



بهینه‌سازی سرعت آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی با بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات (PSO)

سامان پروانه

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات

saman.parvaneh@gmail.com

عمادالدین فاطمی‌زاده

دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده برق

fatemizadeh@sharif.edu

حمید بهنام

دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده برق

behnam@iust.ac.ir

واژه‌های کلیدی: ناحیه‌بندی تصویر، آنتروپی، محتوای اطلاعاتی و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات (PSO)

1- مقدمه

ناحیه‌بندی تصویر، فرآیندی است که در طی آن یک تصویر به زیر نواحی‌ای که یک یا چند ویژگی در داخل آنها همگن است، تقسیم می‌شود. ناحیه‌بندی یک مرحله مهم در بسیاری از کاربردها بویژه موارد پزشکی از جمله اندازه‌گیری، سه‌بعدی سازی، تشخیص با کمک کامپیوتر و ... می‌باشد. ناحیه‌بندی یک ابزار مهم در پردازش تصاویر بویژه تصاویر پزشکی است و استفاده از آن در بسیاری از کاربردها مفید شده است. کاربردها شامل آشکارسازی مرزهای شریانها در آنژیوگرام، تعیین ضایعه مالتیپل اسکلروزیس [7]¹، تحلیل‌های جراحی²، اندازه‌گیری حجم تومور و پاسخ آن به درمان، طبقه‌بندی اتوماتیک سلولهای خونی، مطالعه رشد مغز، آشکارسازی

چکیده: ناحیه‌بندی تصویر با خودکار کردن یا تسهیل نمودن تشخیص ساختارهای مختلف و نواحی مورد علاقه، نقش مهمی را در بسیاری از کاربردهای تصویرگری بازی می‌کند. در این مقاله روش آنتروپی به همراه روش آستانه‌گذاری جهت تعیین آستانه بهینه جهت جداسازی شیء از زمینه مطرح شده است و با بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات سرعت این آستانه‌یابی افزایش یافته است و امکان ناحیه‌بندی زمان حقیقی فراهم شده است. روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی از ویژگی یک‌بعدی هیستوگرام سطح خاکستری برای ناحیه‌بندی استفاده کرده است زیرا این هیستوگرام توزیع اطلاعات سطح خاکستری را شامل می‌شود. در این مقاله الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات با موفقیت با آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی بکار گرفته شد و نتایج بدست آمده بر روی تصاویر واقعی نشان می‌دهد که روش مطرح شده با حجم محاسباتی کمتری نتایج ناحیه‌بندی مناسبی را نتیجه می‌دهد که با روش جستجوی کامل تطابق دارد. مزیت این روش نسبت به روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی با جستجوی کامل، سرعت بالاتر آن در یافتن آستانه بهینه می‌باشد.

¹ Multiple Sclerosis Lesion

² Surgery Simulation

میکروکالسیفیکاسیون³ در ماموگرام، منطبق کردن تصویر⁴، آشکارسازی تومور و ... است [3].

در این مقاله بدلیل ساده بودن و راحتی پیاده‌سازی، از روش آستانه‌گذاری که یک ابزار عمومی برای ناحیه‌بندی تصویر بشمار می‌آید استفاده شده است. استفاده از آستانه‌گذاری بویژه زمانی که به پردازش زمان حقیقی⁵ احتیاج داریم، بسیار باارزش است.

برای آستانه‌گذاری باید آستانه مناسب برای ناحیه‌بندی شیء از زمینه تعیین شود که برای این آستانه‌یابی روشهای مختلفی مطرح شده است. در این مقاله از روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی جهت تعیین آستانه استفاده شده است که بعنوان یک روش جدید و کارا به نتایج مطلوبی بویژه بر روی تصاویر پزشکی تشدید مغناطیسی منجر شده است. آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی برای زمینه‌های تصویرگری غیرپزشکی از جمله ناحیه‌بندی تصاویر نواحی مختلف، ناحیه‌بندی تصاویر مادون قرمز و ... استفاده شده است و به ناحیه‌بندی تصاویر تشدید مغناطیسی، آشکارسازی ضایعه MS و توموگرافی کامپیوتری بعنوان نمونه‌هایی از کاربرد پزشکی آن می‌توان اشاره کرد.

