

تحلیل بی‌نظمی در تصاویر بافت عنبیه برای استخراج نواحی غنی از اطلاعات

امیرحسین امیدوارنیا حسین احمدی نوبری احمد پورصابری آزاد عزیز زاده
aomidvar@ece.ut.ac.ir noubari@ece.ubc.ca a.poursabei@ece.ut.ac.ir Azad.azizzadeh@gmail.com
قطب علمی پردازش هوشمند، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشکده فنی دانشگاه تهران

چکیده - بی‌نظمی بالا در الگوهای بافت عنبیه، مهمترین دلیل استفاده از این تصاویر در سیستم‌های تشخیص عنبیه است. به علاوه، در مقالات مختلف، این بی‌نظمی را ناشی از یک فرآیند ژنتیکی کاملا تصادفی در دوران رشد جنینی دانسته‌اند. از طرفی، انتخاب ناحیه مناسب در نوار نگاشته شده عنبیه برای استخراج ویژگی در سیستم‌های عنبیه از اهمیت بسزایی برخوردار است، چرا که علاوه بر استخراج ویژگی‌های غنی‌تر، باعث کاهش میزان محاسبات نیز می‌گردد. در این مقاله، ابتدا یک معیار بی‌نظمی براساس بعد فرکتالی هیگوجی معرفی می‌گردد که قادر است سیگنال‌های یک‌بعدی معین را از تصادفی جدا سازد. سپس، با انتخاب این معیار به‌عنوان یک آماره جدید در آزمون فرض‌ها، نشان خواهیم داد که الگوهای بافت عنبیه کاملا تصادفی هستند. به علاوه، یک ویژگی از تصاویر عنبیه معرفی خواهیم نمود که در تمام عنبیه‌ها به لحاظ آماری یکسان هستند. نهایتاً، با استفاده از ویژگی بی‌نظمی الگوهای عنبیه، یک روش جدید برای استخراج نواحی بی‌نظم‌تر و غنی از اطلاعات در تصاویر عنبیه معرفی خواهیم نمود.

کلید واژه - عنبیه، ابعاد فرکتالی، فضای حالت، استخراج ویژگی

- مقدمه

عمودی است [۳]. البته، با توجه به اینکه این نگاشت، یک نگاشت چند به یک است و بعد فضا را کاهش می‌دهد، بنابراین اطلاعات زیادی از تصویر را از دست خواهیم داد و ولی با این حال، توانسته‌ایم یک نمایش یک‌بعدی از تصویر ارائه دهیم که تا حدودی، منعکس کننده اطلاعات عمق و پستی و بلندی‌های آن است. حال می‌توان به راحتی این سیگنال یک‌بعدی را در فضای حالت embed نمود و مسیر حالت آن را بازسازی کرد. خصوصیات فرکتالی سیگنال، از ویژگی‌هایی است که در این فضا قابل دستیابی است. از طرف دیگر، بسیاری از سیستم‌هایی که در حوزه زمان دارای رفتار کاملا بی‌نظم هستند، در فضای حالت از یک نظم بسیار دقیق پیروی می‌کنند. به‌عنوان مثال، سیستم دینامیکی لورنز در حوزه زمان رفتاری کاملا بی‌نظم دارد، در حالی که مسیر فضای حالت آن دارای یک الگوی مشخص و منظم است [۴]. با در نظر گرفتن این واقعیت، می‌توان رفتار سیگنال‌های یک‌بعدی عنبیه را در فضای حالت مطالعه نمود و از نظم احتمالی آنها آگاه شد. در این مقاله، ما ابتدا یک معیار سنجش بی‌نظمی را معرفی می‌کنیم که در فضای حالت از سیگنال استخراج می‌شود. سپس از این معیار برای نشان دادن رفتار تصادفی تصاویر عنبیه استفاده خواهیم کرد. در واقع، نشان خواهیم داد که فرض معین بودن الگوهای عنبیه کاملا رد

