

Certificate

گواہنامه ارائه مقاله



code: CIT15-07960517
ID: 796

بدین وسیله گواهی می شود مقاله با عنوان:

استخراج عروق شبکیه با استفاده از مورفولوژی ریاضی

نویسنده انسانی: ساناز رضانی آغوی، مهدی سعادتمند طرزجان

در سومین کنفرانس بین المللی پژوهشی های کاربردی در علوم کامپیوuter و فن آوری اطلاعات،

موافق ۱۵ بهمن ماه ۱۳۹۴ در دانشگاه تربیت مدرس، با حضور ایشان ارائه گردید.

توافق روز افزون شمارادر عرصه های علمی و اجرایی کشور عزیزان ایران آرزومندیم.

مهندس هاشم جیبی چشم
دیر اجرایی کنفرانس

دکتر محمد غیری چشم
دیر علمی کنفرانس

کنفرانس بین المللی
ش های کاربردی در
**وم کامپیوuter و
وری اطلاعات**

3rd International Conference
on Applied Research

**Computer and
Information**

Technology
www.CITconfir.com



In the name of God



3rd International Conference
on Applied Researches in
**Computer and
Information
Technology**

www.CITconf.ir



Mulek-Ashiar
University of Technology



University of Applied
Science and Technology



Code: CIT15-07960517

ID: 796

Certificate of Presentation

This is to certify that the following researcher(s):

Sanaz Rezaei Aghoy ,Mahdi Saadatmand-Tarzjan

Attended and presented a paper entitled:

Retinal vessel extraction using mathematical morphology

At the Third International Conference on Applied Research in
Computer and Information Technology

February 4, 2016

Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Dr. Majid Ghayoori
Scientific Secretary



Eng. Hashem Habibi
Executive Secretary

استخراج عروق شبکیه با استفاده از مورفولوژی ریاضی

ساناز رضایی آغوی^۱، مهدی سعادتمند طرزجان^{*۲}

۱- دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه برق، آزمایشگاه تصویربرداری پزشکی

خلاصه

روش‌های بسیاری با هدف تقطیع درخت عروقی در تصاویر فوندوس شبکیه با توجه به نقش اساسی آنها در بررسی سیستم‌های عروق خونی، ارائه شده‌اند. در این مقاله، روشی مبتنی بر مورفولوژی برای تقطیع درخت عروقی ارائه شده است. مراحل الگوریتم پیشنهادی بدین شرح است: ابتدا فیلتر میانه چند جهتی و چند مقیاسی و نیز عملگر بستن^۳ برای بهبود کنتراست تصویر و وضوح عروق استفاده شده‌اند. سپس با به کار گیری یک ترکیب مناسب از این دو ماتریس ویژگی، یک ویژگی بهینه نهایی به دست می‌آید که آن را به الگوریتم آستانه گذاری اعمال می‌کنیم. در این مرحله از آستانه گذاری هیسترزیس استفاده شده است.

برای بررسی عملکرد الگوریتم پیشنهادی، از تصاویر پایگاه داده DRIVE استفاده شده است. نتایج تجربی بیانگر کارآیی و دقیقت بالاتر الگوریتم پیشنهادی در مقایسه با چند الگوریتم رقیب است.

کلمات کلیدی: مورفولوژی ریاضی، استخراج عروق، تصاویر شبکیه، آستانه گذاری هیسترزیس، فیلتر میانه

۱. مقدمه

شبکیه اساسی‌ترین لایه چشم است. این لایه از ساختارهای آناتومیکی مهمی تشکیل شده است که در اثر بیماری‌هایی نظیر گلوکوما (آب سیاه) و رتینوپاتی دیابتی آسیب می‌بیند. ظاهر عروق خونی می‌تواند نشانگر مهمی برای بیماری‌هایی همچون دیابت، فشار خون بالا و تصلب شرايين باشد. لذا ساختار عروق شبکیه شامل اطلاعات زیادی است که می‌تواند برای تشخیص بیماری‌های مختلف چشمی مورد استفاده قرار گیرد. روش دستی مشخص کردن عروق توسط متخصص، بسیار زمان‌بر بوده و نیز تا حد زیادی وابسته به شخص است. لذا محققین روش‌های بسیاری را برای استخراج اتوماتیک درخت عروقی پیشنهاد داده‌اند.

به طور کلی الگوریتم‌ها و تکنیک‌های جداسازی عروق به پنج دسته تقسیم شده‌اند: روش‌های مبتنی بر استفاده از فیلترهای تطبیقی، روش‌های مبتنی بر مورفولوژی ریاضی، روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی، روش‌های مبتنی بر ردیابی و روش‌های مبتنی بر مدل. لازم به ذکر است علاوه بر دقت خوب در نتایج، برای ارائه روش‌های هر چه سریعتر برای استخراج

* Corresponding author

Email: saadatmand@um.ac.ir

[†] Closing operator

مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

3rd International Conference on Applied Research in Computer & Information Technology

عروق همچنان تلاش می‌شود. از میان همه روش‌های ارائه شده برای تشخیص و استخراج عروق خونی شبکیه، در این مقاله برای مقایسه با الگوریتم پیشنهادی، روی روش‌های سه دسته اول متمرکز می‌شویم.

