعه کنید.

2.1.2.4 مرحله دوم

در این مرحله روی تصویر نازک سازی شده مختصات مینوتیاهای انتهایی و دوشاخه ای پیدا می شود سپس مینوتیاهایی که به اشتباه پیدا شده است حذف می شود. در ادامه بردارهای ویژگی تشکیل می شوند و با استفاده از این بردار های ویژگی شناسایی صورت می گیرد. هر کدام از مراحل نام برده شده در این بخش در ادامه معرفی می شود.

1.2.1.2.4 پیدا کردن مینوتیا ی انتهایی و دوشاخه ای

دو روش برای پیدا کردن مینوتیا ی انتهایی و دوشاخه ای وجود دارد که در هر دو روش از بلوک های 3×3 برای جستجو استفاده می شود.

1- مجموع مقدار پیکسل های بلوک

2- استفاده از شبکه های عصبی

روش دوم نسبت به روش اول مینوتیا ها را بهتر و مطلوب تر پیدا کرده و نقاط کمتری را به اشتباه به عنوان مینوتیا تشخیص می دهد.

1.1.2.1.2.4 مجموع مقدار پیکسل های بلوک

در این روش با استفاده از یک بلوک 3×3 روی تصویر نازک سازی شده که دارای پیکسل هایی با مقدار یک یا صفر می باشد بصورت هم پوشان حرکت می کنیم و تصویر نازک سازی شده بصورت کامل پویش می شود. در هر حرکت اگر مجموع مقادیر پیکسل های موجود در بلوک از تصویر نازک سازی شده برابر 2 بود مختصات مرکز را برداشته و مینوتیا را مینوتیای انتهایی می نامیم و اگر مجموع مقادیر پیکسل های موجود در بلوک از تصویر نازک سازی شده برابر 4 بود مختصات مرکز را برداشته و مینوتیا را مینوتیای دوشاخه می نامیم.

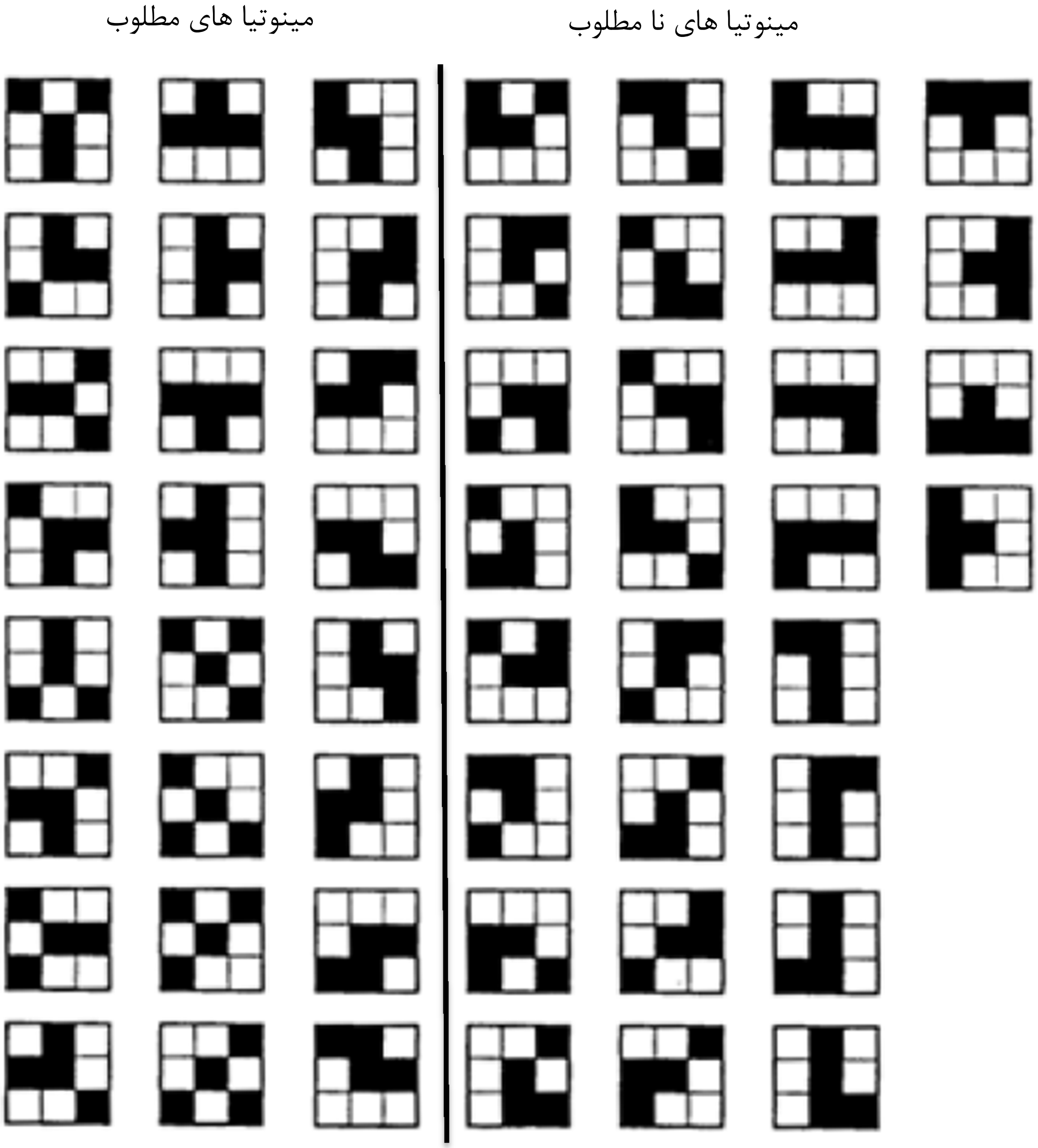
2.1.2.1.2.4 استفاده از شبکه های عصبی

اشاره شد که مینوتیای دوشاخه ای و مینوتیای انتهایی بیشتر از دیگر مینوتیاها کاربرد دارند و بنابراین در تصویر نازک سازی شده بدنبال این دو مینوتیا هستیم. برای این کار ابتدا یک بلوک 3×3 که در آن مقادیر صفر و یک قرار داده شده است بطوریکه برای مینوتیای دوشاخه شکل 4-10 و برای مینوتیای انتهایی شکل 4-11 حاصل شود، ایجاد می کنیم. در این دو بلوک نقش دو مینوتیای دو شاخه ای و انتهایی وجود دارد.

الف ب

شکل 4-10) (الف) بلوک 3×3 برای مینوتیای دوشاخه ای (ب) بلوک 3×3 برای مینوتیای انتهایی [25]

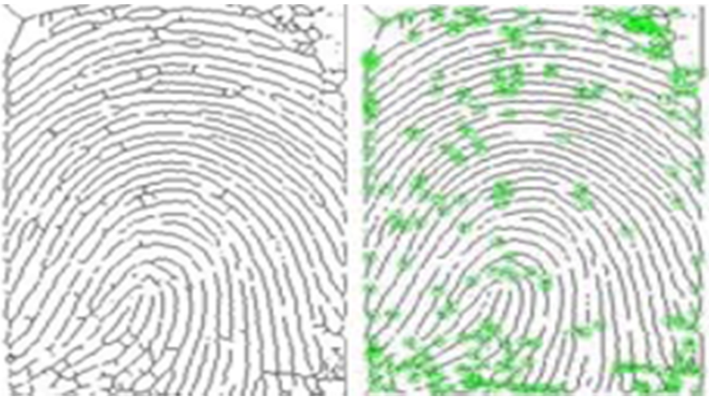
برای مینوتیای دو شاخه ای تمام حالت هایی که وجود دارد را در یک مجموعه و تمام حالت های نامطلوب را در مجموعه دیگر قرار می دهیم. در اینصورت مجموعه ای به صورت شکل 4-11 داریم.



شکل 4-11) تمام بلوک های مطلوب و نامطلوب با ابعاد 3×3 برای مینوتیای دوشاخه ای [27]

به ماتریس هایی که در مجموعه مطلوب قرار دارد مقدار یک و به ماتریس هایی که در مجموعه نامطلوب قرار دارد مقدار صفر را نسبت می دهیم.

شبکه عصبی MLP توسط این مجموعه داده تولید شده آموزش داده می شود. پس از آموزش شبکه، بلوکی 3×3 روی تصویر حرکت داده می شود و در هر گام مقدار داخل آن به شبکه عصبی داده می شود و مختصات مرکز بلوک هایی را که توسط شبکه عصبی به آن مقدار یک نسبت داده شد در یک ماتریس ذخیره می شود. این مختصات ها در حقیقت همان مرکز مینوتیای دو شاخه ای می باشد. اگر این کار را انجام دهیم شکل 4-12 حاصل خواهد شد که نقاط سبز رنگ مشخص شده در حقیقت مرکز مینوتیای دو شاخه ای می باشد.



الف ب

شکل 4-12) (الف) تصویر نازک سازی شده (ب) تصویر نازک سازی شده همراه با مینوتیاهای دوشاخه به رنگ سبز **[25]**

همین کار را اگر برای مینوتیای انتهایی انجام دهیم شکل 4-13 حاصل خواهد شد که نقاط قرمز رنگ مشخص شده در حقیقت مرکز مینوتیای انتهایی می باشد.

الف ب

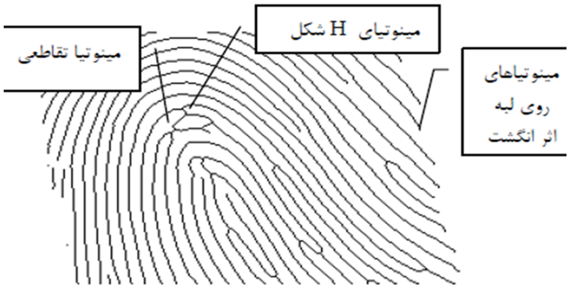
شکل 4-13) (الف) تصویر نازک سازی شده (ب) تصویر نازک سازی شده همراه با مینوتیاهای انتهایی به رنگ قرمز **[25]**

2.2.1.2.4 حذف مینوتیاهای غلط

همانطور که در شکل های 4-12 و 4-13 مشاهده می شود نقاطی به اشتباه بـه عنـوان مینوتیـا معرفـی شده است. به طور کلی مینوتیاهای غلط عبارتند از :

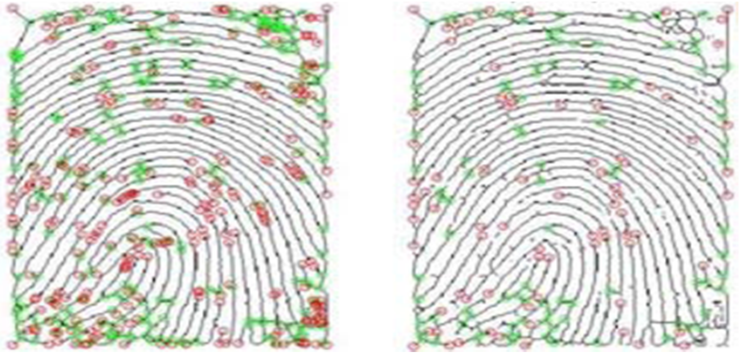
1- مینوتیای تقاطعی
2- مینوتیای دریاچه ای
3- مینوتیای برجستگی کوتاه
4- مینوتیاهای بسیار نزدیک به هم
5- مینوتیاهای روی لبه تصویر یا بسیار نزدیک به آن
6- مینوتیای بریدگی برجستگی ها
7- مینوتیای H شکل

بعضی از این مینوتیاهای غلط به صورت شکل 4-14 می باشد.



شکل 4-14) تصویر اثر انگشت با تعدادی از مینوتیاهای غلط [28]

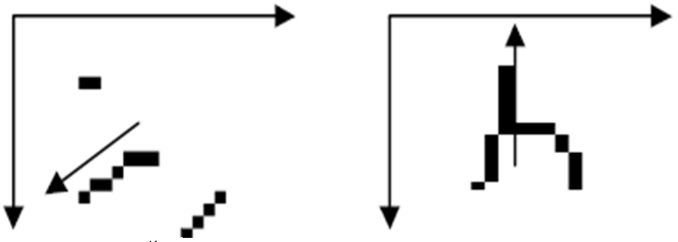
این مینوتیا ها که دارای ویژگی های خاصی نیز می باشند با حرکت دوباره یک بلوک غیر هم پوشان پیدا شده و حذف می شوند. اگر این کار را انجام دهیم شکل 4-15-ب حاصل می شود.



الف   ب

شکل 4-15) تصویر نازک سازی شده اثر انگشت (الف) با کل مینوتیا ها (ب) با حذف مینوتیاهای غلط [25]

در نهایت برای هر تصویر دو بردار ویژگی شامل مختصات مینوتیا ها بدست می آید که بردار اول مینوتیای دو شاخه و بردار دوم مینوتیای انتهایی می باشد. بردار سومی با عنوان زاویه این مینوتیاها را به دو بردار بدست آمده، اضافه می کنیم. برای پیدا کردن زاویه، محور عمود به عنوان زاویه صفر در نظر گرفته می شود و جهت افزایش زاویه را پادساعتگرد قرار می دهیم. برای مینوتیا انتهایی امتداد آن را در نظر گرفته و برای مینوتیای دو شاخه امتداد جائیکه دو شاخگی اتفاق می افتد را در نظر می گیریم که به صورت شکل 16-4 می باشد.



شکل 4-16) نحوه مشخص کردن جهت و محور مختصات (الف) مینوتیای انتهایی (ب) مینوتیای دوشاخه [28]

3.1.2.4 استخراج ویژگی 1

ابتدا مکان و زاویه مرکز اثر انگشت را با یکی از الگوریتم های گفته شده در فصل 3 پیدا می کنیم. سپس برای هر مینوتیا برداری پنج عضوی به صورت $[x, y, \theta_1, r, \theta_2]$ تشکیل می دهیم. که x شماره سطر مینوتیاها و y شماره ستون مینوتیاها ، θ_1 زاویه مینوتیاها نسبت به محور عمودی، r فاصله مینوتیاها از مرکز اثر انگشت و θ_2 زاویه خط واصل بین مینوتیاها و مرکز اثر انگشت با محور عمودی می باشد. حال برای هر مینوتیای انتخابی از تصویر جدید بردار پنج عضوی تشکیل می شود [28].

4.1.2.4 تطبیق دادن

مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست تقسیم می شود. در فاز آموزش برای هر تصویر در مجموعه آموزش 5 بردار نام برده شده در بخش قبل بدست می آید. جدولی با عنوان جدول مینوتیا از بردار های بدست آمده از هر تصویر در مجموعه آموزش تشکیل می شود. در فاز تشخیص برای هر تصویر ورودی از مجموعه تست 5 بردار نام برده شده در بخش قبل بدست می آید و این 5 بردار با تمام بردار های موجود در جدول مینوتیا که در فاز آموزش بدست آمد با استفاده از معادلات 4-8 و 4-9 و 4-10 و 4-11 و 4-12 مقایسه می شود.

$$D1 = |r_p - r_q| \qquad \text{معادله 4-8}$$

---
[1] Feature Extraction

معادله 4-9 $$A1 = \cos(\theta_{1p} - \theta_{2p} - (\theta_{1q} - \theta_{2q}))$$

معادله 4-10 $$A2 = \cos(\theta_{2p} - \theta_{2q})$$

معادله 4-11 $$A3 = \cos(\theta_{1p} - \theta_{1q})$$

معادله 4-12 $$A4 = \cos(\theta_{2p} - \theta_{corep} - (\theta_{2q} - \theta_{coreq}))$$

در صورتیکه تمام شرایط زیر برقرار باشد دو مینوتیا با هم تطبیق دارند.

1- $D1 < 20$
2- $A1 > 0.7$
3- $A2 > 0.5$
4- $A3 > 0.6$
5- $A4 > 0.92$

مینوتیای داده تست باید با تمام مینوتیای داده الگو یک به یک مقایسه شود. در مواردی که یک مینوتیای مجموعه تست با چند مینوتیای مجموعه الگو تطبیق یابد با استفاده از روش نزدیکترین مینوتیا، مینوتیای صحیح را جداسازی می کنیم. در این روش دو مینوتیای اطراف مینوتیای تطبیق یافته را نیز مورد آزمایش قرار می دهیم چنانچه آن دو نیز با همتایشان تطبیق یافتند دو مینوتیای مجموعه تست و الگو با هم تطبیق دارند. برای محاسبه نمره تطبیقی دو تصویر تست و الگو از تعداد مینوتیاهای تطبیق یافته ی تصویر تست استفاده می کنیم. نمره تطبیقی با معادله 4-13 مشخص می شود.

معادله 4-13 $$S = \frac{M}{g}$$

که در این فرمول S نمره تطبیق و M تعداد مینوتیاهای تطبیق یافته و g کمترین تعداد مینوتیای محدوده مشترک دو تصویر همتراز شده می باشد. چنانچه تعداد مینوتیاهای تطبیق یافته 3 یا بیشتر بود اثر انگشت تست را با اثر انگشت الگو بر اساس این مینوتیا ها همتراز می کنیم که به صورت شکل 4-17 و 4-18 می باشد.

الف

ب

شکل 4-17) (الف) تصویر اثر انگشت تست (ب) تصویر اثر انگشت الگو [28]

شکل 4-18) تصویر اثر انگشت تست هم تراز شده با تصویر اثر انگشت الگو [28]

نقاطی از تصویر تست که پس از همتراز شدن با تصویر الگو از محدوده ی تصویر الگو خارج می شوند حذف می شوند و در نتیجه مینوتیاهای محدوده مشترک دو تصویر باقی می مانند. فاصله اقلیدسی و همچنین زاویه بین دو مینوتیای هم نوع از دو نمونه تست و الگو با معادلات 4-14 و 4-15 محاسبه می شود.

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$ معادله 4-14

$$A = \theta_{1p} - \theta_{1q}$$ معادله 4-15

در فرمول های بالا x_1 و y_1 مختصات مرکز مینوتیای تصویر تست، x_2 و y_2 مختصات مرکز مینوتیای تصویر الگو می باشد، θ_{1p} زاویه مینوتیای تصویر الگو و θ_{1q} زاویه مینوتیای تصویر تست می باشد. تصویر الگویی که در مقایسه با تصویر تست دارای نمره تطبیقی بالاتری می باشد فرد مربوط به آن تصویر به عنوان فرد مورد نظر تشخیص داده می شود. البته این نمره تطبیقی دارای آستانه می باشد که این امکان وجود دارد که اثر انگشت نمونه تست با هیچ کدام از اثر انگشت های الگو مطابقت نکند. برای مطالعه روش های شناسایی اثر انگشت با استفاده از مینوتیاها می توان به مراجع [28] [29] مراجعه کرد.

2.2.4 تشخیص بر اساس فیلترگابور و تبدیل FLD[1] وRFLD[2]

در این روش ابتدا تصویر اثر انگشت به میانگین و واریانس ثابتی نرمالیزه می شود سپس فیلتر گابور در جهت های مختلف به تصویر اثر انگشت اعمال می شود. ویژگی های بدست آمده که بسیار زیاد می باشد توسط الگوریتم های کاهش ویژگی کاهش داده می شود تا بتوان از آن به عنوان ورودی شبکه عصبی استفاده کرد.

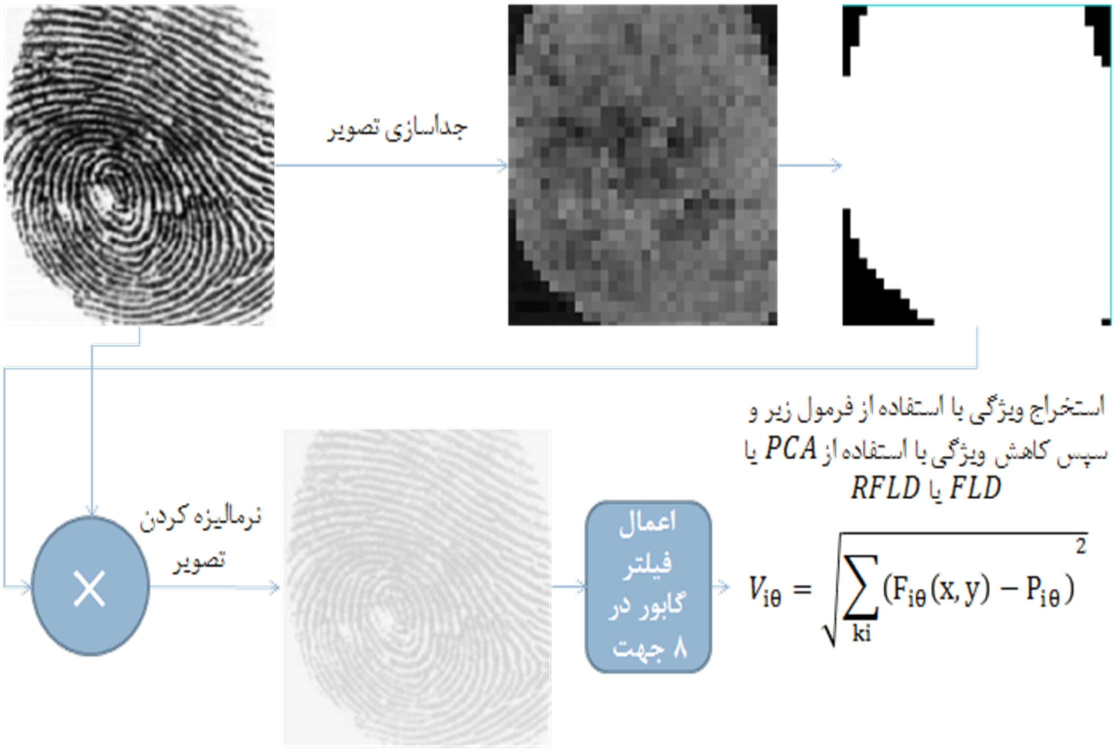
به طور معمول ویژگی های استخراج شده از فیلتر گابوری که در جهت های مختلف به تصویر اثر انگشت اعمال می شود دارای ابعاد بسیار بزرگی هستند و بنابراین باید توسط الگوریتم های کاهش ویژگی، ویژگی

---

[1] Fisher Linear Discriminant

[2] Recursive Fisher Linear Discriminant

هایی که دارای اهمیت بالاتری هستند را استخراج کنیم. از جمله این الگوریتم ها الگـوریتم PCA [1] و FLD می باشند. تحقیقات و مقالات مختلف نشان داده است کـه الگـوریتم FLD نسـبت بـه PCA برتـری دارد. مهمترین برتری الگوریتم FLD نسبت به PCA این است که ویژگی های استخراج شده توسط این الگوریتم برای تفکیک پذیری بسیار کارآمدتر هستند. اما مهمترین محدودیت موجـود در الگـوریتم FLD تعـداد کـل ویژگی های مورد دسترس می باشد که به تعداد کلاس ها محدود است. یعنی تعداد ویژگـی هـای اسـتخراج شده برابر تعداد کلاس ها منهای یک است. برای غلبه بر این مشکل زمانی که می خواهیم تعداد ویژگی ها از تعداد کلاس ها بیشتر باشد از الگوریتم RFLD استفاده می شود که دیگر این محدودیت را نـدارد. نمـایی از این سیستم تشخیص اثر انگشت در شکل 4-19 نمایش داده شده است.



$$V_{i\theta} = \sqrt{\sum_{ki} (F_{i\theta}(x,y) - P_{i\theta})^2}$$

شکل 4-19) سیستم تشخیص اثر انگشت بر اساس فیلترگابور و تبدیل FLD و RFLD

با توجه به شکل 4-19 ماتریس جداساز پس زمینه با استفاده از بخش 2-2-1 بدست می آید که بـا استفاده از این ماتریس و تصویر اثر انگشت، تصویر نرمالیزه شده با استفاده از بخش 2-2-2 بدست می آیـد. از فیلتر گابور در 8 جهت روی تصویر نرمالیزه شده استفاده می شود که 8 تصویر بدست می آید سپس از هر تصویر بردار ویژگی استخراج می شود که با توجه به زیاد بودن بعد آن از الگوریتم های کاهش ویژگـی بـرای کاهش بعد استفاده می شود [30] در ادامه نحوه استخراج ویژگی و کاهش ویژگی بیان می شود.

[1] Principle Curve Analyze

1.2.2.4 استخراج ویژگی

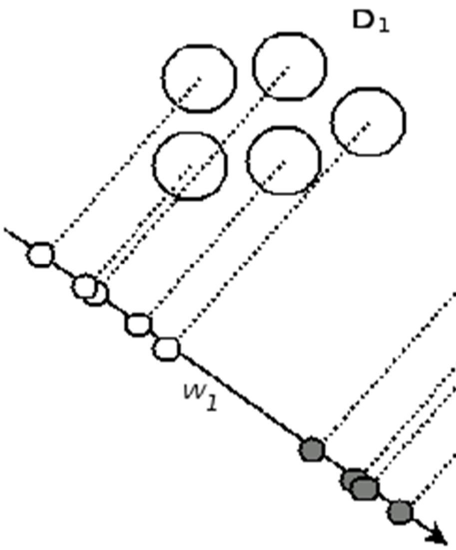
پس از اینکه تصاویر مختلف توسط فیلتر گابور در جهت های مختلف ایجاد شد با استفاده از معادله 16-4 بردار ویژگی استخراج می شود [31].

$$V_{i\theta} = \sqrt{\sum_{ki}(F_{i\theta}(x,y) - P_{i\theta})^2}$$ معادله 16-4

$F_{i\theta}(x,y)$ تصویر فیلتر شده هر بلوک در جهت θ_i می باشد. پارامتر ki تعداد پیکسل های هر بلوک و $P_{i\theta}$ مقدار میانگین $F_{i\theta}$ در هر بلوک است. واریانس هر بلوک در هر کدام از تصویر های فیلتر شده مقدار بردار ویژگی را تشکیل می دهد. تعداد عناصر بردار ویژگی برای یک تصویر برابر ضرب تعداد بلوک های غیر همپوشان آن تصویر در تعداد فیلتر های گابور می باشد که این تعداد ویژگی برای ورودی شبکه بسیار زیاد می باشد بنابراین در مرحله بعد با الگوریتم کاهش ویژگی آن را کاهش می دهیم.

2.2.2.4 کاهش ویژگی [1]

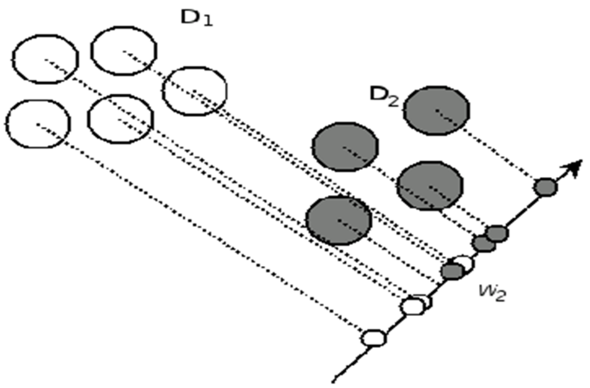
در حالت دو کلاسی ابتدا دو کلاس D_1 و D_2 را در نظر بگیرید که به صورت دو بعدی می باشند این دو کلاس را روی یک بردار تک بعدی تصویر می کنیم که به صورت شکل 4-20 می باشد.



شکل 4-20) تصویر ی خوب از یک نمونه دو کلاسی روی یک بردار برای کاهش ویژگی

در حالتی نیز ممکن است این تصویر کردن بردار تک بعدی مناسبی را ندهد که به صورت شکل 4-21 می باشد.