این مقاله بشرح زیر بخش‌بندی شده است. در بخش 2 روش آستانه‌گذاری سراسری و آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی به‌مراه شرح محاسباتی و تئوری مرتبط با آن برای تعاریف آنتروپیهای شانون، تیسالیس و رنئی آورده شده است و نحوه تعمیم روش آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی به تعریفهای آنتروپی دیگر ذکر شده است. در بخش 3 الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و نکات مرتبط به آن تشریح شده است و در بخش 4 ترکیب دو روش آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی و نتایج آن آورده شده است. در انتها، نتیجه‌گیری روش ارائه شده ذکر شده است.

2- ناحیه‌بندی با روش آستانه‌گذاری مبتنی بر

آنتروپی

آستانه‌گذاری تصویر یک مسئله طبقه‌بندی پیکسل می‌باشد. هدف اصلی آن، طبقه‌بندی پیکسلهای یک تصویر به دو کلاس است: یکی پیکسلهایی که به کلاس شیء متعلق هستند و دیگری پیکسلهایی که به کلاس زمینه متعلق هستند. برای این طبقه‌بندی، پیکسلهایی که مقدار سطح خاکستری آنها کوچکتر یا مساوی آستانه مشخص است به کلاس شیء انتساب می‌دهیم و پیکسلهای دیگر را که مقدار سطح خاکستری آنها بالای آستانه است به کلاس زمینه نسبت می‌دهیم [1]. رابطه ریاضی ناحیه‌بندی مبتنی بر آستانه‌گذاری عبارت است از:

$$j(x, y) = \begin{cases} b_0 & i(x, y) \leq t \\ b_1 & i(x, y) > t \end{cases} \quad (1)$$

که t آستانه‌ای است که بمنظور ناحیه‌بندی باید استفاده شود و پارامتری است که باید از تصویر بدست بیاید. روشهای مختلفی برای تعیین این آستانه وجود دارد که در این مقاله از روش مبتنی بر آنتروپی و استفاده از محتوای اطلاعاتی تصویر برای ناحیه‌بندی استفاده شده است [7]. روش آستانه‌گذاری استفاده شده در این مقاله از نوع سراسری می‌باشد بدین معنی که یک آستانه برای کل تصویر تعیین می‌شود. در رابطه $i(x, y), (1)$ تصویر اصلی و $j(x, y)$ تصویر باینری حاصل از ناحیه‌بندی می‌باشد.

در آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی دو توزیع احتمال مستقل را در نظر می‌گیریم که یکی مربوط به شیء است و دیگری مربوط به زمینه می‌باشد سپس آستانه‌ای را بعنوان آستانه بهینه در نظر می‌گیریم که مجموع دو آنتروپی شیء و زمینه را ماکزیمم کند. در واقع در این آستانه بهینه، محتوای اطلاعاتی شیء و زمینه ماکزیمم شده است و آستانه یافته شده بهترین آستانه‌ای است که حداکثر اطلاعات را هم در شیء داریم و هم در زمینه [4]. در آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی ابتدا هیستوگرام سطح خاکستری کل تصویر را که تخمینی از احتمال رخ دادن سطوح خاکستری می‌باشد را می‌یابیم. اگر تصویری داشته باشیم که از k سطح خاکستری تشکیل شده باشد از هیستوگرام سطح خاکستری $p_i = p_1, p_2, \dots, p_k$ را که توزیع احتمال سطوح

³ Microcalcification

⁴ Image Registration

⁵ Real Time

مقدار t ، توزیعیهای احتمال P_A و P_B را بدست می آوریم و آنتروپیهی متناظر با آنها را مطابق روابط (5) و (6) تعیین می کنیم و جمع آنها را بر اساس رابطه (7) بدست می آوریم. در گام آخر t ی را بعنوان آستانه بهینه تعیین می کنیم که مجموع آنتروپیهی شیء و زمینه در آن ماکزیمم شود. رابطه زیر جمع بندی بحث فوق در حالتی است که از تعریف آنتروپی تیسالیس استفاده می کنیم :

$$t_{opt}^{Tsalis} = \operatorname{argmax} [S_T^A(t) + S_T^B(t) + (1-q) \cdot S_T^A(t) \cdot S_T^B(t)] \quad (8)$$

دلیل ذکر روش مبتنی بر آنتروپی تیسالیس این است که این آنتروپی، اطلاعات غیرجمع شونده تصویر را نیز در نظر می گیرد.