۱-۱. روش‌های مبتنی بر استفاده از فیلترهای تطبیقی

در روش‌های مبتنی بر استفاده از فیلترهای تطبیقی، برای استخراج عروق، تصویر با تعدادی فیلتر تطبیقی کانوالو می‌شود. طراحی فیلترهای مختلف با هر جهت و اندازه‌ای، به طوری که بتوانند عروق را تشخیص دهنند، مساله‌ای مهم است. فیلترهای تطبیقی اولین بار توسط Chaudhuri و همکارانش [۱]، با این دانش قبلی که سطح مقطع عروق را می‌توان با یکتابع گوسی مدل کرد، برای استخراج عروق خونی شبکیه معرفی شدند. ۲ الگوی مختلف ساخته شدند تا بخش‌های عروق را در همه جهات ممکن بیابند. عروق به صورت بخش‌های تکه‌ای خطی در نظر گرفته شده‌اند و یک انتخاب مناسب برای طول این بخش‌ها تاثیر مهمی روی عملکرد بهینه کرنل گوسی موردنیست. یک مجموعه ۱۲ تایی از این کرنل‌ها به تصویر فوندوس اعمال شده و در هر پیکسل بیشترین مقدار جواب آنها در نظر گرفته می‌شود.

Hoover و همکارانش [۲] تکنیکی ارائه کردند که در آن به بررسی نواحی موجود در تصویر پاسخ فیلتر تطبیقی می‌پردازد. در بررسی هر ناحیه، یک سطح آستانه با در نظر گرفتن برخی معیارها مشخص می‌شود.

پس از آن محققین بسیاری از فیلترهای تطبیقی استفاده کرده و به روش‌های مختلف آن را بهبود دادند. Zhang و همکارانش [۳] از فیلتر تطبیقی برای بهبود وضوح عروق خونی استفاده کردند. Chanwimaluang و همکارانش [۴] از فیلتر تطبیقی با مشتق اول گوسی برای استخراج عروق استفاده کردند. با این روش دقت نتایج بالا رفته چرا که فیلتر تطبیقی اولیه نمی‌تواند تفاوت بین عروق و زخم را تشخیص دهد. در صورت تشخیص درست عروق، باید یک پاسخ قوی به فیلتر تطبیقی و یک پاسخ نزدیک به صفر در اطراف موقعیت اوج، برای فیلتر تطبیقی همراه با مشتق اول گوسی داشته باشیم.

Chutatape و همکارانش [۵] یک فیلتر گوسی درجه دو با دامنه اصلاح شده برای تشخیص عروق پیشنهاد کردند. آنها از یک مدل تابع گوسی برای مشخصه رگ و از فیلتر تطبیقی برای اندازه‌گیری قطر رگ استفاده کردند. آنها به این نتیجه رسیدند که پارامتر تابع گوسی‌شان به طور خطی مناسب است با قطر رگ.

۱-۲. روش‌های مبتنی بر مورفولوژی ریاضی

مورفولوژی ریاضی مجموعه‌ای از عملگرهای ریاضی مربوط به شکل در یک تصویر بوده و در واقع تکنیکی است مبتنی بر تئوری مجموعه‌ها، تئوری شبکه (Lattice) و توپولوژی که به طور معمول در پردازش تصاویر دیجیتال مورد استفاده قرار می‌گیرد. عملگرهای بنیادی آن کاهش^{*}، توسعه[†]، باز کردن[‡]، بستن، تبدیل برخورد و شکست[§]، تبدیل حوضچه^{**} و تبدیل کلاه بالا^{††} می‌باشند. Zana و Klein [۶] ترکیبی از فیلترهای مورفولوژیکی و ارزیابی انحنای متقابل برای تشخیص عروق شبکیه ارائه کردند. با استفاده از مورفولوژی ریاضی، الگوهای شبیه به رگ برجسته شده و سپس رگ‌ها به دلیل مشخصه گوسی شکلشان جدا می‌شوند. آنها چند تبدیل کلاه بالا را برای افزایش کنتراست و کاهش نویزهای کوچک اعمال کرده‌اند. سپس انحنا را با استفاده از لایه‌سین گوسی حساب کرده و در آخر فیلترهای تناوبی نتیجه نهایی را می‌دهند.

^{*} Erosion

[†] Dilation

[‡] Opening operator

[§] Hit and miss transform

^{**} Watershed transform

^{††} Top-hat transform

مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات

3rd International Conference on Applied Research in Computer & Information Technology

مورد استفاده دیگری از تکنیک‌های مورفولوژیکی در کار Klein و Walter [۷] دیده می‌شود که در آن از یک تبدیل کلاه بالا و سپس از یک فیلتر برای تشخیص عروق از سایر نواحی حاوی خون استفاده شده است. آنها روی کانال سبز تصویر RGB کار کرده‌اند. نویز را حذف کرده و با استفاده از یک فیلتر گوسی به همراه یک عملگر باز کردن از گستینگی درخت عروقی جلوگیری نموده‌اند. سپس یک تبدیل کلاه بالا، یک عملگر بستن و یک عملگر باز کردن برای بازسازی، الگوریتم را پایان می‌دهند.

۳-۱. روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندی

این دسته شامل روش‌های با راهنمای کلاس‌بندی پیکسل‌ها است که از انواع مختلف طبقه‌بندی‌ها از قبیل KNN، Bayes، GMM، SVM و NN استفاده می‌کنند. طبقه‌بندی‌ها با مجموعه‌های برچسب زده شده دستی، آموزش دیده و پیکسل‌ها را به دو کلاس رگ و غیر رگ دسته‌بندی می‌کنند. سپس یک بردار ویژگی از هر پیکسل استخراج شده و به عنوان ورودی طبقه‌بند استفاده می‌شود.

