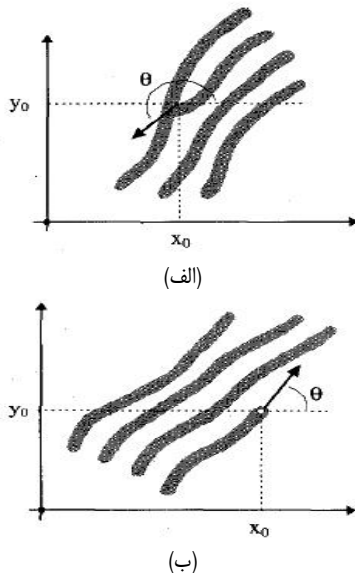


روش جدید سخت‌افزاری تخمین جهت در تصاویر اثر انگشت

ایمان علی‌بیگی، شادرخ سماوی و زهرا رحمانی



شکل ۱: جزئیات در تصویر اثر انگشت، (الف) انشعاب خطوط و (ب) انتهای خط [۳].

برای هر یک از جزئیات استخراج شده از تصویر پارامترهای (۱) مختصات، (۲) جهت خط برآمدگی که جزئیات بر روی آن قرار دارد و (۳) نوع جزئیات (انتها یا انشعاب خطوط) ذخیره می‌گردد. لذا همان‌گونه که مشخص است برای استخراج جزئیات و ذخیره آنها به صورت استاندارد باید جهت در تصویر اثر انگشت معین باشد.

برای این که جزئیات به صورت مطمئن و دقیق از تصویر اثر انگشت استخراج شده و برای تطبیق مورد استفاده قرار گیرند تصویر باید دارای کیفیت قابل قبولی باشد. برای بهبود کیفیت تصاویر اثر انگشت نیز روش‌هایی در ادبیات تخصصی ارائه شده است که در اکثر آنها تخمین جهت مرحله‌ای گلوگاهی می‌باشد.

تاکنون روش‌های متعددی برای تخمین جهت در تصاویر اثر انگشت پیشنهاد شده است که عمدتاً از الگوریتم‌های نرم‌افزاری استفاده می‌کنند. کاستی این الگوریتم‌ها کندی آنهاست که عملکرد آنها را برای سیستم‌های جستجوی بلادرنگ نامطلوب می‌سازد. در شرایطی که نیاز به بررسی تعداد زیادی اثر انگشت در مدت کوتاهی وجود دارد، هر گونه تسریع در آنالیز تصاویر بسیار حیاتی می‌باشد. به‌طور مثال در انتخابات ریاست جمهوری کشور ونزوئلا کندی سیستم بررسی اثر انگشت شرایط بسیار نامطلوبی را ایجاد نمود. یکی از راه حل‌ها، استفاده از سخت‌افزار می‌باشد که امکان بلادرنگ‌بودن سیستم را فراهم می‌کند.

در بخش ۲ مقاله تعدادی از الگوریتم‌های ارائه شده برای محاسبه جهت در تصاویر اثر انگشت بررسی می‌شود. روش سخت‌افزاری پیشنهادی برای محاسبه جهت در بخش ۳ ارائه می‌گردد. در بخش ۴ به بررسی پیچیدگی ساختار سخت‌افزاری طراحی شده در مقاله پرداخته‌ایم و بخش ۵ شامل نتیجه‌گیری مقاله می‌باشد.

چکیده: یکی از روش‌های احراز هویت استفاده از اثر انگشت است. شناسایی اثر انگشت یکی از بهترین روش‌های بیومتریک برای تعیین هویت است. اکثر سیستم‌های اتوماتیک مقایسه اثر انگشت بر پایه تطبیق جزئیات می‌باشند. استخراج جزئیات به صورت خودکار یکی از مراحل حساس در طراحی سیستم‌های تأیید اثر انگشت است. یکی از مراحل پیچیده برای ارتقای کیفیت تصویر و استخراج جزئیات، محاسبه جهت خطوط برآمدگی اثر انگشت است. الگوریتم‌های موجود عمدتاً نیاز به انجام محاسبات پیچیده و زمان‌بری دارند و به صورت نرم‌افزاری انجام می‌شوند. به همین دلیل پیاده‌سازی مستقیم آنها به صورت بلادرنگ بسیار دشوار است. در این مقاله با بهبود و پیاده‌سازی الگوریتم‌های موجود، سخت‌افزاری برای محاسبه جهت در تصویر اثر انگشت مبتنی بر معماری خط لوله ارائه شده است که از کارایی بسیار خوبی برخوردار می‌باشد.

کلید واژه: بیومتریک، اثر انگشت، تخمین جهت، استخراج جزئیات، سخت‌افزار.

۱- مقدمه

بیومتریک علمی است که با استفاده از خاصیت‌های رفتاری یا فیزیولوژیکی افراد به شناسایی آنها می‌پردازد. شناسایی اثر انگشت به‌عنوان یکی از بهترین روش‌های بیومتریک شناخته شده است. در اواخر قرن نوزدهم "سر فرانسیس گالتون" مطالعه وسیعی را روی اثر انگشت آغاز نمود و ثابت کرد که اثر انگشت هر فرد یکتاست. او در مطالعات خود به دو نتیجه مهم رسید: (۱) اثر انگشت ماندگار است و (۲) اثر انگشت هر شخص یکتا و منحصر به فرد است.

روش‌های مختلفی برای تطبیق دو اثر انگشت ارائه شده است. در این روش‌ها مهم‌ترین بخش، ارائه تصویر اثر انگشت و اطلاعات مربوط به آن می‌باشد. برای تطبیق دو اثر انگشت باید اطلاعات مربوط به دو تصویر با یکدیگر تطبیق داده شوند [۱] و [۲]. اصلی‌ترین روش تطبیق اثر انگشت، تطبیق بر اساس مشخصه‌های گالتون می‌باشد. بیش از ۱۵۰ خط مشخصه در اثر انگشت شناسایی شده است. غالب‌ترین این مشخصه‌ها، جزئیات^۱ نام دارند که در برخی از موارد به آنها ریزدره نیز گفته می‌شود. ریزدره‌ها شامل پایان خط و انشعاب خطوط می‌باشند و در شکل ۱ نشان داده شده‌اند.

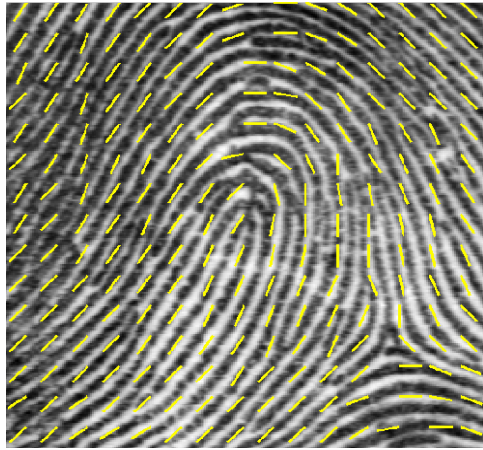
در روش‌های تطبیق بر اساس جزئیات، از تصویر جزئیات استخراج شده و به‌عنوان اثر انگشت فرد در پایگاه داده ذخیره می‌شوند. بدین ترتیب حجم پایگاه داده مورد نظر کاهش می‌یابد و سرعت تطبیق بالا می‌رود.