[1] Reduce Feature



شکل 4-21) تصویر ی نامناسب از یک نمونه دو کلاسی روی یک بردار برای کاهش ویژگی

در کل برای تصویر کردن داده های بردار x روی محور y بـا اسـتفاده از بـردار w از معادلـه 4-17 استفاده می کنیم.

معادله 4-17 $$y = w^T x$$

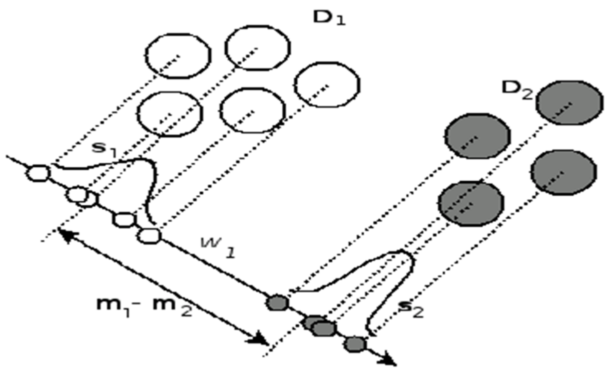
اگر بردار میانگین کلاس D_1 را با m_{D_1} نمایش دهیم تصویر این بردار روی محـور توسـط بـردار w به صورت معادله 4-18 می باشد.

معادله 4-18 $$\overline{m_{D_1}} = w^T m_{D_1}$$

اگر ماتریس پراکندگی کلاس D_1 را با S_{D_1} نمایش دهیم تصـویر ایـن مـاتریس روی محـور توسـط بردار w به صورت معادله 4-19 می باشد.

معادله 4-19 $$\overline{S_{D_1}} = w^T S_{D_1}$$

در شکل 4-22 حالت خوبی از تصویر کردن نمایش داده شده است.



شکل 4-22) تصویر یک نمونه دو کلاسی روی یک بردار برای کاهش ویژگی با نمایش میانگین و واریانس داده ها

در کل ما در اینجا دو هدف داریم :

1. بیشترین فاصله میانگین ها در محور تصویر شده
2. کم کردن پراکندگی ها در محور تصویر شده

اگر موارد بالا را رعایت کنیم حالت خوبی از تصویر کردن را به صورت شکل 4-22 خواهیم داشت. مـی تـوان معیاری برای w با معادله 4-20 تعریف کرد.

معادله 4-20
$$j(w) = \frac{|\overline{m}_{D_1} - \overline{m}_{D_2}|^2}{\overline{S}_{D_1}^2 - \overline{S}_{D_2}^2}$$

w باید طوری انتخاب شود که این معیار ماکسیمم شود. برای حالت n بعدی در تبدیل FLD زیـر فضای خطی w را طوری انتخاب می کنند که معیار فیشر j(w) در معادله 4-21 حداکثر گردد.

معادله 4-21
$$j(w) = \frac{w^T S_B w}{w^T S_w w}$$

S_B ماتریس پراکندگی بین کلاسی و S_w ماتریس پراکندگی داخل کلاسی می باشد. با فرض وجود n داده d بعدی $(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ و c کلاس مختلف ، ماتریس S_B و S_w توسط معـادلات 4-22 و 4-23 و 4-24 و 4-25 بدست می آید.

معادله 4-22
$$S_B = \sum_{i=1}^{c} n_i (m_i - m)(m_i - m)^T$$

معادله 4-23
$$m = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^{n} x_k$$

معادله 4-24
$$m_i = \frac{1}{n_i} \sum_{x \in D_i} x$$

معادله 4-25
$$S_w = \sum_{i=1}^{c} S_i$$

تعداد داده ها در هر کلاس با نماد n_i نشان داده می شوند. پارامترهای m_i و m به ترتیـب معـرف میانگین نمونه داده های مربوط به هر کلاس و میانگین کلی نمونه ها مـی باشـند. D_i بیـانگر زیـر مجموعـه نمونه های n_i می باشد که در یک گروه مشخص می شوند.

برای اینکه معیار فیشر بیشینه گردد باید ویژگی هایی انتخاب شود که فاصله بین کلاس ها را زیاد و فاصله داخل کلاس را کم کند. برای بیشینه کردن $j(w)$ باید معادله 4-26 برقرار باشد.

معادله 4-26
$$S_B w = \lambda S_w w$$

اگر S_w غیر منفرد باشد ، مقدار w می تواند از معادله 4-27 محاسبه شود.

معادله 4-27 $$S_w^{-1}S_B w = \lambda w$$

چون مرتبه S_B ، برابر با c است در نتیجه حداکثر $c-1$ ویژگی می توان استخراج کرد. از آنجایی که بعد تصویر ها از تعداد داده های آموزش محدود بسیار زیاد تر می باشد در نتیجه در عمل S_w محدود است لذا بدین منظور ابتدا ابعاد داده ها را با PCA به گونه ای کاهش داده می شود تا با معیار فیشر قابل محاسبه باشد و سپس از FLD برای کاهش مضاعف ابعاد باندازه ی $c-1$ استفاده می شود.

مهمترین مشکل موجود در FLD محدودیت در تعداد ویژگی های آن می باشد. در روش RFLD این محدودیت توسط یک روش بازگشتی برطرف می شود که در هر مرحله فقط یک بردار ویژگی استخراج می شود. این روش در مرجع [32] قرار دارد. مرحله اول تکرار مانند FLD می باشد پس از مرحله اول تمام اطلاعات بدست آمده از مرحله قبل، از تک تک نمونه ها کم می شود و سپس مرحله جدید آغاز می شود. این روش زمان زیادی نیاز دارد چون در هر مرحله فقط یک بردار ویژگی استخراج می شود. الگوریتم روش RFLD به صورت زیر می باشد :

1- مقدار دهی اولیه $S_B{}^1$ و $S_w{}^1$ به ترتیب با استفاده از ماتریس های پراکندگی S_B و S_w
2- استخراج بردار ویژگی در مرحله اول که این بردار ویژگی متناسب با بزرگترین مقدار ویژگی ماتریس $S_w{}^1\ S_B$ می باشد.
3- محاسبه بردار ویژگی در مرحله k که این بردار ویژگی متناسب با بزرگترین مقدار بردار ویژگی معادله 4-28 می باشد.

معادله 4-28 $$(W_k{}^T W_k) W_k{}^T B_k w_k = \lambda w_k$$

4- ماتریس های B_k و W_k را با معادلات 4-29 و 4-30 محاسبه می کنیم.

معادله 4-29 $$B_k = \begin{bmatrix} S_B{}^{(k)} \\ 0 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ 0 \end{bmatrix}$$

معادله 4-30 $$W_k = \begin{bmatrix} S_w{}^{(k)} \\ w_1{}^T \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ w_{k-1}{}^T \end{bmatrix}$$

5- ماتریس های $S_B{}^{(k)}$ و $S_W{}^{(k)}$ در مرحله k توسط معادلات 4-31 تا 4-33 بروز می شوند.

معادله 4-31
$$S_B{}^{(k)} = W_N{}^{(k-1)}\left(W_N{}^{(k-1)}\right)^T S_B W_N{}^{(k-1)}\left(W_N{}^{(k-1)}\right)^T$$

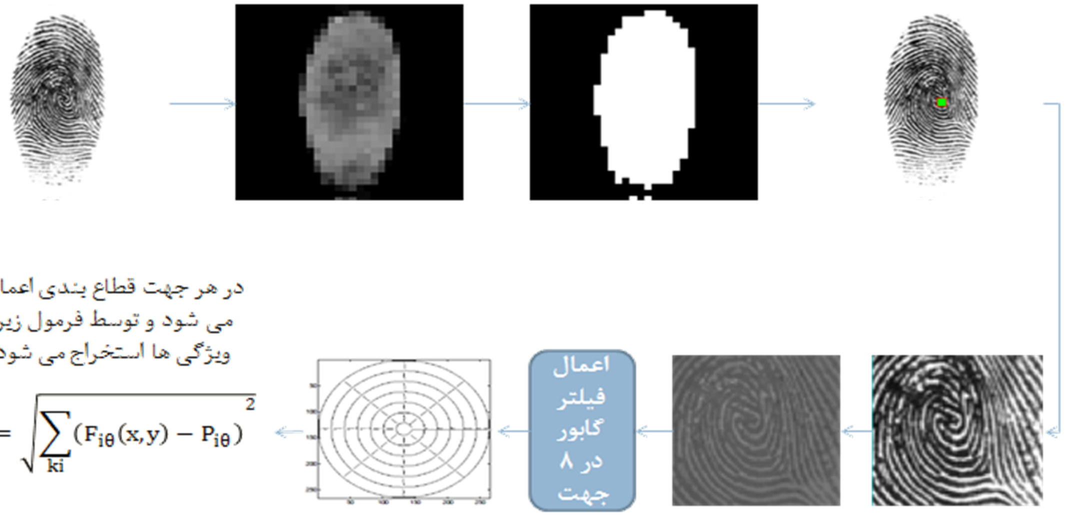
معادله 4-32
$$S_w{}^{(k)} = W_N{}^{(k-1)}\left(W_N{}^{(k-1)}\right)^T S_w W_N{}^{(k-1)}\left(W_N{}^{(k-1)}\right)^T$$

معادله 4-33
$$W_N{}^{(k-1)} = [v_k, v_{k-1}, \dots, v_d]$$

مجموعه بردارهای $\{w_1, \dots, w_{k-1}, v_k, \dots, v_d\}$ پایه های عمود بر هم فضای R^d می باشند.

3.2.4 تشخیص به کمک روش قطاع بندی [1]

در این روش ابتدا عمل جداسازی روی تصویر با استفاده از روش بخش 2-2-1 صورت می گیرد و پس زمینه جدا می شود سپس با استفاده از الگوریتم های معرفی شده در بخش 3-2-1 مرکز اثر انگشت پیدا می شود. ناحیه ی حول مرکز اثر انگشت جدا می شود و این ناحیه با استفاده از روش بخش 2-2-2 نرمالیزه می شود. تصویر نرمالیزه شده توسط فیلتر گابور در 8 جهت فیلتر می شود و 8 تصویر بدست می آید. در هر تصویر از قطاع بندی دایره ای استفاده می شود و محدوده مورد نظر به قطاع هایی مساوی تقسیم بندی می شود. واریانس مقادیر خاکستری هر قطاع به عنوان یک ویژگی در نظر گرفته می شود [15]. نمای یک سیستم تشخیص به کمک روش قطاع بندی به صورت شکل 4-23 می باشد.



شکل 4-23) نمای کلی یک سیستم تشخیص اثر انگشت با استفاده از روش قطاع بندی

[1] Sectorizing

1.3.2.4 جداسازی پس زمینه و پیدا کردن مرکز اثر انگشت

جداسازی پردازشی است که طی آن ناحیه پس زمینه اثر انگشت جدا می شود. ناحیه پیش زمینه ناحیه ای است که شامل برآمدگی ها و فرورفتگی های اثر انگشت می شود و ناحیه پس زمینه ناحیه ای است که هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت را شامل نمی شود. پس از جدا سازی ناحیه پس زمینه که اطلاعات بسیار کمی و یا هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت در آن وجود ندارد، مقدار صفر به پیکسل های موجود در این ناحیه داده می شود و به پیکسل های دیگر که در ناحیه پیش زمینه قرار دارند مقدار یک داده می شود. بنابراین با ضرب این ماتریس ایجاد شده به نام ماتریس جداساز در تصویر اصلی، پس زمینه جدا می شود. الگوریتم این روش به صورت زیر می باشد :

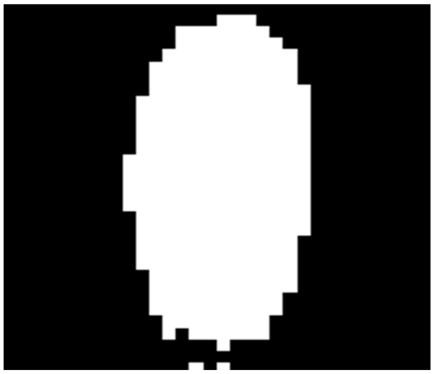
1 - ابتدا تصویر اثر انگشت به بلوک هایی با ابعاد $w \times w$ که به صورت غیر همپوشان می باشند تقسیم بندی می شود.

2 - میانگین هر بلوک با استفاده از معادله 2-1 محاسبه می شود.

3 - با استفاده از میانگین محاسبه شده با معادله 2-1 واریانس در هر بلوک با معادله 2-2 محاسبه می شود.

4 - هر بلوکی که دارای واریانسی کمتر از مقدار آستانه[1] است با صفر مقدار دهی می شود و سایر بلوک ها با یک مقدار دهی می شود . از آنجائیکه مقدار واریانس پس زمینه بسیار کمتر از پیش زمینه است با این روش ماتریس جدا ساز پس زمینه بدست می آید که برای شکل 4-24-الف بصورت شکل 4-24-ب می باشد.

الف



ب

شکل 4-24) (الف) تصویر اثر انگشت (ب) ماتریس جداساز پس زمینه

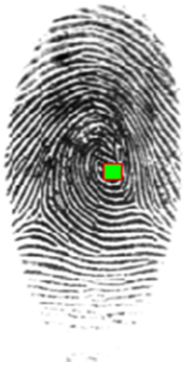
حال با استفاده از دستور imclose در متلب لکه های سیاهی که احتمالاً در داخل ایجاد می شوند را از بین می بریم سپس با استفاده از دستور imerode لکه های سفیدی که احتمالاً در بیرون از اثر انگشت ایجاد می شود را از بین می بریم. اگر این کار را انجام دهیم شکل 4-25 حاصل خواهد شد [4].

---

[1] Threshold

شکل 4-25) ماتریس جداساز پس زمینه با اعمال دستورات imclose و imerode

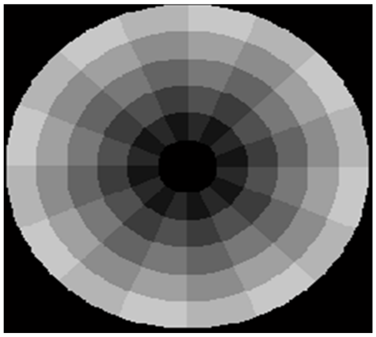
حال مرکز اثر انگشت با استفاده از الگوریتم معرفی شده در بخش 3-2-1 پیدا می شود که مرکز پیدا شده با این الگوریتم با رنگ سبز در شکل 4-26 نمایش داده شده است.



شکل 4-26) مرکز اثر انگشت پیدا شده به رنگ سبز

2.3.2.4 قطاع بندی

آقای jain و همکارانشان یک نوع قطاع بندی را با استفاده از 48 قطاع معرفی کرده اند. این قطاع بندی شامل شش باند دایره ای متحدالمرکز می باشد و هر حلقه دایره ای به 16 قسمت مساوی تقسیم می شود. پهنای هر باند 20 و شعاع دایره داخلی 20 پیکسل می باشد. این قطاع بندی همانند شکل 4-27 می باشد.



شکل 4-27) نوع قطاع بندی حول مرکز اثر انگشت

3.3.2.4 نرمالسازی تصویر

در ناحیه جدا شده از اثر انگشت، حول مرکز اثر انگشت باید قبل از اعمال فیلتر گـابور نرمالسـازی انجـام شود. در این مرحله هرکدام از قطاع ها به عنوان بلوک در نظر گرفته می شـوند و یکسـان سـازی انجـام مـی شود. یکسان سازی بیکباره روی کل تصویر انجام نمی شود زیرا در اینصورت تصـاویر نمـی تواننـد در مقابـل فشارهای مختلف تغییرات را نشان دهند و برای حل مشکل فشار تصویر به بلوک های غیر همپوشان تقسـیم می شود و در هر بلوک یکسان سازی صورت می گیرد. الگوریتم این کار به صورت زیر می باشد :

1 - ابتدا در ناحیه بریده شده حول مرکز اثر انگشت قطاع بندی انجام شده و هرکدام از قطاع هـا بـه عنـوان بلوک در نظر گرفته می شوند.

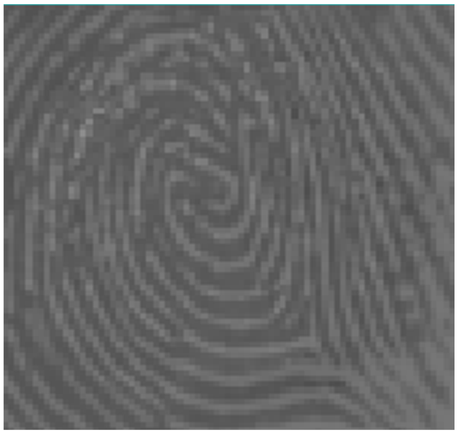
2 - میانگین هر بلوک با استفاده از معادله 2-3 محاسبه می شود.

3 - با استفاده از میانگین محاسبه شده و معادله 2-4 واریانس در هر بلوک محاسبه می شود.

4 - در این مرحله با تعیین M_0 و V_0 از معادله 2-5 استفاده می شود.

با جدا کردن ناحیه حول مرکز و نرمالسازی این ناحیه شکل 4-28 بدست می آید [4].

الف



ب

شکل 4-28) (الف) ناحیه جدا شده حول مرکز اثر انگشت (ب) تصویر نرمالیزه شده ناحیه برش خورده

4.3.2.4 استخراج ویژگی

پس از اینکه ناحیه برش خورده حول مرکز اثر انگشت نرمالیزه شد توسط فیلتر گابور در جهت هـای مختلف فیلتر می شود سپس با استفاده از معادله 4-34 بردار ویژگی استخراج می شود.

$$V_{i\theta} = \sqrt{\sum_{ki}(F_{i\theta}(x,y) - P_{i\theta})^2} \quad \text{معادله 4-34}$$

$F_{i\theta}(x,y)$ تصویر فیلتر شده هر بلوک در جهت θ_i می باشد، پارامتر ki تعداد پیکسل های هر بلـوک و $P_{i\theta}$ مقدار میانگین $F_{i\theta}$ در هر بلوک است. واریانس هر بلوک در هر کدام از تصویر های فیلتـر شـده مقـدار بردار ویژگی را تشکیل می دهد. تعداد عناصر بردار ویژگی برای یک تصویر برابر ضـرب تعـداد قطـاع هـا در تعداد فیلتر های گابور می باشد [31].

5.3.2.4 تطبیق دادن [1]

مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست تقسیم می شـود. در فـاز آمـوزش بـرای هـر تصـویر در مجموعه آموزش بردار ویژگی طبق مطالب گفته شده در بخش های قبل بدست می آید. از هر بردار 5 بـردار دیگر با شیفت دادن بدست می آید. جدولی با عنوان جدول بردارهای ویژگی از بردار های بدست آمده از هـر تصویر در مجموعه آموزش تشکیل می شود. در فاز تشخیص برای هر تصویر ورودی از مجموعه تست همانند فاز آموزش بردار ویژگی بدست می آید که این بردار با تمام بردار های موجود در جدول بردارهای ویژگی کـه در فاز آموزش بدست آمد با استفاده از محاسبه فاصله اقلیدسی مقایسه می شود.

در این پایان نامه از شبکه ماشین بردار پشتیبان برای شناسایی اثر انگشـت اسـتفاده شـده اسـت کـه در قسمت پیوست این شبکه معرفی شده است.

[1] Matching

5 فصل پنجم

روش های پیشنهادی

1.5 مقدمه

اثر انگشت های بسیاری از لحاظ شکل، طرح و یا اندازه وجود دارند، اما تا به امروز دو اثر انگشت که کاملاً مشابه هم باشند به دست نیامده است. بنابراین مهمترین فایده علم انگشت نگاری تعیین هویت می باشد که این کار بسیار حساس بوده و اشتباه در آن می تواند بسیار تأثیر گذار و جبران ناپذیر باشد. بنابراین تشخیص اثر انگشت با درصد و صحت بالا بسیار اهمیت دارد. با وجود پیشرفت های چشم گیر انجام شده در زمینه تشخیص اثر انگشت هنوز قادر به ساخت سیستمی که بتواند با درصد بالایی اثر انگشت ها را تشخیص دهد نیستیم. سیستم های طراحی شده برای شناسایی اثر انگشت یا دارای دقت پایینی هستند و یا مدت زمان زیادی برای فاز ثبت نام و فاز تشخیص نیاز دارند.

در این فصل چهار روش برای شناسایی اثر انگشت ارائه شده است این چهار روش بصورت زیر می باشد :

1 - شناسایی اثر انگشت مبتنی بر روش جدید قطاع بندی

2 - شناسایی اثر انگشت براساس ویژگی های سوبل – رابرتز

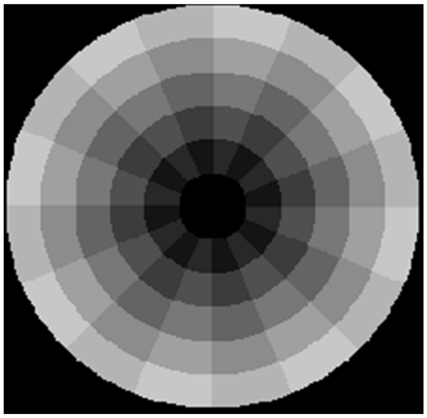
3 - شناسایی اثر انگشت براساس تبدیل موجک گسسته و ویژگی های سوبل - رابرتز

4 - شناسایی اثر انگشت بوسیله ویژگی های سوبل-رابرتز و بهینه سازی توده ذرات براساس انتخاب ویژگی

در ادامه هرکدام از چهار روش پیشنهاد شده را معرفی می کنیم.

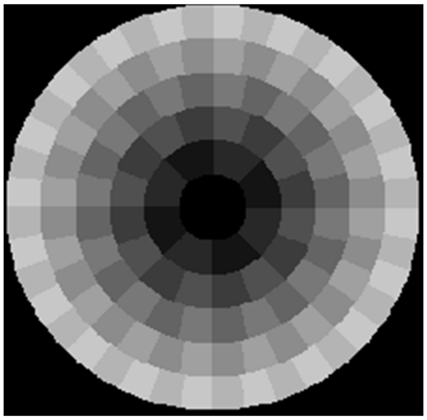
2.5 شناسایی اثر انگشت مبتنی بر روش جدید قطاع بندی

در سال 2000 آقای jain و همکارانش در تصویر اثر انگشت، مرکز اثر انگشت را پیدا کردند سپس ناحیه ای به مرکز اثر انگشت انتخاب کردند. آنها ناحیه انتخاب شده را با میانگین و واریانس 100 یکسان سازی کردند سپس تصویر را توسط بانک فیلتر گابور در 8 جهت فیلتر کردند و در هر 8 تصویر ایجاد شده قطاع بندی با 5 باند که در هر باند 16 قطاع قرار داشت، انجام شد و واریانس هر قطاع به عنوان ویژگی استخراج شد [15]. نحوه قطاع بندی بصورت شکل 5-2 می باشد.



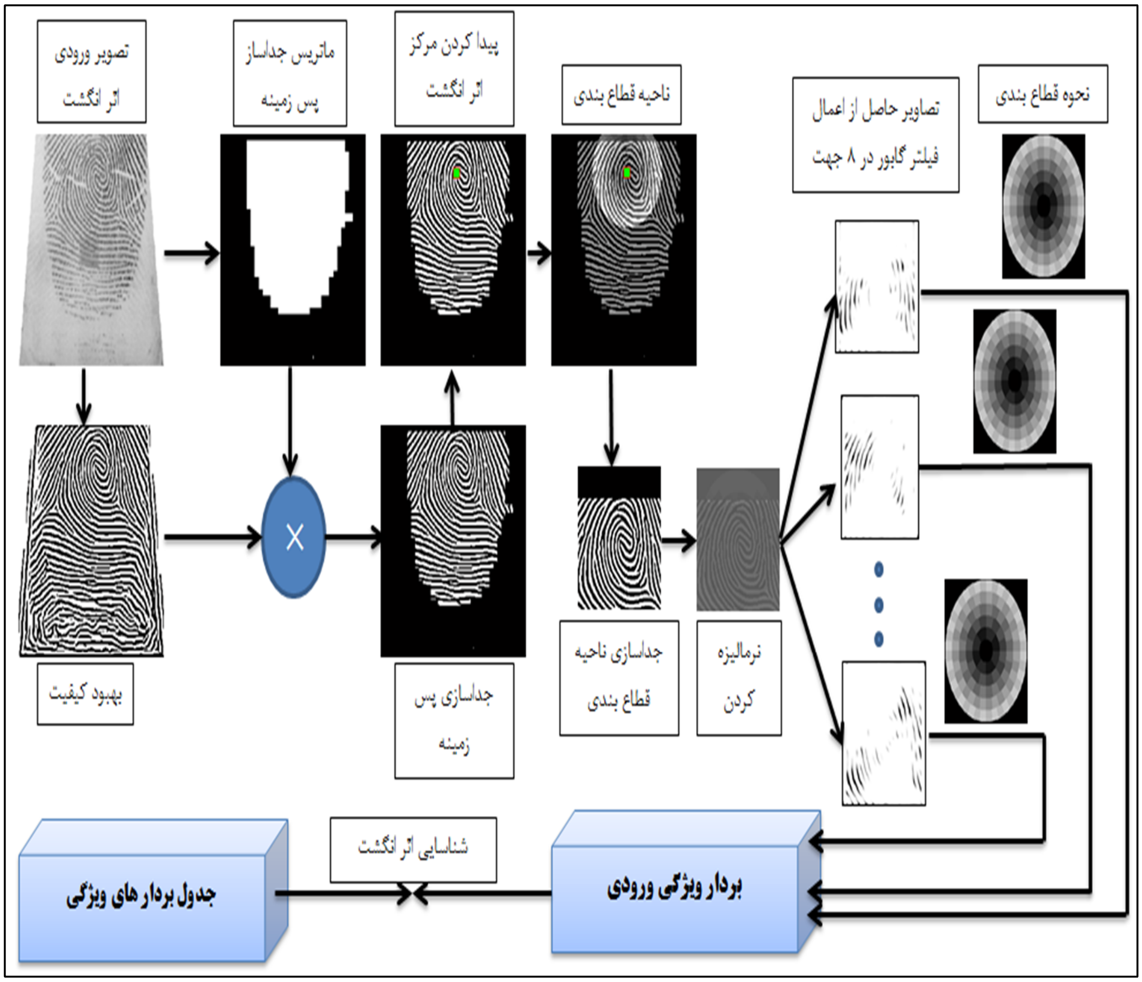
شکل 5-1) نحوه قطاع بندی در روش آقای jain و همکارانش

در این روش ما از یک نوع قطاع بندی جدید همانند شکل 5-3 که توسط آقای دادگستر و همکارانش در مقاله برای طبقه بندی اثر انگشت استفاده شد و مشخص شد که بهتر از قطاع بندی قبلی است، استفاده کرده ایم [38]. در این نوع قطاع بندی در باند های دورتر تقسیم بندی کوچکتر است بنابراین در حلقه های دورتر رزولوشن قطاع ها بیشتر می شود و بردار ویژگی دارای اطلاعات دقیقتری است.



شکل 5-2) نحوه قطاع بندی در روش آقای دادگستر و همکارانش

در این روش ما برای داشتن درصد شناسایی بالا کیفیت تصاویر اثر انگشت را توسط روش معرفی شده در بخش 5-2 بهبود دادیم و در ضمن برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت از یک روش کارآمد که در بخش 3-2-7 معرفی شد استفاده کردیم که این روش همانطور که دیدیم دقت بالایی در پیدا کردن مرکز اثر انگشت دارد. سیستم پیشنهادی بصورت شکل 5-3 می باشد.