مطالعه دینامیک سیستم‌های غیرخطی، به ما اجازه توصیف خصوصیات فرآیندهای بیولوژیکی را می‌دهد. ابزارهای محاسباتی نظریه آشوب مانند ابعاد فرکتالی و یا مطالعه نمایش سیگنال در فضای فاز، برای مطالعه این گونه فرآیندها بسیار مناسب هستند. از آنجایی که الگوهای بافت عنبیه هر فرد، خصوصیات غیرخطی شدیدی از خود نشان می‌دهند، بنابراین می‌توان از ابزارهای آشوب برای بررسی رفتار آنها استفاده نمود. به علاوه، در برخی از مراجع [۱]، [۲] ادعا شده است که شکل‌گیری بافت عنبیه در فرآیند ژنتیکی رشد جنینی، شدیداً وابسته به شرایط اولیه است. با دانستن این خصوصیت که از ویژگی‌های اصلی سیستم‌های آشوبناک است، این سوال به وجود می‌آید که آیا امکان آشوبناک بودن و یا به عبارت دیگر، معین بودن الگوهای بافت عنبیه وجود دارد یا خیر؟ برای پاسخ به این پرسش، می‌توان نمایش فضای حالت تصاویر عنبیه را مورد مطالعه قرار داد. برای این منظور، لازم است که تصاویر به نوعی به فضای حالت منتقل شوند و بردارهای حالت آنها استخراج گردد. یک راه برای استخراج رفتار بی‌نظم و آشوبناک تصاویر دوبعدی، تصویر کردن شدت روشنائی‌ها و یا طیف قدرت فرکانسی آنها روی محورهای افقی یا

می‌شود. از طرفی، نشان می‌دهیم که این معیار در تمامی تصاویر عنبیه موجود در بانک اطلاعاتی CASIA 1 [5] به لحاظ آماری یکسان است. نهایتاً این معیار را به کار خواهیم برد تا نواحی غنی از اطلاعات را در تصاویر عنبیه استخراج نماییم. این روش جدید قادر است نواحی عاری از الگوهای بی‌نظم را شناسایی و آنها را از تصویر حذف نماید.

در ادامه، در بخش ۲ به معرفی اجزاء و روش‌های مورد استفاده در این مقاله می‌پردازیم. معیار جدید بی‌نظمی به‌عنوان یک نسخه جدید از بعد فرکتالی هیگوجی در این بخش مورد بحث قرار خواهد گرفت. سپس در بخش ۳ که مربوط به نتایج این مقاله است، ویژگی مشترک در تصاویر عنبیه، نمایش تصادفی بودن تصاویر عنبیه و روش جدید استخراج نواحی غنی از اطلاعات معرفی خواهند شد. نهایتاً در بخش ۴، یک جمع‌بندی کلی ارائه خواهیم داد و پیشنهادهای را برای ادامه کار محققان در این زمینه مطرح خواهیم کرد.

- روش‌ها و اجزاء

در این بخش، ابتدا بعد فرکتالی هیگوجی معرفی می‌گردد و این تعریف از بعد فرکتالی، یک روش سریع و مقاوم برای محاسبه بعد در سری‌های زمانی است. سپس، با کمک این تعریف، یک معیار جدید بی‌نظمی ارائه می‌گردد که در صورت استفاده به‌عنوان آماره آزمون فرض‌ها قادر است سری‌های زمانی تصادفی و معین را از هم جدا نماید. ما این معیار را قبلاً در یک مرجع دیگر معرفی کرده‌ایم ولی در اینجا برای تحلیل رفتاری الگوهای عنبیه از آن کمک می‌گیریم.

- - بعد فرکتالی هیگوجی

در روش هیگوجی (برای محاسبه بعد فرکتال از سری داده‌های ورودی $x(1), x(2), \dots, x(N)$ سری جدیدی بصورت زیر ساخته می‌شود:

For $m = 1, 2, \dots, k$

$$x_m^k = \left\{ x(m), x(m+k), x(m+2k), \dots, x\left(m + \left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor k\right) \right\} \quad (1)$$

که m نشان دهنده نقطه اولیه هر سری و $\lfloor \cdot \rfloor$ نشان دهنده جزء صحیح عدد است. برای هر x_m^k طول $L_m(k)$ برابر است با:

$$L_m(k) = \frac{\sum_{i=1}^{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor} |x(m+ik) - x(m+(i-1)k)|}{\left\lfloor \frac{N-m}{k} \right\rfloor k} \quad (2)$$

که N نشان دهنده تعداد نمونه‌ها و m معیار (۲) ضریب نرمالیزاسیون است. برای هر مقدار k ، تعداد k طول بدست می‌آید و سپس میانگین آنها به‌عنوان طول میانگین محاسبه می‌شود. این عمل تا k_{max} تکرار می‌شود. بعد هیگوجی شیب بهترین خط تقریب زده شده با روش کمترین مربع خطا برای $\log(L(k))$ برحسب $\log(k)$ می‌باشد [۶].