بصورت مشابه با توجه به تعریف آنتروپی شانون

$$(S_{BG}(P) = -k \sum_{i=1}^N p_i \log p_i)$$

فرآیند آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی شانون بشرح زیر است. آنتروپیهی پیشین شیء و زمینه بقرار زیر محاسبه می شود [5,7]:

$$S_{BG}^A(t) = -\sum_{i=1}^l \left(\frac{p_i}{P(A)} \right) \log_2 \left(\frac{p_i}{P(A)} \right) \quad (9)$$

$$S_{BG}^B(t) = -\sum_{i=t+1}^k \left(\frac{p_i}{P(B)} \right) \log_2 \left(\frac{p_i}{P(B)} \right) \quad (10)$$

مجموع این دو آنتروپی پیشین بر اساس خاصیت جمع پذیری آنتروپی شانون برابر است با:

$$S_{BG}(t) = [S_{BG}^A(t) + S_{BG}^B(t)] \quad (12)$$

آستانه ای که معادله بالا را ماکزیمم می کند را بعنوان مقدار آستانه بهینه در نظر می گیریم:

$$t_{opt}^{BG} = \operatorname{arg max} [S_{BG}^A(t) + S_{BG}^B(t)] \quad (13)$$

تعریف آنتروپی رینی مطابق رابطه (14) است [6,7]:

$$S_R(P, q) = \frac{1}{1-q} \log_b \sum_{i=1}^N p_i^q \quad (14)$$

با توجه به تعریف فوق و با استفاده از توزیعیهای احتمال P_A و P_B آنتروپیهی دو کلاس شیء و زمینه را بدست می آوریم:

$$S_R^A(t) = \frac{1}{1-q} \cdot \log_2 \sum_{i=1}^l \left(\frac{p_i}{P(A)} \right)^q \quad (15)$$

خاکستری است بدست می آوریم. با بکارگیری توزیع $p_i = p_1, p_2, \dots, p_k$ ، دو توزیع احتمال کلاس A و کلاس B را که مربوط به شیء و زمینه هستند بدست می آوریم (این دو توزیع احتمال با فرض اینکه آستانه را در سطح خاکستری t قرار داده ایم بدست می آید):

$$P_A : \frac{p_1}{P(A)}, \frac{p_2}{P(A)}, \dots, \frac{p_l}{P(A)} \quad (2)$$

$$P_B : \frac{p_{t+1}}{P(B)}, \frac{p_{t+2}}{P(B)}, \dots, \frac{p_k}{P(B)} \quad (3)$$

دلیل تقسیم بر $P(A) = \sum_{i=1}^l p_i$ و $P(B) = \sum_{i=t+1}^k p_i$ این است که در روش آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی دو توزیع احتمال مستقل را در نظر می گیریم و با این نرمالیزه کردن دو توزیع احتمال مستقل را بدست می آوریم. حال با توجه به اینکه هدفمان استفاده از کدام تعریف آنتروپی است، در هر کدام از دو توزیع احتمال فوق آنتروپی را بدست آورده و مجموع آن دو آنتروپی را محاسبه می کنیم. برای مثال اگر هدفمان استفاده از تعریف آنتروپی تیسالیس باشد که بشکل زیر تعریف می شود [4,7]:

$$S_T(P, q) = \frac{\sum_{i=1}^N p_i^q - 1}{1-q} = \frac{1}{1-q} \sum_{i=1}^N p_i (1 - p_i^{q-1}) \quad (4)$$

آنتروپیهی شیء و زمینه برابر می شوند با:

$$S_T^A(t) = \frac{1 - \sum_{i=1}^l \left(\frac{p_i}{P(A)} \right)^q}{q-1} \quad (5)$$

$$S_T^B(t) = \frac{1 - \sum_{i=t+1}^k \left(\frac{p_i}{P(B)} \right)^q}{q-1} \quad (6)$$

و با جمع این دو آنتروپی که برای آنتروپی تیسالیس این جمع از قاعده شبه جمع پذیری پیروی می کند داریم:

$$S_T(t) = \frac{1 - \sum_{i=1}^l (p_A)^q}{q-1} + \frac{1 - \sum_{i=t+1}^k (p_B)^q}{q-1} \quad (7)$$

$$+ (1-q) \cdot \frac{1 - \sum_{i=1}^l (p_A)^q}{q-1} \cdot \frac{1 - \sum_{i=t+1}^k (p_B)^q}{q-1}$$

آستانه بهینه مقدار t ی است که $S_T(t)$ را ماکزیمم می کند. بنابراین ما سطح آستانه مفروض t را جابجا می کنیم و در هر

تطبيق مستقيم اطلاعات به جای مشتقهای تابع یا کارهای مشابه با آن بمنظور راهنمایی جستجو استفاده می شود.