این مقاله در تاریخ ۲۹ خرداد ماه ۱۳۸۶ دریافت و در تاریخ ۱۴ شهریور ماه ۱۳۸۹ بازنگری شد.

ایمان علی‌بیگی، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،
(email: iman_ab81@yahoo.com)

شادرخ سماوی، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،
(email: samavi96@cc.iut.ac.ir)

زهرا رحمانی، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان،
(email: za_rahmani@yahoo.com)



شکل ۳: تصویر اثر انگشت و تخمین جهت با استفاده از پیکسل‌های مرجع.

یکی دیگر از الگوریتم‌های محاسبه جهت مبتنی بر مینیمم‌سازی حداقل مربعات می‌باشد [۵]. این روش پیچیدگی محاسباتی کمتری نسبت به روش گرادیان در بر دارد ولی همچنان نیاز به محاسباتی نظیر توابع مثلثاتی داشته و برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری مناسب نمی‌باشد.

روش دیگری که برای محاسبه جهت در تصویر اثر انگشت مورد استفاده قرار می‌گیرد محاسبه جهت با استفاده از "پیکسل‌های مرجع" می‌باشد. ایده اصلی این روش توسط Mehtre در [۲] ارائه شده است. جهت $\theta(i, j)$ در پیکسل (i, j) از تصویر به صورت زیر محاسبه می‌شود. ابتدا برای هر پیکسل مقدار S_d که مجموع تفاضل سطوح خاکستری در جهت d می‌باشد محاسبه می‌شود

$$S_d = \sum_{k=1}^n |f(i, j) - f_d(i_k, j_k)| \text{ for } d = 1, \dots, N \quad (1)$$

که در آن $f(i, j)$ سطح خاکستری پیکسل (i, j) و $f_d(i_k, j_k)$ سطح خاکستری پیکسل (i_k, j_k) است. K ام در جهت d از (i, j) است. در (۱)، n تعداد پیکسل‌های در نظر گرفته شده برای محاسبه و N تعداد جهت‌های مورد استفاده است. حال با اعمال الگوریتم فوق هر یک از پیکسل‌های تصویر دارای N مقدار S_d می‌باشند. از این میان آن مقدار S_d ای که مینیمم می‌باشد مربوط به جهت خط برآمدگی در پیکسل (i, j) است و مقدار ماکزیمم مربوط به جهت عمود به خط برآمدگی در پیکسل (i, j) است.

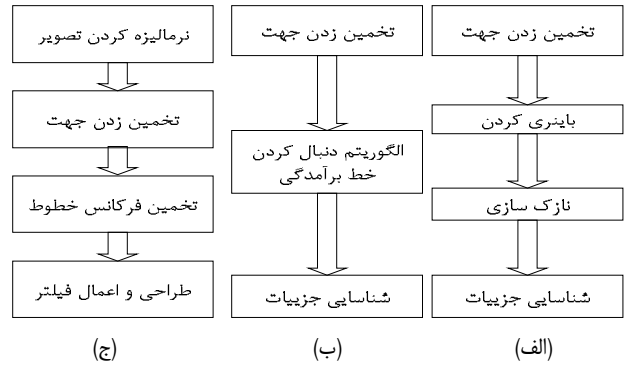
در مرحله بعد تصویر به بلوک‌هایی با اندازه $w \times w$ تقسیم شده و در هر بلوک جهت مربوط به پیکسل‌های درون آن بلوک در نظر گرفته می‌شود، در هر بلوک جهتی که بیشتر از دیگر جهات تکرار شده باشد جهت مربوط به آن بلوک است. نتیجه اعمال الگوریتم فوق با $n = 8$ و $N = 16$ در شکل ۳ دیده می‌شود.

۳- سخت‌افزار پیشنهادی تخمین جهت

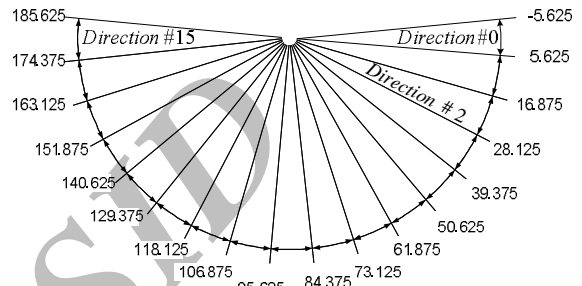
تمامی الگوریتم‌های ارائه‌شده در مقالات از روش‌های نرم‌افزاری برای محاسبه جهت استفاده می‌کنند. الگوریتم‌های نرم‌افزاری دارای سرعت پایینی بوده و قابل استفاده در سیستم‌های بالادرنگ نمی‌باشند. یکی از راه حل‌ها برای رفع این مشکل استفاده از سخت‌افزار است. در این بخش به تشریح سخت‌افزار طراحی شده برای محاسبه جهت در تصویر می‌پردازیم.

۳-۱- سخت‌افزار طراحی شده برای محاسبه جهت

جهت در تصویر اثر انگشت بین صفر تا ۱۸۰ درجه می‌باشد که ما آن را طبق شکل ۴ به ۱۶ قسمت کوانتیزه کرده‌ایم. در اکثر مقالات ارائه‌شده در



شکل ۲: (الف) و (ب) دو روش اصلی استخراج جزئیات اثر انگشت و (ج) روش اصلی برای پیش‌پردازش تصویر اثر انگشت.



شکل ۴: کوانتیزه کردن صفر تا ۱۸۰ درجه به ۱۶ قسمت. هر قسمت به میانگین حد بالا و پایین کوانتیزه می‌شود.

۲- الگوریتم‌های تخمین جهت

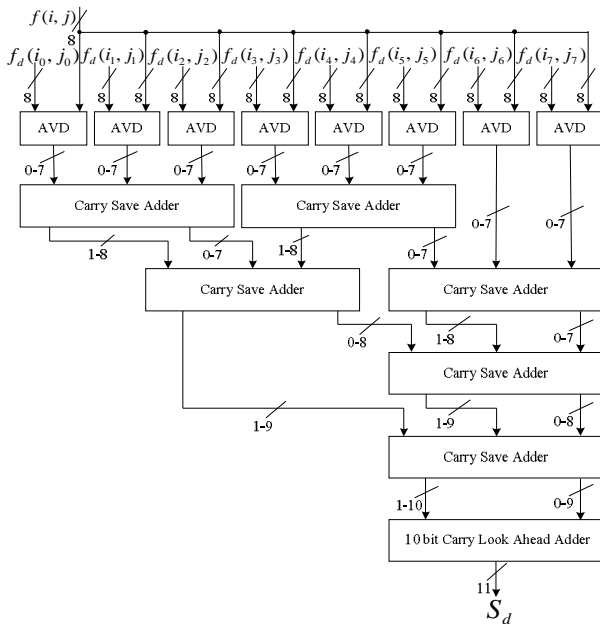
اکثر سیستم‌های بیومتریک مبتنی بر اثر انگشت برای تطبیق دادن دو تصویر، از تطبیق دادن جزئیات دو اثر انگشت استفاده می‌کنند. غالب‌ترین این جزئیات، انتهای خطوط و انشعاب خطوط می‌باشند که از تصویر اثر انگشت استخراج شده و برای تطبیق مورد استفاده قرار می‌گیرند. روش‌های موجود استخراج جزئیات را می‌توان به دو دسته اصلی طبقه‌بندی نمود.