شکل 5-3) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت

در سیستم پیشنهادی که در شکل 5-3 نمایش داده شده است ابتدا کیفیت تصویر اثر انگشت ورودی بهبود داده می شود و در این تصویر بهبود یافته با استفاده از ماتریس جداساز بدست آمده از تصویر اثر انگشت، پس زمینه جدا می شود. روی تصویر بدست آمده مرکز اثر انگشت پیدا می شود. ناحیه حول مرکز اثر انگشت به اندازه قطر خارجی دایره قطاع بندی جدا می شود که این ناحیه نرمالیزه می شود. تصویر نرمالیزه توسط فیلتر گابور در 8 جهت فیلتر می شود و 8 تصویر بدست می آید. روی هر تصویر قطاع بندی انجام می شود که واریانس هر قطاع به عنوان ویژگی استخراج می شود. در ادامه هر کدام از مراحل معرفی شده برای روش پیشنهادی بررسی می شود.

1.2.5 جداسازی پس زمینه

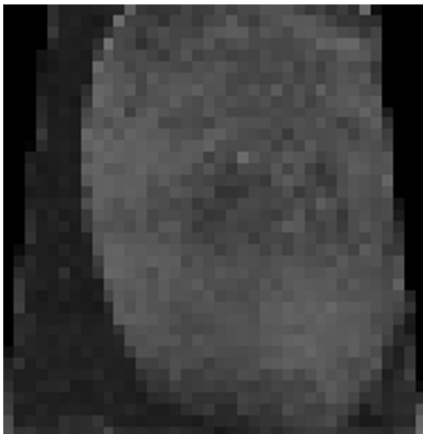
جداسازی پردازشی است که طی آن ناحیه پس زمینه اثر انگشت جدا می شود. ناحیه پیش زمینه ناحیه ای است که شامل برآمدگی ها و فرورفتگی های اثر انگشت می شود و ناحیه پس زمینه ناحیه ای است که هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت را شامل نمی شود. پس از جدا سازی ناحیه پس زمینه که اطلاعات بسیار کمی و یا هیچ اطلاعاتی از اثر انگشت در آن وجود ندارد، مقدار صفر به پیکسل های موجود در این ناحیه داده می شود و به پیکسل های دیگر که در ناحیه پیش زمینه قرار دارند مقدار یک داده می شود. الگوریتم انجام شده به صورت زیر می باشد :

1 - ابتدا تصویر اثر انگشت به بلوک هایی با ابعاد 8 × 8 که به صورت غیر همپوشان می باشند تقسیم بندی شد.

2 - میانگین هر بلوک با استفاده از معادله 2-1 محاسبه شد.

3 - با استفاده از میانگین محاسبه شده، مقدار واریانس در هر بلوک با معادله 2-2 محاسبه شد و در هر بلوک قرار داده شد در این حالت ماتریس واریانس بصورت شکل 5-4-ب ایجاد شد.

الف



ب

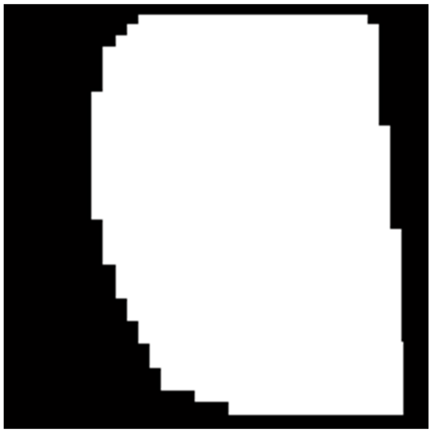
شکل 5-4) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) ماتریس واریانس

4 - هر بلوکی که دارای واریانسی کمتر از مقدار آستانه[1] بود با صفر مقدار دهی شد و سایر بلوک ها با یک مقدار دهی شد. از آنجائیکه مقدار واریانس پس زمینه بسیار کمتر از پیش زمینه است با این روش ماتریس جدا ساز پس زمینه بدست آمد.

5 - حال با استفاده از دستور imclose در متلب و مقدار 10 برای این دستور، لکه های سیاهی که در داخل ایجاد می شدند را ازبین بردیم سپس با استفاده از دستور imerode و مقدار 15 برای این دستور،

[1] Threshold

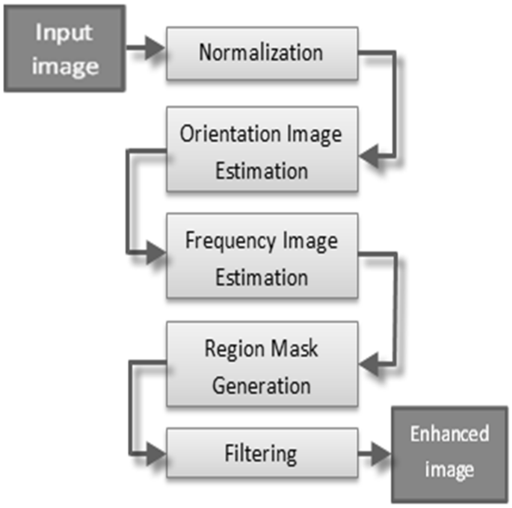
لکه های سفیدی که در بیرون از اثر انگشت ایجاد می شدند را از بین بردیم. با انجام این کار شکل 5-5 حاصل شد.



شکل 5-5) ماتریس جداساز پس زمینه

2.2.5 بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت

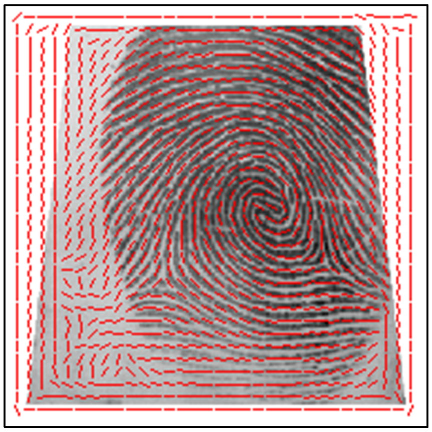
برای افزایش کیفیت اثر انگشت از روش معرفی شده در بخش 2-5 استفاده شد. فلوچارت این روش به صورت شکل 7-5 می باشد.



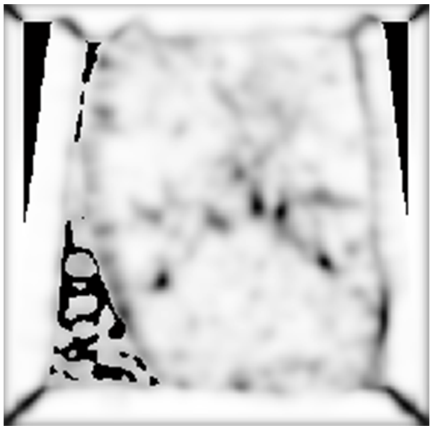
شکل 5-6) فلوچارت مراحل انجام شده برای بهبود تصویر اثر انگشت

تصویر جهتی بدست آمده و تصویر هموار شده میدان جهتی با استفاده از این روش بترتیب بصورت شکل 5-7-الف و 5-7-ب می باشد. با اجرای این فلوچارت روی یک نمونه تصویر اثر انگشت شکل 5-8-الف که در بخش قبل ماتریس حذف پس زمینه برای آن بدست آورده شد، تصویر بهبود یافته شکل 5-8-ب بدست آمد. برای اینکه قسمت پس زمینه را از تصویر بهبود یافته حذف کنیم درگام بعدی تصویر بهبود یافته شکل 5-8-ب در ماتریس حذف پس زمینه شکل 5-5 ضرب شد که تصویر بهبود یافته بدون پس

زمینه مطابق شکل 5-8-ج بدست آمد. این یک نمونه از تصاویری است که برای پیدا کردن مرکز انگشت استفاده شد.



الف



ب

شکل 5-7) (الف) تصویر جهتی (ب) تصویر هموار شده میدان جهتی

الف

ب

ج

شکل 5-8) (الف) تصویر اصلی اثر انگشت (ب) تصویر با کیفیت (ج) تصویر بهبود یافته با جداسازی پس زمینه

3.2.5 پیدا کردن مرکز اثر انگشت

برای تعیین مرکز اثر انگشت بردار گرادیان های $G_x(i,j)$ و $G_y(i,j)$ به ترتیب در راستای x و y محاسبه شد. تصویر جهتی با استفاده از معادله 3-19 بدست آمد.

بدلیل اینکه فیلتر های مختلط به تفاوتهای چرخشی بسیار حساس هستند تصویر حاصل از فیلتر مختلط محل تقارن را به خوبی نشان می دهد. اثر انگشت دارای خطوط متقارنی در همسایگی مرکز اثرانگشت می باشد بنابراین می توان با استفاده از فیلتر مختلط ناحیه ای دارای تقارن که شامل مرکز اثر انگشت است را پیدا کرد. فیلتر مختلط با معادله های 3-17 و 3-18 بیان می شود. در این معادله ها سایز فیلتر مختلط h را 33 و مقدار δ را $\sqrt{55}$ در نظر گرفتیم.

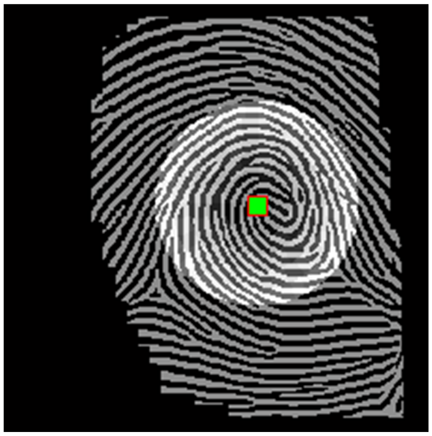
فیلتر مختلط به تصویر جهتی بدست آمده از شکل 5-8-ج اعمال شد که شکل 5-9-الف بدست آمد. در تصویر بدست آمده پیکسلی که دارای بیشترین مقدار بود به عنوان مرکز اثر انگشت انتخاب شد که با نقطه سبز رنگ در شکل 5-9-ب نمایش داده شده است.

الف	ب

شکل 5-9) (الف) تصویر جهتی (ب) مرکز اثر انگشت پیدا شده به رنگ سبز

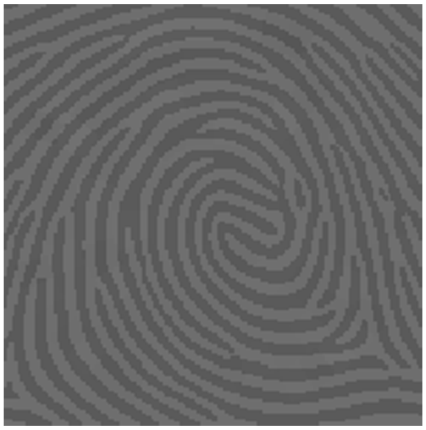
4.2.5 نرمالیزه کردن

روی شکل 5-9-ب ناحیه ای حول مرکز اثر انگشت بصورت شکل 5-10-الف به طول قطر خارجی قطاع بندی جدا شد که در شکل 5-10-ب نمایش داده شده است. این ناحیه برای کاهش واریانس در طول برآمدگی ها و فرورفتگی ها نرمالیزه شد. برای این کار هر قطاع به عنوان یک بلوک در نظر گرفته شد و در هر بلوک با استفاده از معادله های 2-3 و 2-4 به ترتیب میانگین و واریانس محاسبه شد سپس از معادله 2-5 برای نرمالیزه کردن تصویر استفاده شد که M_0 و V_0 را برابر 100 در نظر گرفتیم. شکل حاصل از نرمالیزه کردن بصورت شکل 5-10-ج می باشد.



الف

ب



ج

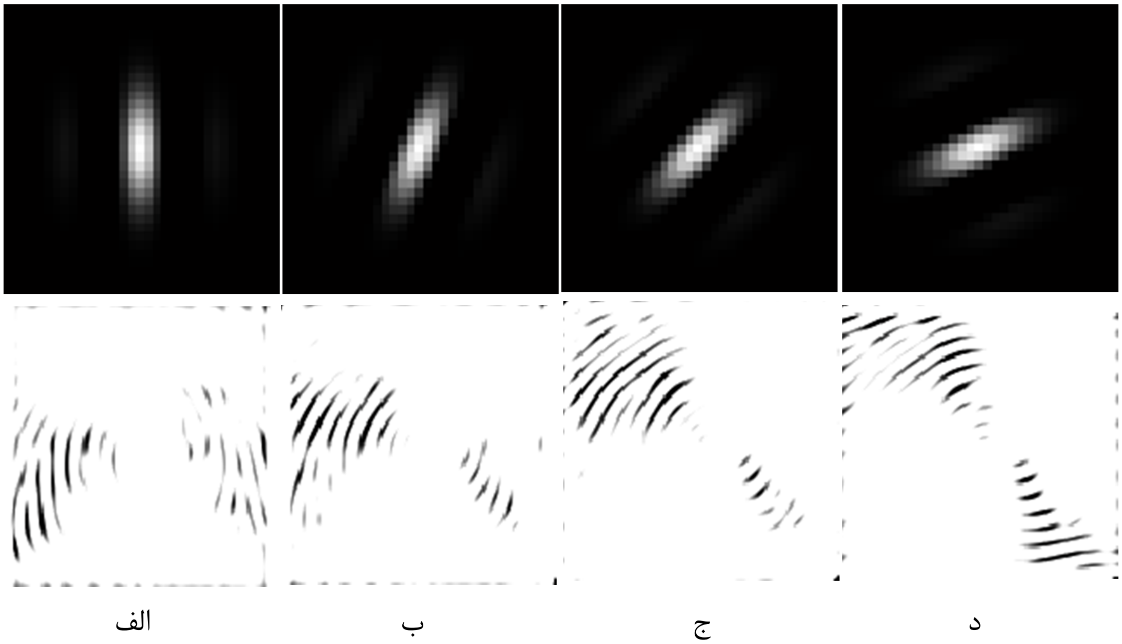
شکل 5-10) (الف) ناحیه قطاع بندی (ب) ناحیه جدا شده حول مرکز اثر انگشت (ج) تصویر نرمالیزه ناحیه جدا شده

5.2.5 فیلتر گابور

برای پاکسازی نویز و بهبود ساختار رگه ها و شیار ها و افزایش روشنایی تصویر، ناحیه جدا شده و نرمالیزه شده شکل 5-10-ج توسط بانک فیلتر گابور در 8 جهت 0، 22.5، 45، 67.5، 90، 112.5، 135و 157.5 فیلتر شد. فیلتر های گابور، فیلتر های میانگذری هستند که انتخاب جهت و فرکانس را با هم دارند و دارای رزولوشن ایده ال در هر دو فضای مکانی و فرکانسی می باشد. این فیلتر در بخش 2-3-3 معرفی شده است.

پارامتر f فرکانس سینوسی فیلتر در راستای جهت θ از محور عمود است. فرکانس به صورت $f = 1/k$ می باشد که برای k که میانگین فاصله بین رگه ها است مقدار برابر 10 در نظر گرفته شد. پارامترهای δ_x و δ_y متناظراً ثابت های فضای پنجره گوسی در راستای x و y هستند که هر دو برابر 4 در

نظر گرفته شدند. اندازه پنجره برای فیلتر کردن نیز 33 در نظر گرفته شد. فیلتر های گابور و تصاویر بدست آمده برای 4 جهت 0، 22.5، 45و 67.5 بصورت شکل 5-11 می باشد.



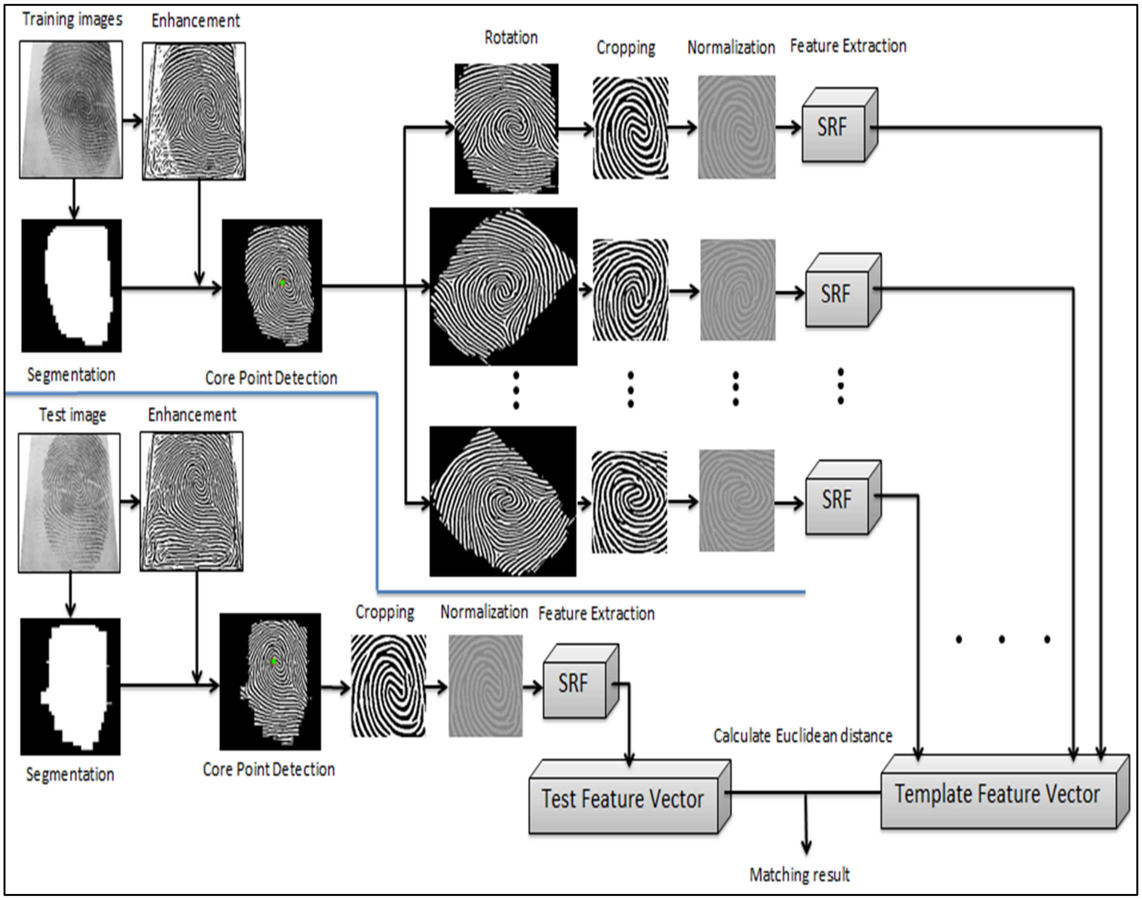
شکل 5-11) فیلتر های گابور و تصاویر بدست آمده (الف) 0 درجه (ب) 22.5 درجه (ج) 45 درجه (د) 67.5 درجه

6.2.5 استخراج ویژگی

پس از اینکه تصاویر مختلف توسط فیلتر گابور در 8 جهت مختلف ایجاد شد از قطاع بندی حول مرکز اثر انگشت همانند شکل 5-2 استفاده شد. این قطاع بندی دارای 5 باند بود که در باند اول 8 قطاع ، در باند دوم 16 قطاع، در باند سوم 24 قطاع، در باند چهارم 32 قطاع و در باند پنجم 40 قطاع در نظر گرفته شد. پهنای هر باند 12 پیکسل و پهنای قطر داخلی نیز 24 پیکسل در نظر گرفته شد. با استفاده از معادله 4-34 واریانس در هر قطاع بدست آمد. کل تعداد قطاع ها در هر تصویر برابر 120 بود که بنابراین برای هر تصویر اثر انگشت $960 = 120 \times 8$ ویژگی استخراج شد که بصورت یک بردار ذخیره شد.

3.5 شناسایی اثر انگشت بر اساس ویژگی های سوبل – رابرتز

روش معرفی شده در بخش قبل بدلیل استفاده از فیلتر گابور به مدت زمان زیادی برای استخراج ویژگی و تشخیص نیاز داشت. در روش دوم از الگوریتم سوبل- رابرتز برای استخراج ویژگی استفاده شد که نسبت به روش اول زمان بسیار کمتری نیاز داشت. سیستم پیشنهادی بصورت شکل 5-12 می باشد.



شکل 5-12) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت بر اساس ویژگی های سوبل – رابرتز

با توجه به سیستم پشنهادی در شکل 5-12 در فاز آموزش برای هر یک از تصاویر مجموعه آموزش ابتدا پس زمینه حذف شد و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و تصویر بهبود یافته را حول مرکز پیدا شده 5 بار با گام 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و در تصاویر نرمالیزه شده با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردارهای ویژگی بدست آمد. این بردار ها در یک جدول ذخیره شد.

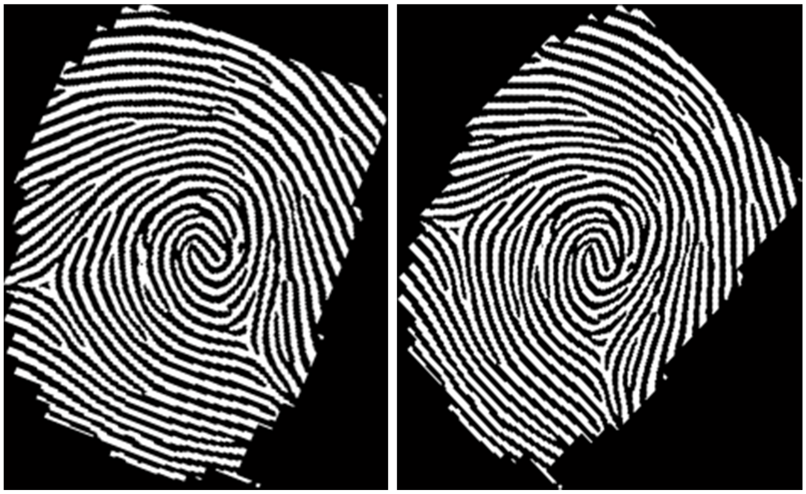
در فاز تشخیص برای هر یک از تصاویر موجود در مجموعه تست ابتدا پس زمینه حذف شد و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این ناحیه جدا شده نرمالیزه شد و در تصویر نرمالیزه شده با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردار ویژگی بدست آمد.

نحوه بدست آوردن ماتریس جداساز همانند بخش 5-2-1، نحوه بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت همانند بخش 5-2-2 و نحوه پیدا کردن مرکز اثر انگشت همانند بخش 5-2-3 می باشد. در ادامه دیگر مراحل این روش پیشنهادی بررسی می شود.

1.3.5 چرخش حول مرکز اثر انگشت و برش زدن

به منظور غلبه بر مشکل ناشی از تصویر برداری از زوایای مختلف در مجموعه داده، تصویر با کیفیت اثر انگشت با حذف پس زمینه 5 بار حول مرکز اثر انگشت از 45- تا 45+ درجه هر بار 22.5 درجه چرخانده شد. نمونه ای از این چرخش برای اثر انگشت بهبود یافته شکل 5-8-ج برای پنج زاویه مختلف در شکل 5-13 نمایش داده شده است. در هر بار چرخش ناحیه ای با ابعاد w × w حول مرکز اثر انگشت جدا شد که w را برای مجموعه داده FVC2004 ، 120 برای DB2 ، DB3 و DB4 و 80 برای DB1 در نظر گرفتیم. نمونه ای از نواحی جدا شده روی شکل 5-13 حول مرکز اثر انگشت برای w برابر 108 بصورت شکل 5-14 می باشد.

الف ب ج



د ه

شکل 5-13) چرخش تصویر بهبود یافته حول مرکز اثر انگشت (الف) 45- درجه (ب) 22.5- درجه (ج) 0 درجه (د) 22.5 درجه (ه) 45 درجه

ه د ج ب الف

شکل 5-14) نواحی جدا شده روی شکل 5-13 حول مرکز اثر انگشت برای w برابر 108 (الف) 45- درجه (ب) 22.5- درجه (ج) 0 درجه (د) 22.5 درجه (ه) 45 درجه

2.3.5 نرمالیزه کردن

در این بخش تصاویر برای کاهش واریانس در طول برآمدگی ها و فرورفتگی ها نرمالیزه شد. برای این کار نواحی جدا شده حول مرکز اثر انگشت به بلوک های غیر همپوشان $w \times w$ تقسیم بندی شد که w را 27 در نظر گرفتیم و در هر بلوک با استفاده از معادله های 2-3 و 2-4 به ترتیب میانگین و واریانس محاسبه شد سپس از معادله 2-5 برای نرمالیزه کردن تصویر استفاده شد که M_0 و V_0 را برابر 150 در نظر گرفتیم. با اجرای موارد گفته شده در بالا تصاویر نرمالیزه شده شکل 5-14 به صورت شکل 5-15 است.

ه د ج ب الف

شکل 5-15) تصاویر نرمالیزه شده شکل 5-14 (الف) 45- درجه (ب) 22.5- درجه (ج) 0 درجه (د) 22.5 درجه (ه) 45 درجه

3.3.5 ویژگی های سوبل – رابرتز

ویژگی های سوبل– رابرتز اولین بار توسط آقای خسروی و همکارش برای شناسایی فونت های فارسی استفاده شد. نتایج تجربی نشان از دقت و سرعت بهتر این الگوریتم نسبت به فیلتر گابور دارد [40]. در این مقاله ما از این الگوریتم برای استخراج ویژگی از تصاویر نرمالیزه شده همانند شکل 5-15 استفاده کردیم. روش کار بصورت زیر است :

1 - ابتدا تصاویر با اندازه $w \times w$ به 4 بلوک غیر همپوشان تقسیم شد.

2 - در هر پیکسل از هر بلوک گرادیان با استفاده از عملگر سوبل که در جدول 5-1 نمایش داده شده است، محاسبه شد. روش کار بر اساس معادله های 5-1 تا 5-3 می باشد.

$$g(x,y) = [g_x, g_y]^T$$ معادله 5-1

$$g_x(x,y) = f(x+1,y-1) + 2f(x+1,y) + f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) - 2f(x-1,y) - f(x-1,y+1)$$ معادله 5-2

$$g_y(x,y) = f(x-1,y+1) + 2f(x,y+1) + f(x+1,y+1) - f(x-1,y-1) - 2f(x,y-1) - f(x+1,y-1)$$ معادله 5-3

عبارت $f(x,y)$ مقدار پیکسل در مکان (x,y) می باشد.

3 - برای هر پیکسل فاز و اندازه گرادیان با استفاده از معادله های 5-4 و 5-5 بدست آمد.

$$p(x,y) = tan^{-1}(g_x, g_y)$$ معادله 5-4

$$A(x,y) = \sqrt{{g_x}^2 + {g_y}^2}$$ معادله 5-5

فاز به 16 زاویه از صفر تا $2\pi\frac{15}{16}$ کوانتیزه شد سپس برای هر بلوک 16 ویژگی مطابق با 16 فاز با استفاده از معادله 5-6 استخراج شد.

$$F_\theta = \sum_{x_\theta, y_\theta} A(x,y)$$ معادله 5-6

عبارت F_θ ویژگی متحد با فاز θ می باشد. عبارت های x_θ و y_θ تمام مختصات هایی می باشند که فازشان برابر θ می باشد.

5 – در هر پیکسل از هر بلوک گرادیان با استفاده از عملگر رابرتز که در جدول 5-3 نمایش داده شده است، محاسبه شد. روش کار بر اساس معادله های 5-7 و 5-8 می باشد.

$$g_x(x,y) = f(x,y) - f(x+1,y+1)$$ معادله 5-7

$$g_y(x,y) = f(x+1,y) - f(x,y+1)$$ معادله 5-8

6 - برای هر پیکسل فاز و اندازه گرادیان با استفاده از معادله های 5-4 و 5-5 بدست آورده شد.