۲-۲- نسخه جدید بعد هیگوجی به‌عنوان یک معیار جدید بی‌نظمی

برای محاسبه بعد فرکتالی هیگوجی، از ابتدای سیگنال تا انتهای آن با نرخ‌های متفاوت نمونه‌برداری می‌شود. به‌عبارت دیگر x_m^k سیگنال کاهش نرخ یافته x با طول $k+1$ است. روشی مشابه با این عمل می‌تواند روی x اعمال شود، ولی با محدود کردن طول سیگنال کاهش نرخ یافته به مقدار d :

$$x_m^{k_{new}} = \{x(m) \ x(m+k) \ \dots \ x(m+(d-1)k)\} \quad (3)$$

با این تغییر، d معادل بعد فضای بازسازی شده حالت (embedding space) و k_{new} معادل تاخیر فضایی τ خواهد شد. با افزایش d از ۱ تا $N-(d-1)$ ، یک فضای d بعدی با تاخیر τ تشکیل خواهد شد که بردارهای حالت آن دارای فرم کلی زیر هستند:

$$s_m^\tau = \{x(m) \ x(m+\tau) \ \dots \ x(m+(d-1)\tau)\} \quad (4)$$

میزان تغییرات در بردارهای حالت می‌تواند به‌عنوان یک معیار بی‌نظمی سیگنال embed شده در نظر گرفته شود. در سیستم‌های معین، مسیرهای فضای حالت هموار هستند. این مساله به خاصیت قبض و بسط (stretching and folding) بسترهای جذب در این سیستم‌ها بر می‌گردد. بنابراین تغییرات بردارهای حالت در این سیستم‌ها کمتر از سیستم‌های تصادفی است. در نتیجه بردارهای حالت پایدارتر از بردارهای متناظر حالت در سیستم‌های تصادفی هستند. به‌صورت تجربی نشان داده می‌شود که میزان تغییرات، با افزایش τ به‌صورت نمای زیاد می‌شود. به‌عبارت دیگر، این میزان از قانون توان که تعریف ابعاد فرکتالی است تبعیت می‌نماید. این مقدار را با مجموع نرم‌های اقلیدسی مشتق بردارهای حالت مدل می‌کنیم:

$$G(\tau) = \sum_{m=1}^{N-(d-1)} \left\| \text{diff}(s_m^\tau) \right\| \quad (5)$$

نمودار $\text{Log}(G(\tau))$ بر حسب $\text{Log}(\tau)$ یک شکل قطعه‌ای خطی دارد که شیب ناحیه خطی آن به‌عنوان معیار جدید بی‌نظمی در

- - بررسی تصادفی بودن الگوهای عنبیه با استفاده از معیار جدید بی‌نظمی

در این بخش، امکان وجود تعیین در الگوهای عنبیه مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در واقع، می‌خواهیم بدانیم که آیا ساختار عنبیه به صورت تصادفی است و یا از نظم خاصی تبعیت می‌کند. برای این منظور، یک آزمون فرض تشکیل می‌دهیم که فرض H_0 ، تصادفی بودن و فرض H_1 فرض تعیین سیگنال است. سپس باید تصویر عنبیه را به نحوی به یک سیگنال یک‌بعدی تبدیل کنیم. ما برای این کار، ابتدا نیم دایره پایینی ناحیه حلقوی عنبیه را که نزدیک به مردمک است و احتمال وجود پلک و مژه در آن از جاهای دیگر کمتر است، استخراج می‌کنیم و سپس با چیدن پیکسل‌های این ناحیه در یک بردار یک‌بعدی، یک سیگنال یک‌بعدی تشکیل می‌دهیم که هر المان آن متناظر با یک پیکسل از ناحیه بریده شده عنبیه است. نمودار گام به گام نرمالیزه کردن عنبیه و انتخاب ناحیه مناسب در شکل ۱ نشان داده شده است. پس از این مرحله، معیار جدید بی‌نظمی از سیگنال یک‌بعدی عنبیه استخراج می‌گردد. حال باید توزیع احتمال تصادفی بودن این سیگنال را به دست بیاوریم. برای این منظور، از روش دیتای جایگزین (surrogate data) استفاده می‌نماییم. در این روش، از روی سیگنال اولیه، سیگنال‌های دیگری تولید می‌شوند که شکل ظاهری آنها کاملاً متفاوت با سیگنال اولیه است ولی دارای خصوصیات مشابه سیگنال اولیه هستند. این خواص شامل طیف قدرت یکسان و توزیع احتمال یکسان هستند. برای ساختن یک سیگنال جانشین، کافی است که در سری فوری سیگنال اولیه، ضرایب سری تغییر نکنند ولی فاز جملات سینوسی و کسینوسی به صورت تصادفی عوض شوند. با این عمل، طیف قدرت سیگنال حاصله با طیف قدرت سیگنال اولیه یکسان است، در حالیکه شکل ظاهری آن کاملاً متفاوت شده است.