برای این که جزئیات به صورت دقیق و مطمئن از یک تصویر استخراج شوند باید عملیات پیش‌پردازش برای بهبود کیفیت تصویر بر روی آن انجام شود. ایده اصلی پیش‌پردازش تصویر اعمال تعدادی فیلتر بر روی تصویر می‌باشد. این فیلترها در هر بلوک تصویر با توجه به جهت و فرکانس خطوط در تصویر اثر انگشت تغییر می‌کنند [۴]. دو دسته اصلی استخراج جزئیات و یک روش برای پیش‌پردازش تصاویر اثر انگشت در شکل ۲ مشاهده می‌شود که همگی نیاز به مرحله تخمین جهت دارند.

۲-۱ الگوریتم‌های ارائه‌شده

تصویر اثر انگشت از یک سری خطوط تشکیل شده است که تا حدودی به موازات هم قرار دارند. این خطوط به صورت محلی در یک جهت خاص جریان دارند. تخمین جهت در اثر انگشت خاصیت طبیعی اثر انگشت را نمایش می‌دهد و مختصاتی ثابت برای خطوط برآمدگی و دره‌ها در یک همسایگی تعریف می‌کند.

روش‌های مختلفی در مقالات برای تخمین جهت ارائه شده است [۲]، [۴] و [۵]. در اکثر این روش‌ها تصویر به بلوک‌هایی بدون هم‌پوشانی تقسیم شده و جهت برای هر بلوک محاسبه می‌شود. یکی از این روش‌ها مبتنی بر محاسبه گرادیان در هر پیکسل و محاسبه جهت نهایی برای هر بلوک می‌باشد [۴]. این الگوریتم دقیق‌ترین روش محاسبه جهت می‌باشد که محاسبات پیچیده‌ای مانند توان، جذر و توابع مثلثاتی را در بر دارد.



شکل ۶: بلوک دیاگرام مربوط به محاسبه S_d (SdCU).

در شکل ۵ مشاهده می‌گردد.

در ساختار نشان داده شده در شکل ۵ برای جمع‌کننده مورد نظر از CLA^2 استفاده شده است که سرعت بالاتری نسبت به تمام جمع‌کننده معمولی دارد. سپس بر طبق (۱) باید این ۸ عدد ۸ بیتی را با یکدیگر جمع نمود تا مقدار S_d برای یک جهت در یک پیکسل حاصل شود. برای جمع کردن این ۸ عدد ۸ بیتی می‌توان از سه طبقه تمام جمع‌کننده که به ترتیب ۸، ۹ و ۱۰ بیتی هستند استفاده نمود و در خروجی مقدار نهایی S_d که ۱۱ بیتی می‌باشد را به دست آورد.

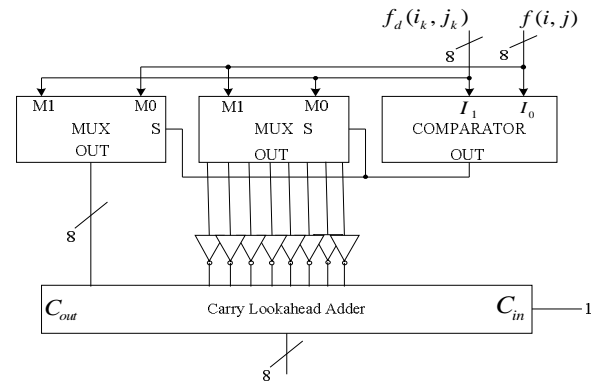
در ساختار طراحی شده در این مقاله از جمع‌کننده‌های CSA^3 استفاده شده است. ساختار CSA بسیار کم‌حجم‌تر و ساده‌تر از CLA می‌باشد. در این ساختار ۴ طبقه جمع‌کننده CSA استفاده شده و در نهایت دو خروجی تولید شده توسط یک CLA با هم جمع می‌شوند و S_d نهایی ایجاد می‌شود.

حال با ترکیب تفریق‌کننده‌ها (AVD) و جمع‌کننده‌های گفته شده بلوک دیاگرام کلی مربوط به محاسبه S_d برای یکی از ۱۶ جهت ممکن در یک پیکسل به دست می‌آید که در شکل ۶ ترسیم شده است. ساختار شکل ۶ را به اختصار $SdCU^4$ می‌نامیم. بنابراین دو نوع ساختار برای $SdCU$ وجود دارد که تفاوت آنها در نوع جمع کردن ۸ عدد ۸ بیتی می‌باشد، در طرح کلی از ساختار شکل ۶ استفاده شده است.

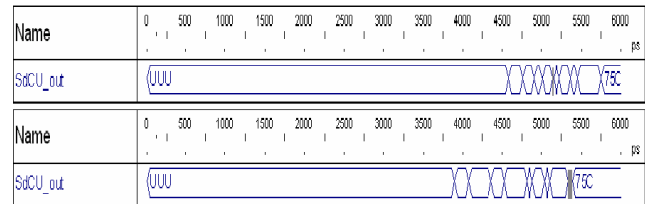
نتایج شبیه‌سازی مربوط به دو ساختار $SdCU$ در شکل ۷ ملاحظه می‌شود. این شبیه‌سازی‌ها با استفاده از نرم‌افزار ۶/۱ Active HDL انجام شده است. همان‌گونه که از نتایج شبیه‌سازی مشخص است استفاده از ساختار شکل ۶ علاوه بر افزایش سرعت، حجم سخت‌افزار را نیز کاهش می‌دهد.

حال برای یک پیکسل (i, j) باید تعداد N عدد از بلوک‌های ترسیم شده در شکل ۶ قرار داده شود تا N مقدار برای S_d حاصل شود. در این مقاله $N = 16$ در نظر گرفته می‌شود. در شکل ۸ سخت‌افزار محاسبه ۱۶ مقدار S_d برای یک پیکسل و تعیین مینیمم آن آورده شده است.

2. Carry Lookahead Adder
3. Carry Save Adder
4. S_d Computation Unit



شکل ۵: مدار محاسبه قدر مطلق تفاضل (AVD).



شکل ۷: نتایج شبیه‌سازی دو ساختار SdCU با استفاده از CSA و CLA.