7 - مرحله 4 تکرار شد و برای هر بلوک 16 ویژگی استخراج شد.

در نتیجه $16 \times 4 \times 4 = 256$ ویژگی با استفاده از عملگر سوبل و $16 \times 4 \times 4 = 256$ ویژگی با استفاده از عملگر رابرتز بدست آمد که این ویژگی ها نرمالیزه شدند. در کل برای 16 چرخش 512 ویژگی بدست آمد. تعداد ویژگی ها برای چرخش های مختلف مطابق جدول 5-1 می باشد.

جدول 5-1) تعداد ویژگی ها برای چرخش های مختلف

تعداد چرخش	تعداد ویژگی ها
16	$2 \times 16 \times 4 \times 4 = 512$
8	$2 \times 8 \times 4 \times 4 = 256$
4	$2 \times 4 \times 4 \times 4 = 128$

جدول 5-2) (الف) و (ب) عملگر های سوبل

الف

1	2	1
0	0	0
-1	-2	-1

ب

-1	0	1
-2	0	2
-1	0	1

جدول 5-3) (الف) و (ب) عملگرهای رابرتز

الف

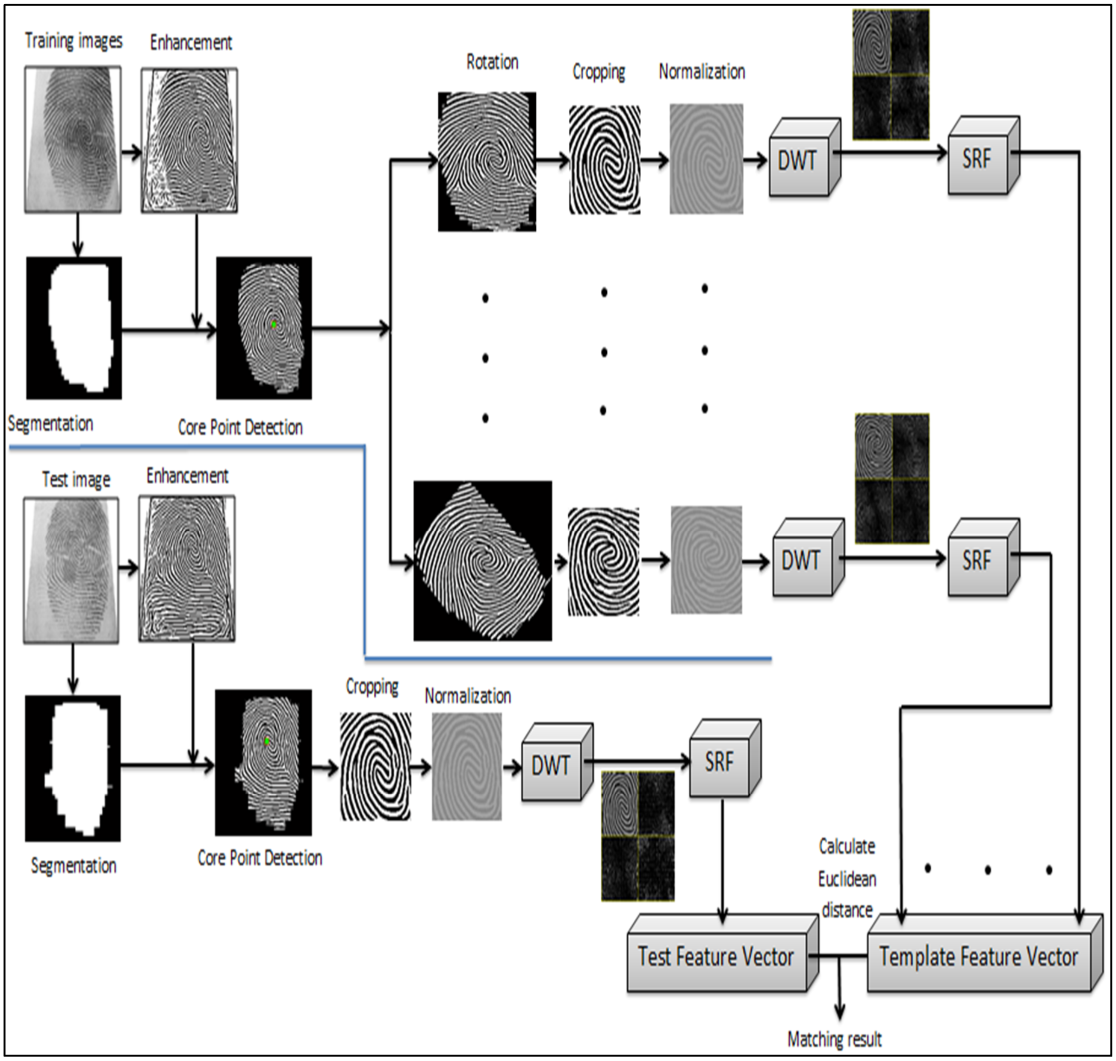
0	1
-1	0

ب

1	0
0	-1

4.5 شناسایی اثر انگشت براساس تبدیل موجک و ویژگی های سوبل - رابرتز

در این روش برای کاهش بیشتر زمان در سیستم پیشنهادی بخش 5-3 قبل از استفاده از الگوریتم سوبل- رابرتز از تبدیل موجک گسسته دوبعدی استفاده شد. با استفاده از تبدیل موجک گسسته دوبعدی تصویر تقریب بدست آمد که ابعاد آن نصف ابعاد تصویر اصلی بود و سپس از الگوریتم سوبل- رابرتز روی تصویر تقریب استفاده شد. بدلیل اینکه اندازه تصویر کاهش پیدا کرده است بنابراین سرعت سیستم افزایش پیدا کرد.



شکل 5-16) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت براساس تبدیل موجک و ویژگی های سوبل - رابرتز

با توجه به سیستم پشنهادی در شکل 5-16 در فاز آموزش برای هر یک از تصاویر مجموعه آموزش ابتدا پس زمینه حذف شده و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و تصویر بهبود یافته را حول مرکز پیدا شده 5 بار با گام 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و سپس با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی تصویر تقریب بدست آمد. در تصویر تقریب با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردارهای ویژگی بدست آمد. این بردار ها در یک جدول ذخیره شد.

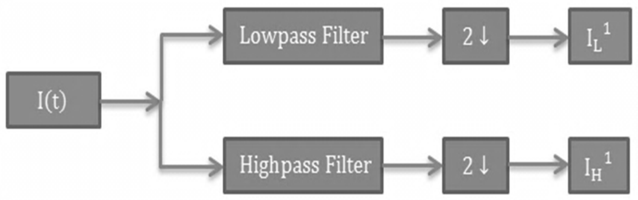
در فاز تشخیص برای هر یک از تصاویر مجموعه تست ابتدا پس زمینه حذف شده و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. ناحیه جدا شده نرمالیزه شد و سپس با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی تصویر تقریب بدست آمد. در تصویر تقریب با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردار ویژگی بدست آمد.

نحوه بدست آوردن ماتریس جداساز همانند بخش 5-2-1، نحوه بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت همانند بخش 5-2-2 ، نحوه پیدا کردن مرکز اثر انگشت همانند بخش 5-2-3 ، نحوه چرخاندن و برش زدن تصاویر همانند بخش 5-3-1، نحوه نرمالیزه کردن همانند بخش 5-3-2 می باشد.

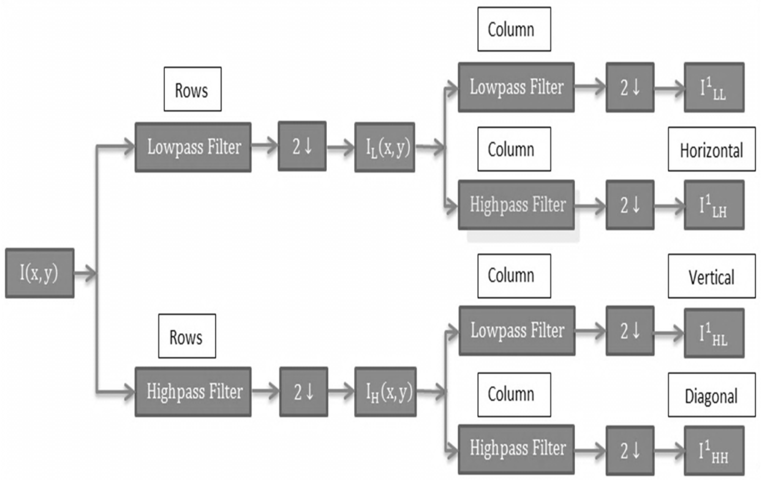
1.4.5 تبدیل موجک گسسته دو بعدی

برای یک سینگال یک بعدی با استفاده از یک فیلتر پائین گذر و یک فیلتر بالا گذر و نیز استفاده از نمونه برداری کاهشی با نسبت 2 بخش فرکانس پائین و بخش فرکانس بالا بدست می آید. تعداد نمونه ها در هر یک از این بخشها نصف تعداد نمونه های سیگنال اصلی است. بخش فرکانس پائین دوباره به دو بخش فرکانس پائین و فرکانس بالا تقسیم می شود و در هر کدام دوباره از نمونه برداری کاهشی با نسبت 2 استفاده می شود که تعداد نمونه ها در هر یک از این بخشها ربع تعداد نمونه های سیگنال اصلی است. تعداد باری که این عمل انجام می شود تعداد سطح تجزیه تبدیل موجک می باشد. شکل 5-17 بلوک دیاگرام تبدیل موجک گسسته یک بعدی را برای یک مرحله نمایش می دهد.

برای سیگنال دو بعدی مانند تصویر اثر انگشت، مشابه سیگنال یک بعدی تبدیل به همان ترتیب یکبار به طور افقی و یکبار به طور عمودی انجام می شود. شکل 5-18 بلوک دیاگرام تبدیل موجک دو بعدی را برای یک مرحله نمایش می دهد.

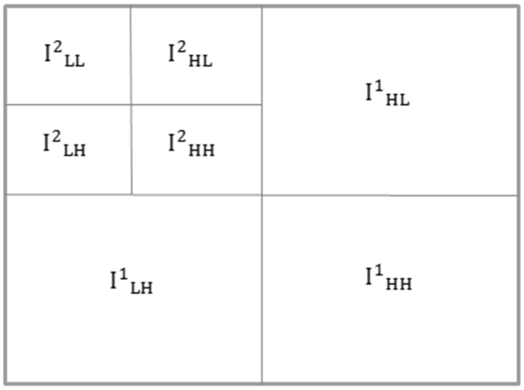


شکل 5-17) بلوک دیاگرام تبدیل موجک یک بعدی برای یک مرحله

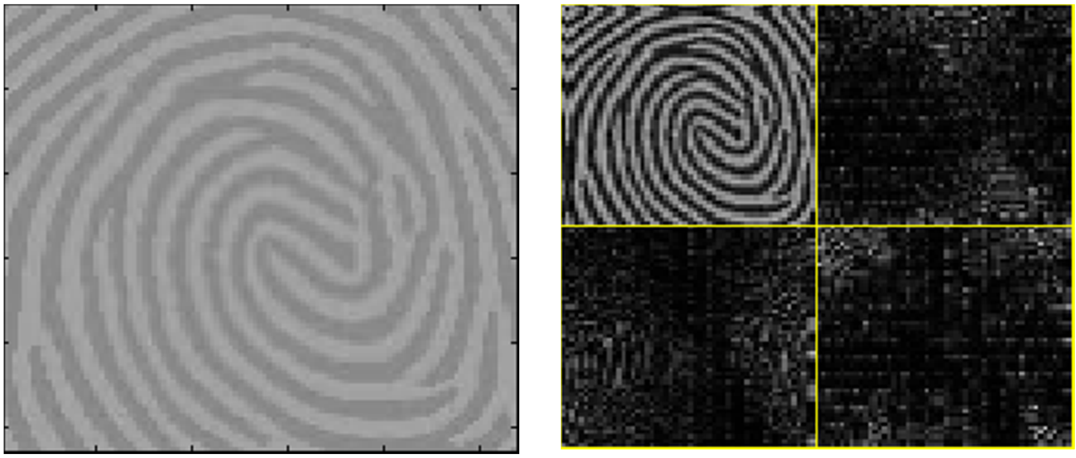


شکل 5-18) بلوک دیاگرام تبدیل موجک دو بعدی برای یک مرحله

با توجه به بلوک دیاگرام شکل 5-18 در مرحله اول تصویر ورودی در راستای سطرها از یک فیلترپایین گذر و یک فیلتر بالا گذر عبور کرده و نمونه برداری کاهشی با نسبت 2 انجام می شود و در نتیجه تصویر شامل فرکانس های پایین و فرکانس های بالا تولید می شود. در مرحله بعدی هر یک از دو تصویر تولید شده در راستای ستون ها از یک فیلتر بالا گذر و پایین گذر عبور کرده و نمونه برداری کاهشی با نسبت 2 صورت می گیرد. در نتیجه چهار تصویر I^{1}_{LL} تصویر تقریب و I^{1}_{LH} تصویر شامل جزئیات افقی و I^{1}_{HL} تصویر شامل جزئیات عمودی و I^{1}_{HH} تصویر شامل جزئیات قطری بدست می آید. ساختار هرمی تبدیل موجک برای دو مرحله به صورت شکل 5-19 می باشد. نمونه ای از تبدیل موجک دو بعدی روی ناحیه نرمالیزه شده بصورت شکل 5-20 می باشد [41] [42].



شکل 5-19) ساختار هرمی تبدیل موجک برای 2 مرحله



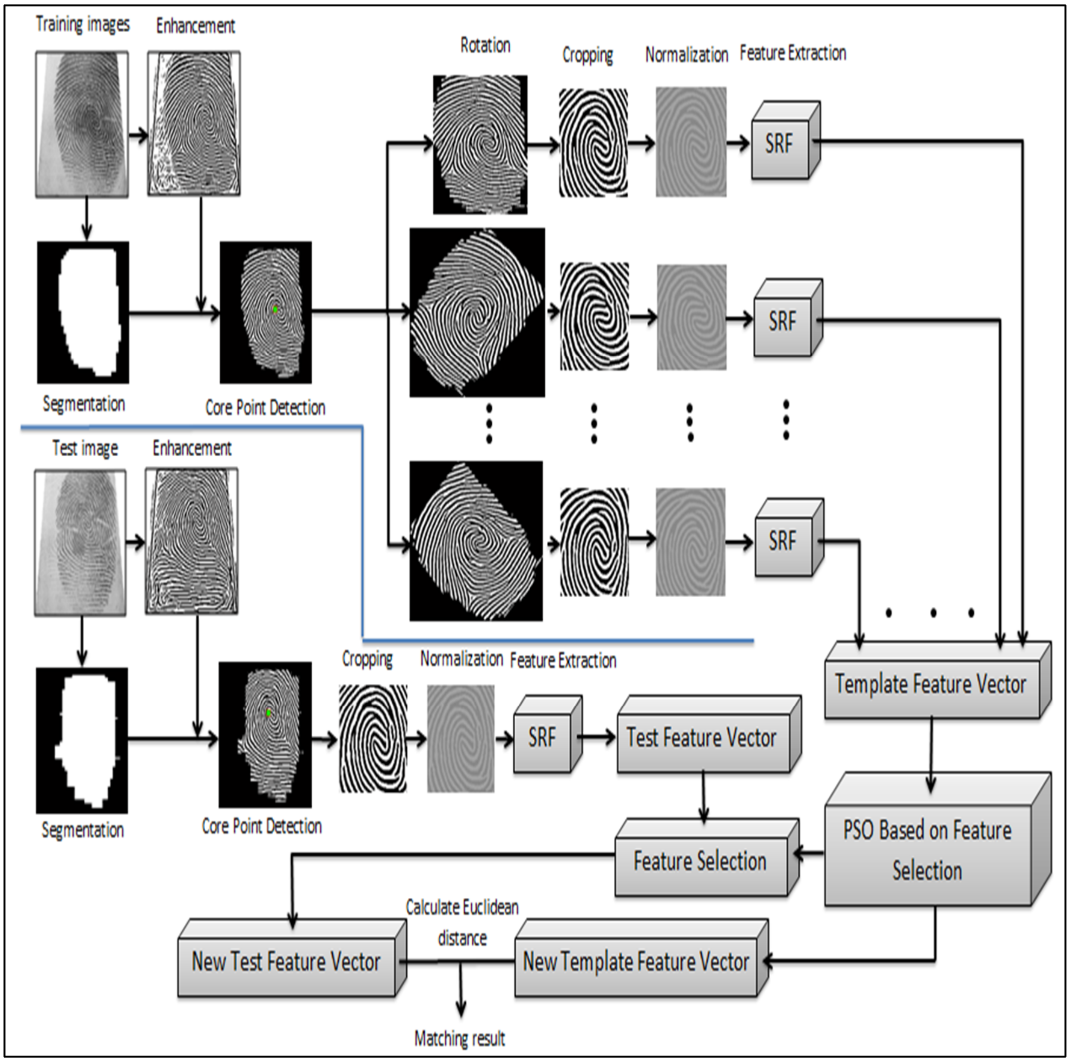
الف　　　　ب

شکل 5-20) (الف) تصویر ناحیه جدا شده و نرمالیزه شده (ب) نمونه ای از تبدیل موجک دو بعدی روی ناحیه نرمالیزه شده

پس از بدست آوردن تصویر تقریب با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی همانند بخش 5-3-3 با استفاده از الگوریتم سوبل – رابرتز بردار های ویژگی برای مجموعه آموزش وتست استخراج شد.

5.5 شناسایی اثر انگشت بوسیله ویژگی های سوبل - رابرتز و BPSO

روش شناسایی اثر انگشت براساس ویژگی های سوبل-رابرتز اگرچه دارای سرعت بالایی بود ولی تعداد ویژگی های اضافی در آن زیاد بود. در گام بعدی از الگوریتم BPSO برای کاهش تعداد ویژگی ها استفاده شد که سیستم پیشنهادی بصورت شکل 5-21 می باشد.



شکل 5-21) سیستم پیشنهادی برای شناسایی اثر انگشت بوسیله ویژگی های سوبل - رابرتز و بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی

با توجه به سیستم پشنهادی در شکل 5-21 در فاز آموزش برای هر یک از تصاویر مجموعه آموزش ابتدا پس زمینه حذف شده و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و تصویر بهبود یافته را حول مرکز پیدا شده 5 بار با گام 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه

چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و سپس با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردارهای ویژگی بدست آمد. این بردار ها در یک جدول ذخیره شد. با استفاده از الگوریتم بهینه سازی توده ذرات براساس انتخاب ویژگی، ویژگی های نامطلوب برای داشتن کمترین مقدار EER [1] حذف شد و الگویی از انتخاب ویژگی ها بدست آمد سپس بردارهای کاهش یافته در جدولی جدید ذخیره شد. در فاز تشخیص برای هر یک از تصاویر مجموعه تست ابتدا پس زمینه حذف شده و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این ناحیه جدا شده نرمالیزه شد و سپس با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردار ویژگی بدست آمد. براساس الگوی بدست آمده در فاز تشخیص برای انتخاب ویژگی ها، ویژگی ها کاهش داده شد.

نحوه بدست آوردن ماتریس جداساز همانند بخش 5-2-1، نحوه بهبود کیفیت تصویر اثر انگشت همانند بخش 5-2-2 ، نحوه پیدا کردن مرکز اثر انگشت همانند بخش 5-2-3 ، نحوه چرخاندن و برش زدن تصاویر همانند بخش 5-3-1، نحوه نرمالیزه کردن همانند بخش 5-3-2 ، نحوه استخراج ویژگی همانند بخش 5-3-3 می باشد.

1.5.5 بهینه سازی توده ذرات

PSO یک الگوریتم محاسبه ای تکاملی مبتنی بر قوانین احتمال، الهام گرفته از طبیعت و بر اساس تکرار می باشد که برای اولین بار توسط Kennedy و Eberhart در سال 1995 مطرح شد و یکی از الگوریتمهای بسیار پر کاربرد در زمینه بهینه سازی استاتیک و دینامیک می باشد [43]. در این سیستم، عامل هابه طور محلی با هم همکاری می نمایند و رفتار جمعی تمام عامل هاباعث همگرایی در نقطه ای نزدیک به جواب بهینه سراسری می شود نقطه قوت این الگوریتم عدم نیاز به یک کنترل سراسری می باشد.

هر ذره در این الگوریتم خود مختاری نسبی داردکه می تواند در سراسر فضای جواب حرکت کند و می بایست با سایرذرات همکاری داشته باشد. تفاوت عمده ای که این روش با الگوریتم های دیگر چون الگوریتم ژنتیک دارد، این است که اعضای جامعه از وضعیت سایر اعضا و یا بهترین عضو جامعه با خبر هستند و نتیجه به دست آمده توسط آنها را در تصمیم گیری های خود لحاظ می کنند. همچنین اعضا، بهترین نتیجه خود، در طی اجرای الگوریتم را به یادداشته و همواره سعی می کنند تا آن را نیز در تصمیمات خود، دخالت دهند. به همین دلیل، درصورتی که اشتباهی رخ دهد وتصمیم بدی بگیرند، به زودی آنرا جبران می‌کنند. به این ترتیب، اعضای جامعه می‌توانند به راحتی محدوده اطراف خودرا جستجوکنند، بدون آنکه نگران خراب-ترشدن نتیجه باشند.

---
[1] Equal Error Rate

1.1.5.5 الگوریتم PSO

هر ذره با دو بردار موقعیت $X_i{}^t = (x_{i1}{}^t, x_{i2}{}^t \dots, x_{ik}{}^t)$ و سرعت $V_i{}^t = (v_{i1}{}^t, v_{i2}{}^t \dots, v_{ik}{}^t)$ مدل می‌شود که k بیانگر بعد هر ذره می باشد. اجزا در هر تکرار، بنابر جدیدترین بردار سرعت، از موقعیتی به موقعیت‌های دیگر می‌روند. بردار سرعت هر ذره با استفاده از دو مقدار بهینه بروز رسانی می شود. اولین مقدار بهینه، بهترین مقدار شخصی هر ذره P_{best} می باشد که بهترین موقعیتی است که تا کنون ذره موفق به رسیدن به آن شده است و دومین مقدار بهینه بهترین مقدار سراسری که با G_{best} نشان داده می شود، بهترین موقعیتی است که تا کنون توسط جمعیت ذرات بدست آمده است.

بعد از هر تکرار t الگوریتم PSO بردار سرعت جدید را بصورت معادله 5-9 بروز رسانی می کند.

$$V_i{}^{t+1} = wv_i{}^t + c_1r_1\left(P_i{}^t - X_i{}^t\right) + c_2r_2\left(G_i{}^t - X_i{}^t\right) \qquad \text{معادله 5-9}$$

که در آن w ضریب اینرسی، c_1 فاکتور بهترین جواب محلی و c_2 فاکتور بهترین جواب عمومی است. ضرایب یادگیری c_1 و c_2 معمولاً در بازه $[0,2]$ اختیار می شود. r_1 و r_2 اعداد تصادفی حاصل از توزیع یکنواخت در بازه $[0,1]$ هستند. همگرایی الگوریتم شدیداً به ضریب اینرسی وابسته است و بصورت دینامیک در بازه $[0.2,0.8]$ انتخاب می شود که بصورت خطی در طی روند تکامل جمعیت کاهش می یابد و در ابتدا بزرگ می باشد تا امکان یافتن جواب های خوب در همان مراحل اولیه فراهم شود و در مراحل پایانی کوچک بودن w همگرایی بهتری را سبب می شود. ما در این مقاله این مقدار را بر اساس تعداد تکرار با معادله 5-10 تعیین کرده ایم که مقدار $w_{initial}$ برابر با 0.9 می باشد.

$$w(t) = w_{initial} - \frac{0.5 \times iteration}{Max\ iteration} \qquad \text{معادله 5-10}$$

سرعت ذره ها در هر بعد، محدود به ماکسیمم سرعت V_{max} است که چگونگی حرکت ذره ها در فضای جستجو را مشخص می کند و اگر V_{max} خیلی کوچک باشد، ممکن است ذره ها بخوبی در فضاهای مناسب محلی کاوش نکنند و در بهینه محلی بدام بیافتند. از سویی دیگر اگر این مقدار بیش از حد زیاد باشد ممکن است ذرات در فضاهای دور از جواب حرکت کنند (معادله 5-11).

$$V_i{}^{t+1} = \begin{cases} V_i{}^{t+1} & if \quad V_i{}^{t+1} \in (V_{min}, V_{max}) \\ \max\left(min\left(V_{max}, V_i{}^{t+1}\right), V_{min}\right) & V_i{}^{t+1} \quad else \end{cases} \qquad \text{معادله 5-11}$$

در نهایت ذرات به سوی موقعیت جدید، بنا به رابطه مکانی معادله 5-12 حرکت می نمایند.

معادله 5-12
$$X_i^{t+1} = X_i^{t} + V_i^{t+1}$$

2.1.5.5 الگوریتم $BPSO$

در تحقیقی براب حل مسائل گسسته روش باینری این الگوریتم را آقای کندی در سال 1997 ارائه داد که به باینری PSO شهرت یافت [44]. استفاده از الگوریتم باینری PSO همچنین زمان محاسبات را کاهش می دهد. تفاوت عمده این روش با الگوریتم اصلی در روابط بروز رسانی موقعیت و سرعت می باشد که ابتدا باید مقدار بردار سرعت توسط تابع سیگموید به بازه $[0,1]$ منتقل شود سپس موقعیت جدید ذره محاسبه شود. موقعیت هر ذره در رشته باینری با دو مقدار صفر و یک در هر بعد مشخص می شود و وضعیت انتخاب ویژگی ما را نمایش می دهد. هر ذره بر اساس معادله های 5-13 و 5-14 به روزرسانی می شود که سرعت بر اساس معادله 5-9 بدست می آید.

معادله 5-13
$$S\left(V_i^{t+1}\right) = \frac{1}{1+e^{-V_i^{t+1}}}$$

معادله 5-14
$$X_i^{t+1} = \begin{cases} 1 & if\ Rand < S\left(V_i^{t+1}\right) \\ 0 & else \end{cases}$$

در اینجا $Rand$ یک عدد تصادفی در بازه $[0,1]$ می باشد. تابع برازندگی مورد استفاده در این مقاله که توسط الگوریتم BPSO بهینه می شود دو مقدار تعداد ویژگی های انتخاب شده و درصد بازشناسی می باشد. برای این منظور از کلاسه بند ماشین بردار پشتیبان SVM کتابخانه LIBSVM استفاده نموده ایم. با ترکیب دو مقدار تعداد ویژگی و درصد باز شناسی تابع برآزندگی را با معادله 5-15 بدست می آوریم.