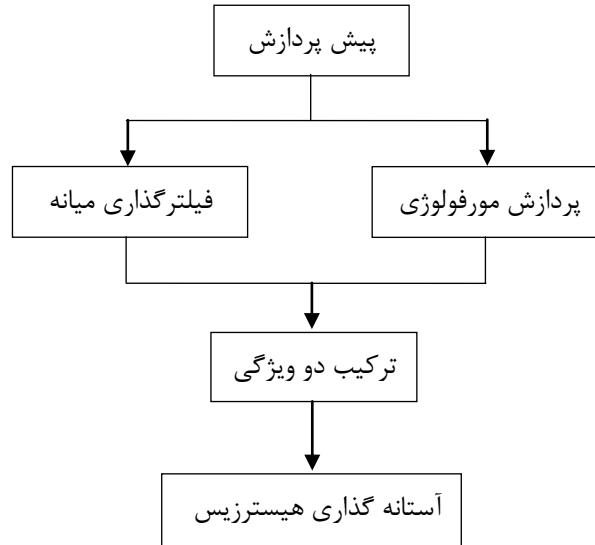
شبکه‌های عصبی (NN) در واقع روش‌های طبقه‌بندی هستند که در شناسایی الگو بسیار کاربرد دارند. محققین بسیاری از شبکه‌های عصبی در مطالعه ساختار عروق در کل بدن استفاده کرده‌اند. Cronemeyer و همکارانش [۸] تکنیکی مشابه با الگوریتم بازسازی رگ Sklansky و Nguyen [۹] معرفی کردند که ساختارهای شبیه شربان را بخش‌بندی می‌کند. Nekovei و Sun [۱۰] روشی ارائه کردند که با استفاده از شبکه‌های عصبی عروق خونی در تصاویر XRA را تشخیص داده و پیکسل‌ها را برچسب رگ یا غیر رگ می‌زنند. Hunter و همکارانش [۱۱] از ترکیبی از شبکه‌های عصبی استفاده کرده و با روش snake مرز بطن چپ را استخراج کردند. لذا کار آنها را می‌توان به عنوان یک مدل فرم پذیر پارامتری نیز در نظر گرفت.

توکلی و پورضا [۱۲] و Leandro و همکارانش [۱۳] الگوریتم اصلاح شده‌ای بر مبنای موجک گایور و طبقه‌بندی ارائه کردند. اولی از طبقه‌بند مدل ترکیبی گوسی (GMM) که مبتنی بر قوانین Bayes است، و دومی از kNN برای کلاس‌بندی پیکسل‌ها استفاده کرده‌اند. مجموعه‌های آموزش نیز تصاویر برچسب‌گذاری شده دستی بوده‌اند.

نوآوری در تعریف بردارهای ویژگی مناسب بهبود قابل توجهی در نتایج به وجود می‌آورد. Ricci و Perfetti [۱۴] دو روش بر مبنای تشخیص خط را امتحان کردند. روش اول از یک تشخیص دهنده خط ساده استفاده کرده و روی جواب آن طبقه‌بندی بدون راهنمای اعمال شده است. روش دوم یک تشخیص دهنده خط بهبود یافته است که شامل دو خط متعدد و سطح خاکستری به عنوان بردار ویژگی است که به طبقه‌بند SVM اعمال می‌شوند. ضبیحی و همکارانش [۱۵] برای هر پیکسل یک بردار ویژگی با استفاده از الگوی باینری محلی (LBP) استخراج کردن و از یک پرسپترون چندلایه (MLP) برای طبقه‌بندی استفاده کردند. سپس عملگرهای مورفولوژیکی برای کاهش نویز و نرم کردن تصویر اعمال شده‌اند. Salem و Nandi [۱۶] نیز پیشنهاد کردند که از بزرگترین مقدار ویژه، دامنه گرادیان و شدت روشنایی کانال سبز به عنوان سه ویژگی طبقه‌بندی kNN استفاده شود. Soares و همکارانش [۱۷] از پاسخ تبدیل موجک مولت دو بعدی در مقیاس‌های مختلف و نیز شدت روشنایی به عنوان بردار ویژگی استفاده کرده و آن را به دو طبقه‌بند GMM و کمترین مربعات خطای (LMSE) اعمال کرده‌اند.

۴-۱. ساختار مقاله

در این مقاله روشی دقیق و موثر برای استخراج عروق شبکیه ارائه شده است که بر مبنای ترکیبی از عملگرهای ریاضی، فیلترهای گوسی و آستانه گذاری هیسترزیس می‌باشد. نتایج تجربی نشان می‌دهند که این روش دقت بالا و سرعت بیشتری را نسبت به روش‌های مشابه، به دست می‌دهد. در ادامه به معرفی الگوریتم پیشنهادی، ارائه نتایج تجربی و نیز ارزیابی روش می‌بردازیم.



شكل ۱. بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی

۲. الگوریتم پیشنهادی

رگ‌ها با بقیه قسمت‌های تصویر تفاوت داشته و از وضوح بالاتری برخوردارند. ولذا می‌توان ویژگی‌های بیشتری از آنها استخراج کرد. یکی از روش‌های مناسب برای تشخیص ویژگی‌های با وضوح بالا، استفاده از عملگرهای مورفولوژی می‌باشد. یکی از مزایای اینگونه عملیات ریاضی این است که ماکولا و سایر الگوهای شبیه به رگ، به دلیل داشتن کنتراست محلی پایین، حذف می‌شوند. در این مقاله، ترکیبی از عملیات مورفولوژیکی برای استخراج درخت عروقی استفاده شده است که به نتایج قابل قبولی می‌انجامد.

با توجه به اینکه کanal سبز در تصاویر RGB بیشترین کنتراست را نسبت به کanal‌های رنگ دیگر دارد، در این الگوریتم از این کanal استفاده شده است. شکل (۱) بلوک دیاگرام الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه هر یک از مراحل به تفصیل توضیح داده خواهد شد.