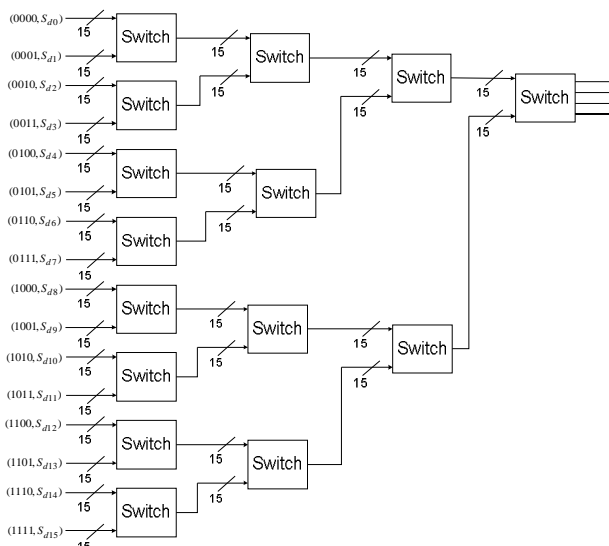
محاسبه جهت آن را به ۴ یا ۸ قسمت کوانتیزه می‌کنند [۶] تا [۸]. در تعداد معدودی از این مقالات برای بالابردن دقت، سیستم جهت به ۱۶ قسمت کوانتیزه می‌شود که حجم سخت‌افزاری بالایی را می‌طلبد [۹] و [۱۰]. در پردازش‌های اثر انگشت مانند نازک‌سازی و تطبیق نیز جهت معمولاً به ۸ قسمت کوانتیزه می‌شود [۱۱] و [۱۲]. در این مقاله با حجم سخت‌افزاری قابل قبولی جهت را به ۱۶ قسمت کوانتیزه کرده‌ایم که دقت ساختار را برای پردازش‌های بعدی به حد کافی بالا می‌برد. علاوه بر این الگوریتم تعقیب خط در تصاویر خاکستری اثر انگشت [۳] نیاز به جهت دقیق خطوط در تصاویر دارد. پیاده‌سازی الگوریتم فوق با استفاده از ۱۶ جهت کوانتیزه شده و نتایج مطلوب آن حاکی از کافی بودن ۱۶ جهت کوانتیزه در تصاویر اثر انگشت می‌باشد. محاسبه دیجیتالی جهت نیاز به کوانتیزه کردن دارد و هرچه تعداد زوایای کوانتیزه شده بالاتر برود به حالت ایده‌آل نزدیک‌تر می‌شویم. در تصاویر اثر انگشت بین زوایای صفر و ۱۸۰ درجه تفاوتی وجود ندارد.

برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری از روش "محاسبه جهت با استفاده از پیکسل‌های مرجع" استفاده می‌کنیم. در این روش حجم محاسبات نسبت به روش‌های دیگر، کمتر و علاوه بر این جهت از ابتدا به صورت کوانتیزه و مناسب پیاده‌سازی سخت‌افزاری محاسبه می‌شود ولی در روش‌های دیگر باید عمل کوانتیزاسیون را به محاسبات مربوطه اضافه نمود.

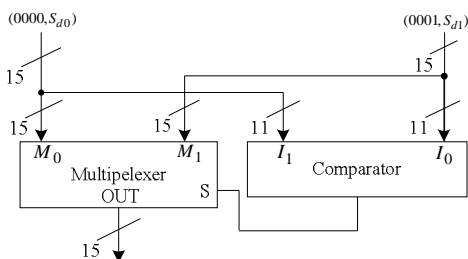
در روش ما $n = 8$ و $N = 16$ در نظر گرفته شده است، پس برای هر پیکسل ۱۶ جهت و برای هر جهت ۸ پیکسل در نظر گرفته شده و قدر مطلق تفاضل آنها از پیکسل اصلی محاسبه می‌شود.

طبق (۱) باید برای هر یک از ۱۶ جهت در یک پیکسل قدر مطلق تفاضل ۸ پیکسل در امتداد یک جهت از پیکسل اصلی محاسبه شود. همان‌گونه که می‌دانیم سطوح خاکستری در تصویر بین صفر تا ۲۵۵ می‌باشد که با یک عدد ۸ بیتی بیان می‌شود. برای محاسبه قدر مطلق تفاضل دو عدد ۸ بیتی دو روش وجود دارد. در ساختار استفاده شده با به کارگیری مقایسه‌کننده همواره عدد کوچک‌تر از عدد بزرگ‌تر کم می‌شود. این ساختار را به اختصار AVD^1 می‌نامیم و طرح پیشنهادی آن

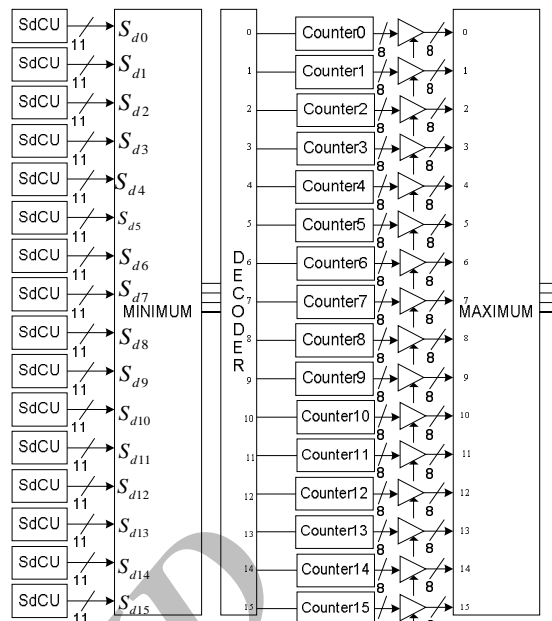
1. Absolute Value of Difference



شکل ۹: ساختار مدار MINIMUM.



شکل ۱۰: ساختار سوئیچ‌های به کار رفته در مدار MINIMUM.



شکل ۸: محاسبه جهت برای یک بلوک ۱۶×۱۶ تصویر.

همان‌گونه که در شکل ۸ مشاهده می‌شود پس از آن که مقدار S_d مینیمم مربوط به یک پیکسل شناسایی شد این مقدار به دیکودری رفته و خروجی دیکودر به N شمارنده ۸ بیتی وصل است. وظیفه این شمارنده‌ها شمارش مقادیر S_d برای پیکسل‌های درون یک بلوک ۱۶×۱۶ پیکسلی می‌باشد تا مقدار ماکزیمم آن در بلوک به‌عنوان جهت آن بلوک منظور گردد. در واقع شمارنده‌ها هیستوگرام جهت‌ها را حفظ می‌کنند. در شکل ۸ تعداد N عدد بلوک SdCU وجود دارد.

پس از شمارنده‌های ۸ بیتی یک سری بافر سه‌حالتی قرار داده شده است و این بافرها به‌نحوی فعال می‌شوند که پس از محاسبه جهت برای تمامی ۲۵۶ پیکسل درون یک بلوک، خروجی مدار MAXIMUM جهت بلوک را مشخص می‌کند.

