



دانشگاه اصفهان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی کامپیوتر

رساله دکتری مهندسی کامپیوتر
گرایش معماری سیستم‌ها

تشخیص خودکار رگ‌ها و استخراج ویژگی‌های آن‌ها در تصاویر شبکه چشم

استاد راهنما:
دکتر احمد رضا نقش نیلچی

پژوهشگر:
عبدالحسین فتحی

مهرماه ۱۳۹۱

کلیه حقوق مادی مترتب بر نتایج
مطالعات، ابتکارات و نوآوری‌های ناشی از
تحقیق موضوع این پایان نامه متعلق به
دانشگاه اصفهان است.



دانشگاه اصفهان
دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی کامپیوتر

رساله دکتری مهندسی کامپیوتر گرایش معماری سیستم‌ها آقای عبدالحسین فتحی تحت عنوان

تشخیص خودکار رگ‌ها و استخراج ویژگی‌های آن‌ها در تصاویر شبکه چشم

در تاریخ ۱۳۹۱/۷/۵ توسط هیأت داوران زیر بررسی و با درجه عالی به تصویب نهایی رسید.

۱- استاد راهنمای پایان نامه دکتر احمد رضا نقش نیلچی با مرتبه علمی دانشیار امضا

۲- استاد داور داخل دانشگاه دکتر سید امیرحسین منجمی با مرتبه علمی دانشیار امضا

۳- استاد داور داخل دانشگاه دکتر محمد رضا یزدچی با مرتبه علمی استادیار امضا

۴- استاد داور خارج از دانشگاه دکتر محمد تقی منظوری شلمانی با مرتبه علمی دانشیار امضا

امضای مدیر گروه

تقدیر و تشکر

سپاس خدای عز و جل که توفیق انجام این کار را عطا فرمود و سختی‌های بی‌شماری را آسان کرد. و هم او تشکر و قدردانی از زحمت و راهنمایی‌های بی دریغ استادم دکتر احمدرضا نقش نیلچی را بر من واجب نمود. شاگردی این بزرگوار همواره مایه‌ی مباهات، و آنچه از محضرشان آموخته ام راه‌گشایم خواهد بود.

همچنین از هیأت محترم داوران، آقایان دکتر سید امیرحسن منجمی، دکتر محمدرضا یزدچی، و دکتر محمد تقی منظوری، به پاس دانش و منشی که توأمان به بنده آموختند سپاسگزارم. دقت نظر و راهنمایی‌های ارزنده‌ی ایشان در جهت ارتقای این پایان‌نامه، ستودنی است.

در پایان وظیفه‌ی خود می‌دانم که از خانواده‌ی عزیزم که همواره در هر شرایطی حامی من بوده اند، بر غفلت‌های من قلم عفو کشیده اند و در تمام سختی‌های زندگی یاوران بی چشمداشت من بوده اند، سپاسگزاری نمایم. بی‌تردید انجام این مهم بدون همراهی و دعای خیر ایشان امکان‌پذیر نبود.

عبدالحسین فتاحی

مهر ۱۳۹۱

تقدیم به عزیزان پرپر شده‌ام

چکیده

بیماری‌های مرتبط با چشم یکی از مهم‌ترین عوامل از کارافتادگی و حتی مرگ افراد می‌باشد. بسیاری از این بیماری‌ها با تحلیل تصاویر دیجیتال بدست آمده از شبکه چشم قابل تشخیص و پیشگیری می‌باشند. در این رساله تحلیل تصاویر شبکه چشم برای تشخیص خودکار رگ‌ها و استخراج ویژگی‌های مختلف از آن‌ها مورد توجه قرار گرفته است. برای این منظور ابتدا یک روش جدید و خودکار برای تشخیص رگ‌ها با استفاده از ترکیب طبقه بندهای ANFIS و ANN با نسخه‌های جدید از عملگر الگوهای محلی ارائه شده است. همچنین یک روش بسیار موثر و کارآمد برای بهسازی و تشخیص ساختارهای مربوط به رگ‌ها و جدا کردن آن‌ها از ساختارهای لبه مانند نواحی غیر رگ در حوزه موجک ارائه شده است. برای اندازه گیری و تشخیص ویژگی‌های مختلف رگ‌ها یک عملگر جدید به اسم LVP ارائه شده که قادر است ویژگی‌های مختلف مثل قطر و جهت رگ‌های ساده، نقاط انشعاب، زاویه انشعاب و نیز نقاط تقاطع را با دقت بسیار خوبی تخمین بزند. برای تشخیص ناحیه دیسک نوری نیز یک روش مبتنی بر طبقه بند بیز برای تقسیم رگ‌ها به دو دسته رگ‌های داخل ناحیه دیسک نوری و رگ‌های خارج آن با استفاده از ویژگی‌های ظاهری بافت پس زمینه و نیز ویژگی‌های رگ‌های این ناحیه ارائه شده است. روش‌های ارائه شده برای تشخیص رگ‌ها، استخراج ویژگی‌های آن‌ها و تشخیص ناحیه دیسک نوری خودکار بوده و قادرند تا با دقتی نزدیک به دقت کاربر متخصص این نواحی را تشخیص دهند.