سپس با متناظر کردن اندیس نمونه‌های سیگنال جانشین با سیگنال اولیه در توزیع فراوانی آن، توزیع احتمال آنها نیز یکسان خواهد شد [۴]. از روی هر سیگنال، ۱۰۰ سیگنال جانشین تولید می‌شود و از هر کدام از آنها، معیار جدید بی‌نظمی استخراج می‌گردد. نمودار هیستوگرام این مقادیر نشان دهنده توزیع احتمال شرطی آزمون H_0 یعنی فرض تصادفی بودن سیگنال است. حال، کافی است که مقدار مستخرج از سیگنال اولیه را با این توزیع مقایسه کنیم. اگر در خارج از توزیع افتاد، سیگنال معین است و در غیر این صورت، سیگنال اولیه خصوصیات تصادفی دارد.

نظر گرفته می‌شود. به عبارت دیگر، $G(\tau)$ به فرم قانون توان است یعنی $G(\tau) \propto \tau^\alpha$. مقدار صفر برای معیار جدید بی‌نظمی به معنی تصادفی بودن محض است، در حالی که مقدار ۱ نشان دهنده تعیین کامل می‌باشد. مثلاً سیگنال‌های یک‌بعدی مانند خط صاف یا سیگنال سینوسی (با تعداد تناوب کم) دارای مقادیر بسیار نزدیک به ۱ هستند و مقدار متناظر با سیگنال نویز سفید گوسی بسیار نزدیک به صفر است. قابل ذکر است که برای سیگنال‌هایی مانند سیگنال سینوسی با طول بسیار زیاد و نرخ نمونه برداری پایین، معیار جدید نمی‌تواند نظم را استخراج کند و مقدار آن نزدیک به صفر خواهد شد.

- نتایج

در این بخش، ما با کمک معیار جدید بی‌نظمی، ابتدا نشان می‌دهیم که الگوهای بی‌نظمی که در تصاویر عنبیه افراد مختلف وجود دارند، طی یک فرآیند کاملاً تصادفی شکل گرفته‌اند. به عبارت دیگر، امکان معین بودن آنها رد می‌شود. این نتیجه با گزارشات قبلی پزشکی در مورد تصادفی بودن فرآیند شکل‌گیری ژنتیکی بافت عنبیه همخوانی کامل دارد. به علاوه، نتایج مندرج در مقاله مرجع آقای داگمن [۷] در زمینه سیستم تشخیص عنبیه را نیز مورد تایید قرار می‌دهد. سپس نشان خواهیم داد که علی‌رغم نظر عموم مبنی بر تفاوت کامل عنبیه افراد، یک ویژگی وجود دارد که در عنبیه همه افراد به طور آماری یکسان است. ما این ویژگی را "مقدار بی‌نظمی" در بافت عنبیه می‌نامیم. به عنوان مثال، در دو اتاق به هم ریخته، هیچ شباهت ظاهری وجود ندارد ولی میزان به هم ریختگی می‌تواند یکسان باشد. این مقدار به هم ریختگی یا بی‌نظمی توسط معیار سنجش بی‌نظمی در این بخش، به صورت کمی در می‌آید و در عنبیه افراد بررسی می‌شود. سپس تشابه آماری آن در جمعیت مورد آزمایش، تایید می‌گردد. نهایتاً با یک روش ابتکاری و با کمک گرفتن دوباره از معیار پیشنهادی بی‌نظمی، نواحی غنی از اطلاعات در نوار مستطیلی نگاشته شده عنبیه استخراج می‌گردد. ما نشان خواهیم داد که این روش می‌تواند نواحی دو بعدی از تصویر عنبیه را که الگوهای بی‌نظمی در آنها بیشتر هستند، تشخیص دهد و از نواحی مربوط به سفیدی چشم جدا نماید.