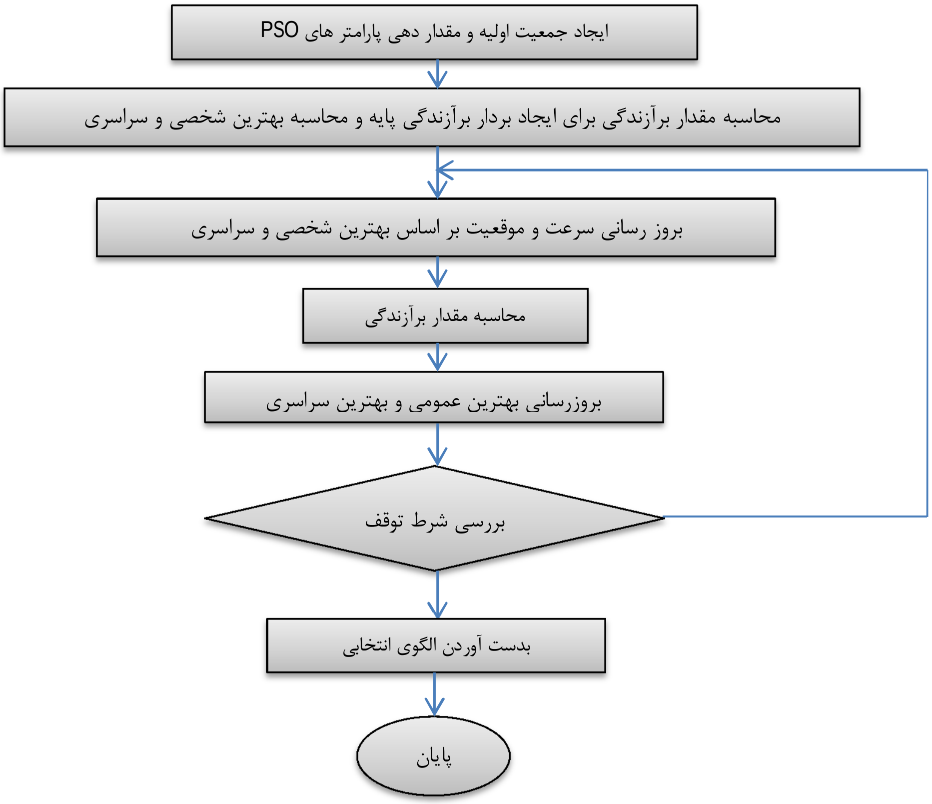
معادله 5-15
$$Fitness(i) = \frac{K_1}{|F|} + K_2 \times Accuracy$$

که در آن $|F|$ برابر تعداد ویژگی های انتخابی و در ضمن K_1 و K_2 اعداد ثابت می باشند.

3.1.5.5 انتخاب ویژگی

مساله انتخاب ویژگی، یکی از مسائلی است که در مبحث یادگیری ماشین و در بررسی مسائل شناخت الگو از دیدگاه آمار مطرح است. با انتخاب ویژگی مناسب در نرخ بازشناسی و کنار گذاشتن ویژگی هایی که در طبقه بندی تاثیر منفی دارند می توان هم نرخ بازشناسی را بهبود بخشید و همچنین هزینه محاسباتی را کاهش و سرعت پردازش را افزایش داد که این امر در سیستمهای بلادرنگ امر حیاتی می باشد. عموماً از الگوریتم های متفاوتی می توان جهت استخراج ویژگی استفاده نمود که در سالهای اخیرکارهای فراوانی روی آن صورت گرفته است اما استفاده از کل این ویژگی ها که ممکن است ویژگی

هایی نیز در آن باشد که اثر منفی در نرخ باز شناسی دارد مقرون به صرفه نبوده و نیز طول بردار ویژگی بزرگ سرعت و کارایی سیستم بازشناسی را کاهش داده و ما را در یافتن پاسخ بهینه و سریع باز می دارد [45] [46]. در این مقاله پس از استخراج ویژگی با استفاده از الگوریتم سوبل – رابرتز ویژگی های مناسب با استفاده از الگوریتم باینری PSO انتخاب شد. فلوچارت برای بدست آوردن الگوی انتخاب ویژگی بصورت شکل 5-22 می باشد.



شکل 5-22) فلوچارت بدست آوردن الگوی انتخاب

کاهش ویژگی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی، روی ویژگی های بدست آمده در روش پیشنهادی دوم با همکاری آقای محسن صدیقی انجام شد.

6 فصل ششم

نتایج آزمایشهای انجام شده

1.6 مقدمه

در این فصل عملکرد سیستم های پیشنهاد شده با دو روش بررسی شده و نتایج بدست آمده با نتایج سیستم های دیگر مقایسه شده است.

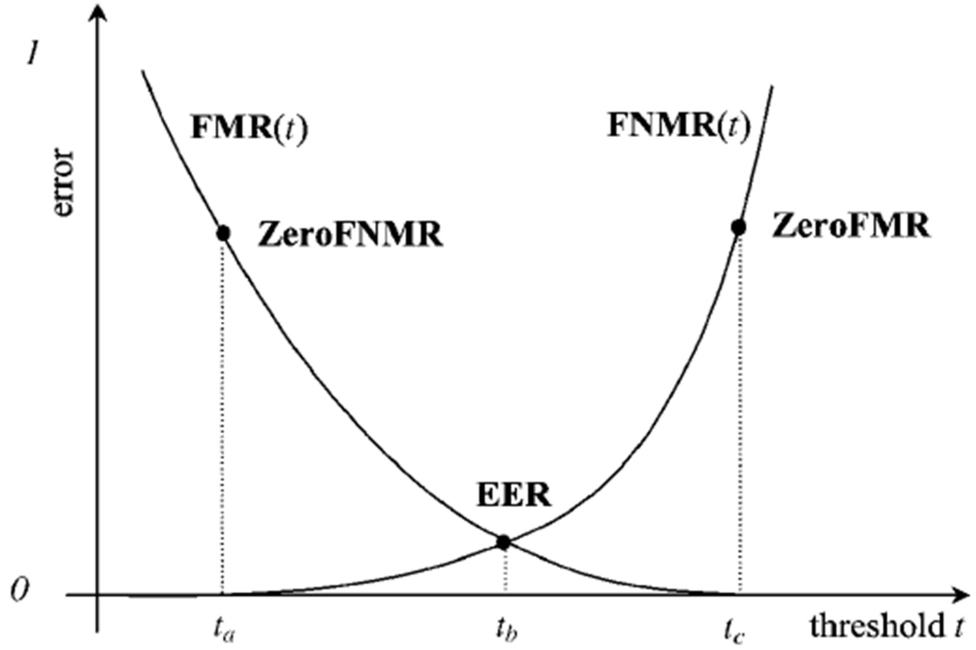
برای هر سیستم مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست دسته بندی شد. در فاز آموزش و با استفاده از مجموعه آموزش بردار ویژگی برای هر تصویر استخراج شد و جدولی از بردار های ویژگی برای مجموعه آموزش تشکیل و ذخیره شد. برای هر تصویر از مجموعه تست نیز بردار ویژگی همانند مجموعه آموزش استخراج شد.

برای بررسی عملکرد سیستم از دو روش استفاده شد :

1 - **رسم نمودار خطای سیستم :** در این روش از معیارهای استاندارد که توسط مایو و همکارانش ارائه شد، استفاده کردیم. با ترسیم نمودار FMR [1] و نمودار FNMR [2] بر حسب آستانه از صفر تا یک همانند شکل 6-1، در یک نمودار که بیانگر خطای سیستم بر حسب آستانه های مختلف است، آستانه ای که در آن نمودار FMR و نمودار FNMR با یکدیگر برخورد می کنند در حقیقت کمترین خطای سیستم و بهترین کارآیی سیستم را نشان می دهد. این نقطه EER [3] نامیده می شود. که هر چقدر مقدار EER کمتر باشد

[1] False Match Rate
[2] False Non Match Rate
[3] Equal Error Rate

سیستم دارای کارآیی بهتر است. در این بخش ما نمودار FMR بر حسب FNMR را ترسیم کرده ایم که این نمودار نیز همان اطلاعات قبلی را بنحوی بهتر در اختیار ما قرار می دهد. بردار ویژگی تصویر تست با کل بردا های ویژگی موجود در جدول بردار های ویژگی (تشکیل شده در فاز آموزش) مقایسه شد و برای هر یک نمره تطبیق که همان فاصله اقلیدسی است بدست آمد. دو اثر انگشت تست و الگو زمانی تطبیق دارند که نمره تطبیق یا همان فاصله اقلیدسی آنها کمتر از مقدار آستانه باشد [11].



شکل 6-1) نمودار FMR و نمودار FNMR بر حسب آستانه از صفر تا یک [11]

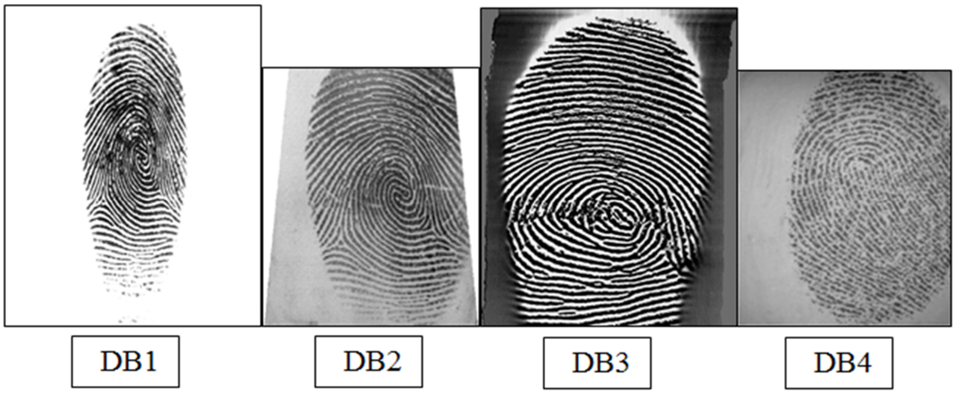
2 – **شبکه ماشین بردار پشتیبان** : با استفاده از جدول بردارهای ویژگی بدست آمده در فاز آموزش شبکه ماشین بردار پشتیبان آموزش داده شد و پس از آموزش، پارامتر های مربوط به ماشین بردار پشتیبان ذخیره شد. در فاز تشخیص بعد از بدست آوردن بردار ویژگی تصاویر تست بااستفاده از شبکه ماشین بردار پشتیبان و پارامتر های بدست آمده در فاز آموزش درصد تشخیص بدست آمد.

2.6 مجموعه داده مورد استفاده

برای این مقاله از پایگاه داده FVC2004[1] استفاده شد که نمونه ای از تصاویر هر بخش از این پایگاه داده در شکل 6-2 آمده است [47]. این پایگاه داده شامل تصویر های هشت بیتی خاکستری رنگ در 4 بخش می باشد. هر بخش شامل 800 نمونه اثر انگشت از 100 نفر درمجموعه A و 80 نمونه اثر انگشت از 10 نفر در مجموعه B می باشد. در هر بخش ابتدا با استفاده از مجموعه B پارامتر ها تنظیم شد سپس با

[1] Fingerprint Verification Competition 2004

استفاده از مجموعه A عملکرد روش پیشنهاد شده بررسی شد. جدول 6-1 اطلاعات مربوط به تکنولوژی سنسورهای استفاده شده برای این 4 بخش را نشان می دهد.



شکل 6-2) نمونه ای از تصاویر پایگاه داده FVC2004

جدول 6-1) اطلاعات مربوط به تکنولوژی سنسورهای استفاده شده برای پایگاه داده FVC2004

	Sensor Type	Image Size	Set A	Set B	Resolution
DB1	Optical Sensor	640x480	100x8	10x8	500 dpi
DB2	Optical Sensor	328x364	100x8	10x8	500 dpi
DB3	Thermal sweeping	300x480	100x8	10x8	512 dpi
DB4	SFinGe v3.0	288x384	100x8	10x8	about 500

همانطور که در فصل قبل بیان کردیم، سیستم های پیشنهادی عبارتند از :

سیستم اول - شناسایی اثر انگشت مبتنی بر روش جدید قطاع بندی

سیستم دوم - شناسایی اثر انگشت براساس ویژگی های سوبل –رابرتز

سیستم سوم - شناسایی اثر انگشت براساس تبدیل موجک و ویژگی های سوبل-رابرتز

سیستم چهارم - شناسایی اثر انگشت بوسیله ویژگی های سوبل-رابرتز و بهینه سازی توده ذرات براساس انتخاب ویژگی

در ادامه نتایج بدست آمده از هرکدام از سیستم های پیشنهادی بررسی می شود.

3.6 نتایج سیستم پیشنهادی اول

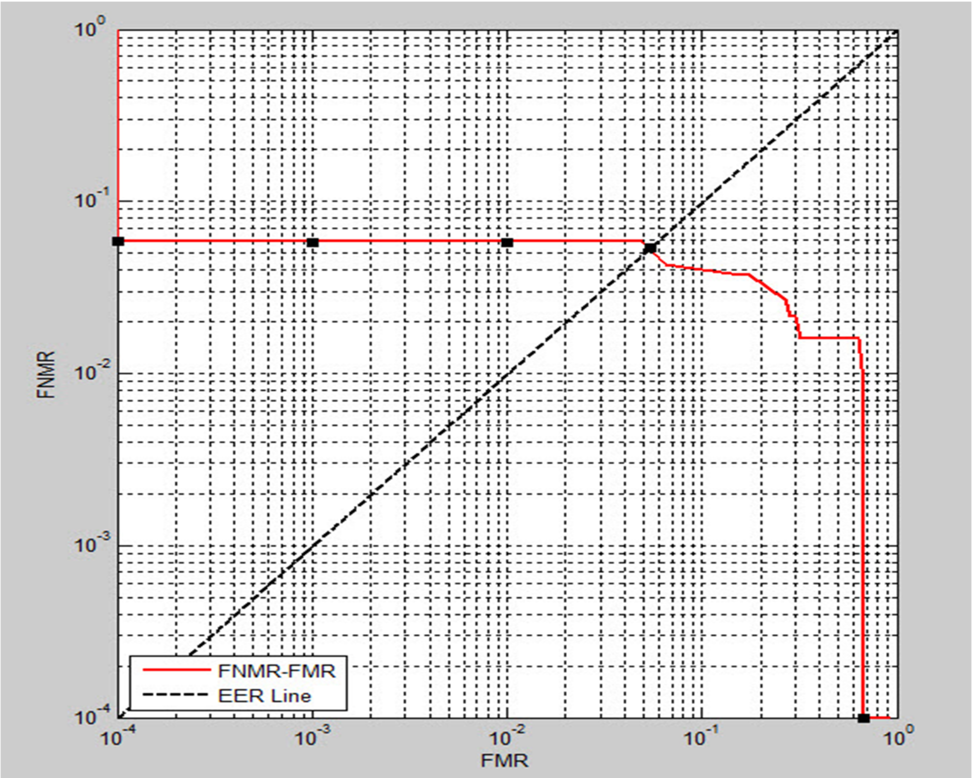
برای بررسی کارآیی سیستم اول ابتدا مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست دسته بندی شد. در فاز آموزش برای هر تصویر در مجموعه آموزش ابتدا کیفیت تصویر اثر انگشت را بهبود داده و در این تصویر بهبود یافته با استفاده از ماتریس جداساز بدست آمده از تصویر اثر انگشت، پس زمینه را جدا کردیم. روی تصویر بدست آمده مرکز اثر انگشت را پیدا و ناحیه ای حول مرکز اثر انگشت به اندازه قطر خارجی

دایره قطاع بندی جدا شد که این ناحیه را نرمالیزه کردیم. تصویر نرمالیزه توسط فیلتر گابور در 8 جهت فیلتر شد و 8 تصویر بدست آمد. روی هر تصویر قطاع بندی انجام شد که واریانس هر قطاع به عنوان ویژگی استخراج شد. این قطاع بندی دارای 5 باند بود که در باند اول 8 قطاع ، در باند دوم 16 قطاع، در باند سوم 24 قطاع، در باند چهارم 32 قطاع و در باند پنجم 40 قطاع در نظر گرفته شد. پهنای هر باند 12 پیکسل و پهنای قطر داخلی نیز 24 پیکسل در نظر گرفته شد. کل تعداد قطاع ها در هر تصویر برابر 120 بود. بنابراین برای هر تصویر اثر انگشت $960 = 120 \times 8$ ویژگی استخراج شد. هر بردار ویژگی 2 بار به راست و 2 بار به چپ شیفت دایره ای داده شد. در نتیجه برای هر تصویر 5 بردار ویژگی بدست آمد. بردارهای ویژگی بدست آمده برای کل تصاویر مجموعه آموزش بصورت یک جدول ذخیره شد.

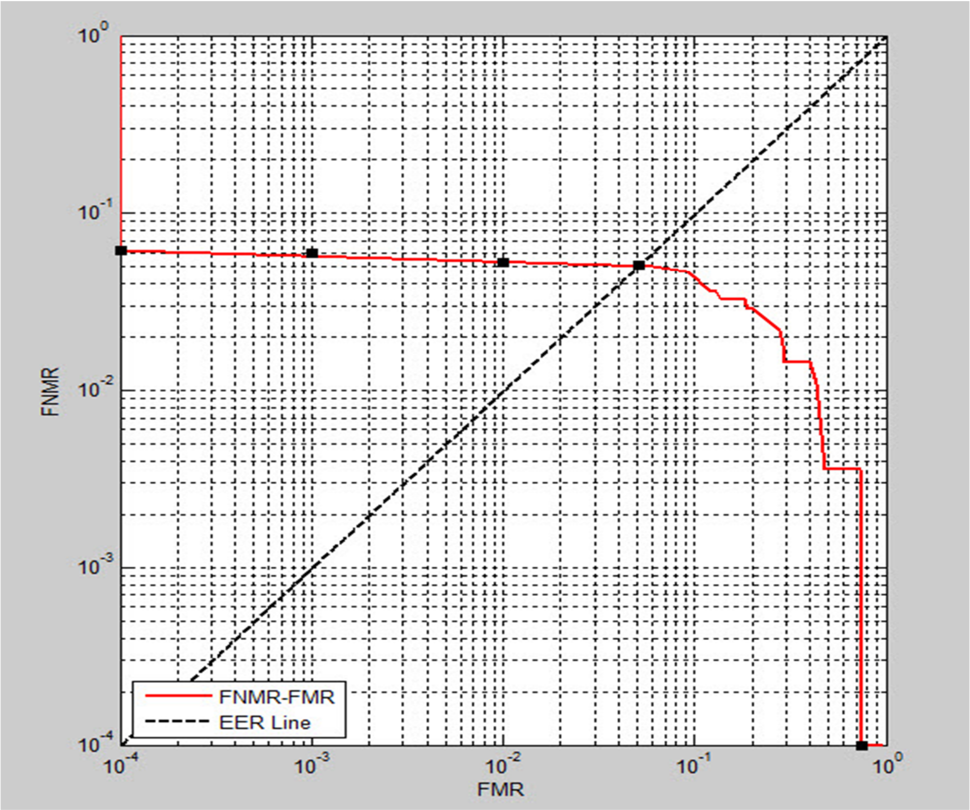
در فاز تشخیص برای هر تصویر از مجموعه تست همانند فاز آموزش ویژگی ها استخراج شد و بردار ویژگی ذخیره شد.

1.3.6 رسم نمودار خطای سیستم

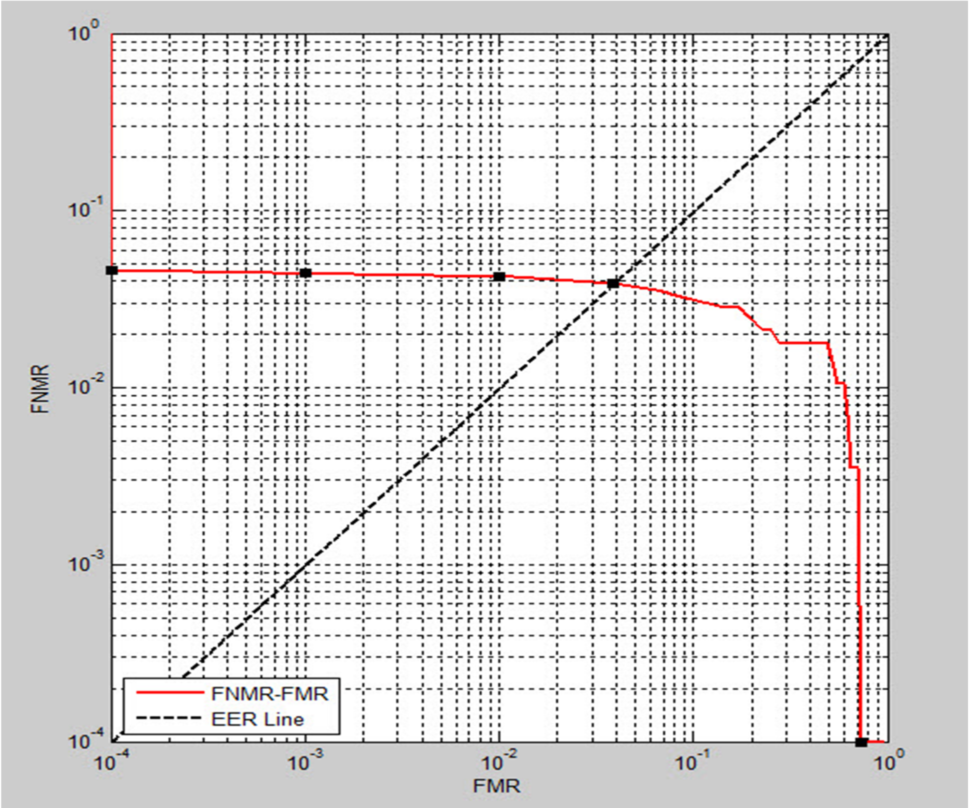
در این بخش برای بررسی کارآیی سیستم پیشنهادی اول نمودار FMR بر حسب FNMR برای هر یک از 4 مجموعه داده DB1، DB2، DB3 و DB4 رسم شده است که در شکل های 6-3، 6-4، 6-5 و 6-6 نمایش داده شده است.



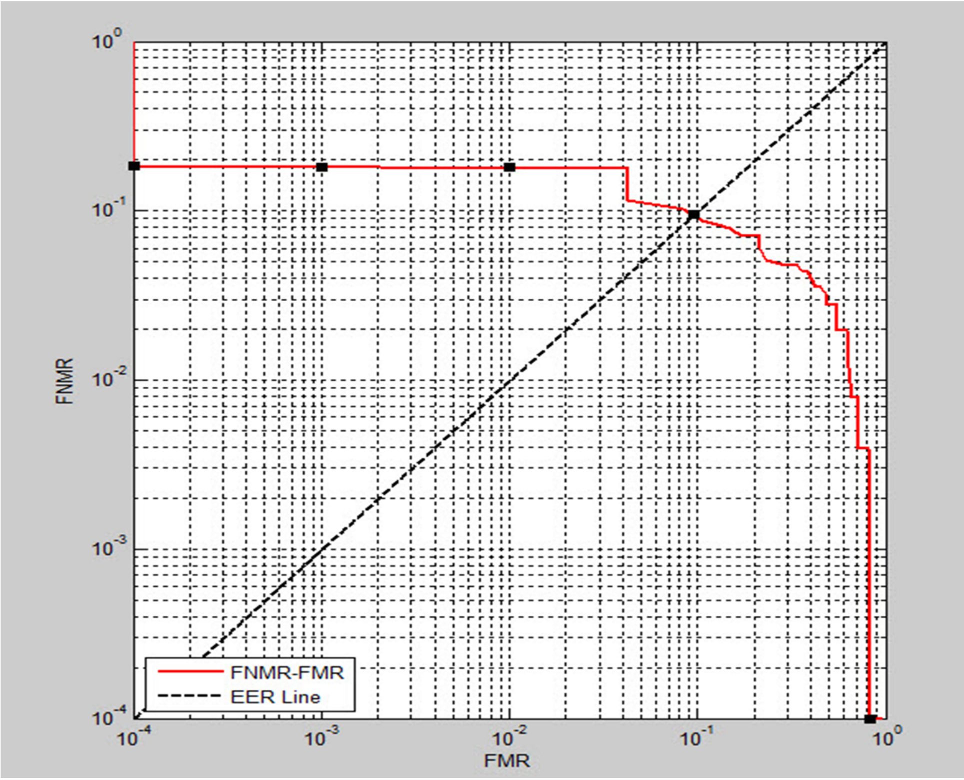
شکل 6-3) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش اول



شکل 6-4) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش اول



شکل 6-5) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش اول



شکل 6-6) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش اول

روی هر یک از نمودار های نمایش داده شده 5 نقطه با رنگ مشکی مشخص شده است که مقادیر عددی این 5 نقطه برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-2 و میانگین آنها بصورت جدول 6-3 می باشد. در جدول 6-2 مدت زمان ثبت نام یک شخص در سیستم و نیز مدت زمان شناسایی یک شخص توسط سیستم برای 4 مجموعه داده آورده شده است و میانگین این زمان ها در جدول 6-3 قرار داده شده است.

جدول 6-2) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم اول

	EER	FMR100	FMR1000	ZeroFMR	ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
DB1	%5.38	%5.78	%5.79	%5.82	%67.3	2.63	2.57
DB2	%5.12	%5.30	%5.95	%6.13	%74.61	0.81	0.75
DB3	%3.88	%4.19	%4.46	%4.59	%73.29	0.74	0.69
DB4	%9.52	%18.09	%18.26	%18.57	%82.97	0.68	0.64

جدول 6-3) میانگین نتایج جدول 6-2 برای 4 مجموعه داده برای سیستم اول

	Avg EER	Avg FMR100	Avg FMR1000	Avg ZeroFMR	Avg ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
روش پیشنهادی	%5.97	%8.34	%8.61	%8.77	%74.54	1.21	1.16

برای مقایسه روش پیشنهادی اول با روش های دیگر از نظر میانگین زمان تطبیق و میانگین **EER** جدول 6-4 آورده شده است. نتایج روش های مختلف از مرجع [48] آورده شده است.

جدول 6-4) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده اول

Algorithm	Avg Match Time	Avg EER
P101	1.48 s	2.07%
P047	2.07 s	2.10%
P071	0.67 s	2.30%
P004	0.71 s	2.45%
P039	1.19 s	2.90%
P097	0.51 s	3.13%
P049	0.38 s	3.24%
P009	0.25 s	3.31%
P113	0.48 s	3.71%
P068	0.47 s	4.03%
P108	0.32 s	4.04%
P016	0.34 s	4.27%
P103	0.14 s	4.33%
P048	0.39 s	4.41%
P075	0.43 s	4.79%
P041	0.17 s	4.89%
P111	0.43 s	5.66%
Proposed method 1	**1.16 s**	**5.97%**
P052	0.24 s	6.12%
P050	0.61 s	6.23%
P027	2.63 s	6.42%
P120	1.30 s	6.56%
P083	0.42 s	6.80%
P067	0.05 s	7.17%
P026	3.78 s	7.27%
P011	0.47 s	7.48%
P072	0.11 s	7.64%

2.3.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان

در این بخش 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه آموزش و 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه تست بطور تصادفی انتخاب شد. در فاز آموزش برای هر تصویر از مجموعه آموزش 5 بردار ویژگی با طول 960 استخراج شد. بردارهای ویژگی بدست آمده برای کل تصاویر مجموعه آموزش بصورت یک جدول ذخیره شد. با استفاده از جدول بدست آمده شبکه ماشین بردار پشتیان آموزش داده شد و پارامترهای شبکه ذخیره شد.

در فاز تشخیص برای هر تصویر از مجموعه تست همانند فاز آموزش ویژگی ها استخراج شد و بردار ویژگی بدست آمد سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده برای شبکه ماشین بردار پشتیان در فاز آموزش، شناسایی صورت گرفت. نتایج برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-5 می باشد.