۱-۱. پیش پردازش

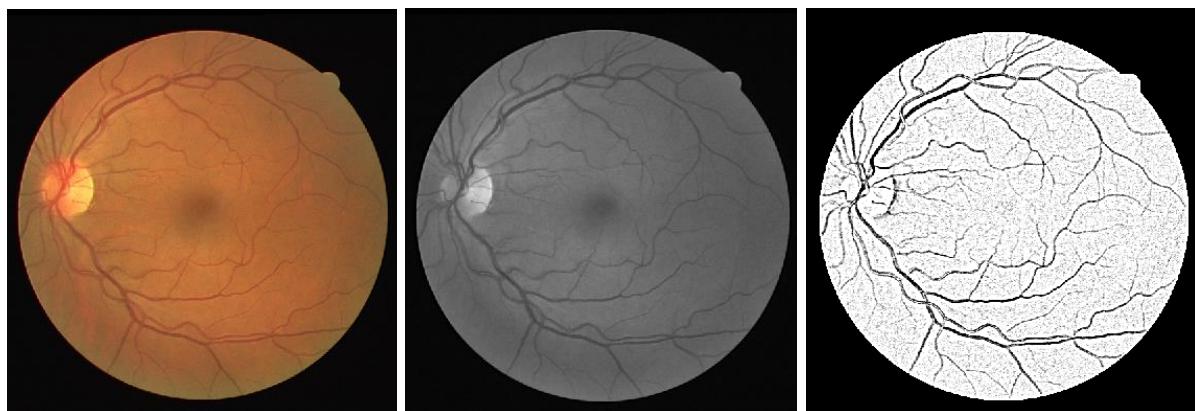
ابتدا یک ماسک دایروی برای جداسازی بخش شبکیه تصویر از پس‌زمینه اعمال می‌شود. سپس، یک فیلتر گوسی برای نرم کردن تصویر، به لگاریتم کanal سبز اعمال شده و از پاسخ لگاریتم کanal سبز به توان ϵ کم می‌شود. به عبارت دقیق‌تر، فرض کنید R^2 :

$$\hat{g}(\underline{x}) = (\ln(f(\underline{x})))^\epsilon - G_\sigma(\underline{x}) * \ln(f(\underline{x})) \quad (1)$$

در نهایت، تصویر حاصل در محدوده $[0,1]$ نرمال می‌گردد:

$$g(\underline{x}) = \frac{\hat{g}(\underline{x}) - \min_{\underline{x}}(\hat{g}(\underline{x}))}{\max_{\underline{x}}(\hat{g}(\underline{x})) - \min_{\underline{x}}(\hat{g}(\underline{x}))} \quad (2)$$

شکل (۲) تصویر RGB اولیه، تصویر کanal سبز (f) و تصویر پیش پردازش شده (g) را نشان می‌دهد.



شکل ۲- نتایج حاصل از الگوریتم پیش پردازش برای یک تصویر شبکیه نمونه: (چپ) تصویر RGB اولیه، (وسط) تصویر کanal سبز (f)، و (راست) تصویر حاصل از پیش پردازش (g).

۲-۲. پردازش مورفولوژی

حال به مرحله اصلی الگوریتم می‌پردازیم. به طور کلی بستن یک عملگر مناسب برای تشخیص ساختارهای باریک و تیره است که از دو بخش توسعه و پس از آن کاهش تشکیل شده است. اگر المان ساختاری عمود بر رگ بوده و مقیاس مناسبی داشته باشد، تقریباً همه قسمت‌های رگ با این عملگر حذف می‌شوند. لذا عملگر بستن با المان ساختاری خطی در جهت‌های مختلف به تصویر پیش‌پردازش شده کanal سبز تصویر RGB اعمال می‌شود. با در نظر گرفتن اینکه حداکثر حذف درخت عروقی زمانی اتفاق می‌افتد که جهت المان ساختاری، عمود بر جهت رگ باشد، و نیز از آنجا که قطر و جهت درخت عروقی ثابت نیست، لذا استفاده از تنها یک المان ساختاری مناسب نیست. بنابراین ۹ مقیاس برای پوشش دادن تغییرات قطر و بازه ۱۸۰ درجه با گام‌های ۵ درجه‌ای برای پوشش دادن تغییرات جهت رگ، در نظر گرفته شده‌اند. همه ترکیبات در عملیات بستن و فیلترگذاری میانه استفاده شده‌اند و یک ماکریتم گیری روی نتایج در جهات مختلف، جهت مناسب برای المان ساختاری را در هر نقطه مشخص می‌کند. فرض کنید S مجموعه‌ای از المان‌های ساختاری باشد. لذا داریم:

$$S = \{SE_r^s \mid r = 0,5,\dots,175 \text{ \& } s = 3,5,\dots,19\} \quad (3)$$

SE_r^s شامل یک پاره خط به طول s با عناصر یک می‌باشد که در زاویه r قرار گرفته‌اند. برای مثال:

$$SE_{45}^3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

بنابراین عملیات بستن بدین صورت انجام می‌گیرد:

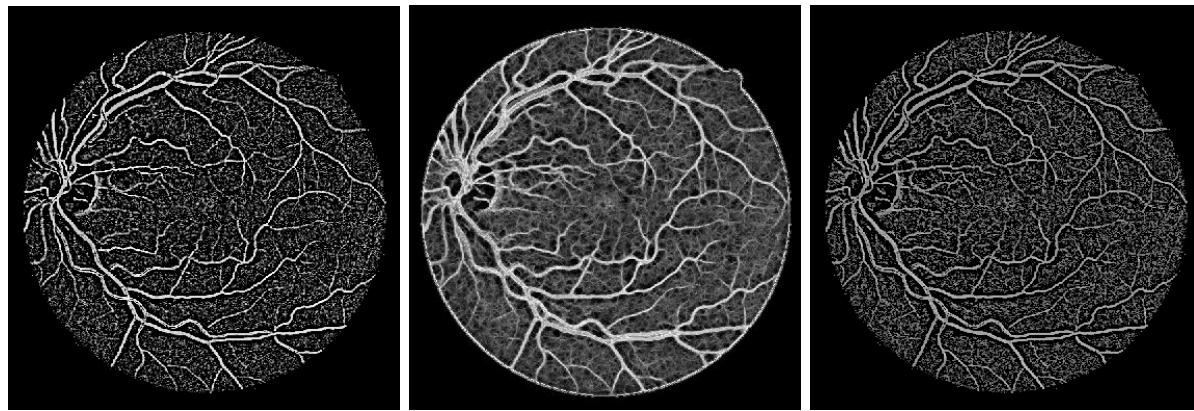
$$C^s(\underline{x}) = \max_r (\text{Closing}(g(\underline{x}), SE_r^s)) \quad (5)$$

در نهایت، از آنجا که مرحله اعمال بستن باید درخت عروقی را حتی‌الامکان حذف کرده باشد، لذا تفاضل نتیجه این عملیات از تصویر اولیه، کنتراست عروق را افزایش می‌دهد. نتیجه نه تنها حذف حداکثری عروق، بلکه جهت آن را نیز به دست می‌دهد.

$$ftr1^s(\underline{x}) = g(\underline{x}) - C^s(\underline{x}) \quad (6)$$

۳-۲. فیلترگذاری میانه

برای توضیح دقیق فیلتر میانه، اینطور باید گفت که هر پیکسل در تصویر فیلتر شده برابر است با میانه شدت پیکسل -



شکل ۳- عملگرهای مورفولوژیکی اعمال شده‌اند. (چپ) پاسخ تفاضل عملیات بستن ($ftr1$), (وسط) پاسخ تفاضل فیلتر میانه ($ftr2$), و (راست) ویژگی مورفولوژیکی نهایی ($finalftr$)

-های همسایه‌اش در راستای المان ساختاری خطی استفاده شده در فیلترگذاری. لازم به ذکر است که چون رگ یک ساختار باریک است، میانه در راستای هم جهت رگ با میانه در راستای عمود بر رگ، تفاوت قابل توجهی دارند. میانه همسایه‌های در راستای عمود بر رگ تقریباً برابر با پس‌زمینه، و میانه همسایه‌های در راستای جهت رگ تقریباً برابر با مقدار شدت خود رگ است. لذا تفاصل این دو به نوعی تفاصل عروق از پس‌زمینه است. بنابراین، حداقل این مقدار زمانی اتفاق می‌افتد که فیلترها یکی عمود بر رگ و یکی هم جهت با آن باشند.

$$M1^s(\underline{x}) = \max_r (\text{Median}(g(\underline{x}), SE_r^s)) \quad (7)$$

$$M2^s(\underline{x}) = \min_r (\text{Median}(g(\underline{x}), SE_r^s)) \quad (8)$$

$$ftr2^s(\underline{x}) = M1^s(\underline{x}) - M2^s(\underline{x}) \quad (9)$$

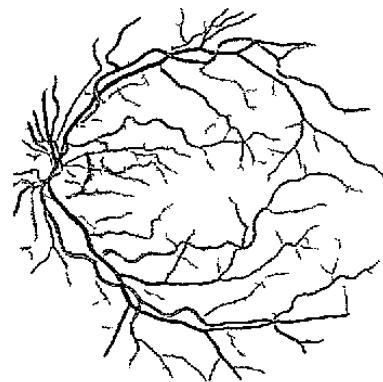
۴-۲. ترکیب ویژگی‌ها

همانطور که ذکر شد، از آنجا که قطر درخت عروقی تغییر می‌کند و المان ساختاری باید مطابق با این قطر باشد، ویژگی‌ها چند مقیاسی در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت این مقیاس‌ها باید ترکیب شوند. در این مقاله این مقیاس‌ها در ماکریم نتایج فیلتر میانه و بستن از طریق جمع با هم ترکیب شده‌اند. هر دو ویژگی - فیلتر میانه و بستن - عروق را قوی‌تر می‌کنند. لذا به صورت ضرب در یکدیگر و تقسیم بر تفاضلشان، با هم ترکیب شده‌اند. با این کار ویژگی به دست آمده در محل عروق قوی و در پس‌زمینه ضعیف است. شکل (۳) پاسخ تفاضل بستن، پاسخ تفاضل فیلتر میانه، و ویژگی مورفولوژیکی نهایی را نشان می‌دهد.

$$finalftr(\underline{x}) = \frac{\sum_s ftr1^s(\underline{x}) \times \sum_s ftr2^s(\underline{x})}{\max(ftr1^s(\underline{x}) - ftr2^s(\underline{x}))} \quad (10)$$

۵-۲. آستانه گذاری هیسترزیس

در مرحله بعد، برای استخراج درخت عروقی، نیاز به آستانه گذاری هیسترزیس به این دلیل انتخاب شده است که تعداد زیادی از پیکسل‌های پس‌زمینه سطح خاکستری مشابه عروق دارند. در این شرایط، دو سطح آستانه بالا و پایین باید استفاده شوند. پیکسل‌های بالاتر از آستانه بالا، به عنوان رگ و پیکسل‌های پایین‌تر از آستانه پایین به عنوان پس‌زمینه در نظر گرفته می‌شوند. و برای سایر پیکسل‌ها، چنانچه در مجاورت رگ قرار داشته باشند، رگ محسوب می‌شوند. از آنجا که سطوح خاکستری و لذا سطوح آستانه در تصاویر مختلف متفاوت است، در این مقاله برای هر تصویر



شکل ۴- خروجی نهایی الگوریتم

تخمینی بسیار نزدیک از این سطوح آستانه زده می‌شود که در برخی موارد ممکن است نیاز به تنظیم کوچکی برای آستانه بالا باشد. لازم به ذکر است کل این تغییر در مقدار تخمین زده شده، حدود ۱/۱۳٪ است.