دوتایی مقادیر بی‌نظمی سیگنال‌های یک‌بعدی برای هر شخص به تنهایی محاسبه شدند. سپس هیستوگرام این فواصل رسم گردید. این هیستوگرام، یک توزیع نسبتاً گوسی با میانگین صفر و انحراف معیار $0,0424$ خواهد شد. واضح است که هر چه تعداد فواصل بیشتر شود، شکل این توزیع بیشتر به سمت یک توزیع کامل زنگوله‌ای شکل نزدیک خواهد شد. این فرآیند برای فواصل اقلیدسی تمام ترکیبات دوتایی از مقادیر بی‌نظمی افراد مختلف تکرار می‌شود تا توزیع برون کلاسی نیز به دست بیاید. شکل ۳ نشان می‌دهد که توزیع برون کلاسی، یک توزیع کاملاً گوسی با میانگین صفر و انحراف معیار $0,0829$ می‌شود. توزیع برون کلاسی به روشنی نشان می‌دهد که مقدار بی‌نظمی بردارهای یک‌بعدی عنبیه افراد مختلف به لحاظ آماری بسیار نزدیک به هم هستند. به عبارت دیگر، این مقدار استخراج شده در تمامی تصاویر عنبیه از لحاظ آماری یکسان است.

- - استخراج نواحی غنی از اطلاعات عنبیه با

استفاده از یک روش جدید

در این بخش، یک روش جدید برای تشخیص نواحی دارای اطلاعات بیشتر در تصاویر عنبیه ارائه می‌گردد. در این روش که از ابزار پیشنهادی تخمین بی‌نظمی کمک می‌گیرد، قسمت‌هایی از نوار مستطیلی نگاشته شده عنبیه که الگوهای بی‌نظم بیشتری را در خود جای داده‌اند، شناسایی و بریده می‌شوند. با توجه به وجود الگوهای بیشتر در این نواحی، احتمال وجود اطلاعات تفکیک کننده غنی‌تر نیز در این نواحی بالا می‌رود. به علاوه، در قسمت‌های مربوط به سفیدی چشم، مقادیر شدت روشنایی یکنواخت‌تر از نواحی اطراف مردمک هستند. بنابراین منطقی است که این نواحی کمتر در فرآیند کد کردن عنبیه دخیل شوند. روش جدید، قادر است سفیدی چشم را تشخیص دهد و آن را حذف نماید. همچنین اگر پلک نیز در نوار مستطیلی شکل نگاشته شده باشد، با اعمال این روش حذف خواهد شد، چرا که سطحی صاف و یکنواخت را در نوار اشغال می‌کند. با این حال، وجود مژه‌ها ممکن است در عملکرد این روش اختلال ایجاد کند زیرا خود، عاملی برای افزایش بی‌نظمی هستند. با این حال، برای کاهش تاثیر مژه‌ها در عملکرد نیز تمهیداتی اندیشیده شده است. در ابتدای کار، ناحیه حلقوی تمام عنبیه‌ها به نوارهای مستطیلی 512×128 نگاشته می‌شوند. سپس هر نوار مستطیلی به نوارهای افقی با طول برابر ولی با پهنای کمتر تقسیم می‌شود. بنابراین هر نوار تبدیل به 8 نوار افقی با سایز 512×16 خواهد شد. در این

برای بررسی تصاویر عنبیه، ابتدا از روی تمام تصاویر موجود در بانک اطلاعاتی CASIA Version 1.0 معیار بی‌نظمی را به ترتیبی که گفته شد، استخراج می‌کنیم. سپس هیستوگرام مربوط به این مقادیر را با هیستوگرام مربوط به سیگنال‌های جانشین آنها مقایسه می‌کنیم. شکل ۲، دو هیستوگرام را که نشان دهنده توزیع آزمون H_0 (تصادفی بودن) و توزیع آزمون H_1 (معین بودن) هستند نشان می‌دهد. همانگونه که از شکل مشخص است، توزیع احتمال شرطی دو فرض، کاملاً در هم تداخل دارند. این تداخل به تصادفی بودن سیگنال‌های اصلی تعبیر می‌شود، چراکه نشان دهنده مشابهت مقادیر مستخرج از سیگنال‌های اصلی با مقادیر مستخرج از سیگنال‌های تصادفی جانشین آنهاست. بنابراین، فرض H_1 رد می‌شود و فرض H_0 یعنی تصادفی بودن سیگنال‌های اولیه قبول می‌گردد. بدین‌وسیله، نتیجه می‌گیریم که سیگنال‌های یک‌بعدی عنبیه، سیگنال‌های کاملاً تصادفی هستند و به تبعیت از آن، تصاویر دو بعدی عنبیه که الگوهای بی‌نظم را در بر می‌گیرند نیز کاملاً تصادفی می‌باشند.