کلمات کلیدی: تحلیل تصاویر شبکه چشم، تشخیص رگ، تشخیص ناحیه دیسک نوری، تخمین ویژگی‌های رگ‌ها، عملگر الگوهای محلی رگ.

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
ت	فهرست شکل‌ها
ح	فهرست جداول
خ	مخفف‌ها
۱	فصل اول: تعریف مسئله
۱	۱-۱- مقدمه
۳	۲-۱- اصول عکسبرداری، پردازش، و تحلیل تصاویر دیجیتال شبکه‌ی چشم
۴	۱-۲-۱- عکسبرداری دیجیتال در چشم پزشکی
۴	۲-۲-۱- پردازش تصاویر
۶	۳-۲-۱- ویژگی‌های شبکه‌ی چشم
۷	۴-۲-۱- انطباق تصاویر و تشخیص بیماری
۸	۳-۱- اهداف رساله و راهکارها
۱۱	فصل دوم: تشخیص رگ‌ها با استفاده از الگوهای محلی
۱۱	۱-۲- مقدمه
۱۲	۲-۲- مروری بر روش‌های موجود برای تشخیص رگ‌های شبکه‌ی
۱۲	۱-۲-۲- روش‌های تشخیص رگ مبتنی بر فیلتر کردن
۱۷	۲-۲-۲- روش‌های تشخیص رگ مبتنی بر دنبال کردن
۱۹	۳-۲-۲- روش‌های تشخیص رگ مبتنی بر طبقه بندی کردن
۲۱	۳-۲- تشخیص رگ‌ها با استفاده از عملگر الگوهای محلی باینری و طبقه بندها
۲۲	۱-۳-۲- بررسی عملگر LBP
۲۷	۲-۳-۲- طراحی نسخه جدید عملگر LBP متناسب با ساختار رگ‌ها
۳۰	۳-۳-۲- تشخیص رگ‌ها با استفاده از طبقه بند ANFIS و عملگر LBP^{NT}
۳۰	۱-۳-۳-۲- استخراج ویژگی با استفاده از عملگر LBP^{NT}
۳۲	۲-۳-۳-۲- سیستم استنتاج وفقی نروفازی (ANFIS)
۳۵	۳-۳-۳-۲- تشخیص رگ‌ها با استفاده از ANFIS
۳۶	۴-۳-۳-۲- آزمایش و ارزیابی روش ارائه شده
۴۶	۴-۳-۲- تشخیص رگ‌ها با استفاده از طبقه بند ANN و عملگر LBP^{GRI}
۴۷	۱-۴-۳-۲- نتایج آزمایشات انجام شده
۵۸	۴-۲- جمع بندی و نتیجه گیری
۵۹	فصل سوم: بهسازی و تشخیص رگ‌ها با استفاده از تبدیل موجک
۵۹	۱-۳- مقدمه
۶۰	۲-۳- بررسی تبدیل موجک
۶۴	۳-۳- کاهش نویز با استفاده از تبدیل موجک