مرحله آخر یک روند حذف نویز است چراکه تصاویر شبکیه علیرغم اعمال فیلتر گوسی، کمی نویز و نیز پیکسل‌های اشتباہ دسته‌بندی شده دارند. با توجه به اینکه عروق رشته‌های پیوسته‌ای هستند، پیکسل‌های اشتباہ طبقه‌بندی شده و نویزها، با یک آستانه گذاری روی محدوده همسایگی، تشخیص داده شده و حذف می‌گردند. شکل (۴) خروجی نهایی الگوریتم را نشان می‌دهد.

۳. نتایج تجربی

در این مقاله، از پایگاه داده DRIVE برای ارزیابی الگوریتم استفاده شده است. این پایگاه داده شامل ۴۰ تصویر فوندوس چشم با اندازه 584×565 پیکسل که با دوربین Canon CR5 در زاویه ۴۵ درجه گرفته شده‌اند می‌باشد. همچنین نقشه عروق در هر یک از این تصاویر با همکاری سه متخصص به صورت دستی مشخص شده‌اند. کلیه پردازش‌ها توسط یک سیستم کامپیوتر با پردازنده Core i7 2.40 GHz با حافظه جانبی (RAM) 16 GB در محیط برنامه‌نویسی Matlab پیاده‌سازی شده‌اند. زمان پردازشی الگوریتم پیشنهادی برای استخراج درخت عروقی در هر یک از تصاویر فوق، به طور متوسط ۳۰ ثانیه بوده است.

برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی، نتیجه به دست آمده با نقشه عروق از پیش تعیین شده دستی، مقایسه شده است. با مقایسه هر دو پیکسل متناظر، می‌توان تعداد پیکسل‌های طبقه‌بندی شده درست و غلط را به دست آورد. معیار ارزیابی الگوریتم پیشنهادی دقت است که به صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Accuracy = \frac{truePositive + trueNegative}{truePositive + falseNegative + falsePositive + trueNegative} \quad (9)$$

این معیار ارزیابی برای تمام تصاویر پایگاه داده DRIVE محاسبه شده و پس از میانگین‌گیری می‌توان گفت که دقت این الگوریتم برابر با (0.63 ± 0.08) ٪ می‌باشد که 0.63 ٪ انحراف معیار محاسبه شده است. برای ارزیابی بهتر الگوریتم پیشنهادی، آن را با روش‌های دیگری نیز مقایسه کردایم. جدول (۱) دقت نتایج این الگوریتم‌ها را نشان می‌دهد. اولین مورد گزارش شده در جدول نتیجه حاصل از روش بخش‌بندی دستی توسط یک ناظر دوم است. موارد دوم تا پنجم جدول به ترتیب نتایج روش‌های ارائه شده توسط Zhang و همکارانش [۴]، Al-Rawi و همکارانش [۲۱]، Cinsdikici و Aydin [۲۲]، و Chaudhuri و همکارانش [۱] می‌باشند که همگی روش‌هایی مبتنی بر استفاده از فیلترهای تطبیقی هستند.

جدول ۱- مقایسه چند روش استخراج رگ

روش	درصد دقت
2nd Humanobserver	94.73
MF-FDOG [4]	93.82
Al-Rawi [21]	95.10
Cinsdikici [22]	92.93
Matched filter [1]	92.84
Mendonca [23]	94.52
Zana [6]	93.77
Perfetti [18]	92.61
Staal [25]	94.42
Garq [19]	93.61
Marin [20]	94.52
Soares [26]	94.66
A. Osareh [24]	96.50
روش پیشنهادی	98.38 ± 0.63