- - معرفی یک ویژگی جدید از تصاویر عنبیه که در

همه افراد مشترک است

معیار جدید بی‌نظمی برای هر کدام از سیگنال‌های یک‌بعدی که از روی تصاویر بریده شده عنبیه به دست آمده بودند، استخراج شد. از آنجایی که در بانک اطلاعاتی CASIA I، تصاویر عنبیه 108 نفر موجود است و از هر نفر، 7 تصویر وجود دارد، بنابراین برای هر سوژه 7 مقدار بی‌نظمی استخراج می‌گردد. با توجه به بی‌نظمی بالای سیگنال‌های یک‌بعدی عنبیه، بنابراین مقدار نسبتاً پایینی برای برای هر سیگنال قابل انتظار است. همانگونه که شکل ۳ نشان می‌دهد، تمام مقادیر محاسبه شده در محدوده $0,1$ تا $0,55$ هستند که منطقی به نظر می‌رسد. میزان مشابهت مقادیر بی‌نظمی مربوط به هر سوژه در مقایسه با سوژه‌های دیگر در بانک اطلاعاتی، می‌تواند با توزیع‌های برون کلاسی (imposter) و درون کلاسی (genuine) مورد ارزیابی قرار بگیرد. توزیع درون کلاسی نشان دهنده توزیع تمام فواصل درون کلاس‌ها است، در حالیکه توزیع برون کلاسی توزیع فواصل بین کلاس‌ها را نشان می‌دهد، یعنی فاصله اولین مقدار بی‌نظمی سوژه 1 با تمام مقادیر افراد دیگر، فاصله دومین مقدار بی‌نظمی سوژه 1 با تمام مقادیر افراد دیگر و به همین ترتیب. برای به‌دست آوردن این دو توزیع، ابتدا فاصله اقلیدسی تمام ترکیبات

مرحله، ۴۰ فیلتر گابور دوبعدی با سایز ۵×۵، در ۵ مقیاس و ۸ جهت ساخته می‌شوند و قسمت حقیقی تمام آنها با هم جمع می‌شوند.

بانک اطلاعاتی CASIA1 بدست آمده بود، نشان داد که ساختار بافت عنبیه دارای رفتاری کاملاً تصادفی و غیرمعین است. به‌علاوه، یک ویژگی جدید و مبتنی بر میزان بی‌نظمی در بافت عنبیه معرفی گردید که در تمام افراد به لحاظ آماری یکسان است. این نتیجه می‌تواند در صورت تایید آزمایشات بعدی به‌عنوان یک معیار سلامت افراد مورد استفاده قرار گیرد. نهایتاً، ما با کمک تحلیل غیرخطی ارائه شده یک روش جدید ارائه دادیم که قادر است نواحی دارای اطلاعات بیشتر در بافت عنبیه را استخراج نماید. به‌عبارت دیگر، نواحی که الگوهای بی‌نظمی در آنها بیشتر است، به‌عنوان نواحی بی‌نظم‌تر و دارای اطلاعات تفکیک کننده بیشتر توسط این روش آشکار می‌شوند. مطالعات ما برای مقاوم‌تر ساختن این روش و استفاده از آن در سیستم‌های تشخیص عنبیه ادامه دارد.