صفحه	عنوان
۶۵	۱-۳-۳- انواع مختلف تابع حذف
۶۶	۲-۳-۳- روش‌های انتخاب آستانه
۶۸	۳-۳-۳- روش ارائه شده برای کاهش نویز با استفاده از مبنای موجک بهینه
۷۰	۴-۳- تشخیص رگ‌ها با استفاده از روش مبتنی بر موجک
۷۰	۱-۴-۳- فاز پیش پردازش
۷۲	۲-۴-۳- فاز بهسازی رگ‌ها
۷۷	۳-۴-۳- فاز تشخیص رگ‌ها
۷۹	۵-۳- نتایج آزمایشات
۸۹	۶-۳- جمع بندی و نتیجه گیری
۹۰	فصل چهارم: اندازه گیری ویژگی‌های رگ‌ها با استفاده از عملگر الگوهای محلی رگ
۹۰	۱-۴- مقدمه
۹۲	۲-۴- ویژگی‌های پایه در رگ‌های شبکه چشم
۹۵	۳-۴- عملگر الگوی محلی رگ (LVP) برای تشخیص ویژگی‌های رگ‌ها
۹۹	۴-۴- ارزیابی ساختاری نقاط انشعاب و تقاطع
۱۰۴	۵-۴- نتایج آزمایشات انجام شده
۱۱۱	۶-۴- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۱۲	فصل پنجم: تشخیص ناحیه دیسک نوری
۱۱۲	۱-۵- مقدمه
۱۱۳	۲-۵- بررسی روش‌های موجود در تشخیص ناحیه دیسک نوری
۱۱۶	۳-۵- تشخیص ناحیه دیسک نوری با استفاده از معیار شباهت بیز
۱۱۷	۱-۳-۵- ویژگی شدت روشنایی ناحیه دیسک نوری
۱۱۸	۲-۳-۵- ویژگی تغییرات موجود در شدت روشنایی ناحیه دیسک نوری
۱۱۸	۳-۳-۵- ویژگی قطر رگ‌ها در ناحیه دیسک نوری
۱۱۸	۴-۳-۵- ویژگی جهت رگ‌ها در ناحیه دیسک نوری
۱۱۹	۵-۳-۵- ویژگی چگالی رگ‌ها در ناحیه دیسک نوری
۱۱۹	۶-۳-۵- ویژگی نرخ نقاط انشعاب و تقاطع در ناحیه دیسک نوری
۱۲۰	۷-۳-۵- تشخیص رگ‌های ناحیه دیسک نوری
۱۲۲	۴-۵- نتایج آزمایشات
۱۲۸	۵-۵- جمع بندی و نتیجه گیری
۱۲۹	فصل ششم: جمع بندی و نتیجه گیری
۱۳۳	واژه نامه
۱۳۴	فهرست مراجع
۱۴۱	چکیده لاتین

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۳	۱-۱- اجزاء سیستم‌های پردازش خودکار تصاویر پزشکی
۵	۲-۱- دوربین‌های دیجیتال Fundus
۶	۳-۱- شبکیه چشم و نواحی مختلف آن
۱۳	۱-۲- فیلتر تطبیقی استفاده شده برای تشخیص رگ
۲۳	۲-۲- نحوه محاسبه عملگر LBP
۲۴	۳-۲- عملگر LBP با مقادیر مختلف P و R
۲۵	۴-۲- توصیف عناصر پایه بافت با استفاده از الگوهای یکنواخت
۳۱	۵-۲- فلوجارت الگوریتم تشخیص رگ با ترکیب ANFIS و LBP ^{NT}
۳۲	۶-۲- نمایش کانال‌های مختلف تصاویر رنگی شبکیه چشم
۳۳	۷-۲- ساختار ANFIS با دو مجموعه قانون فازی
۳۵	۸-۲- ANFIS استفاده شده برای تعیین درجه تعلق نقاط به رگ
۳۷	۹-۲- نتایج بدست آمده از مراحل مختلف الگوریتم ارائه شده
۳۸	۱۰-۲- تعیین مقدار بهینه برای پارامتر اندازه در فیلتر اندازه
۴۰	۱۱-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر بانک DRIVE
۴۲	۱۲-۲- نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف روی تصویر شماره ۱۶ از بانک DRIVE
۴۵	۱۳-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر بانک STARE
۴۸	۱۴-۲- تصاویر گرفته شده از بانک بروداتز برای مقایسه عمبگرهای مختلف LBP
۵۰	۱۵-۲- ساختار شبکه عصبی استفاده شده
۵۰	۱۶-۲- نتایج بدست آمده از ارزیابی بردارهای ویژگی مختلف
۵۲	۱۷-۲- منحنی ROC بدست آمده از روش‌های مختلف روی تصاویر بانک DRIVE
۵۳	۱۸-۲- نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف روی تصویر شماره ۱۹ بانک DRIVE
۵۴	۱۹-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر بانک DRIVE
۵۵	۲۰-۲- منحنی ROC بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر نرمال و غیر نرمال بانک STARE
۵۶	۲۱-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر نرمال بانک STARE
۵۶	۲۲-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر غیرنرمال بانک STARE
۶۱	۱-۳- نگاشت سیگنال در حوزه زمان-فرکانس
۶۳	۲-۳- درخت تجزیه تبدیل موجک
۶۴	۳-۳- تجزیه تصاویر با استفاده از تبدیل موجک
۷۱	۴-۳- فلوجارت روش ارائه شده در حوزه موجک برای تشخیص رگ‌ها
۷۲	۵-۳- منحنی نگاشت مربوط به بهبود وضوح تصاویر برای مقادیر گاما
۷۳	۶-۳- خروجی مراحل مختلف فاز پیش پردازش