PSO با یک گروه از ذرات (حلهای) تصادفی مقداردهی اولیه می شود و سپس با بروزرسانی⁹ زایشها¹⁰، نقطه بهینه را جستجو می کند. ذرات از کشفیات و تجارب قبلی ذرات دیگر در طی پیمایش بهره مند می شوند و از آنها برای جستجوی مقادیر بالاتر تابع هدف استفاده می کنند. i را بعنوان اندیس یک ذره در داخل گروه ذرات در نظر می گیریم. هر کدام از m ذره با سرعت v_i در امتداد فضای جستجوی n- بعدی (\mathcal{R}^n) پرواز می کنند که سرعت v_i برطبق بهترین راه حل قبلی خود ذره (s_i) و بهترین راه حل کل گروه ذرات (\hat{s}) و بصورت دینامیکی تنظیم می شود. بروزرسانی سرعت بصورت ترکیب خطی بردارهای موقعیت و سرعت محاسبه می شود. ذرات بصورت متقابل اثر می کنند و بر طبق معادله زیر جابجا می شوند:

$$v_i^{(t+1)} = wv_i^{(t)} + c_1r_1^{(t)}(s_i^{(t)} - p_i^{(t)}) + c_2r_2^{(t)}(\hat{s}^{(t)} - p_i^{(t)}) \quad (18)$$

$$p_i^{(t+1)} = v_i^{(t+1)} + p_i^{(t)} \quad (19)$$

که $r_1^{(t)}, r_2^{(t)} \sim UNIF(0,1)$ اعداد تصادفی بین صفر و یک هستند. c_1 و c_2 فاکتورهای یادگیری هستند و معمولاً آنها را برابر با 2 قرار می دهیم. w وزن اینرسی است. برای جلوگیری از جابجایی سریع ذرات در فضای جستجو می توانیم با مشخص کردن حدهای پایین و بالای v_i ، بردارهای سرعت را ببریم¹¹. سپس می توانیم رویه استاندارد برای جستجوی نقطه بهینه را استفاده کنیم. جستجو کردن یک فرآیند تکرار است و معیار توقف این تکرار یا رسیدن به تعداد ماکزیمم تکرار است یا ارضاء شدن شرط خطای مینیمم. رویه استاندارد برای این الگوریتم بهینه سازی بصورت زیر توصیف شده است:

1- تعداد دفعات تکرار یعنی t را برابر صفر قرار

می دهیم. گروه ذرات را بگونه ای بصورت

تصادفی مقداردهی اولیه می کنیم که موقعیت

p_i^0 هر کدام از ذره ها، شرایط از پیش تعیین

$$S_R^B(t) = \frac{1}{1-q} \cdot \log_2 \sum_{i=t+1}^k \left(\frac{p_i}{P(B)} \right)^q \quad (16)$$

مجدداً مقدار آستانه بهینه بر اساس ماکزیمم کردن مجموع دو آنتروپی فوق بدست می آید:

$$t_{opt}^{Re nyi} = \arg \max [S_R^A(t) + S_R^B(t)] \quad (17)$$

بحث فوق را برای هر تعریف آنتروپی دیگر می توان تعمیم داد و بکار گرفت.

مطابق نکات ذکر شده در بالا، ما در آستانه های مختلفی که در هر مرحله متناظر با یکی از سطوح خاکستری است باید دو توزیع احتمال مستقل را در نظر بگیریم و در هر توزیع بر اساس تعریف آنتروپی استفاده شده، آنتروپیهای شیء و زمینه و در نهایت مجموع آنها را حساب کنیم و سپس آستانه بهینه را بعنوان سطح خاکستری که مجموع آنتروپیها را ماکزیمم می کند تعیین می کنیم.