جدول 6-5) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش اول

درصد تشخیص	مجموعه داده
%93.75	DB1
%93.75	DB2
%95	DB3
%92.5	DB4
%93.75	میانگین درصد تشخیص

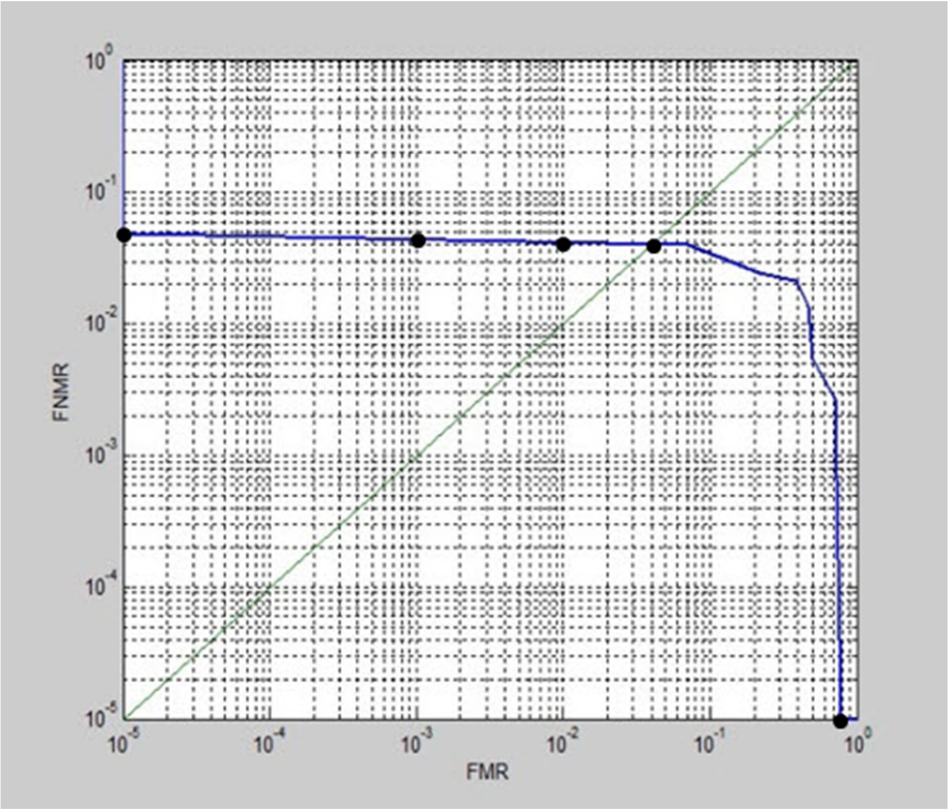
4.6 نتایج سیستم پیشنهادی دوم

برای بررسی کارآیی سیستم دوم ابتدا مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست دسته بندی شد. در فاز آموزش برای هر یک از تصاویر مجموعه آموزش ابتدا پس زمینه حذف شد و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و تصویر بهبود یافته را حول مرکز پیدا شده 5 بار با گام 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و در تصاویر نرمالیزه شده با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز 512 ویژگی در 16 جهت بدست آمد. بردار های ویژگی در یک جدول ذخیره شد.

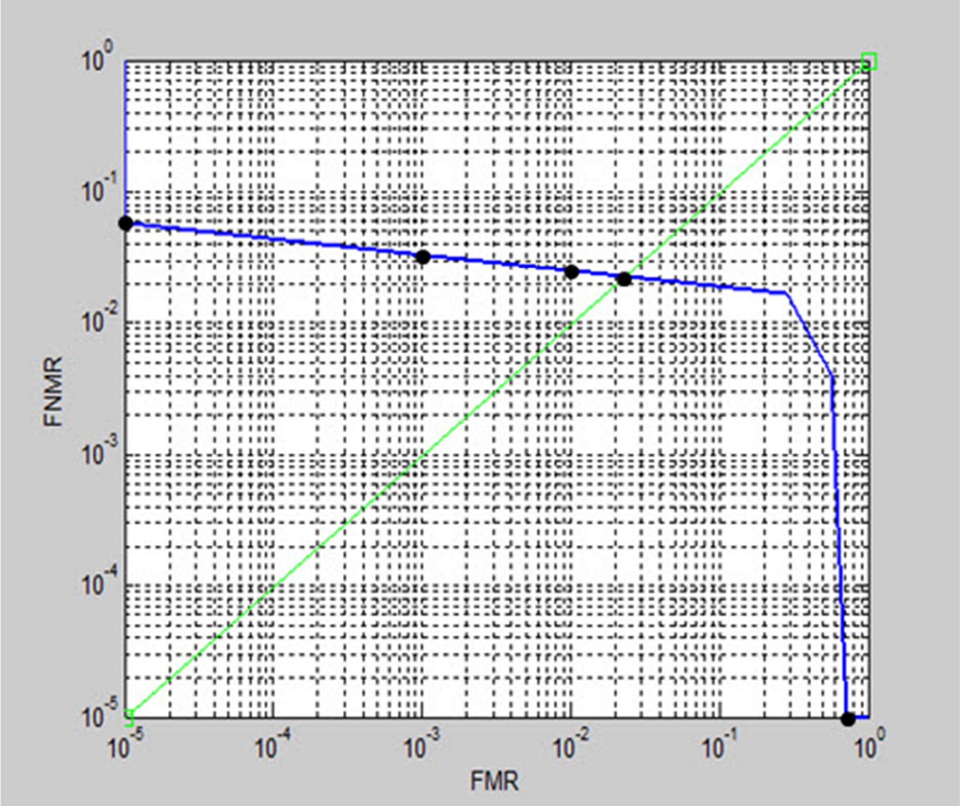
در فاز تشخیص برای هر یک از تصاویر موجود در مجموعه تست ابتدا پس زمینه حذف شد و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این ناحیه جدا شده نرمالیزه شد و در تصویر نرمالیزه شده با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز 512 ویژگی در 16 جهت بدست آمد.

1.4.6 رسم نمودار خطای سیستم

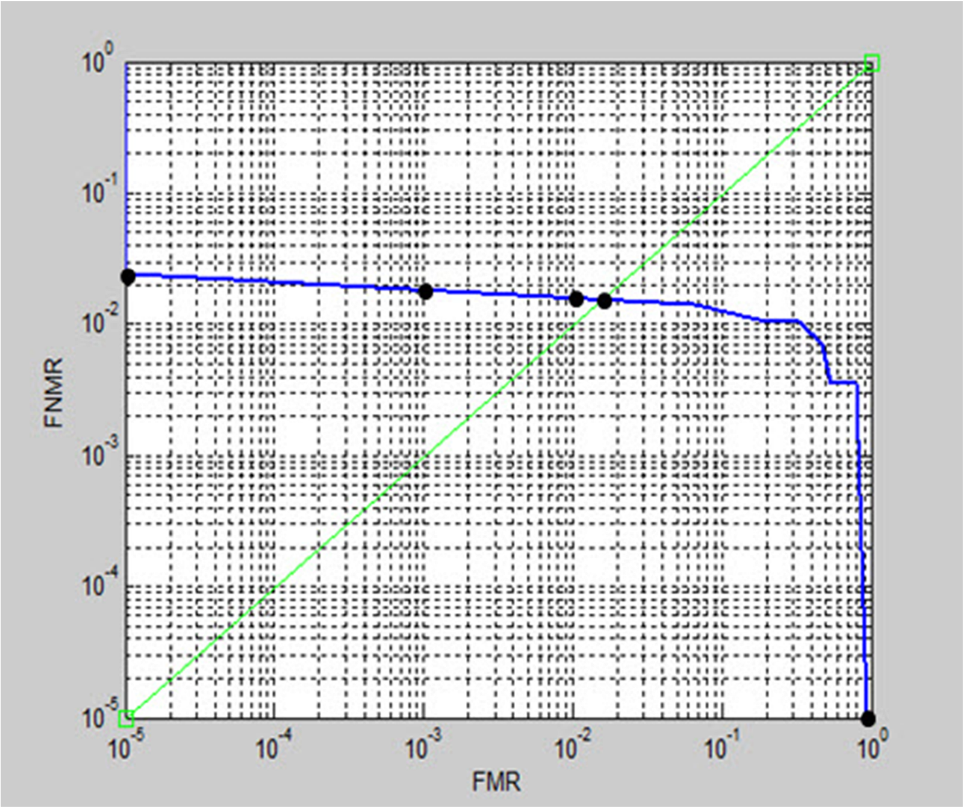
در این بخش برای بررسی کارآیی سیستم پیشنهادی دوم نمودار FMR بر حسب FNMR برای هر یک از 4 مجموعه داده DB1، DB2، DB3 و DB4 رسم شده است که در شکل های 6-7، 6-8، 6-9 و 6-10 نمایش داده شده است.



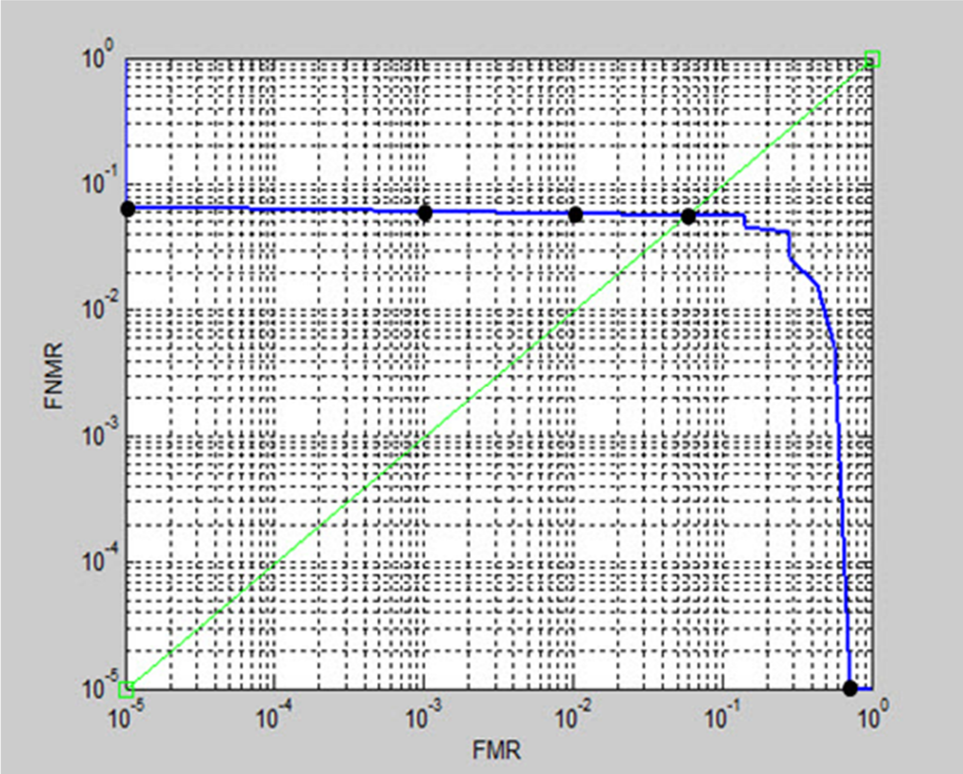
شکل 6-7) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش دوم



شکل 6-8) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش دوم



شکل 6-9) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش دوم



شکل 6-10) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش دوم

روی هر یک از نمودار های نمایش داده شده 5 نقطه با رنگ مشکی مشخص شده است که مقادیر عددی این 5 نقطه برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-6 و میانگین آنها بصورت جدول 6-7 می باشد. در جدول 6-6 مدت زمان ثبت نام یک شخص در سیستم و نیز مدت زمان شناسایی یک شخص توسط سیستم برای 4 مجموعه داده آورده شده است و میانگین این زمان ها در جدول 6-6 قرار داده شده است.

جدول 6-6) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم دوم

	EER	FMR100	FMR1000	ZeroFMR	ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
DB1	%4	%4.2	%4.5	%5	%78	3.25	0.68
DB2	%2.2	%2.5	%3.2	%6	%70	2.28	0.46
DB3	%1.6	%1.7	%1.9	%2.5	%90	2.16	0.45
DB4	%5.9	%5.95	%6	%6.5	%72	2.14	0.44

جدول 6-7) میانگین نتایج جدول 6-6 برای 4 مجموعه داده برای سیستم دوم

	Avg EER	Avg FMR100	Avg FMR1000	Avg ZeroFMR	Avg ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
روش پیشنهادی	%3.42	%3.58	%3.9	%5	%77.5	2.45	0.5

برای مقایسه روش پیشنهادی دوم با روش های دیگر از نظر میانگین زمان تطبیق و میانگین **EER** جدول 6-8 آورده شده است.

جدول 6-8) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده دوم

Algorithm	Avg Match Time	Avg EER
P101	1.48 s	2.07%
P047	2.07 s	2.10%
P071	0.67 s	2.30%
P004	0.71 s	2.45%
P039	1.19 s	2.90%
P097	0.51 s	3.13%
P049	0.38 s	3.24%
P009	0.25 s	3.31%
Proposed method 2	**0.5 s**	**3.42%**
P113	0.48 s	3.71%
P068	0.47 s	4.03%
P108	0.32 s	4.04%
P016	0.34 s	4.27%
P103	0.14 s	4.33%

ادامه جدول 6-8

Algorithm	Avg Match Time	Avg EER
P048	0.39 s	4.41%
P075	0.43 s	4.79%
P041	0.17 s	4.89%
P111	0.43 s	5.66%
Proposed method 1	**1.16 s**	**5.97%**
P052	0.24 s	6.12%
P050	0.61 s	6.23%
P027	2.63 s	6.42%
P120	1.30 s	6.56%
P083	0.42 s	6.80%
P067	0.05 s	7.17%
P026	3.78 s	7.27%
P011	0.47 s	7.48%
P072	0.11 s	7.64%

2.4.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان

در این بخش 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه آموزش و 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه تست بطور تصادفی انتخاب شد. در فاز آموزش برای هر تصویر از مجموعه آموزش 5 بردار ویژگی با طول 512 استخراج شد. بردارهای ویژگی بدست آمده برای کل تصاویر مجموعه آموزش بصورت یک جدول ذخیره شد. با استفاده از جدول بدست آمده شبکه ماشین بردار پشتیان آموزش داده شد و پارامترهای شبکه ذخیره شد.

در فاز تشخیص برای هر تصویر از مجموعه تست همانند فاز آموزش ویژگی ها استخراج شد و بردار ویژگی بدست آمد سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده برای شبکه ماشین بردار پشتیان در فاز آموزش، شناسایی صورت گرفت. نتایج برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-9 می باشد.

جدول 6-9) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش دوم

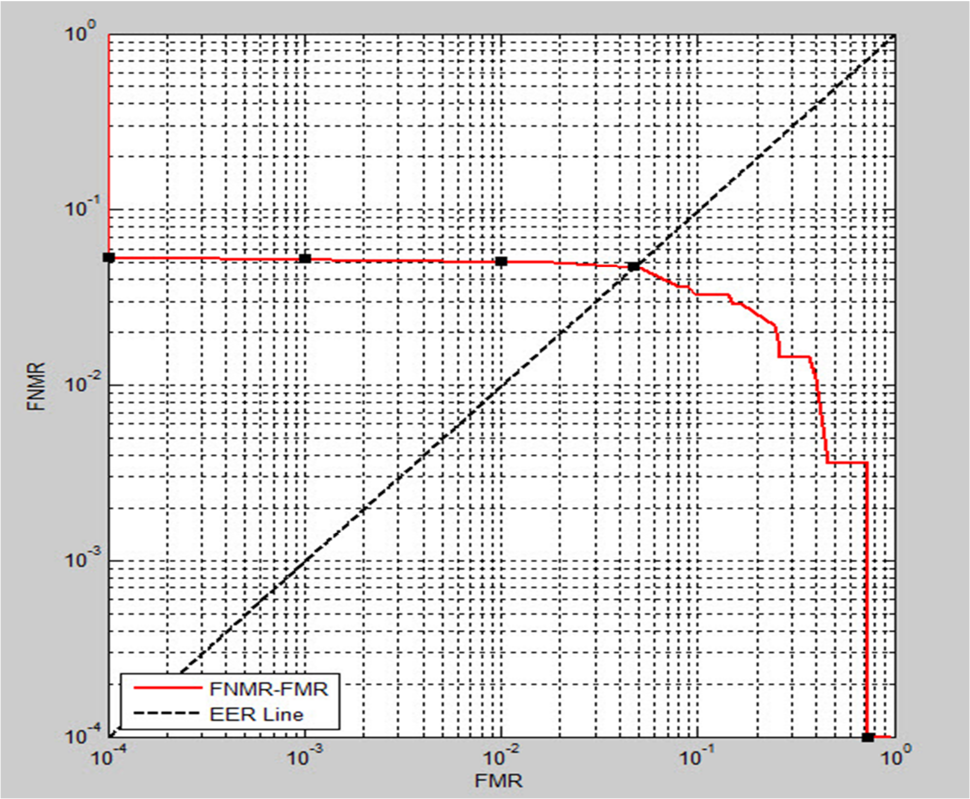
مجموعه داده	درصد تشخیص
DB1	%94.25
DB2	%95
DB3	%97
DB4	%93.75
میانگین درصد تشخیص	**%95**

5.6 نتایج سیستم پیشنهادی سوم

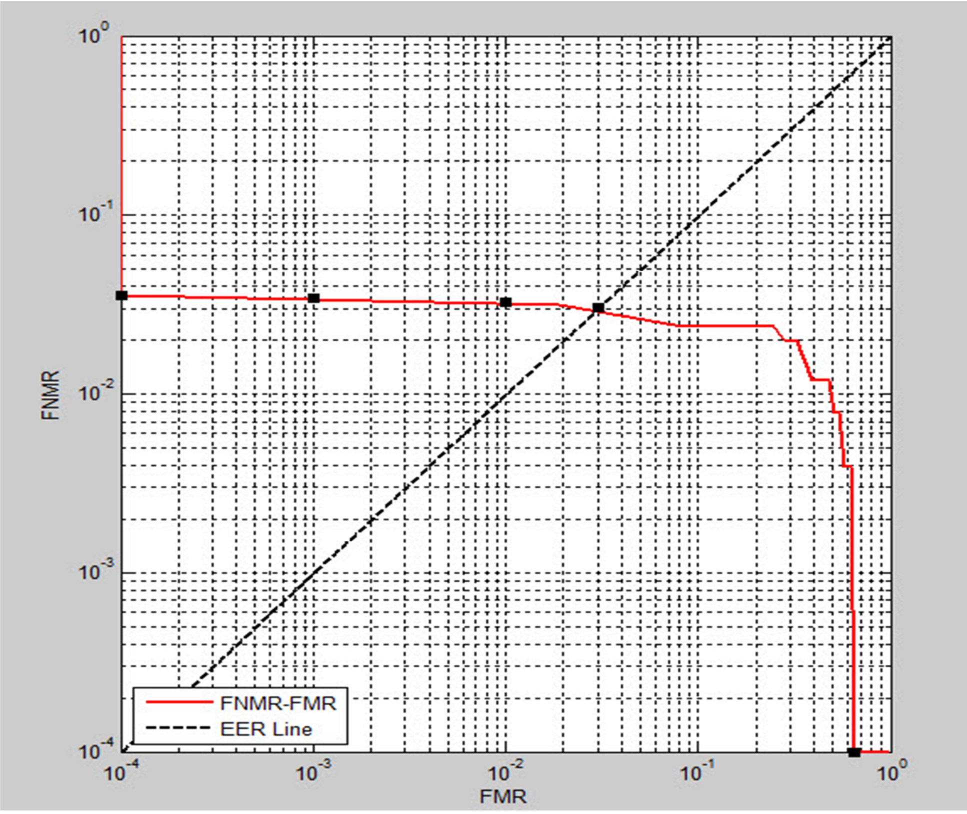
برای بررسی کارآیی سیستم سوم ابتدا مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست دسته بندی شد. در فاز آموزش برای هر یک از تصاویر مجموعه آموزش ابتدا پس زمینه حذف و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و تصویر بهبود یافته را حول مرکز پیدا شده 5 بار با گام 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و سپس با استفاده از تبدیل موجک گسسته دو بعدی از نوع $db4$ و با 1 مرحله، تصویر تقریب بدست آمد. در تصویر تقریب با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردار ویژگی با طول 512 بدست آمد. بردارهای ویژگی بدست آمده برای کل مجموعه آموزش در یک جدول ذخیره شد. در فاز تشخیص برای هر یک از تصاویر مجموعه تست همانند فاز آموزش اما بدون چرخش با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردار ویژگی با طول 512 بدست آمد.

1.5.6 رسم نمودار خطای سیستم

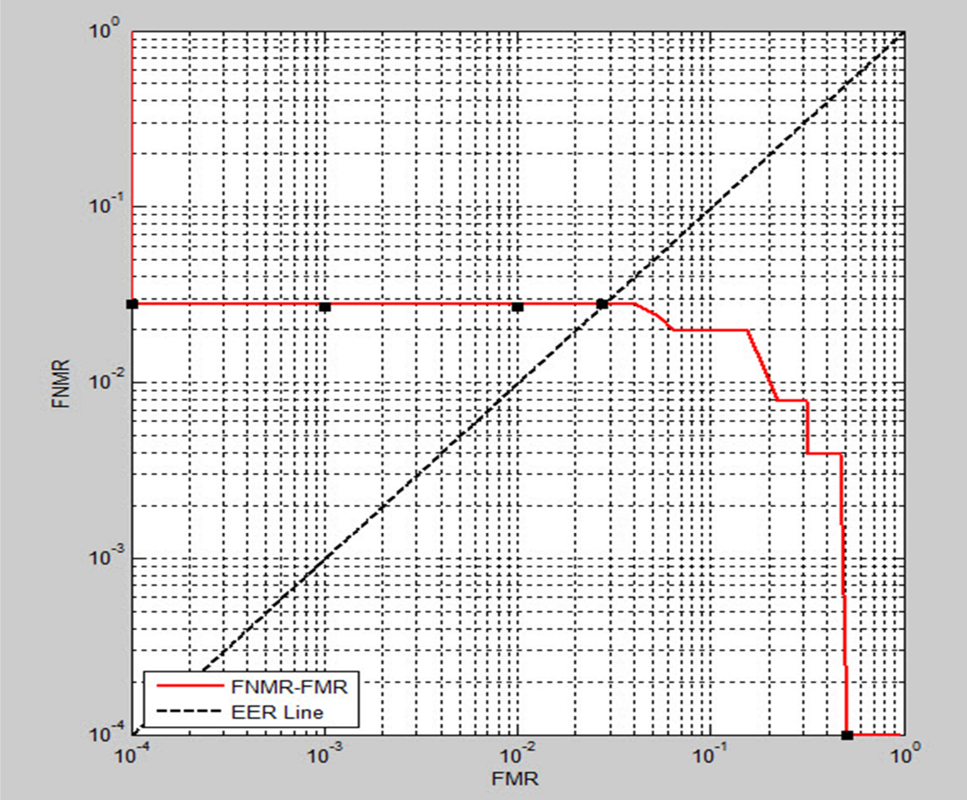
برای سیستم پیشنهادی سوم نمودار FMR بر حسب FNMR برای هر یک از 4 مجموعه داده DB1، DB2، DB3 و DB4 به ترتیب در شکل های 6-11، 6-12، 6-13 و 6-14 رسم شده است.



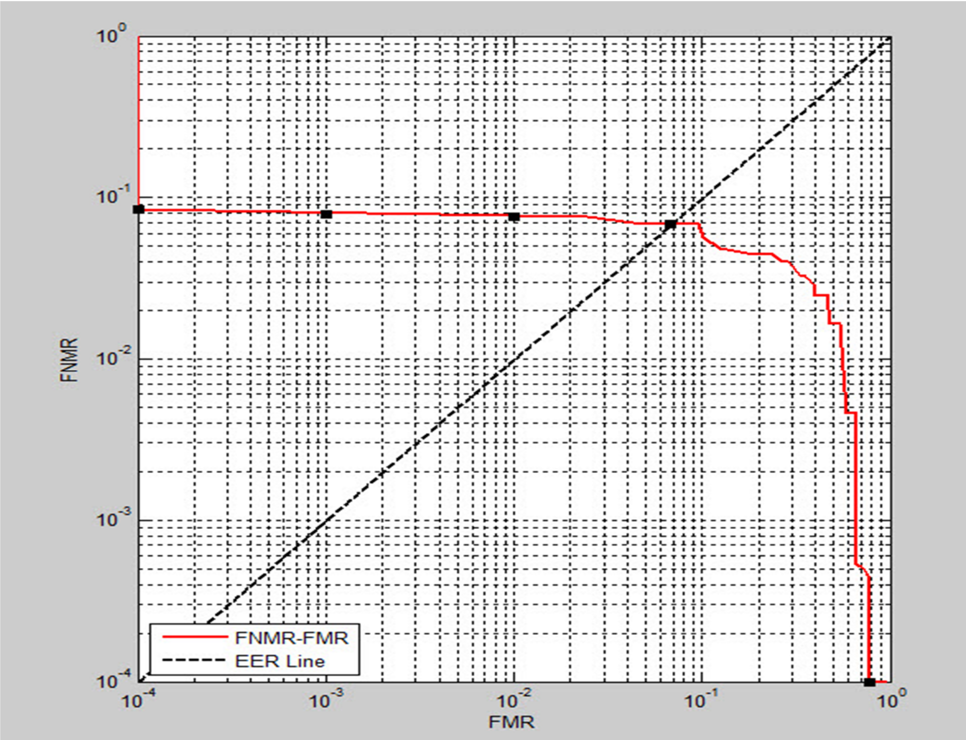
شکل 6-11) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش سوم



شکل 6-12) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش سوم



شکل 6-13) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB3 در روش سوم



شکل 6-14) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB4 در روش سوم

روی هر یک از نمودار های رسم شده 5 نقطه با رنگ مشکی مشخص شده است که مقادیر عددی این 5 نقطه برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-10 و میانگین آنها بصورت جدول 6-11 می باشد. در جدول 6-10 مدت زمان ثبت نام یک شخص در سیستم و نیز مدت زمان شناسایی یک شخص توسط سیستم برای 4 مجموعه داده آورده شده است و میانگین این زمان ها در جدول 6-11 قرار داده شده است.

جدول 6-10) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم سوم

	EER	FMR100	FMR1000	ZeroFMR	ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
DB1	%4.72	%5.12	%5.29	%5.41	%73.29	0.85	0.18
DB2	%3.11	%3.23	%3.42	%3.54	%65.66	0.60	0.14
DB3	%2.76	%2.75	%2.78	%2.80	%50.47	0.55	0.12
DB4	%6.83	%7.58	%7.89	%8.41	%77.77	0.50	0.10

جدول 6-11) میانگین نتایج جدول 6-10 برای 4 مجموعه داده برای سیستم سوم

	Avg EER	Avg FMR100	Avg FMR1000	Avg ZeroFMR	Avg ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
روش پیشنهادی	%4.35	%4.68	%4.84	%5.04	%66.79	0.62	0.13

برای مقایسه روش پیشنهادی سوم با روش های دیگر از نظر میانگین مدت زمان تطبیق دادن و میانگین **EER** جدول 6-12 آورده شده است.