- ۷۴-۳-۷- موجک مورلت مختلط
- ۷۶-۳-۸- تجزیه سیگنال گوسی و لبه پله مانند با استفاده از موجک مورلت
- ۷۷-۳-۹- نتایج بدست آمده از مراحل مختلف فاز بهسازی مبتنی بر موجک
- ۷۸-۳-۱۰- نتایج مربوط به مراحل مختلف فاز تشخیص رگها
- ۷۹-۳-۱۱- تصاویر استفاده شده برای ارزیابی روش کاهش نویز ارائه شده
- ۸۰-۳-۱۲- نتایج بدست آمده برای پارامتر PSNR در روشهای مختلف کاهش نویز
- ۸۱-۳-۱۳- نتایج بدست آمده برای پارامتر UIQI در روشهای مختلف کاهش نویز
- ۸۱-۳-۱۴- نتایج بدست آمده از روشهای مختلف کاهش نویز روی تصویر طبیعی با شدت نویز 50dB
- ۸۲-۳-۱۵- نتایج بدست آمده از روشهای مختلف کاهش نویز روی تصویر پزشکی با شدت نویز 30dB
- ۸۲-۳-۱۶- نتایج بدست آمده از روشهای مختلف کاهش نویز روی تصویر بافت با شدت نویز 50dB
- ۸۳-۳-۱۷- نتایج مربوط به استخراج مقدار بهینه برای پارامتر آستانه در فیلتر اندازه
- ۸۴-۳-۱۸- نتایج مربوط به ترکیب مقیاسهای مختلف برای تشخیص رگها
- ۸۶-۳-۱۹- نتایج نتایج بدست آمده از روشهای مختلف روی تصویر شماره ۹ از بانک DRIVE
- ۸۷-۳-۲۰- نتایج بدست آمده از روشهای مختلف روی تصویر im6 از بانک STARE
- ۸۷-۳-۲۱- منحنی ROC بدست آمده روی بانک STARE و بانک DRIVE
- ۹۳-۴-۱- رگهای ساده و ویژگیهای آنها
- ۹۳-۴-۲- نقاط انشعاب و ویژگیهای پایه آنها
- ۹۴-۴-۳- نقاط تقاطع با تعداد رگها مختلف و ویژگیهای پایه آنها
- ۹۵-۴-۴- الگوی دایره ای برای $R=5$ و $N=32$
- ۹۷-۴-۵- جزئیات مربوط به محاسبه جهت رگهای ساده
- ۹۸-۴-۶- جزئیات مربوط به محاسبه زاویه و جهت انشعاب و بدست آوردن مقادیر CBB و MNCZP
- ۹۹-۴-۷- جزئیات محاسبه و تخمین قطر رگها
- ۱۰۰-۴-۸- مسئله ایجاد انشعابات مجازی در فرآید Skeleton
- ۱۰۱-۴-۹- مسئله تجزیه نقاط تقاطع در اثر عملیات Skeleton
- ۱۰۲-۴-۱۰- مدل ساده در نظر گرفته شده برای تجزیه نقاط تقاطع
- ۱۰۳-۴-۱۱- مدل توسعه یافته برای تجزیه نقاط تقاطع
- ۱۰۵-۴-۱۲- خروجی مربوط به تشخیص قطر و جهت رگها
- ۱۰۶-۴-۱۳- تاثیر پارامتر BLT در کارایی روش تشخیص انشعاب
- ۱۰۸-۴-۱۴- خروجی روش تشخیص نقاط انشعاب و تقاطع روی تصاویر بانک STARE
- ۱۰۹-۴-۱۵- خروجی روش تشخیص نقاط انشعاب و تقاطع روی تصاویر بانک DRIVE
- ۱۱۰-۴-۱۶- خروجی روش تشخیص نقاط انشعاب و تقاطع روی تصاویر بانک ARIA
- ۱۱۲-۵-۱- ناحیه دیسک نوری در شبکیه چشم

صفحه	عنوان
۱۲۲	۵-۲- خروجی مراحل مختلف الگوریتم تشخیص ناحیه دیسک نوری
۱۲۳	۵-۳- نحوه محاسبه پارامتر همپوشانی و فاصله بین مرکزها
۱۲۶	۵-۴- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر بانک DRIONS
۱۲۷	۵-۵- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر بانک DRIVE.