لازم به ذکر است پس از این که مدار به‌صورت خط لوله پیاده‌سازی شود، بافرهای سه‌حالتی از مدار حذف می‌شوند و با تکنیک‌های خط لوله زمان فعال شدن خروجی تعیین می‌شود.

ساختار مدار شناسایی MINIMUM در شکل ۸ که دارای ورودی‌های ۱۱ بیتی می‌باشد در شکل ۹ آورده شده است. مدار MINIMUM دارای ۱۵ سوئیچ می‌باشد که از بین ۱۶ عدد ورودی با مقایسه دوه‌دوی اعداد، مقدار مینیمم را شناسایی می‌کند. ساختار هر یک از سوئیچ‌های مدار MINIMUM در شکل ۱۰ آمده است. این مدار برای $n = 8$ می‌باشد.

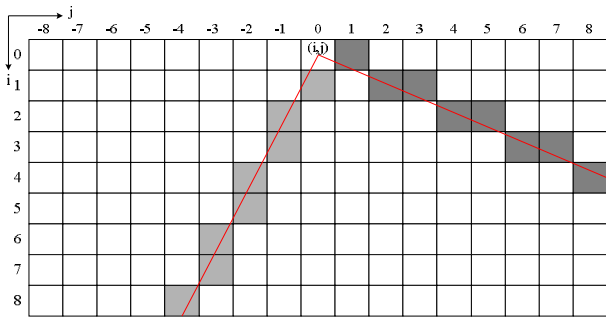
در یک مدار مینیمم به تعداد $N - 1$ عدد سوئیچ وجود دارد. لازم به ذکر است که خروجی مدار MINIMUM عدد مینیمم نمی‌باشد بلکه کد مربوط به آن عدد می‌باشد. به‌عنوان مثال اگر S_d به‌عنوان مینیمم باشد خروجی مدار MINIMUM خود S_d نیست بلکه کد ۰۰۰۰ در خروجی ظاهر می‌شود.

سرانجام در گام آخر یک مدار MAXIMUM برای شناسایی مقدار ماکزیمم خروجی شمارنده‌ها قرار دارد. لازم به ذکر است که سوئیچ نشان داده شده در شکل ۱۰ دو عدد را با هم مقایسه نموده و عدد کوچک‌تر را در خروجی قرار می‌دهد. با جابه‌جا کردن ورودی‌های مالتی پلکسر، عدد بزرگ‌تر در خروجی ظاهر می‌شود و با همان ساختار شکل ۹ این بار مدار MAXIMUM حاصل می‌شود. در مدار MAXIMUM کد بزرگ‌ترین ورودی در خروجی مدار ظاهر می‌شود که بیانگر جهت بلوک می‌باشد.

۲-۳ پیاده‌سازی سخت‌افزار محاسبه جهت به‌صورت معماری خط لوله

برای بهبود کارایی و استفاده از هم‌پوشانی زمانی ساختار پیشنهادی را به‌صورت خط لوله پیاده‌سازی می‌کنیم. برای تبدیل طرح به‌صورت معماری خط لوله باید سخت‌افزار طراحی شده در شکل ۸ را به Stage‌هایی با تأخیرهای زمانی نسبتاً یکسان تقسیم نمود. با بررسی تأخیرهای زمانی مدار مشخص می‌شود که اگر در مدار MINIMUM که دارای سوئیچ‌های ۱۵ بیتی می‌باشد، چهار سوئیچ طبقه اول آن را به همراه بلوک SdCU نشان داده شده در شکل ۸ در Stage ۱ و سه طبقه سوئیچ بعدی مدار MINIMUM را به همراه دیکودر نشان داده شده در شکل ۸ در Stage ۲ قرار دهیم این دو Stage دارای تأخیر زمانی نسبتاً یکسان می‌شوند. شمارنده‌های خروجی به همراه مدار MAXIMUM که سوئیچ‌های ۸ بیتی دارد در Stage ۳ قرار می‌گیرند. در اینجا یادآوری این نکته ضروری است که مدار MAXIMUM در هر ۲۵۶ پالس ساعت باید جهت یک بلوک ۱۶×۱۶ تصویر را معین کند.

حال برای اتصال این Stage‌ها به یکدیگر و تبدیل مدار به معماری خط لوله به تعدادی رجیستر در بین طبقات نیاز است. از ساختار Stage‌ها مشخص است که بین Stage ۱ و Stage ۲ تعداد ۸ عدد رجیستر ۱۵ بیتی و در بین Stage ۲ و Stage ۳ یک رجیستر ۱۶ بیتی احتیاج است. لازم به ذکر است که در خروجی Stage ۳ یک عدد حافظه RAM با خانه‌های ۴ بیتی و به تعداد بلوک‌های ۱۶×۱۶ تصویر قرار دارد. سیگنال WR این RAM فقط در مواقعی که سیگنال خروجی مدار MAXIMUM خروجی معتبر باشد فعال شده و جهت صحیح یک بلوک را در حافظه RAM قرار می‌دهد.



شکل ۱۰: آفست‌های موجود در ROM برای جهت‌های ۸ و ۱۶.

جدول ۱: حالت‌های ساختار تخمین جهت، H و L ابعاد تصویر می‌باشند.

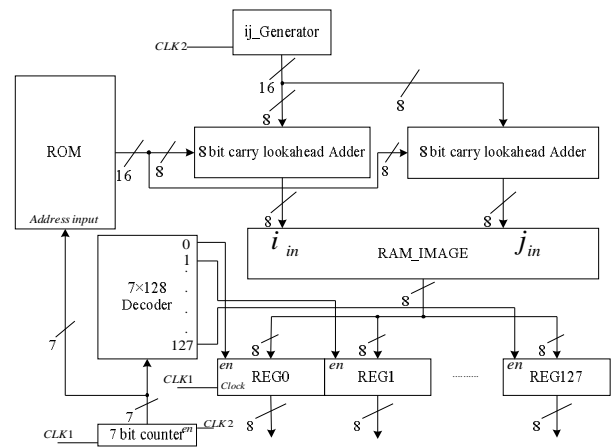
سرعت ساختار تخمین جهت	المان‌های سخت‌افزار
پریود $H \times L \times 256 \times CLK_1$	یک RAM تصویر، بدون قراردادن ۱۲۸ رجیستر ۸ بیتی بین Stage ۰ و Stage ۱
پریود $H \times L \times 128 \times CLK_1$	یک RAM تصویر، با قراردادن ۱۲۸ رجیستر ۸ بیتی بین Stage ۰ و Stage ۱
پریود $H \times L \times 32 \times CLK_1$	هشت RAM تصویر، بدون قراردادن ۱۲۸ رجیستر ۸ بیتی بین Stage ۰ و Stage ۱
پریود $H \times L \times 16 \times CLK_1$	هشت RAM تصویر، با قراردادن ۱۲۸ رجیستر ۸ بیتی بین Stage ۰ و Stage ۱

شده و در این مدت Stage ۱ محاسبات مربوط به پیکسل اول را انجام می‌دهد. پس فرکانس سیگنال CLK_1 باید ۲۵۶ برابر CLK_2 باشد. سیگنال CLK_2 به رجیسترهای بین Stage ها برای کنترل عملکرد خط لوله متصل می‌شود.