جدول 6-12) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده سوم

Algorithm	Avg Match Time	Avg EER
P101	1.48 s	2.07%
P047	2.07 s	2.10%
P071	0.67 s	2.30%
P004	0.71 s	2.45%
P039	1.19 s	2.90%
P097	0.51 s	3.13%
P049	0.38 s	3.24%
P009	0.25 s	3.31%
Proposed method 2	**0.5 s**	**3.42%**
P113	0.48 s	3.71%
P068	0.47 s	4.03%
P108	0.32 s	4.04%
P016	0.34 s	4.27%
P103	0.14 s	4.33%
Proposed method 3	**0.13 s**	**4.35%**
P048	0.39 s	4.41%
P075	0.43 s	4.79%
P041	0.17 s	4.89%
P111	0.43 s	5.66%
Proposed method 1	**1.16 s**	**5.97%**
P052	0.24 s	6.12%
P050	0.61 s	6.23%
P027	2.63 s	6.42%
P120	1.30 s	6.56%
P083	0.42 s	6.80%
P067	0.05 s	7.17%
P026	3.78 s	7.27%
P011	0.47 s	7.48%
P072	0.11 s	7.64%

2.5.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان

در این بخش 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه آموزش و 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه تست بطور تصادفی در انتخاب شد. در فاز آموزش برای هر تصویر از مجموعه آموزش 5 بردار ویژگی با طول 512 استخراج شد. بردارهای ویژگی بدست آمده برای کل تصاویر مجموعه آموزش بصورت یک جدول ذخیره شد. با استفاده از جدول بدست آمده شبکه ماشین بردار پشتیان آموزش داده شد و پارامترهای شبکه ذخیره شد.

در فاز تشخیص برای هر تصویر از مجموعه تست همانند فاز آموزش ویژگی ها استخراج شد و بردار ویژگی بدست آمد سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده برای شبکه ماشین بردار پشتیان در فاز آموزش، شناسایی صورت گرفت. نتایج برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-13 می باشد.

جدول 6-13) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش سوم

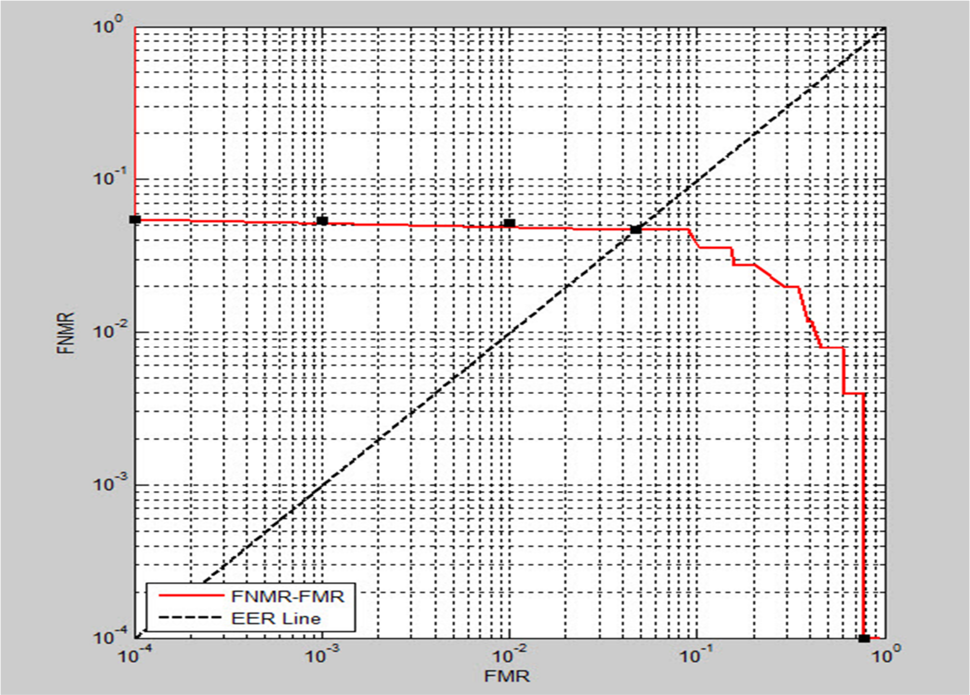
درصد تشخیص	مجموعه داده
%94.25	DB1
%94.25	DB2
%95.75	DB3
%93.25	DB4
%94.37	میانگین درصد تشخیص

6.6 نتایج سیستم پیشنهادی چهارم

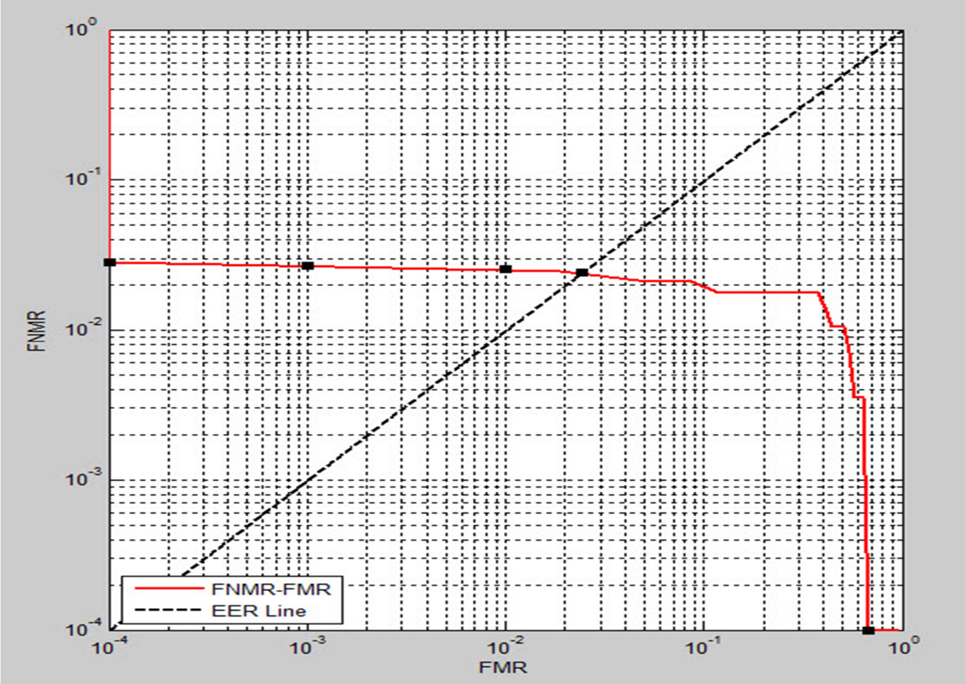
برای بررسی کارآیی سیستم چهارم ابتدا مجموعه داده به دو مجموعه آموزش و تست دسته بندی می شد. در فاز آموزش برای هر یک از تصاویر مجموعه آموزش ابتدا پس زمینه حذف و کیفیت تصویر را بهبود داده سپس در تصویر بهبود یافته مرکز اثر انگشت را پیدا کرده و تصویر بهبود یافته را حول مرکز پیدا شده 5 بار با گام 22.5 درجه از 45- تا 45+ درجه چرخاندیم و در هر بار چرخش ناحیه ای به مرکز اثر انگشت جدا شد. این نواحی جدا شده نرمالیزه شدند و سپس با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردارهای ویژگی بدست آمد. این بردار ها در یک جدول ذخیره شد. با استفاده از الگوریتم بهینه سازی توده ذرات براساس انتخاب ویژگی، ویژگی های نامطلوب برای داشتن کمترین مقدار EER حذف شد و الگویی از انتخاب ویژگی ها بدست آمد سپس بردارهای کاهش یافته در جدولی جدید ذخیره شد. در فاز تشخیص برای هر یک از تصاویر مجموعه تست همانند فاز آموزش با استفاده از ویژگی های سوبل - رابرتز بردار ویژگی بدست آمد. براساس الگوی بدست آمده در فاز آموزش برای انتخاب ویژگی ها، ویژگی های بدست آمده در فاز تشخیص کاهش داده شد.

1.6.6 رسم نمودار خطای سیستم

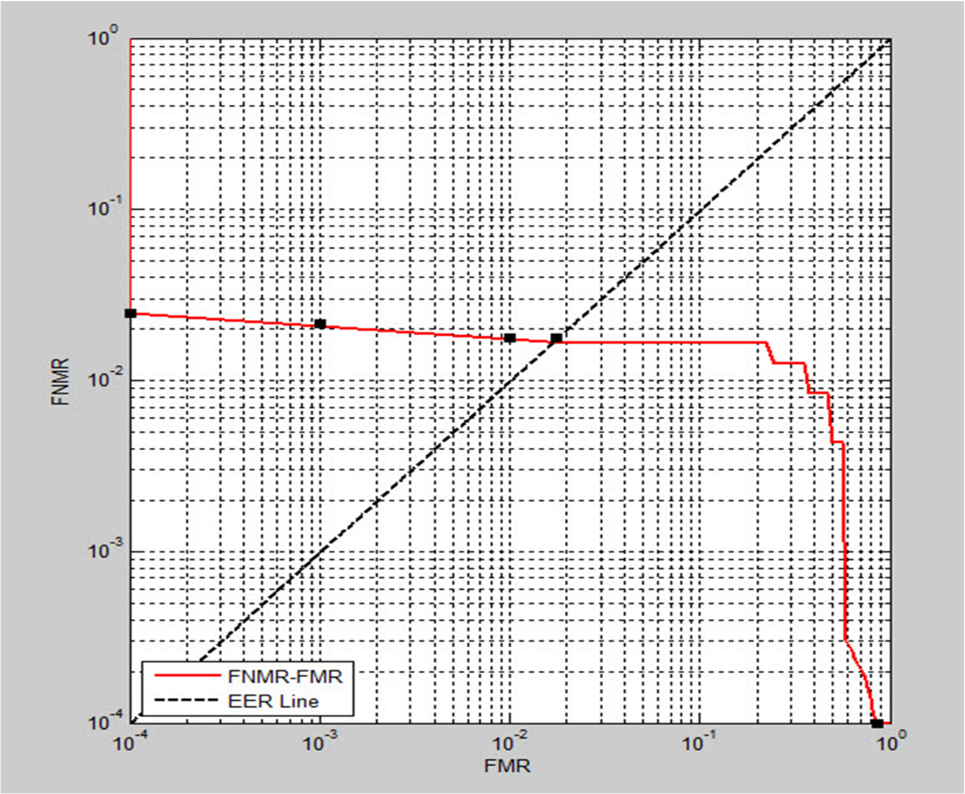
در این بخش برای سیستم پیشنهادی چهارم نمودار FMR بر حسب FNMR برای هر یک از 4 مجموعه داده DB1، DB2، DB3 و DB4 در شکل های 6-15، 6-16، 6-17 و 6-18 رسم شده است.



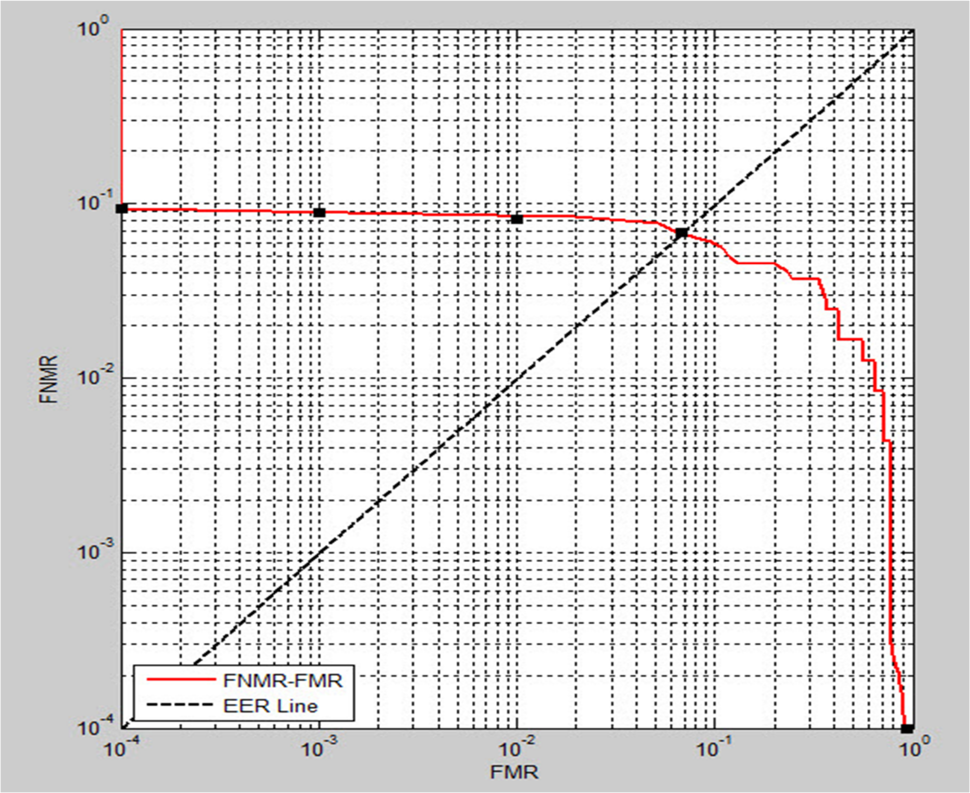
شکل 6-15) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB1 در روش چهارم



شکل 6-16) نمودار FMR بر حسب FNMR برای مجموعه داده DB2 در روش چهارم



شکل 6-17) نمودار **FMR** بر حسب **FNMR** برای مجموعه داده **DB3** در روش چهارم



شکل 6-18) نمودار **FMR** بر حسب **FNMR** برای مجموعه داده **DB4** در روش چهارم

روی هر یک از نمودارهای رسم شده 5 نقطه با رنگ مشکی مشخص شده است که مقادیر عددی این 5 نقطه برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-14 و میانگین آنها بصورت جدول 6-15 می باشد. در جدول 6-14 مدت زمان ثبت نام یک شخص در سیستم و نیز مدت زمان شناسایی یک شخص توسط سیستم برای 4 مجموعه داده آورده شده است و میانگین این زمان ها در جدول 6-15 قرار داده شده است.

جدول 6-14) مقادیر نقاط روی نمودارهای FMR بر حسب FNMR برای سیستم چهارم

	EER	FMR100	FMR1000	ZeroFMR	ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
DB1	%4.70	%5.20	%5.37	%5.49	%77.71	1.71	0.33
DB2	%2.41	%2.54	%2.70	%2.82	%67.29	1.15	0.27
DB3	%1.76	%1.77	%2.13	%2.47	%86	1.07	0.21
DB4	%6.80	%8.2	%8.92	%9.32	%92.8	1.02	0.19

جدول 6-15) میانگین نتایج جدول 6-14 برای 4 مجموعه داده برای سیستم چهارم

	Avg EER	Avg FMR100	Avg FMR1000	Avg ZeroFMR	Avg ZeroFNMR	Avg Enroll Time (s)	Avg Match Time (s)
روش پیشنهادی	%3.91	%4.42	%4.78	%5.02	%80.95	1.23	0.25

برای مقایسه روش پیشنهادی چهارم با روش های دیگر از نظر میانگین زمان تطبیق و میانگین **EER** جدول 6-16 آورده شده است.

جدول 6-16) مقایسه روش های مختلف و روش پیشنهاد شده چهارم

Algorithm	Avg Match Time	Avg EER
P101	1.48 s	2.07%
P047	2.07 s	2.10%
P071	0.67 s	2.30%
P004	0.71 s	2.45%
P039	1.19 s	2.90%
P097	0.51 s	3.13%
P049	0.38 s	3.24%
P009	0.25 s	3.31%
Proposed method 2	**0.5 s**	**3.42%**
P113	0.48 s	3.71%
Proposed method 4	**0.25 s**	**3.91%**
P068	0.47 s	4.03%
P108	0.32 s	4.04%
P016	0.34 s	4.27%

ادامه جدول 6-16

Algorithm	Avg Match Time	Avg EER
P103	0.14 s	4.33%
Proposed method 3	**0.13 s**	**4.35%**
P048	0.39 s	4.41%
P075	0.43 s	4.79%
P041	0.17 s	4.89%
P111	0.43 s	5.66%
Proposed method 1	**1.16 s**	**5.97%**
P052	0.24 s	6.12%
P050	0.61 s	6.23%
P027	2.63 s	6.42%
P120	1.30 s	6.56%
P083	0.42 s	6.80%
P067	0.05 s	7.17%
P026	3.78 s	7.27%
P011	0.47 s	7.48%
P072	0.11 s	7.64%

تعداد ویژگی های جدید با استفاده از بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-17 می باشد.

جدول 6-17) تعداد ویژگی های جدید برای 4 مجموعه داده با استفاده BPSO

تعداد ویژگی	مجموعه داده
173	DB1
194	DB2
165	DB3
143	DB4

مقادیر انتخاب شده برای الگوریتم بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی بصورت جدول 6-18 می باشد.

جدول 6-18) مقادیر انتخاب شده برای الگوریتم BPSO

30	تعداد ذرات
2	ضریب C_1 و C_2
5	ضریب K_1
6	ضریب K_2
50	تعداد تکرار

2.6.6 استفاده از شبکه ماشین بردار پشتیان

در این بخش 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه آموزش و 4 تصویر از هر شخص برای مجموعه تست بطور تصادفی انتخاب شد. در فاز آموزش برای هر تصویر از مجموعه آموزش 5 بردار ویژگی با طول 512 استخراج شد که با استفاده از بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی طول بردار مطابق جدول 6-17 کاهش داده شد. بردارهای ویژگی بدست آمده برای کل تصاویر مجموعه آموزش بصورت یک جدول ذخیره شد. با استفاده از جدول بدست آمده شبکه ماشین بردار پشتیان آموزش داده شد و پارامترهای شبکه ذخیره شد.

در فاز تشخیص برای هر تصویر از مجموعه تست همانند فاز آموزش ویژگی ها استخراج شد و بردار ویژگی بدست آمد سپس با استفاده از پارامترهای بدست آمده در فاز آموزش برای شبکه ماشین بردار پشتیان شناسایی صورت گرفت. نتایج برای 4 مجموعه داده بصورت جدول 6-19 می باشد.

جدول 6-19) درصد شناسایی با استفاده از SVM روی 4 مجموعه داده با روش چهارم

درصد تشخیص	مجموعه داده
%94	DB1
%94	DB2
%96.5	DB3
%93.5	DB4
%94.5	میانگین درصد تشخیص

7.6 نتیجه گیری

با توجه به آزمایشات انجام شده در بین سیستم های پیشنهادی سیستم دوم دارای بهترین کارآیی، سیستم سوم دارای کمترین زمان شناسایی و سیستم چهارم دارای کمترین تعداد ویژگی همراه با درصد شناسایی مطلوب می باشد.

در سیستم پیشنهادی اول 960 ویژگی برای هر تصویر استخراج شد که بسیاری از این ویژگی ها قابل حذف کردن بود و بدلیل استفاده از فیلتر گابور به مدت زمان زیادی برای استخراج ویژگی و تشخیص نیاز داشت.

در سیستم پیشنهادی دوم از الگوریتم سوبل- رابرتز برای استخراج ویژگی استفاده شد که نسبت به روش اول زمان بسیار کمتری نیاز داشت. در الگوریتم سوبل- رابرتز با دو برابر کردن تعداد جهت ها تنها

چند میلی ثانیه زمان اضافه می شود ولی در فیلتر گابور با دو برابر کردن تعداد جهت ها چند ثانیه زمان اضافه می شود. در این روش 512 ویژگی برای هر تصویر استخراج شد که بسیاری از این ویژگی ها قابل حذف کردن بود.

در سیستم پیشنهادی سوم برای کاهش بیشتر زمان نسبت به روش پیشنهادی دوم قبل از استفاده از الگوریتم سوبل- رابرتز از تبدیل موجک گسسته دو بعدی استفاده شد تا تصویر تقریب بدست آید و سپس از الگوریتم سوبل- رابرتز روی تصویر تقریب استفاده شد. تصویر تقریب از نظر اندازه ربع تصویر اصلی می باشد بنابراین استفاده از الگوریتم سوبل- رابرتز روی تصویر تقریب با سرعت بالاتری همراه شد. در این روش نیز 512 ویژگی برای هر تصویر استخراج شد که بسیاری از این ویژگی ها قابل حذف کردن بود.

در سیستم پیشنهادی چهارم از الگوریتم بهینه سازی توده ذرات بر اساس انتخاب ویژگی روی سیستم پیشنهادی دوم که دارای بهترین کارآیی بود استفاده شد و ویژگی های که قابل حذف کردن بودند، حذف شدند.

8.6 پیشنهادات برای کارهای آینده

برای بهبود نتایج تحقیقات بیشتری ضروری می باشد که در ادامه پیشنهاداتی آورده شده است :

1 – با استفاده از یک روش بهتر برای بهبود دادن کیفیت تصویر اثر انگشت درصد شناسایی بالا خواهد رفت.

2 - اندازه ناحیه برش زده شده حول مرکز اثر انگشت با یک مقدار اولیه انجام شد که این ناحیه برای تمام تصاویر یکسان بود. این ناحیه برای بعضی از تصاویر ناحیه پس زمینه را نیز شامل می شد. اگر ناحیه انتخاب شده برای هر تصویر با اندازه متفاوت و یا طوری انتخاب شود که برای هیچ تصویر ناحیه پس زمینه را شامل نشود درصد شناسایی بالا خواهد رفت.

3 – روش استفاده شده برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت برای اثر انگشت هایی که دارای ناپیوستگی باشند و یا ناحیه غیر قابل تحلیل آنها زیاد باشد دچار اشتباه می شود. با استفاده از یک روش بهتر برای پیدا کردن مرکز اثر انگشت درصد شناسایی بالا خواهد رفت.

4 – با استفاده از یک روش بهتر در جداسازی پس زمینه از تصویر اثر انگشت درصد شناسایی بالا خواهد رفت.

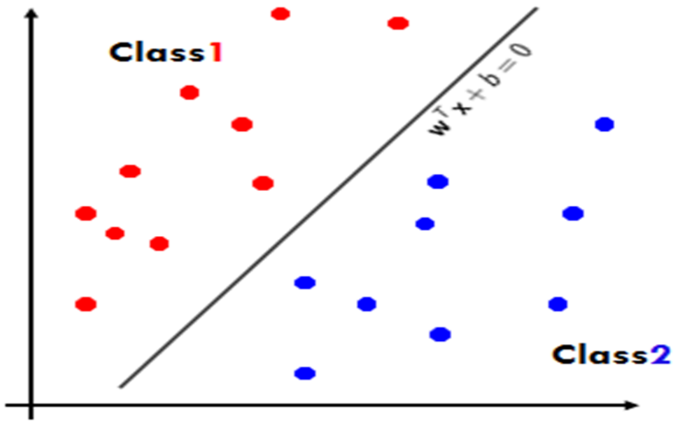
5 – با ترکیب هر یک از روش های پیشنهادی با روش تشخیص با استفاده از مینوتیا به درصد تشخیص بالاتری می توان دست پیدا کرد.

پیوست الف

الف.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان

این شبکه برای جدا سازی داده ها بین دو کلاس طراحی شد. ماشین بردار پشتیبان می‌تواند به خوبی در مسائل طبقه‌بندی استفاده شود [Martinez_Ramon,2006] که برای سادگی درک قضیه می‌توان از مسائل طبقه‌بندی دو کلاسه استفاده نمود.

این شبکه در سال 1992 توسط Vapnik معرفی شد و برپایه تئوری آموزش آماری دو کلاسه بنا گردید. بعد ها در سال 1999 توسط Scholkopf و همکارانش گسترش یافت. هدف از این گونه مسائل ایجاد یک معیار طبقه‌بندی است که برای نمونه‌های نادیده به خوبی قابل استفاده باشد و در عین حال از قابلیت تعمیم خوبی برخوردار باشد. با توجه به شکل الف-1 صفحات جداساز خطی زیادی وجود دارد که قادر به جداسازی داده‌ها می‌باشند



شکل الف-1) صفحه جداساز بهینه با حداکثر مقدار حاشیه

اما تنها یکی از آن‌ها دارای حاشیه[1] (فاصله بین صفحه جداساز و نزدیکترین نقاط) بیشینه خواهد بود. این طبقه‌بندی کننده خطی، ابر صفحه جداساز[2] بهینه نامیده می‌شود که انتظار می‌رود بتواند مرز به دست آمده را به تمام محدوده‌های ممکن تعمیم دهد [Abe, 2005; Duda et al, 2002].

الف.1.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان برای سیستم‌های خطی جداپذیر

فرض کنید نمونه های آموزش بصورت $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ باشند در این حالت y بصورت معادله الف-1 تعریف می شود.

$$y_i = \begin{cases} 1 & if\ x_i\ in\ class\ 1 \\ -1 & if\ x_i\ in\ class\ 2 \end{cases}$$ معادله الف-1

خط جداسازی که تمام داده ها را جدا می کند بصورت معادله الف-2 می باشد. این خط در شکل الف-1 نمایش داده شده است.

$$w^T x + b = 0$$ معادله الف-2

تابعی بصورت معادله الف-3 تعریف می شود.

$$f(x) = sgn(w^T x + b) \qquad \begin{matrix} (w^T x_i) + b > 0 & if\ y_i = 1 \\ (w^T x_i) + b < 0 & if\ y_i = -1 \end{matrix}$$ معادله الف-3

تعداد زیادی انتخاب برای w و b وجود دارد که هر کدام یک خط جداساز مانند شکل الف-2 می دهد. اما تنها یک انتخاب بهینه برای خط جداساز وجود دارد.

بر اساس شرایط بیان شده، زمانی مجموعه‌ای از نقاط به صورت بهینه با یک صفحه جداسازی می شوند که :

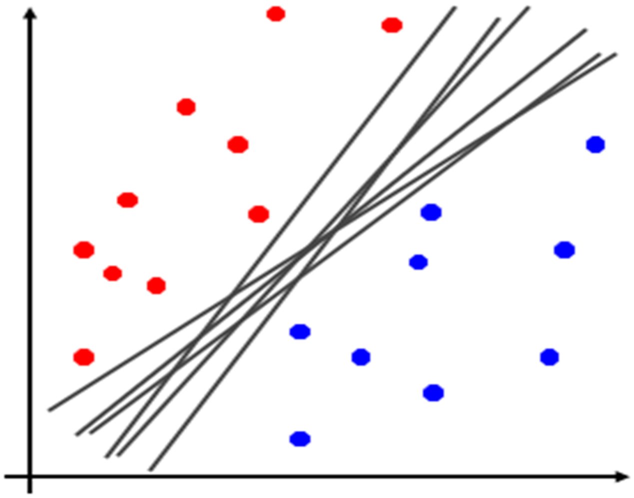
1- بدون اشتباه در کلاس مربوط به خود قرار گرفته باشند.

2- فاصله بین نزدیکترین نقاط هر کلاس داده تا صفحه جدا کننده بیشینه باشد.

---

[1] -Margin

[2] - Hyperplane

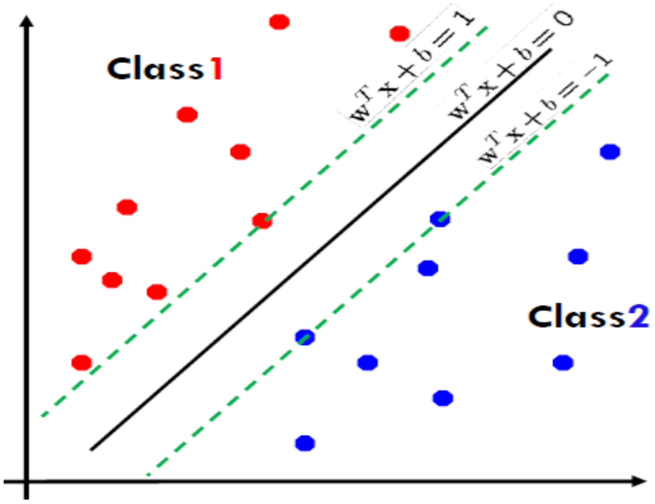


شکل الف-2) خطوط جداساز مختلف برای مقادیر مختلف w و b

بر این اساس، پارامترهای w و b باید به گونه‌ای محاسبه گردند که دو شرط ذکر شده برقرار باشد. جهت حل این مسئله و برای کنترل جداپذیری داده‌ها نیز معادله الف-4 برای حاشیه بیان می‌گردد [Huang Te-Ming and Kecman, 2006].

$$w^T x + b \begin{cases} \geq 1 & for\ y_i = 1 \\ \leq -1 & for\ y_i = -1 \end{cases}$$ معادله الف-4

در شکل الف-3 معادلات در نظر گرفته شده برای حاشیه‌ها و صفحه جداساز بهینه مشاهده می‌شود.