فرآیند فوق را برای یک تصویر با k سطح خاکستری باید $k-2$ بار تکرار کنیم زیرا اگر آستانه مفروض را در اولین سطح خاکستری و یا آخرین سطح خاکستری قرار دهیم دیگر دو توزیع احتمال مستقل را نمی توانیم در نظر بگیریم و فقط یک توزیع احتمال را خواهیم داشت لذا دو سطح خاکستری از تعداد مراحل که محاسبه توزیعهای احتمال، محاسبه آنتروپیهای دو توزیع و تعیین مجموع دو آنتروپی را داریم کاسته خواهد شد. در بخش 4 از این مقاله اثر بکارگیری الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات در کاهش تعداد مراحل فوق بررسی خواهد شد.

3- روش بهینه سازی گروه ذرات⁶ [PSO] [2]

بهینه سازی ازدحام ذرات، یک تکنیک محاسباتی تکاملی و موازی است که در سال 1995 توسط کندی⁷ و ابرهارت⁸ و بر اساس شباهت رفتار اجتماعی گسترش یافت [2].

PSO از لحاظ جمعیت عوامل حلی که برای جستجو استفاده می کند، از روشهای بهینه سازی رایج متفاوت است و در آن از

⁹ Update

¹⁰ Generation

¹¹ Clamp

⁶ Particle Swarm Optimization (PSO)

⁷ Kennedy

⁸ Eberhart

4- ترکیب آستانه‌گذاری مبتنی بر آنتروپی با روش

بهینه‌سازی گروه ذرات

با کنار هم قرار دادن روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی و الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات، t یعنی آستانه مطلوب جهت آستانه‌گذاری را بعنوان ذره (حل) در نظر می‌گیریم و بر حسب اینکه بخواهیم از کدام تعریف آنتروپی استفاده کنیم یکی از روابط (8)، (12) و یا (17) را بعنوان تابع هدف $F(p_i^{(t)})$ مورد استفاده در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات در نظر می‌گیریم. جهت آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی تیسالیس رابطه (8)، جهت آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی شانون رابطه (12) و جهت آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی رنئی رابطه (17) را تابع هدف قرار می‌دهیم.

بعد از اینکه تابع هدف مناسب را مشخص نمودیم پس از بدست آوردن هیستوگرام سطح خاکستری، از رویه استاندارد الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات که در بخش 3 ذکر شد استفاده می‌کنیم تا آستانه t ای که بیشترین تطابق را باعث می‌شود بدست بیاوریم. این آستانه بدست آمده، آستانه بهینه‌ای است که بیشترین محتوای اطلاعاتی را در شیء و زمینه داریم. در گام بعدی از این آستانه و مطابق رابطه (1) برای ناحیه‌بندی تصویر استفاده می‌کنیم. شکل 1، تصویر تشدید مغناطیسی مغز مرد 63 ساله‌ای که دچار سکتة حاد مغزی شده است (ضایعه با دایره‌ای مشخص شده است). این تصویر دارای ابعاد 256×256 است و همچنین دارای 256 سطح خاکستری است (این تصویر از بانک داده *The Whole Brain Atlas* دانشگاه هاروارد بدست آمده است [8]).

نتیجه ناحیه‌بندی این تصویر که با روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی رایج و بدون بکارگیری PSO بدست آمده است و از آنتروپی تیسالیس به ازای $q=0/1$ حاصل شده است در شکل 2 آورده شده است و آستانه بهینه بدست آمده برابر با $t^* = 143$ است. همانطوریکه دیده می‌شود ضایعه بخوبی جدا شده است البته بخشهایی از مجموعه نیز بدلیل نزدیک بودن سطح خاکستری در تصویر ناحیه‌بندی شده وجود دارند که با روشهای پردازش تصویری می‌توان این بخشها را حذف کرد و فقط ضایعه مغزی را حفظ کرد [7].

شده را دارا باشد. در این مرحله m ذره از گروه ذرات S مقداردهی اولیه می‌شوند که m همان تعداد جمعیت است.

2- تطبیق هر کدام از ذرات را ارزیابی می‌کنیم.

$F(p_i^{(t)})$ تابع هدف است.