فهرست جداول

صفحه	عنوان
۲۹	۱-۲- نحوه محاسبه عملگرهای مختلف روی الگوهای یکنواخت و غیر یکنواخت
۳۹	۲-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی مجموعه آزمایش بانک DRIVE
۴۱	۳-۲- مقایسه نتایج بدست آمده با استفاده از بردارهای ویژگی مختلف برای پیکسل‌ها
۴۲	۴-۲- مقایسه روش‌های مختلف با نتایج بدست آمده با استفاده از بانک DRIVE
۴۳	۵-۲- نتایج بدست آمده از روش ارائه شده روی تصاویر بانک STARE
۴۴	۶-۲- مقایسه روش‌های مختلف با استفاده از بانک SATRE
۴۹	۷-۲- نتایج بدست آمده از طبقه بندی بافت عملگرهای مختلف LBP
۵۱	۸-۲- نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف روی تصاویر آزمایش بانک DRIVE
۵۵	۹-۲- نتایج بدست آمده از روش‌های مختلف روی تصاویر بانک STARE
۵۷	۱۰-۲- مقایسه روش‌های مختلف روی تصاویر هر دو بانک STARE و DRIVE
۸۶	۱-۳- نتایج روش‌های مختلف تشخیص رگ روی تصاویر بانک DRIVE
۸۶	۲-۳- نتایج روش‌های مختلف تشخیص رگ روی تصاویر بانک STARE
۸۸	۳-۳- زمان اجرای روش‌های مختلف تشخیص رگ.
۱۰۵	۱-۴- نتایج بدست آمده از تخمین ضخامت و جهت رگ‌ها روی بانک‌های DRIVE و STARE
۱۰۷	۲-۴- نتایج روش ارائه شده در تشخیص انشعاب و تقاطع روی بانک‌های STARE, DRIVE و ARIA
۱۰۹	۳-۴- مقایسه روش‌ها روی بانک DRIVE
۱۱۰	۴-۴- مقایسه روش‌ها روی بانک ARIA
۱۲۴	۱-۵- نتایج ارزیابی دو مرحله ای روش ارائه شده روی بانک DRIONS
۱۲۵	۲-۵- مقایسه نتایج روش ارائه شده با سایر روش‌ها روی بانک تصاویر محلی

کوتاه نوشتها و علامتها

<u>کوتاه نوشتها</u>	<u>علامتها</u>
ACC Accuracy	BC _{P,R} کد باینری تولید شده برای P نقطه روی دایره با شعاع R
AMD Age-related Macula Degradation	g _i پیکسل همسایه i ام
ANFIS Adaptive Neuro Fuzzy Inference Systems	g _c پیکسل مرکزی
ANN Artificial Neural Network	P تعداد نقاط الگوی محلی باینری
CDF Cumulative Density Function	R شعاع دایره الگوی محلی باینری
CWT Continues Wavelet Transform	λ معیار هموار بودن الگوها
DWT Discrete Wavelet Transform	U معیار یکنواخت بودن الگوها
FCM Fuzzy C-Median	TV مقدار آستانه
FIR Finite Impulse Response	ψ _i توابع پایه موجک
FOV Field Of View	ψ _{a,b} مبناء موجک تبدیل یافته
FPR False Positive Rate	W _i ^A ضرایب تقریب موجک در زیر باند نام
GMM Gaussian Mixture Model	W _i ^D ضرایب جزئیات موجک در زیر باند نام
KNN K Nearest Neighborhood	τ مقدار آستانه
LBP Local Binary Patterns	σ _S انحراف معیار زیرباند S
LEP Local Edge Pattern	μ _S میانگین زیرباند S
LVP Local Vessel Patterns	N _V تعداد نقاط رگ در عملگر LVP
MAP Maximum A Posteriori	θ _d جهت انشعاب
PCA Principal Components Analysis	θ _b زاویه انشعاب
PDF Probability Density Function	θ _c زاویه تقاطع
PSNR Peak Signal-to-Noise Ratio	V _E تعداد رگهای موجود در عملگر LVP
RMS Root Mean Square	V _d قطر رگ
ROC Receiver Operating Characteristics	V _θ جهت رگ
RVO Retinal Vein Occlusion	V _j نقاط تقاطع یا انشعاب رگها
SOM Self Organized Map	
STFT Short Time Fourier Transform	
SVM Support Vector Machine	
TPR True Positive Rate	
UIQI Universal Image Quality Index	