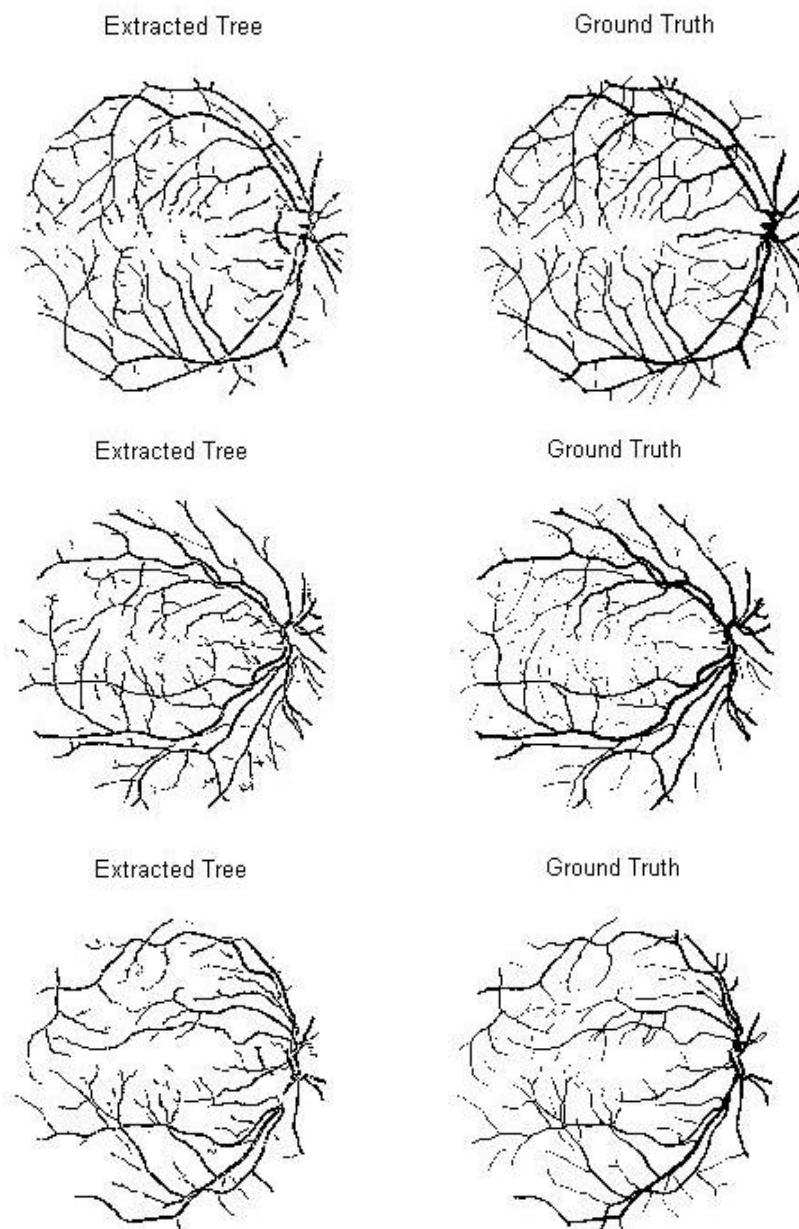
موارد ششم و هفتم گزارش شده در جدول، روش‌های ارائه شده توسط Klein و Zana [۲۳] و Campilho و Mendonca [۶] می‌باشند که هر دو روش‌های مبتنی بر مورفولوژی ریاضی هستند. دسته آخر موارد هشتم تا سیزدهم می‌باشند که روش‌های پیشنهادی Perfetti و همکارانش [۱۸]، Staal و همکارانش [۲۵]، Garq و همکارانش [۱۹]، Marin و همکارانش [۲۰]، Soares و همکارانش [۲۶]، A. Osareh [۲۴] و همکارانش [۲۴] هستند. این روش‌ها نیز روش‌های مبتنی بر طبقه‌بندها می‌باشند. لازم به ذکر است که نتایج روش‌های فوق از مقاله‌های منبع گرفته شده و در این جدول ذکر شده‌اند و در همه آنها از پایگاه داده DRIVE برای ارزیابی استفاده شده است. مشخصاً نتایج به دست آمده از الگوریتم پیشنهادی این مقاله، با اختلاف زیادی بهتر از سایر الگوریتم‌های نام برده شده در جدول می‌باشد.

شكل (۵) سه نمونه از استخراج عروق با استفاده از الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهد.

۴. نتیجه‌گیری

در این مقاله روشی جدید مبتنی بر مورفولوژی ریاضی به منظور استخراج عروق تصاویر شبکیه ارائه و پایگاه داده DRIVE به منظور ارزیابی الگوریتم استفاده شد. روش پیشنهادی بسیار سریع بوده و نتایج بهتری در مقایسه با الگوریتم‌های پیشین به دست می‌دهد.

عملیات بستن و فیلتر میانه برای استخراج ویژگی‌های لازم و بهبود وضوح تصویر استفاده شده‌اند. بستن می‌تواند با حذف عروق و الگوهای شبه رگ اختلاف قابل توجهی با تصویر اولیه ایجاد کند و فیلتر میانه نیز این اختلاف را بین نتایج به دست آمده از اعمال فیلتر در دو جهت عمود و موازی با رگ ایجاد می‌کند. در نهایت این ویژگی‌ها با هم ترکیب شده و به یک الگوریتم آستانه گذاری داده می‌شوند. آستانه گذاری هیسترزیس به دلیل شباهت زیاد بین سطوح خاکستری پیکسل‌ها در تصویر، انتخاب شده است.



شکل ۵- سه سمت راست نقشه رگ داده شده در پایگاه داده، و سه سمت چپ درخت عروقی استخراج شده توسط الگوریتم را نشان می‌دهند.