3- بهترین راه‌حل هر کدام از ذرات را با تطابق

فعلیشان مقایسه می‌کنیم و $s_i^{(t)}$ را برابر با بهترین کارایی¹² قرار می‌دهیم یعنی:

$$s_i^{(t)} = \begin{cases} s_i^{(t-1)} & f(p_i^{(t)}) \leq f(s_i^{(t-1)}) \\ p_i^{(t)} & f(p_i^{(t)}) > f(s_i^{(t-1)}) \end{cases} \quad (20)$$

4- بهترین راه‌حل کلی یعنی \hat{s} را برابر با موقعیت

ذره‌ای که در داخل گروه ذرات بهترین تطابق را

دارد، قرار می‌دهیم یعنی:

$$\hat{s}^{(t)} \in \{s_1^{(t)}, s_2^{(t)}, K, s_m^{(t)}\} | F(\hat{s}^{(t)}) = \max \{F(s_1^{(t)}), F(s_2^{(t)}), K, F(s_m^{(t)})\} \quad (21)$$

5- بردار سرعت برای هر ذره را مطابق با رابطه

(18) تغییر می‌دهیم.

6- هر ذره را بر اساس رابطه (19) به موقعیت

جدید خودش جابجا می‌کنیم.

7- شمارنده تکرار را یک واحد اضافه می‌کنیم یعنی

$$t = t + 1$$

8- به مرحله 2 می‌رویم و این فرآیند را آنقدر

تکرار می‌کنیم تا معیار توقف ارضاء شود.

براحتی دیده می‌شود که دو مرحله کلیدی در هنگام اعمال

PSO به مسائل بهینه‌سازی وجود دارد: 1- ارائه راه‌حل و

2- تابع تطابق. یکی از ویژگیهای مطلوب PSO این است که

PSO اعداد حقیقی را بعنوان ذرات می‌گیرد. این الگوریتم مثل

الگوریتم ژنتیک که در سال 1991 توسط دیویس¹³ پیشنهاد

شد و به تبدیل رمزگذاری باینری و اپراتورهای ژنتیک احتیاج

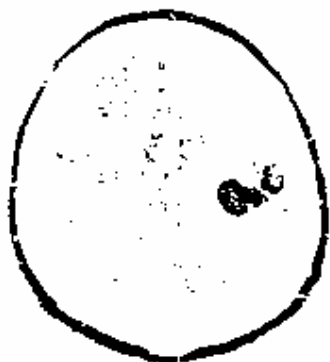
داشت، نیست.

¹² Performance

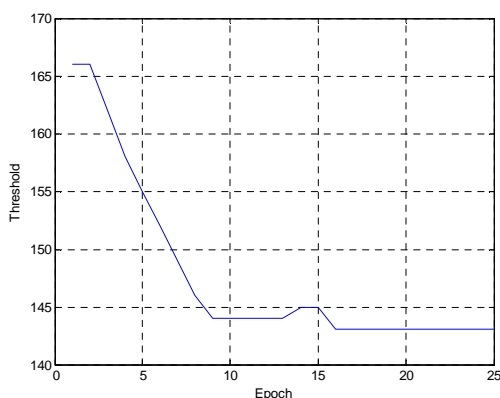
¹³ Davis

شکل 1: تصویر تشدید مغناطیسی که شامل ضایعه مغزی است (ضایعه با دایره مشخص شده است).

Result of Segmentation



شکل 2: نتیجه ناحیه‌بندی با استفاده از هر دو روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی با 1- جستجوی کامل و 2- با بکارگیری PSO یکسان است. (آنتروپی تیسالیس به ازای $q=0/1$)



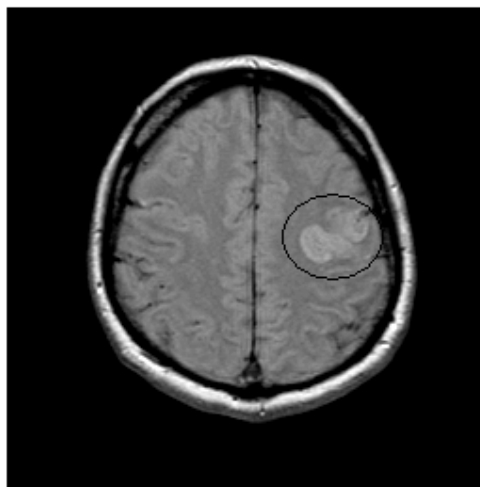
شکل 3: نمودار آستانه‌های بدست آمده به ازای هر تکرار الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای شکل 1