- مراجع

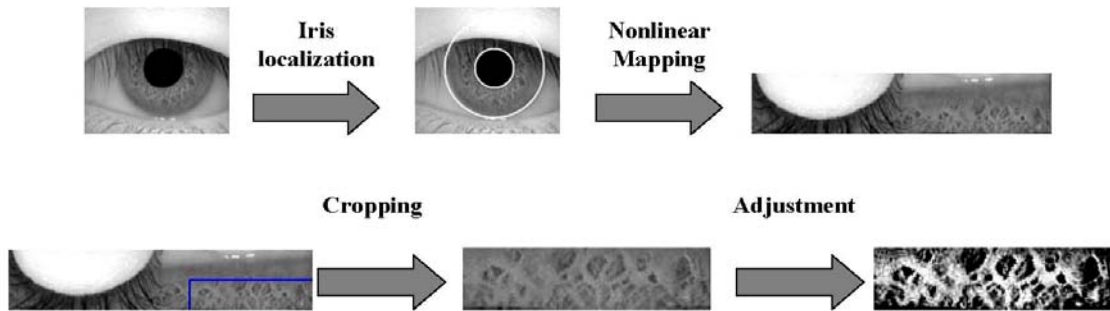
- [1] Richard P. Wildes, "Iris Recognition: An Emerging Biometric Technology", Proceeding of the IEEE, VOL. 85, No. 9, Sep. 1997
- [2] F. H. Adler, *Physiology of the Eye*. St. Louis, MO: Mosby, 1965
- [3] Yuxin Liu, Yanda Li, "Image feature extraction and segmentation using fractal dimension", International Conference on Information, Communications and Signal Processing, Singapore, September 1997
- [4] Julien Clinton Sprott, "Chaos and Time Series Analysis", Oxford University Press, 2003
- [5] National Laboratory of Pattern Recognition, Chinese Academy of Sciences, available at: <http://www.sinobiometrics.com>
- [6] Higuchi, T., "Approach to an irregular time series on the basis of the fractal theory", *Physica*. 31D, pp 277–283, 1988
- [7] J. G. Daugman, "High confidence visual recognition of persons by a test of statistical independence," *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, vol. 15, no. 11, pp. 1148–1161, 1993.

پس از آن، هر نوار افقی با این فیلتر برآیند، فیلتر می‌شود. سپس تبدیل رادون در جهت زاویه صفر که معادل با تصویر کردن روی محور x ها است، روی هر نوار افقی اعمال می‌گردد. حاصل کار، ۸ پروفایل با طول ۵۱۲ خواهد بود که به نوعی، میزان بی‌نظمی را در هر کدام از ۸ نوار منعکس می‌کنند. البته قابل ذکر است که چون این نگاشت، یک نگاشت چند به یک (many to one) است، بنابراین اطلاعات زیادی از تصویر دوبعدی از دست می‌رود ولی در عوض، توانسته‌ایم یک نمایش یک‌بعدی از تصویر به دست بیاوریم که منعکس کننده رفتار بی‌نظم آن است. واضح است که در نواحی با شدت روشنایی یکنواخت‌تر، پروفایل‌های به‌دست آمده دارای نظم بیشتری هستند و هموارتر می‌باشند. از هر پروفایل، معیار جدید بی‌نظمی استخراج می‌شود و نوارهای متناظر با ۴ تا از بیشترین مقادیر به‌عنوان بی‌نظم‌ترین نوارها انتخاب می‌گردند. همین کار در جهت y و روی پروفایل‌های y نوارهای عمودی نیز تکرار می‌شود، با این تفاوت که در جهت y به جای ۸ نوار، ۱۶ نوار با سایز ۳۲×۱۲۸ استخراج می‌شوند و بنابراین، ۱۶ پروفایل با طول ۱۲۸ خواهیم داشت. از اشتراک بی‌نظم‌ترین نواحی عمودی و بی‌نظم‌ترین نواحی افقی، نواحی بی‌نظم دوبعدی انتخاب می‌گردند. قابل ذکر است که پروفایل گیری در جهت y، مشکل مژه‌ها را تا حد زیادی حل می‌کند چراکه مژه‌ها در پروفایل‌های x باعث بی‌نظمی زیاد می‌شوند ولی از آنجایی که مژه‌ها را می‌توان باریکه‌های تقریباً عمودی در نظر گرفت، در تصویر کردن روی محور y، وجود آنها منجر به بی‌نظمی زیاد نمی‌شود و تاثیر زیادی روی بی‌نظمی کل پروفایل‌های y نخواهد داشت. در نتیجه، با اشتراک‌گیری، اثر مزاحم مژه‌ها نیز تا حدودی حل خواهد شد. شکل ۴ نتیجه اعمال الگوریتم را بر روی یک نوار نگاشته شده عنبیه نشان می‌دهد.