مراجع

1. Chaudhuri, S., Chatterjee, S., Katz, N., Nelson, M. and Goldbaum, M., (1989), “*Detection of Blood Vessels in Retinal Images Using Two-Dimensional Matched Filters*”, IEEE transactions on medical imaging, vol. 8, no. 3.
2. Hoover, A., Kouznetsova, V. and Goldbaum, M., (2000), “*Locating Blood Vessels in Retinal Images by Piece-Wise Threshold Probing of a Matched Filter Response*”, IEEE transactions on medical imaging, vol. 19, no. 3.
3. Chanwimaluang, T., Fan, G., Fransen, S. R., (2006), “*Hybrid Retinal Image Registration*”, IEEE transactions on information technology in biomedicine, vol. 10, no. 1.
4. Zhang, B., Zhang, L., Zhang, L. and Karray, F., (2010), “*Retinal Vessel Extraction by Matched Filter with First-Order Derivative of Gaussian*”, Science direct, Computers in biology and medicine.
5. Gang, L., Chutatape, O. and Krishnan, S. M., (2002), “*Detection and Measurement of Retinal Vessels in Fundus Images Using Amplitude Modified Second-Order Gaussian Filter*”, IEEE transactions on biomedical engineering, vol. 49, no. 2.
6. Zana, F., and Klein, J.-C., (2001), “*Segmentation of Vessel-Like Patterns Using Mathematical Morphology and Curvature Evaluation*”, IEEE Transactions on Image Processing, vol. 10, no. 7.
7. Walter, T., Klein, J.-C., (2001), “*Segmentation of Color Fundus Images of the Human Retina: Detection of the Optic Disc and the Vascular Tree Using Morphological Techniques*”, Medical Data Analysis, Springer Berlin Heidelberg, vol. 2199, pp. 282-287.
8. Cronemeyer, J., Heising, G., and Orglmeister, R., (1992), “*A Fast Skeleton Finder for Parallel Hardware*”, IEEE Computers in Cardiology, pp. 23–26.
9. Nguyen, T. and Sklansky, J., (1986), “*Computing the Skeleton of Coronary Arteries in Cineangiograms*”, Computers and Biomedical Research, 19(5):428-44.
10. Nekovei, R. and Sun, Y., (1995), “*Back-Propagation Network and its Configuration for Blood Vessel Detection in Angiograms*”, IEEE Transactions on Neural Networks 6, pp. 64–72.
11. Hunter, I., Soraghan, J., and Mcdonagh, T., (1995), “*Fully Automatic Left Ventricular Boundary Extraction in Echocardiographic Images*”, Computers in Cardiology, pp. 741–744, IEEE.
12. Tavakolli, H. R., and Pourreza, H. R., (2008), “*An Enhanced Retinal Vessel Detection Algorithm*”, In Innovations and Advanced Techniques in Systems, Computing Sciences and Software Engineering, pp. 6-8,. Springer Netherlands.
13. Leandro, J. J. G., Soares, J. V. B., Cesar Jr., R. M., Jelinek, H. F., (2003), “*Blood Vessels Segmentation in Non-Mydriatic Images using Wavelets and Statistical Classifiers*”, In Computer Graphics and Image Processing, SIBGRAPI 2003. XVI Brazilian Symposium on 2003 Oct 12, pp. 262-269, IEEE.

14. Ricci, E., and Perfetti, R., (2007), “*Retinal Blood Vessel Segmentation Using Line Operators and Support Vector Classification*”, IEEE transactions on medical imaging, vol. 26, no. 10.
15. Zabihi, S. M., Delgir, M., and Pourreza, H. R., (2010), “*Retinal Vessel Segmentation Using Color Image Morphology and Local Binary Patterns*”, In Machine Vision and Image Processing (MVIP), 6th Iranian 2010 Oct 27, pp. 1-5, IEEE.
16. Salem, N. M., and Nandi, A. K., (2006), “*Segmentation of Retinal Blood Vessels Using Scale-Space Features and K-nearest Neighbour Classifier*”, In Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2006 Proceedings, 2006 IEEE International Conference on, vol. 2, pp. II-II.
17. Soares, J. V. B., Leandro, J. J. G., Cesar-Jr., R. M., Jelinek, H. F. and Cree, M. J., (2005), “*Using the 2-D Morlet Wavelet with Supervised Classification for Retinal Vessel Segmentation*”, In 18th Brazil. Symp. Comput. Graphics Image Process.(SIBGRAPI).
18. Perfetti, R., Ricci, E., Casali, D. and Costantini, G., (2007), “*Cellular Neural Networks with Virtual Template Expansion for Retinal Vessel Segmentation*”. IEEE Transactions on Circuits and Systems II: Express Briefs 54.2, pp. 141-145.
19. Garg, S., Sivaswamy, J. and Chandra, S., (2007), “*Unsupervised Curvature-based Retinal Vessel Segmentation*”, Biomedical Imaging: From Nano to Macro, 2007. ISBI 2007. 4th IEEE International Symposium.
20. Marín, D., Aquino, A., Gegúndez-Arias, M.E. and Bravo, J.M., (2011), “*A New Supervised Method For Blood Vessel Segmentation in Retinal Images by Using Gray-Level and Moment Invariants-Based Features*”. IEEE Transactions on Medical Imaging 30.1, pp. 146-158.
21. Al-Rawi, M., Qutaishat, M. and Arrar, M., (2007), “*An Improved Matched Filter for Blood Vessel Detection of Digital Retinal Images*”, Computers in Biology and Medicine 37.2, pp. 262-267.
22. Cinsdikici, M.G. and Aydin, D., (2009), “*Detection of Blood Vessels in Ophthalmoscope Images Using MF/Ant (Matched Filter/Ant Colony) Algorithm*”, Computer Methods and Programs in Biomedicine 96.2, pp. 85-95.
23. Mendonca, A.M. and Campilho, A., (2006), “*Segmentation of Retinal Blood Vessels by Combining the Detection of Centerlines and Morphological Reconstruction*”, IEEE Transactions on Medical Imaging 25.9, pp. 1200-1213.
24. Osareh, A. and Shadgar, B., (2009), “*Automatic Blood Vessel Segmentation in Color Images of Retina*”, Iran. J. Sci. Technol. Trans. B: Engineering 33.B2, pp. 191-206.
25. Staal, J., Abràmoff, M.D., Niemeijer, M., Viergever, M. and Van Ginneken, B., (2004), “*Ridge-Based Vessel Segmentation in Color Images of the Retina*”. IEEE Transactions on Medical Imaging 23.4, pp. 501-509.
26. Soares, J. V., Leandro, J. J., Cesar Jr, R. M., Jelinek, H. F., and Cree, M. J., (2006), “*Retinal Vessel Segmentation Using the 2-D Gabor Wavelet and Supervised Classification*”. IEEE Transactions on Medical Imaging 25.9, pp. 1214-1222.