با افزایش تعداد ذرات و همچنین ساده‌تر کردن شرط پایان الگوریتم می‌توان زمان اجرا را باز هم کمتر کرد برای مثال اگر شرط پایان را عدم تغییر آستانه در 5 تکرار تعیین کنیم برای تصویر نشان داده شده در شکل 1، در تکرار 21م مقدار آستانه بهینه $t^* = 143$ را می‌یابیم یعنی به $105 = 21 \times 5$ مرحله محاسبه در مقابل 254 بار محاسبه نیاز داریم که میزان محاسبات به اندازه $2.41 = \frac{254}{105}$ سریعتر شده است.

نوع آنتروپی استفاده شده، مقدار پارامترهای تنظیمی و بحث درباره اینکه کدام انتخابها به نتایج مناسبتری منجر می‌شوند خارج از بحث این مقاله می‌باشد و در مرجع [7] به آن پرداخته شده است لذا در این مقاله به اثر بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات و نقش آن در افزایش سرعت بدست آوردن آستانه بهینه توجه خواهد شد.

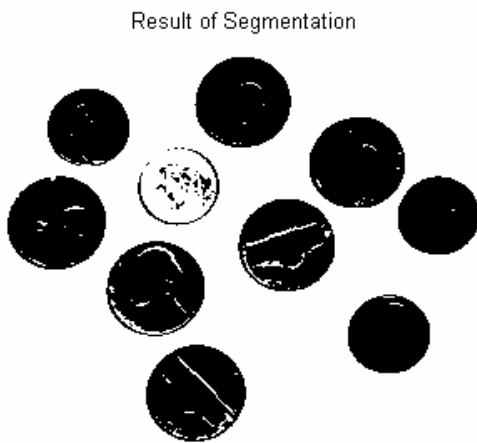
هنگامیکه تعداد جمعیت ذرات را 5 در نظر می‌گیریم و ماکزیمم تعداد تکرار را 50 قرار می‌دهیم و شرط پایان الگوریتم را عدم تغییر آستانه در 10 تکرار پشت سر در نظر می‌گیریم، آستانه بدست آمده مجدداً برابر با $t^* = 143$ است و نتیجه ناحیه‌بندی ترکیبی آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی و PSO مشابه با شکل 2 خواهد بود. در این حالت آستانه‌های بدست آمده در هر تکرار بصورت نشان داده شده در شکل 3 است و همانطوریکه دیده می‌شود با توجه به شرایط تعریف شده در بالا در تکرار 25 به مقدار پایدار آستانه بهینه $t^* = 143$ می‌رسیم یعنی در حالتی که آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی با الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات ترکیب می‌شود، تعداد مراحل محاسبه آنتروپی به $125 = 25 \times 5$ کاهش می‌یابد. بدون استفاده از این روش بهینه‌سازی باید در $254 - 2 = 256$ مرحله به محاسبه مراحل ذکر شده در بند 2 از این مقاله پردازیم پس مقدار محاسبات به اندازه $2.032 = \frac{254}{125}$ سریعتر شده است.

Original Image

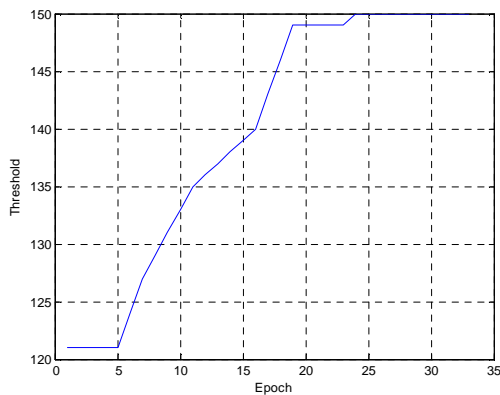




شکل 4: تصویر استاندارد سکه‌ها.



شکل 5: یکسان بودن نتیجه ناحیه‌بندی با استفاده از هر دو روش آستانه‌یابی مبتنی بر آنتروپی با 1- جستجوی کامل و 2- با بکارگیری PSO (آنتروپی تیسالیس به ازای $q=0/4$)



شکل 6: نمودار آستانه‌های بدست آمده به ازای هر تکرار در الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای شکل 4

شکل 4 تصویر استاندارد سکه‌ها را نشان می‌دهد که دارای ابعاد 246×300 است و مجدداً 256 سطح خاکستری دارد. شکل 5 نتیجه ناحیه‌بندی این تصویر است که با بکارگیری آنتروپی تیسالیس و $q=0/4$ حاصل شده است. آستانه بهینه تعیین شده برای این حالت $t^*=150$ است.