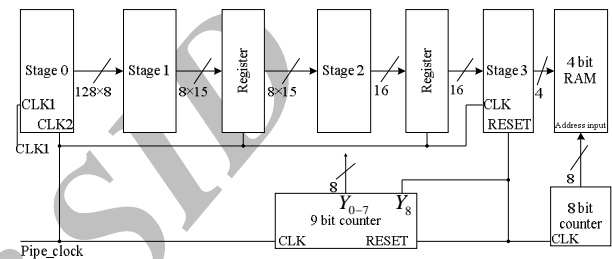
برای بالا بردن سرعت مدار باید فرکانس سیگنال CLK_2 را افزایش داد. برای این منظور در Stage ۰ تغییری به این صورت ایجاد می‌کنیم که از حافظه RAM تصویر ۸ کپی قرار داده می‌شود. به این ترتیب BUS ورودی ۶۴ بیتی شده و با ۱۶ بار شمارش شمارنده، ۱۲۸ پیکسل در رجیسترها بارگذاری می‌شود. واضح است که شمارنده و دیکودر در Stage ۰ به تناسب کاهش می‌یابند. حافظه ROMی که آفست‌های مورد نیاز برای تولید آدرس درون آن قرار دارد نیز تبدیل به ۱۶ خانه ۱۲۸ بیتی می‌شود. به این ترتیب فرکانس CLK_1 باید ۳۲ برابر CLK_2 باشد و سرعت کار مدار ۸ برابر می‌شود. دقت شود که اگر در بین Stage ۰ و Stage ۱ تعداد ۱۲۸ عدد رجیستر ۸ بیتی قرار دهیم که همزمان CLK_1 دریافت کنند، می‌توان فرکانس CLK_2 را مجدداً دو برابر نمود. به این ترتیب ساختار خط لوله طراحی شده برای محاسبه جهت دارای ۴ سرعت متفاوت می‌باشد که این حالت‌ها در جدول ۱ مشاهده می‌شود.

همان‌گونه که مشاهده می‌شود سرعت مدار وابستگی زیادی به پریود سیگنال CLK_1 دارد. در پیاده‌سازی مدار بر روی FPGA این زمان که گلوگاه تأخیری مدار می‌باشد در حدود ۹ نانوثانیه به دست می‌آید. به عنوان مثال اگر ابعاد تصویر ۲۵۶×۲۵۶ باشد کل تأخیر ساختار پیشنهادی محاسبه جهت برابر $9 \times 256 \times 256$ نانوثانیه خواهد شد.

شمارنده ۹ بیتی موجود در شکل ۱۳ تعداد پیکسل‌های درون یک بلوک را می‌شمارد و پس از بارگذاری ۲۵۶ بار اطلاعات مربوط به یک پیکسل به درون مدار، جهت در تمامی پیکسل‌های درون یک بلوک 16×16 محاسبه شده و مدار ماکزیمم خروجی در Stage ۳ جهت بلوک را از تعداد شمارش شمارنده‌ها شناسایی می‌کند. این شمارنده ۹ بیتی تا ۲۵۶ شمارش نموده و سپس شمارنده برای کار روی بلوک بعدی reset می‌شود. شمارنده ۸ بیتی شکل ۱۳ با هر بار reset شدن شمارنده ۹ بیتی



شکل ۱۱: سخت‌افزار طراحی شده برای بارگذاری ۱۲۸ مقدار مربوط به یک پیکسل.



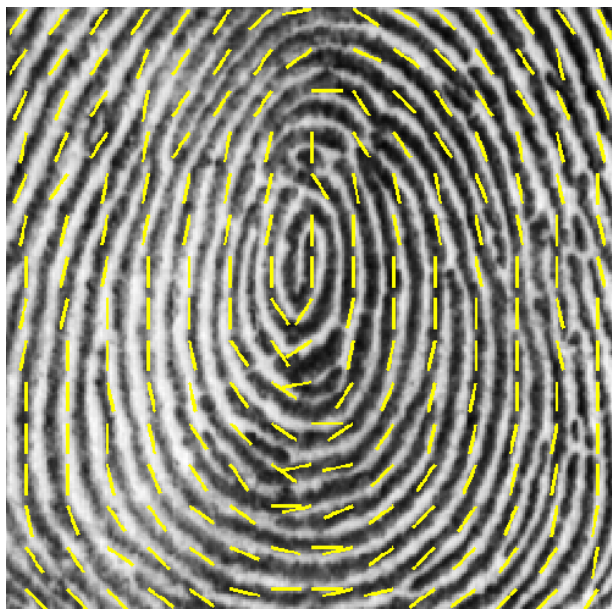
شکل ۱۳: طرح کامل سخت‌افزاری برای محاسبه جهت با استفاده از معماری خط لوله.

اکنون تنها مسئله باقی‌مانده اعمال مقادیر لازم پیکسل‌های تصویر به طرح سخت‌افزاری است. همان‌گونه که بیان شد در سخت‌افزار طراحی شده در این مقاله مقدار $n = 8$ و $N = 16$ در نظر گرفته شده است. پس برای محاسبه جهت در یک پیکسل باید ۱۶ مقدار S_d برای هر پیکسل به دست آید. برای هر مقدار S_d باید تفاضل ۸ پیکسل مربوطه از پیکسل اصلی محاسبه شود. پس برای هر پیکسل تعداد (16×8) مقدار ۸ بیتی باید از تصویر استخراج شود. سخت‌افزار طراحی شده برای این منظور در شکل ۱۱ نمایش داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود بلوک ij_Generator نشان داده شده وظیفه تولید آدرس پیکسلی که قرار است جهت در آن محاسبه شود را بر عهده دارد. در این مدار یک شمارنده ۷ بیتی و یک دیکودر 7×128 قرار دارد. خروجی شمارنده به دیکودر می‌رود، هر خروجی دیکودر به خط فعال‌ساز یک رجیستر ۸ بیتی متصل است و به این ترتیب رجیسترها به ترتیب بارگیری می‌شوند. خروجی شمارنده به یک حافظه ROM متصل است که در آن آفست‌های لازم برای آدرس‌دهی به ۱۲۸ پیکسل مورد نظر برای محاسبه جهت در یک پیکسل قرار دارد.

در شکل ۱۲ آفست‌های به کار رفته برای آدرس‌دهی دیده می‌شود. با اعمال این آدرس‌ها به حافظه RAM ماتریسی که تصویر در آن قرار دارد، سطح خاکستری پیکسل مورد نظر در رجیستری ذخیره می‌گردد که توسط دیکودر فعال است.