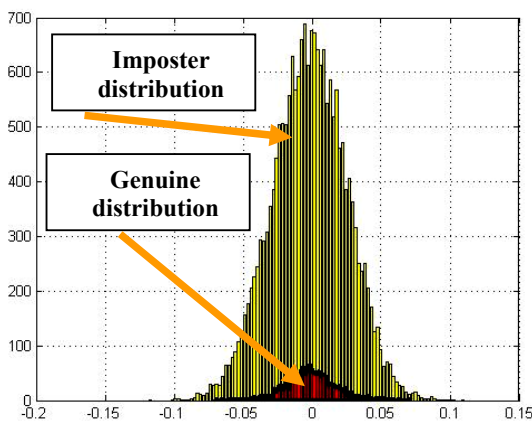
$$G = \sum_{\substack{\text{Scale}=1\text{to}5 \\ \text{orientation}=1\text{to}8}} G_{\text{scale}}^{\text{orientation}} \quad (6)$$

- نتیجه‌گیری

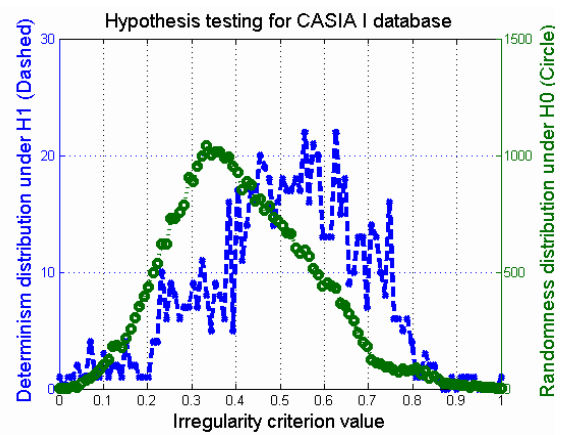
در این مقاله، ضمن معرفی یک نسخه جدید از بعد فرکتالی هیگوجی به‌عنوان یک معیار جدید بی‌نظمی، کاربرد این معیار در آنالیز رفتار غیرخطی و بی‌نظم الگوهای بافت عنبیه افراد مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج ما که از اعمال این معیار روی



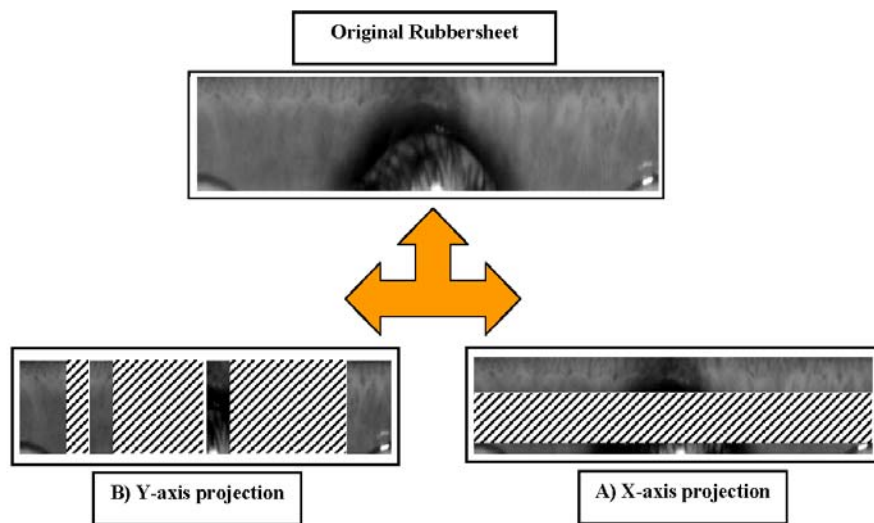
شکل ۱: نمودار گام به گام نرمالیزه کردن ناحیه عنبیه و انتخاب ناحیه‌ای که احتمال وجود پلک‌ها و مژه‌ها در آن کمتر است



شکل ۳: توزیع‌های درون کلاسی (قرمز) و برون کلاسی (زرد) فواصل مقادیر بی‌نظمی. هر دو توزیع، گوسی با میانگین صفر و انحراف معیار بسیار کم هستند.



شکل ۲: توزیع‌های احتمال فرض‌های تصادفی بودن و معین بودن سری زمانی ورودی. همانگونه که مشخص است، دو توزیع کاملاً در هم تداخل کرده‌اند. بنابراین، فرض تعیین سیگنال رد می‌شود.



شکل ۴: با اعمال روش جدید در راستای محورهای افقی و عمودی، نواحی که بی‌نظمی در آنها کمتر است شناسایی و حذف می‌شوند. نواحی هاشور خورده در تصاویر A و B، نواحی متناظر با بی‌نظمی کمتر را نشان می‌دهند