فصل اول

تعریف مسئله

۱-۱- مقدمه

بیماری‌های چشمی یکی از مهم‌ترین عوامل از کارافتادگی و حتی مرگ در کشورهای توسعه یافته و نیز کشورهای در حال توسعه می‌باشد. با معاینه چشم و شبکه آن علاوه بر بیماری‌های چشمی مثل دیابت چشمی^۱، آب مروارید^۲، تغییرات مرتبط با سن در سلول‌های بینایی (AMD)^۳ و انسداد رگ‌های شبکیه (RVO)^۴ می‌توان بیماری‌های دیگر مثل فشارخون^۵ و چاقی^۶ را هم به راحتی تشخیص داد. این بیماری‌ها یکی از اصلی‌ترین عوامل از کارافتادگی و مرگ و میر در جوامع پیشرفته می‌باشند، بطوریکه در سال ۲۰۰۰ میلادی بالغ بر ۴۵ میلیون نفر در دنیا بر اثر بیماری‌های چشمی نابینای کامل شدند و بیش از ۱۸۰ میلیون نفر مشکلات و معلولیت‌های بینایی پیدا کردند. این درحالیست که بیش از ۸۰ درصد این نابینایی‌ها قابل پیشگیری بودند. پیش بینی می‌شود اگر برنامه‌های کنترلی و مراقبتی خاصی صورت نگیرد تعداد افراد نابینا فقط در کشورهای در حال توسعه در سال ۲۰۲۰ به بیش از ۷۶ میلیون نفر برسد که حدود نیمی از این نابینایی‌ها به علت وقوع بیماری AMD در افراد سالخورده می‌باشد. هزینه‌های ناشی از این نابینایی‌ها حدود ۱۵۰ تا ۲۵۰ میلیارد دلار خواهد بود [۱]. شایع‌ترین بیماری چشم بیماری دیابت می‌باشد که در سال ۲۰۰۰ میلادی بیش از ۱۷۰ میلیون نفر به گونه‌های مختلف این بیماری مبتلا بودند و در این سال حدود ۱۱۶ میلیارد دلار هزینه مستقیم این بیماری در کل دنیا بوده است. این بیماری نیز یکی دیگر از عوامل نابینایی افراد می‌باشد. پیش بینی می‌شود که تا سال ۲۰۳۰ بیش از ۳۶۰ میلیون نفر به این بیماری دچار

¹- Diabetic Retinopathy

²- Glaucoma

³- Age-related Macula Degradation

⁴- Retinal Vein Occlusion

⁵- Hypertension

⁶- Obesity

گردند [۱]. بیماری‌های آب مروارید و انسداد رگ‌های شبکیه نیز به ترتیب با ۶۷ میلیون نفر مبتلا [۲] و ۱۶/۴ میلیون نفر مبتلا [۳] در رده‌های بعدی بیماری‌های شایع چشمی قرار دارند. از طرف دیگر شیوع بیماری‌هایی چون فشار خون و چاقی در کل دنیا هزینه‌های زیادی را به جامعه بشری تحمیل نموده است. حدود ۳۰ درصد کل افراد بالغ در دنیا به بیماری فشار خون مبتلا هستند [۴] و از طرفی حدود ۳۹۶ میلیون نفر در سال ۲۰۰۵ از بیماری چاقی رنج برنده اند که این تعداد در سال ۲۰۲۵ به ۱/۲ میلیارد نفر خواهد رسید [۵].

وجود چنین آمارهایی و نیز هزینه‌های مالی سرسام آوری که به خاطر این بیماری‌ها به جامعه بشری تحمیل می‌شود مسئولین بهداشت جهانی را بر آن داشته تا با اجرای برنامه‌های مختلف در فکر کنترل این بیماری‌ها باشند [۶]. خوشبختانه اکثر این بیماری‌ها اگر به موقع تشخیص داده شوند قابل درمان خواهند بود. از همین رو در کشورهای توسعه یافته برنامه‌های مدونی برای غربالگری و کنترل این بیماری‌ها در افراد مستعد بروز این بیماری‌ها انجام می‌گیرد. البته این غربالگری نیازمند صرف هزینه زیاد و زمان طولانی برای تعلیم متخصصین مورد نیاز در سراسر یک کشور خواهد بود. این امر برای اکثر کشورهای فقیر و نیز کشورهای با وسعت جغرافیایی زیاد و بخصوص با جمعیت پراکنده روستایی بسیار مشکل تر و پرهزینه تر خواهد بود.

خوشبختانه با ظهور فناوری عکسبرداری دیجیتال در زمینه پزشکی و نیز با گسترش شبکه‌های کامپیوتری امکان جدید "پزشکی راه دور" با هزینه بسیار کم بوجود آمده است. در این سیستم‌ها تصاویر پزشکی از مناطق مختلف - بخصوص مناطق روستایی که دسترسی به متخصص ندارند- برای مراکز پزشکی مجهز ارسال شده، و در آنجا تصاویر توسط متخصصین مربوطه بررسی و تحلیل شده تا بیماری‌های مورد نظر تشخیص داده شوند. سپس نتیجه دوباره از طریق شبکه‌های کامپیوتر به افراد بیمار برای پیگیری وضعیت بیماری خود اطلاع داده می‌شود. لازم به ذکر است در مواردی که یک غربالگری و مانیتور کردن عمومی مورد نظر باشد تحلیل یک حجم انبوه از تصاویر پزشکی بصورت غیر اتوماتیک توسط کاربر متخصص بسیار مشکل و در مواردی غیر ممکن می‌باشد.