با شمارش کامل شمارنده و عملکرد مدار ۱۲۸ پیکسل لازم در ۱۲۸ رجیستر ۸ بیتی قرار گرفته و برای محاسبه جهت به Stage ۱ متصل می‌شوند. اگر Stage فوق که وظیفه بارگذاری ۱۲۸ عدد را بر عهده دارد Stage ۰ بنامیم طرح کامل مدار در شکل ۱۳ رسم شده است.

اگر سیگنال کلاک متصل به بلوک ij_Generator را CLK_2 بنامیم در نیم پریود این کلاک باید سیگنال CLK_1 که به شمارنده Stage ۰ متصل است ۱۲۸ بار شمارش شمارنده را موجب شود. در نیم پریود دوم سیگنال CLK_2 ، تواناساز شمارنده که به خود CLK_2 متصل است صفر



شکل ۱۵: تصویر اثر انگشت و تخمین جهت قرار گرفته بر روی آن با استفاده از معماری خط لوله پیشنهادی در این مقاله.

جدول ۲: امکانات مصرف‌شده در نتیجه پیاده‌سازی مدار محاسبه جهت.

نام بلوک	تعداد استفاده‌شده بر روی FPGA	درصد استفاده‌شده بر روی FPGA
Slices	4832 out of 89088	۵٪
Slice Flip Flops	2343 out of 178176	۱٪
4 input LUTs	8509 out of 178176	۴٪
Bonded IOBs	201 out of 904	۲۰٪

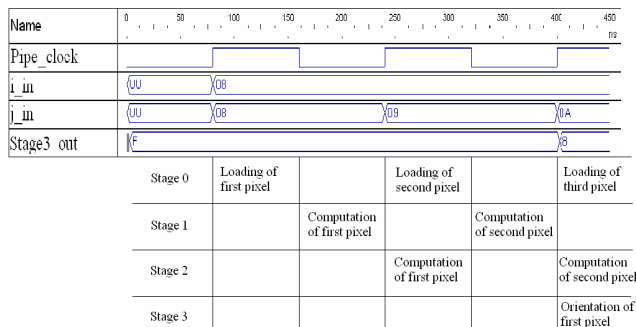
۵- نتیجه‌گیری

عیب عمده الگوریتم‌های نرم‌افزاری تخمین جهت، کندی آنهاست که برای رفع این مشکل در این مقاله روشی سخت‌افزاری ارائه شده است. سخت‌افزارهای متعددی در مقالات برای قسمت‌های مختلف سیستم‌های شناسایی اثر انگشت ارائه شده است [۱۳] و [۱۴]. در این مقاله روش ارائه‌شده تمام مراحل تعیین جهت در تصاویر اثر انگشت را به‌طور کامل اجرا می‌نماید. برای پیاده‌سازی سخت‌افزاری از "روش تخمین جهت با استفاده از پیکسل‌های مرجع" استفاده نمودیم. البته روش تخمین جهت با استفاده از گرادینان دقت بیشتری دارد که پیچیدگی محاسباتی بسیار بالایی را می‌طلبد.

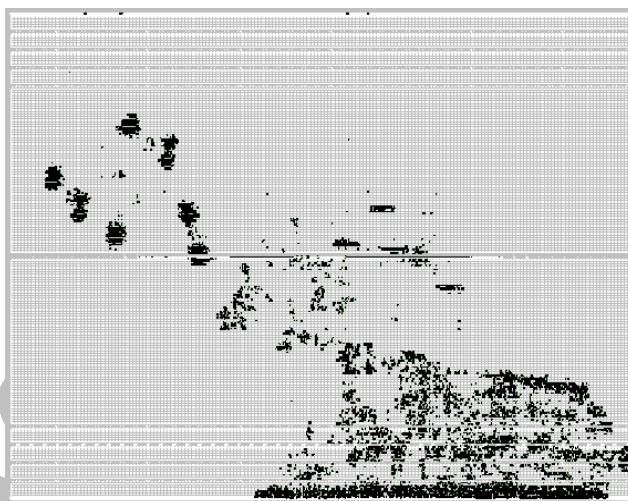
برای ارزیابی سخت‌افزار ارائه‌شده و مقایسه آن با نتایج نرم‌افزاری روشی را در ادامه پیشنهاد می‌دهیم. اگر ماتریس جهت به‌دست آمده با استفاده از گرادینان را $OG(i, j)$ و ماتریس به‌دست آمده با استفاده از سخت‌افزار را $OP(i, j)$ بنامیم خطای ناشی از اختلاف دقت دو روش توسط (۲) بیان می‌شود

$$error = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M (|OG(i, j) - OP(i, j)|) \quad (2)$$

که در آن M تعداد کل سطرها و ستون‌های ماتریس‌های جهت می‌باشد. خطای به‌دست آمده در (۲) برای تصاویر مختلف متفاوت بوده و دارای میانگینی حدود ۱/۵ درجه می‌باشد. این میزان خطا در تصاویر کاملاً قابل چشم‌پوشی است. به این ترتیب روش پیشنهادی دارای دقت نزدیک به



شکل ۱۴: نتایج شبیه‌سازی معماری خط لوله.



شکل ۱۶: ساختار FPGA مورد استفاده و CLB های اشغال‌شده.

یک واحد افزایش می‌یابد و وظیفه‌اش ایجاد آدرس برای حافظه RAM خروجی است که جهت بلوک‌های تصویر را ذخیره می‌کند. در شکل ۱۴ نتایج شبیه‌سازی معماری خط لوله پیشنهادی مشاهده می‌شود. در شکل مشخص است که بعد از ۳ بار کلاک نتایج خروجی معتبر می‌باشد.

شکل ۱۵ نتیجه محاسبات سخت‌افزار را نشان می‌دهد. نتایج به‌دست آمده با نتایج روش‌های نرم‌افزاری مطابقت دارد.

۴- بررسی پیچیدگی سخت‌افزار طراحی‌شده

در این بخش به بررسی حجم سخت‌افزار ارائه‌شده در این مقاله از نظر پیچیدگی و تعداد گیت‌های به‌کار رفته در هر بلوک می‌پردازیم.

سخت‌افزار تخمین جهت با استفاده از نرم‌افزار ISE v۷.۱ بر روی تراشه ۱۱۱۴۱۵۱۳-۱۱۴۷۱۲۰۰-۲۰۰ از xc۴۷۱۲۰۰-۱۱۴۷۱۲۰۰ سری Virtex۴ از شرکت Xilinx پیاده‌سازی گردیده است. نتایج حاصل از این پیاده‌سازی در جدول ۲ مشاهده می‌شود. دقت شود که در نتایج پیاده‌سازی کل طرح بدون در نظر گرفتن ۸ حافظه RAM تصویر و در وضعیتی پیاده‌سازی شده است که ۱۲۸ رجیستر بین دو Stage ۰ و Stage ۱ قرار ندارد.