شکل الف-3) صفحه جداساز و حاشیه‌ها

جهت معرفی صفحه جداسازی که از بیشترین حاشیه ممکن برخوردار باشد، سعی می‌شود تا فاصله بین دو حاشیه در نظر گرفته شده، بیشینه گردد. برای محاسبه فاصله این دو حاشیه و بیشینه نمودن آن از معادله الف-5 استفاده می‌شود [Martinez-Ramon, 2006].

$$M = \frac{|(w^T x + b - 1) - (w^T x + b + 1)|}{\|w\|} = \frac{2}{\|w\|}$$ معادله الف-5

در این رابطه $\|w\|$ نرم تابع نامیده می‌شود. بر اساس خروجی محاسبه شده از معادله الف-5، اگر $\frac{2}{\|w\|}$ بیشینه گردد، حاشیه مورد نظر ماکزیمم خواهد شد. اما برای سادگی کار می‌توان مقدار به دست آمده را معکوس نموده و آن را کمینه نمود که در این حالت به صورت $\frac{1}{2} w^T w$ نوشته خواهد شد. بر اساس شرایط بیان شده در حالت کلی جهت بیشینه نمودن فاصله حاشیه‌ها و یافتن بهینه‌ترین ابر صفحه جداساز از معادله الف-6 استفاده می‌شود.

$$\min_{w,b} \frac{1}{2} w^T w$$
$$\text{subject to } y_i(w^T x + b - 1) \geq 1$$ معادله الف-6

در اینجا هدف کمینه سازی تابع $f(x)$ با توجه به محدودیت $g(x) \geq 0$ می باشد، در نتیجه تابع لاگرانژ $L(x, \alpha) = f(x) - \alpha g(x)$ با در نظر گرفتن $\alpha \geq 0$ کمینه خواهد شد [Abe, 2005]. با جاگذاری $f(x)$ و $g(x)$ از معادله الف-6 به معادله الف-7 می رسیم.

$$L_p(w, b, \alpha) = \frac{1}{2} w^T w - \sum_{i=1}^{N} \alpha_i \left\{ y_i \left[w^T x_i + b \right] - 1 \right\}$$ معادله الف-7

اگر از رابطه معادله الف-7 نسبت به w و b مشتق جزئی گرفته شده و مساوی صفر قرار داده شود، مقدار بهینه w به دست خواهد آمد که این کار در معادله الف-8 انجام شده است.

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \Rightarrow w_0 = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i x_i y_i$$
معادله الف-8
$$\frac{\partial L}{\partial b} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^{N} \alpha_i y_i = 0$$

حال اگر مقدار w به دست آمده از معادله الف-8 در معادله الف-7 قرار داده شود، معادله اساسی ماشین برداری به صورت رابطه معادله الف-9 معرفی می‌شود. بنابراین، هدف در ماشین برداری حل معادله

معادله الف-9 با توجه به محدودیت‌های مشخص شده است. در ماشین برداری سیستم های خطی جداپذیر، مقدار ضریب لاگرانژ باید بزرگتر از صفر باشد[Martinez-Ramon, 2006].

$$\text{Max} \quad L_d(\alpha) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{N} y_i y_j \alpha_i \alpha_j x_i^T x_j$$

$$\text{S.t} \begin{cases} \alpha_i \geq 0 \\ \sum_{i=1}^{N} \alpha_i y_i = 0 \end{cases}$$

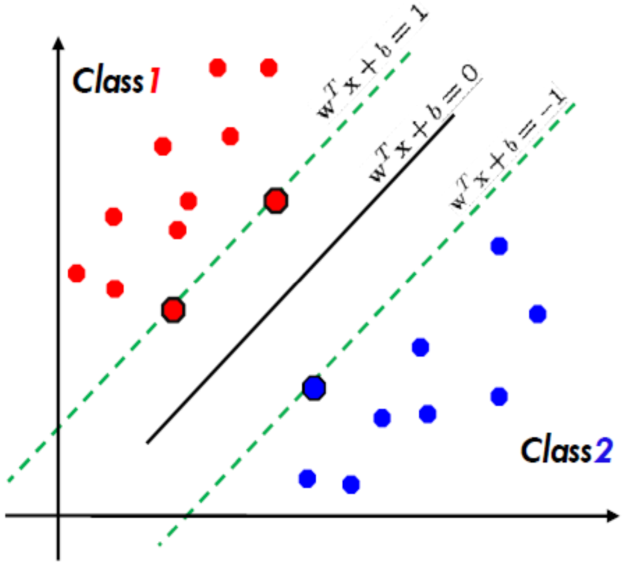
معادله الف-9

مقدار بهینه b نیز از طریق رابطه $b = y_i - w^T x_i$ و میانگین‌گیری از تمامی مقادیر به دست آمده، محاسبه می‌شود. معادله کلی محاسبه مقدار بهینه b را می‌توان به صورت معادله الف-10 بیان نمود.

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{S=1}^{N} \left(y_S - w^T x_S \right)$$

معادله الف-10

با حل مسئله بهینه‌سازی معادله الف-9 و استفاده از معادله الف-10 می‌توان به بهینه‌ترین صفحه جداساز دست یافت. ابر صفحه جداساز بهینه در شکل الف-4 نشان داده شده است.



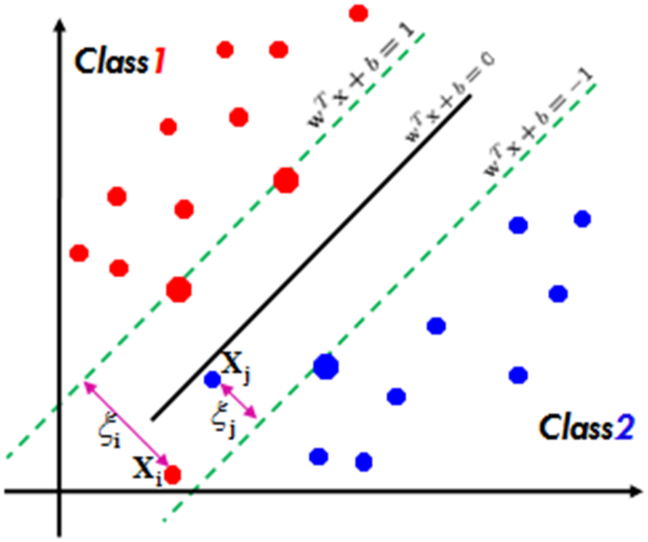
شکل الف-4) صفحه جداساز بهینه

نکته قابل توجه در شکل الف-4 داده‌هایی است که روی حاشیه‌ها قرار گرفته‌اند، این داده‌ها همان داده‌های ساپورت [1] هستند که ماشین برداری برای طبقه‌بندی صحیح داده‌ها از آن‌ها استفاده می‌کنند [Wang, 2005; Van der Heijden et al, 2004].

[1] Suport

الف.2.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان برای سیستم‌های خطی جداناپذیر

گاهی در سیستم‌های خطی شرایطی ایجاد می‌شود که تعدادی از داده‌ها در کلاس مربوط به خود قرار نمی‌گیرند که این حالت در شکل الف-5 نمایش داده شده است. در چنین شرایطی خطایی به اندازه $\xi_i \geq 0$ در کلاس بندی در نظر می گیریم. [Wang, 2005].



شکل الف-5) سیستم‌های خطی جداناپذیر

در نتیجه معادله جدید بصورت معادله الف-11 نوشته می شود.

$$\min_{w,b}\ \frac{1}{2}w^T w + C\sum_{i=1}^{N}\xi_i$$
$$S.t\quad y_i(w^T x + b) \geq 1 - \xi_i$$
معادله الف-11

در رابطه فوق، C ضریب موازنه جهت بیشینه‌نمودن حاشیه‌ها و کمینه‌سازی خطای تابع است. در این حالت معادله اساسی بصورت معادله الف-12 می باشد.

$$L_p(w,b,\xi,\alpha,\beta) = \frac{1}{2}w^T w + C\sum_{i=1}^{N}\xi_i - \sum_{i=1}^{N}\alpha_i\left\{y_i\left[w^T x_i + b\right] - 1 + \xi_i\right\} - \sum_{i=1}^{N}\beta_i\xi_i$$
معادله الف-12

لاگرانژ کلاسیک دوگانه قادر است مسئله اولیه معادله الف-12 را به مسئله دوگانه آن تبدیل کند. مسئله دو گانه این رابطه، توسط معادله الف-13 تعریف می‌شود.

$$\max\ w(\alpha,\beta) = \max_{\alpha,\beta}\left(\min_{w,b,\xi} L(w,b,\alpha,\xi,\beta)\right)$$
معادله الف-13

اگر از معادله الف-13 نسبت به w، b و ξ_i مشتق گرفته شده و مساوی صفر قرار داده شود، مقادیر معادله الف-14 به دست می‌آیند.

$$\frac{\partial L}{\partial w} = 0 \Rightarrow w = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i y_i x_i$$

$$\frac{\partial L}{\partial b} = 0 \Rightarrow \sum_{i=1}^{N} \alpha_i y_i = 0$$ معادله الف-14

$$\frac{\partial L}{\partial \xi} = 0 \Rightarrow \alpha_i + \beta_i = C$$

با قرار دادن این روابط در معادله الف-12، معادله اساسی ماشین برداری در حالت خطی جداناپـذیر به دست می‌آید که به صورت رابطه معادله الف-15 خواهد بود [Wang, 2005].

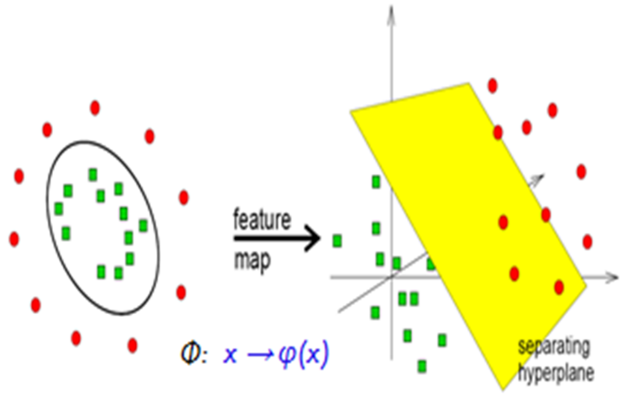
$$\text{Max} \quad L_d(\alpha) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^{N} y_i y_j \alpha_i \alpha_j x_i^T x_j$$

$$\text{S.t} \quad \begin{cases} 0 \le \alpha_i \le C \\ \sum_{i=1}^{N} \alpha_i y_i = 0 \end{cases}$$ معادله الف-15

همان‌گونه که مشاهده می شود، تابع هدف سیستم‌هـای جداناپـذیر خطـی مشـابه بـا سیسـتم‌هـای جداپذیر خطی است و تنها تفاوت این دو، اصلاح کران‌های ضرایب لاگرانژ می‌باشد. پارامتر C نیز که قابلیـت کنترل ظرفیت اضـافی طبقـه‌بنـدی کننـده را مشـخص مـی‌سـازد، در ایـن سیسـتم‌هـا بایـد تعیـین گـردد [Stefano and Giuseppe, 2006; Sanchez, 2003].

الف.3.1 شبکه ماشین بردار پشتیبان غیرخطی

در بسیاری از موارد داده ها بصورت خطی جدا پذیر نیستند که در شـکل الـف-6 نمونـه ای نمـایش داده شده است. در این حالت از تابعی استفاده می شود که داده های آموزشی را به فضای دیگر منتقل کنـد که در فضای جدید امکان تفکیک خطی کلاس ها وجود داشته باشد. این تابع کرنل نام دارد.



شکل الف-6) نحوه جداسازی داده ها در حالت غیر خطی

در حالتی که داده بصورت خطی جداپذیر باشند از معادله الف-16 استفاده می شود ولـی در حالـت غیر خطی این معادله به معادله الف-17 تبدیل می شود.

$$w = \sum_{i=1}^{N} y_i \alpha_i x_i$$ معادله الف-16

$$w = \sum_{i=1}^{N} y_i \alpha_i \varphi(x_i)$$ معادله الف-17

در این حالت تابع لاگرانژ بصورت معادله الف-18 می باشد.

$$L_d(\alpha) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i - \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{N} \alpha_i \alpha_j y_i y_j \emptyset_i{}^T \emptyset_j$$ معادله الف-18

تابع کرنل بصورت معادله الف-19 تعریف می شود.

$$K(x_i, x_j) = \emptyset^T(x_i)\emptyset(x_j)$$ معادله الف-19

انواع تابع کرنل بصورت جدول می باشد.

جدول الف-1 : چند نوع تابع کرنل

نوع طبقه بندی	تابع کرنل
تابع خطی از درجه p	$K(x_i, x_j) = (x_i{}^T, x_j)^p$
تابع چند جمله ای از درجه p	$K(x_i, x_j) = (x_i{}^T x_j + 1)^p$
تابع گوسی	$K(x_i, x_j) = e^{\frac{\lVert x_i - x_j \rVert^2}{2\sigma^2}}$
تابع پرسپترون چند لایه	$K(x_i, x_j) = \tanh(\gamma x_i{}^T x_j + \mu)$
تابع دریکله برای مسائل شرایط مرزی	$K(x_i, x_j) = \dfrac{\sin((n + 1/2)(x_i - x_j))}{2\sin((x_i - x_j)/2)}$

در نهایت تابع اساسی بصورت معادله الف-20 می باشد.

$$\text{Max } L_d(\alpha) = \sum_{i=1}^{N} \alpha_i - \frac{1}{2}\sum_{i,j=1}^{N} y_i y_j \alpha_i \alpha_j K(x_i, x_j)$$

$$\text{Subject to } \begin{cases} 0 \le \alpha_i \le C \\ \sum_{i=1}^{N} \alpha_i y_i = 0 \end{cases}$$ معادله الف-20

الف.4.1 ماشین بردار پشتیبان چند کلاسه

با گسترش شبکه ماشین بردار پشتیبان برای حالت دو کلاسه که در بالا معرفی شد می توان از آن برای جداسازی چند کلاسه نیز استفاده کرد. دو روش برای جداسازی چند کلاسه با استفاده از ماشین بردار پشتیبان وجود دارد که عبارتند از :

1- روش یکی در مقابل همه [1]

2- روش یکی در مقابل یکی [2]

در روش اول مجموعه ای از ماشین بردار پشتیبان های دو کلاسه در نظر گرفته می شود. اگر تعداد کلاس های موجود برابر با P باشد در اینصورت می بایست P شبکه را آموزش داد و P عدد صفحه جدا کننده طراحی کرد به طوری که در هر بار آموزش شبکه، یک کلاس در مقابل مابقی قرار گیرد در نتیجه با این کار P صفحه جدا کننده خواهیم داشت. نمونه آموزش متعلق به کلاسی خواهد بود که بیشترین اندازه را در خروجی داشته باشد. روش دوم نیز همانند روش اول بوده با این تفاوت که کلاس ها دو به دو با هم مقایسه می شوند [39].

الف.2 نقاط قوت و ضعف شبکه ماشین بردار پشتیبان

نقاط قوت شبکه ماشین بردار پشتیبان که باعث برتری این ماشین نسبت به سایر روش‌های طبقه بندی شده است را می‌توان در 3 برتری عمده دانست [Steinwart, 2008].

1- آموزش شبکه ماشین بردار پشتیبان نسبتاً آسان است.

2- در انتقال داده‌ها به فضای بالاتر به خوبی عمل نموده و عملکرد خوبی در سیستم‌های غیرخطی دارد.

3- موازنه بین پیچیدگی طبقه‌بندی کننده و میزان خطا قابل کنترل است.

تنها مشکل ماشین برداری که به عنوان نقطه ضعف این ماشین بیان شده، نیاز این ماشین به انتخاب کرنل مناسب است زیرا در صورت عدم مناسب بودن آن، نتایج ارائه شده رضایت بخش نخواهند بود [Cristianini and Shawe-Taylor, 2000].

---

[1] One Against All (OAA)
[2] One Against One (OAO)

مراجع

[1] کوهساری، حمید; " **تشخیص هویت با اثر انگشت** ".

[2] سپهوند، رضا; رحمتی نژاد، امین; مومنی، احسان; " **بررسی سیستم تشخیص اثر انگشت** "، دانشگاه شهید اشرفی اصفهانی، 1390.

[3] M.Rajinikannan, et al., **"Estimating the Impact of Fingerprint Image Enhancement Algorithms for Better Minutia Detection,"** International Journal of Computer Applications, vol. 2, May 2010.

[4] N. K. Johal and P. A. Kamra, **"A Novel Method for Fingerprint Core Point Detection,"** International Journal of Scientific & Engineering Research, vol. 2, pp. 1-6, April 2011.

[5] A. Julasayvake and S. Choomchuay, **"An Algorithm for Fingerprint Core Point Detection,"** presented at the Faculty of Engineering, Research Center for Communication and Information Technology (ReCCIT), King Mongkut`s Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, 2007.

[6] S. Greenberg, et al., **"Fingerprint Image Enhancement using Filtering Techniques "** presented at the Electrical and Computer Engineering Department, Ben-Gurion University of the Negev, Beer-Sheva, Israel, 2000.

[7] WUZHILI, **"Fingerprint recognition, Student project,"** Hong Kong Baptist University, 2002.

[8] J. Leon-Garcia, et al., **"Invariant Moments Applied to Fingerprint Recognition,"** INTERNATIONAL JOURNAL OF CIRCUITS, SYSTEMS AND SIGNAL PROCESSING, vol. 2, pp. 180-188, 2008.

[9] X. T. Bhanu and B. Y. Lin, **"Fingerprint classification based on learned features,"** presented at the Center for Res. in Intelligent Syst., Univ. of California, Riverside,CA, USA, 2005.

[10] V. C. John, **"Fingerprint Based Authentication System,"** presented at the Correlation Based Classification Approach, MSITRT,Robotics Institute, Carnegie Mellon University,Pittsburgh, PA, USA, 2010.

[11] D. Maio, et al., **"FVC2000 : Fingerprint Verification Competition,"** PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 24, pp. 402-412, MARCH 2002.

[12] D. Maio, et al., **"FVC2002: Second Fingerprint Verification Competition,"** presented at the IEEE, 2002.

[13] L. Hong, et al., **"Fingerprint Image Enhancement : Algorithm and Performance Evaluation,"** IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, vol. 20, pp. 777-789, AUGUST 1998.

[14] S. Chikkerur, et al., **"Fingerprint enhancement using STFT analysis,"** PATTERN RECOGNITION SOCIETY, pp. 198-211, 2007.

[15] A. K. Jain, et al., **"Filterbank-Based Fingerprint Matching,"** IEEE TRANSACTIONS ON IMAGE PROCESSING, vol. 9, pp. 846-859, MAY 2000.

[16] C. V. K. Rao and K. Balck, **"Finding The Core Point In A Fingerprint,"** IEEE Transactions on Computers, vol. C-27, January 1978.

[17] A. Julasayvake and S. Choomchuay, **"A Combined Technique in Fingerprint Core Point Detection,"** King Mongkut`s Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, Research Center for Communication and Information Technology (ReCCIT), King Mongkut`s Institute of Technology Ladkrabang (KMITL), Bangkok, Thailand, pp. 556-560, 2006.

[18] D. Maltoni , et al., **" Handbook of Fingerprint Recognition "**, 2003.

[19] H. B. Kekre and V. A. Bharadi, **"Fingerprint Core Point Detection Algorithm Using Orientation Field Based Multiple Features,"** International Journal of Computer Applications, vol. 1, pp. 97-103, June 2010.

[20] Y. Wang, et al., **"Enhanced Gradient Based Algorithm for the Estimation of Fingerprint Orientation Field,"** in Applied Mathematics and Computation Science Direct: Elsevier, 2007, pp. 823-833.

[21] A. Mishra and D. M. Shandilya, **"Fingerprint's Core Point Detection using Gradient Field Mask,"** International Journal of Computer Applications, vol. 2, pp. 19-23, June 2010.

[22] M. Dadgostar, et al., **"Fingerprint Core Point Detection based on Combined Complex Filters and Orientation Image,"** in 15th Iranian Conference on Electrical Engineering, Tehran, 1987, pp. 25-29.

[23] S. Chikkukerurr and N. Ratha, **"Impact of Singular Point Detection on Fingerprint Matching Performance "**, presented at the Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies (AutoID'05), 2005.

[24] D. Mario and D. Maltoni, **"Direct Gray-Scale Minutiae Detection In Fingerprints,"** Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 19, pp. 27-40, 1997.

[25] T. R.Gault, **"Fingerprint identification,"**.

[26] O. Baruch, **"Line Thinning by Line Following,,"** Pattern Recognition Letters, vol. 8, pp. 271-276, 1988.

[27] **"Fingerprint Identification – Project 2,"** presented at the EECE695C – Adaptive Filtering and Neural Networks, AMERICAN UNIVERSITY OF BEIRUT.

[28] H. Monadjemi, et al., **"Fingerprint recognition based on tissue characteristics and minutiae - Core point,"** presented at the 3rd CEIT, Hamedan-Iran, 2011.

[29] L. Nanni and A. Lumini, **"Descriptors for image-based fingerprint matchers,"** Expert Systems with Applications, pp. 12414-12422, 2009.

[30] M. Dadgostar, et al., **"Feature Extraction Using Gabor-Filter and Recursive Fisher Linear Discriminant with Application in Fingerprint Identification,"** in Seventh International Conference on Advances in Pattern Recognition, 2009, pp. 217-220.

[31] A. K. Jain, et al., **"A Multi-channel Approach to Fingerprint Classification,"** IEEE TRANS.on Pattern Analysis Machine intelligence, vol. 21, pp. 348-358,1999.

[32] C. Xiang, et al., **"Face Recognition Using Recursive Fisher Linear Discriminant,"** IEEE Trans.Image Process., vol. 15, pp. 2097-2105, Agust 2006.

[33] C. J. Lee and S. D. Wang, **"Fingerprint feature extraction using Gabor filters,"** ELECTRONICS LETTERS, vol. 35, pp. 288-290, 1999.

[34] M. Tico, et al., **"Wavelet domain features for fingerprint recognition,"** ELECTRONICS LETTERS, vol. 37, pp. 21-22, 2001.

[35] A. Ross, et al., **"A hybrid fingerprint matcher,"** Pattern Recognition vol. 36, pp. 1661-1673,2003.

[36] Z. Shi and V. Govindaraju, **"A chaincode based scheme for fingerprint feature extraction,"** Pattern Recognition Letters, vol. 27, pp. 462-468, 2006.

[37] L. Nanni and A. Lumini, **"A hybrid wavelet-based fingerprint matcher,"*l*** PATTERN RECOGNITION SOCIETY, vol. 40, pp. 3146-3151, 2007.

[38] M. Dadgostar, et al., **"Fingerprint Classification Based on Gabor filters and a new sectorization method,"** presented at the 5th Iranian Conference on Machine Vision and Image Processing, Tehran, 1387.

[39] H. Yuqing, et al., **"Near Infrared Face Recognition Based on Wavelet Transform and 2DPCA,"** presented at the Key Laboratory of Photo electronic Imaging Technology and System, Ministry of Education of China, 2010.

[40] H. Khosravi and E. Kabir, **"Farsi font recognition based on Sobel–Roberts features,"** Pattern Recognition Letters, vol. 31, pp. 75-82, 2010.

[41] S. Burrus and R. Gopinath, **"Introduction to wavelets & wavelet transforms,"** New Jersey, 1998.

[42] B. Luo, et al., **"Face Recognition Based on Wavelet Transform and SVM,"** presented at the International Conference on Information Acquisition, Hong Kong and Macau, China, 2005.

[43] J. Kennedy and R. Eberhart, **"Particle Swarm Optimization "** presented at the IEEE International Conference on neural networks,1995.

[44] J. Kennedy and R. Eberhart, **"A Discrete Binary Version of the Particle Swarm Algorithm,"** presented at the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, 1997.

[45] R. M. Ramadan and R. F. Abdel-Kader, **"Face Recognition Using Particle Swarm Optimization-Based Selected Features,"** International Journal of Signal Processing, Image Processing and Pattern Recognition, vol. 2, pp. 51-66, June 2009.

[46] C. H. Lin, et al., **"Combining Biometric Fractal Pattern and Particle Swarm Optimization-Based Classifier for Fingerprint Recognition,"** presented at the Mathematical Problems in Engineering, Hindawi Publishing Corporation, 2010.

[47] D. Maio , et al., **"bias.csr.unibo.it/fvc2004/databases.asp,"** Aprill,2003.

[48] D. Maio , et al., **"bias.csr.unibo.it/fvc2004/results.asp,"** Aprill,2003.

Abstract

Fingerprint is an important physiological feature used to identify individuals. Different methods have been proposed for fingerprint recognition. The present dissertation draws on fingerprint authentication methods and the results corresponding to these methods to develop new methods of fingerprint recognition. Gabor filter and segmentation were applied to fingerprint recognition in the first method. The background was removed from the input image, which was subsequently enhanced. Then, the center of finger was determined in the enhanced image. An area surrounding this center was identified and filtered in 8 directions using Gabor filter. The resulting 8 images were normalized. A new segmentation was applied to these normalized images and variance and mean values were determined as features for each segment. Feature extraction and recognition processes were lengthy since Gabor filter was used in this method. In the second method, Sobel Roberts Features (SRF) was used in feature extraction, which improved the time requirements compared to the first method. In this second method, the background was removed from the input image which was subsequently enhanced and prepared for recognition of the center. The enhanced image was then rotated around this center for 5 times from -45° to 45° with 22.5-degree steps. One area centered on the finger was identified in each rotation. These areas were normalized, and then, Sobel Roberts Features was used to extract feature vectors. The third method involved application of 2D Discrete Wavelet Transform (DWT), instead of Sobel Roberts Features, to the enhanced image for improvement in running time. First, DWT was used to obtain an approximated image to which Sobel Roberts Features was applied. The three methods mentioned above resulted in many unnecessary features which could be eliminated through binary particle swarm optimization (BPSO). BPSO was applied to the second method since in outperformed the other two methods. Euclidean distance and support vector machine (SVM) were used for the purpose of recognition by the three methods. Among the proposed systems, the second method had the highest efficiency, the third system had the best performance in terms of running time, and the fourth system had the smallest number of features with acceptable recognition rate. Database from FVC2004 were used in this study.

Keywords

Fingerprint Recognition, Segmentation, Enhancement, Core Point Detection, Gabor Filter, Normalization, Sobel Roberts Featurs, Particle Swarm Optimization, Discrete Wavelet Transform, Equal Error Rate, Support Vector Machine

Shahrood University of Thechnology
Faculty of Electrical and Robotic Engineering

Fingerprint Recognition Based on a New Sectorization Method

By

Mahdi Parhizkari

Under Supervision of

Dr. Hossein Khosravi

Consultant

Dr. Alireza Ahmadifard

A Thesis Presented to the Faculty of Electrical and Robotic Engineering
In Partial Fulfillment of the requirements for the degree of
Master of Science
In
Electronics Engineering

September 2012