در سال‌های اخیر با افزایش قدرت محاسباتی و پردازشی کامپیوترها و نیز با گسترش تکنیک‌های پردازش تصویر، این ایده که از کامپیوتر برای تحلیل تصاویر پزشکی و تشخیص خودکار بیماری‌ها استفاده گردد بسیار مورد توجه دولت‌ها، متخصصین پزشکی و متخصصین علوم کامپیوتر قرار گرفته است.

این ایده برای تحلیل تصاویر شبکیه چشم و تشخیص بیماری‌های چشمی و عروقی بسیار عملی و کم هزینه می‌باشد چرا که شبکیه چشم تنها نقطه‌ای از بدن می‌باشد که بدون نیاز به وارد شدن در آن و یا حتی تزریق مواد خاص امکان مشاهده و تصویر برداری از آن و رگ‌های موجود در سطح آن وجود دارد.

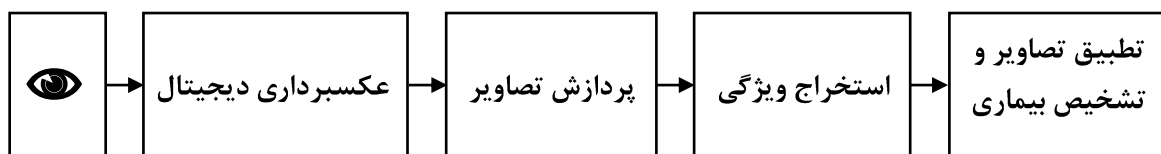
در دو دهه اخیر، این قابلیت شبکه چشم و نیز اهمیت و تاثیر بیماری‌های چشمی بر کل جامعه بشری، توجه متخصصین زیادی را در حوزه علوم کامپیوتر و پزشکی برای ارائه یک روش دقیق، پایدار و قابل اطمینان برای پردازش خودکار تصاویر شبکه چشم و استخراج ویژگی‌های آن جهت تشخیص بیماری‌های مختلف به خود جلب نموده است.

این رساله دکتری در این راستا قدم برداشته و یک روش خودکار برای تحلیل تصاویر شبکه چشم و تشخیص رگ‌ها و ویژگی‌های آن‌ها ارائه نموده است. با استخراج رگ‌ها و ویژگی‌های آن‌ها و نیز در نظر گرفتن تاثیر هر کدام از بیماری‌ها بر این ویژگی‌ها، این امکان بوجود خواهد آمد که بیماری‌های مختلف بصورت اولیه توسط کامپیوتر تشخیص داده شوند و افراد مشکوک و یا مستعد بیماری به متخصصین مربوطه برای تشخیص نهایی و معالجه معرفی گردند. به این ترتیب بار زیادی از روی دوش کاربر متخصص برداشته شده و امکان مانیتور کردن کل افراد جامعه فراهم خواهد شد.

البته در این رساله فقط روی فاز اول یعنی تحلیل خودکار تصاویر برای استخراج رگ‌ها و ویژگی‌های مختلف از آن‌ها تمرکز شده است. زیرا فاز دوم یعنی تشخیص خودکار بیماری‌ها نیازمند دانش و تخصص پزشکی در زمینه بیماری‌های چشمی و غیر چشمی مورد نظر می‌باشد تا نحوه استفاده از اطلاعات استخراج شده توسط روش‌های ارائه شده در این رساله را برای هر بیماری مشخص نماید و از حوصله این رساله خارج می‌باشد.

۱-۲- اصول عکسبرداری، پردازش، و تحلیل تصاویر دیجیتال شبکه چشم

اکثر تکنیک‌های پردازش تصویر موجود یا از نمایش خاکستری تصاویر استفاده می‌کنند یا کانال‌های رنگی را بصورت جداگانه مورد پردازش قرار می‌دهند. پس از دریافت تصاویر دیجیتال (چه بصورت رنگی و چه بصورت خاکستری) از آن‌ها جهت انتقال به نقاط دیگر و یا پردازش‌های بیشتر با استفاده از رویه‌های محاسباتی مختلف در سیستم‌های تحلیل خودکار تصاویر پزشکی استفاده خواهد شد. اجزاء مختلف این سیستم‌ها را در شکل ۱-۱ می‌توانید مشاهده نمایید. در ادامه جزئیات این بخش‌ها را خواهیم دید.