در شکل ۱۶ ساختار داخلی FPGA مورد استفاده برای پیاده‌سازی را مشاهده می‌کنید که در آن CLB های اشغال‌شده در مدار با رنگ مشکی مشخص شده‌اند. همان‌گونه که مشخص است حدود ۵٪ از CLB ها در FPGA اشغال شده است. همان‌گونه که بیان شده محاسبه جهت یکی از گلوگاه‌ها برای ارتقای کیفیت تصویر و استخراج جزئیات از تصاویر اثر انگشت می‌باشد. به این ترتیب با استفاده از ساختار طراحی‌شده در این مقاله می‌توان ساختاری برای بهبود کیفیت تصاویر اثر انگشت طراحی نمود و بر روی FPGA پیاده‌سازی نمود.

- [10] R. Ma, Y. Qi, C. Zhang, and J. Wang, "A novel approach to fingerprint ridge line extraction," in *Proc. IEEE Int. Symp. on Communication and Information Technology*, vol. 1, pp. 2-5, Oct. 2005.
- [11] V. Espinosa-Duro, "Fingerprints thinning algorithm," *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, vol. 18, no. 9, pp. 28-30, Sep. 2003.
- [12] V. Espinosa-Duro, "Mathematical morphology approaches for fingerprints thinning," in *Proc. 36th Annual Int. Proc. on Security Technology*, pp. 43-45, Atlantic City, NJ, US, 20-24 Oct. 2002.
- [13] F. Kheiri, S. Samavi, and N. Karimi, "A new pipeline design for binarization and thinning of fingerprint images," in *Proc. of the IEEE CCECE Conf.*, pp. 1959-1962, Canada, 1-4 May 2005.
- [14] E. Alibeigi, S. Samavi, and Z. Rahmani, "Pipelined orientation estimation in fingerprint images," in *Proc. of IEEE Pacific Rim Conf. on Communications, Computers, and Signal Processing*, pp. 276-279, Victoria, BC, Canada, 22-24 Aug. 2007.

ایمان علی بیگی در سال ۱۳۸۳ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه شیراز و در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان دریافت نمود. وی از سال ۱۳۸۸ در موسسه آموزش عالی علوم و فناوری سیاهان در اصفهان مشغول به فعالیت گردید و اینک نیز عضو هیأت علمی این موسسه می باشد. زمینه های علمی مورد علاقه نامبرده شامل موضوعاتی مانند طراحی سخت افزار برای الگوریتم های پردازش تصویر، سخت افزارهای قابل برنامه ریزی (FPGA)، طراحی مدارات و مدارهای فرکانس بالا می باشد.

شادرخ سماوی تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی در رشته مدیریت صنعتی در سال ۱۳۵۹ و در مقطع مهندسی برق در سال ۱۳۶۲ از دانشگاه ایالتی کالیفرنیا و در مقطع کارشناسی ارشد در رشته مهندسی کامپیوتر از دانشگاه ممفیس در سال ۱۳۶۴ و در مقطع دکتری در رشته مهندسی برق از دانشگاه ایالتی میسیسیپی در سال ۱۳۶۹ به پایان رسانده است. وی از سال ۱۳۷۴ در دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه صنعتی اصفهان مشغول به کار بوده اند و اکنون در مرتبه استادی عضو گروه کامپیوتر دانشکده و استاد همیسه دانشگاه مکمستر کانادا می باشند. زمینه تحقیقاتی ایشان پردازش تصویر و پیاده سازی و بهبود الگوریتم های پردازش سیگنال می باشد.

زهرا رحمانی در سال ۱۳۸۲ مدرک کارشناسی مهندسی برق خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان و در سال ۱۳۸۶ مدرک کارشناسی ارشد مهندسی برق خود را از دانشگاه آزاد واحد نجف آباد دریافت نمود. طی سالهای ۱۳۸۶ و ۱۳۸۷ نامبرده به عنوان مدرس در دانشگاه آزاد واحد نجف آباد و سازمان مدیریت صنعتی اصفهان به امر تدریس مشغول بود و پس از آن به عنوان کارشناس ارشد کنترل در شرکت تأمین سیستم های کنترل و مخابرات ایران مشغول به کار شده است. زمینه های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان متنوع بوده و شامل موضوعاتی مانند پردازش تصویر، طراحی مدارهای سخت افزاری، انرژی های نو و نانو الکترونیک می باشد.

روش مبتنی بر گرادیان است حال آن که پیچیدگی روش سخت افزاری پیشنهاد شده به مراتب کمتر از روش گرادیان می باشد. مسلماً با بالا بردن تعداد جهت های کوانتیزه بین صفر تا ۱۸۰ درجه، دقت محاسباتی بالاتر می رود ولی به ازای آن حجم سخت افزار مورد نیاز افزایش می یابد. البته دقت حاصله با روش فعلی هم برای استخراج جزئیات و هم برای ارتقای کیفیت کافی می باشد. برای افزایش دقت محاسبه جهت با این روش باید مقادیر n یا N یا هر دو را افزایش داد. با افزایش n و N حجم سخت افزار مدار فوق العاده بالاتر می رود. با دوبرابر کردن مقادیر n و N تعداد گیت های مدار تقریباً سه برابر می شود. در واقع با افزایش مقادیر n و N خطای بیان شده در (۲) کاهش می یابد و به حالت ایده آل و دقیق محاسبه جهت که همان محاسبه جهت با استفاده از گرادیان است نزدیک تر می شویم.

مراجع

- [1] D. Maltoni, D. Maio, A. K. Jain, and S. Prabhakar, *Handbook of Fingerprint Recognition*, Springer, New York, 2003.
- [2] B. M. Mehre, "Fingerprint image analysis for automatic identification," *Machine Vision and Applications*, vol. 6, no. 2-3, pp. 124-139, 1993.
- [3] D. Maio and D. Maltoni, "Direct gray - scale minutiae detection in fingerprints," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 19, no. 1, pp. 27-39, Jan. 1997.
- [4] L. Hong, A. K. Jain, and Y. Wan, "Fingerprint image enhancement: algorithm and performance evaluation," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 777-789, Aug. 1998.
- [5] M. J. Donahue and S. I. Rokhlin, "On the use of level curves in image analysis," *Image Understanding*, vol. 57, no. 2, pp. 185-203, Mar. 1993.
- [6] J. C. Amengual, A. Juan, J. C. Prez, F. Prat, S. Sez, and J. M. Vilar, "Real - time minutiae extraction in fingerprint images," in *Proc of the 6th Int. Conf. on Image Processing and Its Applications*, pp. 871-875, Jul. 1997.
- [7] S. Yang and I. Verbauwhede, "A real-time, memory efficient fingerprint verification system," in *Proc. IEEE International Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP*, vol. 5, pp. 189-192, May 2004.
- [8] N. Yager and A. Amin, "Evaluation of fingerprint orientation field registration algorithms," in *Proc. of the 17th Int. Conf. on Pattern Recognition, ICPR 2004*, vol. 4, pp. 641-644, Aug. 2004.
- [9] M. Gamassi, V. Piuri, and F. Scotti, "Fingerprint local analysis for high - performance minutiae extraction," in *Proc. IEEE International Conf. on Image Processing, ICIP*, vol. 3, pp. 265-268, Sep. 2005.