شکل ۱-۱- اجزاء سیستم‌های پردازش خودکار تصاویر پزشکی

۱-۲-۱- عکسبرداری دیجیتال در چشم پزشکی

اولین گام در تحلیل تصاویر دیجیتال چشم گرفتن عکس از ناحیه شبکیه چشم می‌باشد. برای اینکار از دوربین‌های دیجیتال Fundus استفاده می‌شود. این نوع دوربین‌ها بدون نیاز به تزریق مواد رادیواکتیو و یا وارد شدن در داخل بدن امکان عکسبرداری از سطح شبکیه چشم را فراهم می‌کنند. نور منعکس شده از سطح شبکیه توسط سنسورهای دیجیتالی CCD یا CMOS دریافت شده و این سنسورها شدت نور دریافتی را به ولتاژ الکتریکی تبدیل کرده و در نهایت این مقادیر برای هر نقطه از تصویر (پیکسل) بصورت دیجیتال تبدیل و ذخیره می‌گردند. در دوربین‌های رنگی برای هر نقطه سه سنسور حساس به رنگ‌های اصلی قرمز، سبز و آبی وجود دارد تا تصاویر ورودی را بصورت رنگی عکسبرداری کنند. سنسورهای CCD دارای کیفیت بالاتری هستند اما در مقابل سنسورهای CMOS دارای مصرف توان کمتر، طول عمر بیشتر و قیمت پایین تری هستند. خروجی دوربین‌های Fundus هم بصورت خام با پسوند raw و هم به صورت فرمت‌های استاندارد JPEG و TIF در اختیار اپراتور قرار می‌گیرد. در این رساله ما از فرمت‌های استاندارد بهره گرفته ایم. در شکل ۱-۲ دو نمونه از دوربین‌های Fundus نشان داده شده‌است.

۱-۲-۲- پردازش تصاویر

در پردازش تصاویر معمولاً از اعمال عملیات‌های محاسباتی مختلف برای تبدیل مقادیر پیکسل‌ها استفاده می‌شود. در این عملیات‌ها ممکن است فقط از مقدار هر پیکسل استفاده شود یا اینکه علاوه بر مقدار پیکسل مربوطه از مقادیر سایر پیکسل‌های موجود در همسایگی آن نیز استفاده گردد. در یک حالت پیچیده تر ممکن است علاوه بر پیکسل‌های همسایه از پیکسل‌های سایر تصاویر برای استخراج ویژگی‌های کلی یک دسته از تصاویر استفاده گردد. بطور کلی هدف از پردازش تصاویر پزشکی در یکی از سه دسته زیر قرار می‌گیرد [۷]:

(۱) بهسازی تصاویر.

(۲) بازیابی تصاویر.

(۳) سگمنت کردن تصاویر.

کیفیت تصاویر گرفته شده معمولاً تحت تاثیر عواملی همچون شدت روشنایی غیر یکنواخت، عدم تنظیم تصویر در فاصله کانونی مناسب^۱ و خرابی در سنسورها قرار می‌گیرد. بنابراین برای ارائه یک پردازش و تحلیل مناسب باید بهسازی تصاویر مورد توجه قرار گیرد. معمولاً در الگوریتم‌های بهسازی با دستکاری مقدار پیکسل‌ها سعی می‌کنند که وضوح تصویر ورودی را بیشتر کنند.

در بازیابی تصاویر سعی می‌شود که تصویر اصلی را از روی تصویر خراب شده به خاطر عواملی همچون تار شدگی و نویز استخراج نمایند.

عملیات سگمنت کردن برای تقسیم تصویر به زیر نواحی مورد نظر جهت پیدا کردن و پردازش ساختارهای مختلف در آن‌ها می‌باشد. تصاویر بدست آمده از عملیات سگمنت کردن بصورت باینری خواهد بود. در این تصاویر نقاط و نواحی مورد نظر دارای مقدار یک بوده و سایر نقاط دارای مقدار صفر خواهند بود. پردازش و تحلیل نهایی تصاویر شبکه چشم روی همین تصاویر باینری خواهد بود. رویه‌های خودکار و یا پزشکان متخصص از این تصاویر برای تشخیص بیماری‌های مختلف استفاده خواهند کرد.



ب



الف

شکل ۱-۲- دوربین‌های دیجیتال Fundus. الف) دوربین TopCon TRV-50 ب) دوربین Canon CX-1

^۱ - Defocus