شکل 6 نشان می‌دهد که با 5 ذره و پایان الگوریتم در صورت عدم تغییر در 10 مرحله متوالی، در تکرار 33م مقدار آستانه بهینه $t^*=150$ بدست آمده است. پس بجای 254 مرحله عملیات به $165 = 33 \times 5$ مرحله تکرار فرآیند نیاز داریم. در نتیجه تعداد مراحل محاسبه دوتوزیع احتمال مستقل، محاسبه آنتروپیهای دو توزیع و جمع آنها به اندازه $\frac{165}{254} \approx 0.65$ کاهش می‌یابد. زمان اجرای الگوریتم آستانه‌یابی با روش جستجوی کامل در هیستوگرام سطح خاکستری و الگوریتم آستانه‌یابی ترکیب شده با بهینه‌سازی گروه ذرات به ازای تعداد حلهای 5 و 10 ذره در جدول 1 آورده شده است. زمانهای بیان شده در این جدول بر حسب ثانیه هستند و با بکارگیری نرم‌افزار *MATLAB* نسخه $7/2$ و کامپیوتر شخصی با سرعت $1/66$ گیگاهرتز و حافظه *RAM* با ظرفیت 512 مگابایت محاسبه شده‌اند.

همانطوریکه در بالا دیده می‌شود بکارگیری الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات جهت جستجو برای آستانه‌ای که مجموع آنتروپیها ماکزیمم می‌شود نسبت به روش جستجوی کامل در سطوح خاکستری از سرعت بالاتری برخوردار است و با ساده‌تر کردن شرط پایان الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات می‌توان سرعتی که آستانه بهینه پیدا می‌شود را بیشتر افزایش داد ولی این امکان وجود دارد که یک اکستریم محلی برای مجموع آنتروپیها را بعنوان آستانه بهینه در نظر بگیریم که الزاماً به نتایج خوبی برای ناحیه‌بندی منجر نمی‌شود.

مراجع

(Books)

- [1] Gonzalez R., Woods R.E., *Digital Image Processing*, 2D Edition, Prentice Hall, 2002
 [2] Kennedy J., R. Eberhart R., Shi Y., *Swarm Intelligence*, Morgan Kaufmann Publisher, 2001
 [3] Bankman I.N., *Handbook of Medical Imaging Processing and Analysis*, Academic Press, 2000

(Journals)

- [4] de Albuquerque M.P., Esquef I.A., Gesualdi Mello A.R., "Image thresholding using Tsallis entropy," *Pattern Recognition Letters*, 25, pp. 1059-1065, 2004.
 [5] Wong A.K.C., Sahoo P.K., "A gray-level threshold selection method based on maximum entropy principle," *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics* SMC-19, 1989.
 [6] Sahoo P.K., Wilkins C., "Thresholding selection using Renyi's entropy," *Pattern Recognition*, 30(1), pp. 71-84, 1997.

[7] سامان پروانه، عمادالدین فاطمی زاده و حمید بهنام، "ارائه روش نوینی جهت آشکارسازی ضایعات MS با استفاده از معیار آنتروپی"، مجموعه مقالات چهاردهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، 1385

(Electronical Website)

- [8] The Whole Brain Atlas Project of Harvard University Internet site address: <http://www.med.harvard.edu/AANLIB/home.html>

جدول 1: مقایسه زمانهای بدست آوردن آستانه بهینه در روش آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی با جستجوی کامل و آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی ترکیب شده با PSO (کلیه زمانها بر حسب ثانیه است)

زمان آستانه یابی یا PSO به ازای 10 ذره	زمان آستانه یابی یا PSO به ازای 5 ذره	زمان آستانه یابی یا جستجوی کامل	تصویر
0/1	0/113	0/235	ضایعه مغزی (شکل 1)
0/18	0/173	0/25	سکه ها (شکل 4)

4- نتیجه گیری

روش ناحیه بندی مبتنی بر اطلاعات روش مناسبی برای ناحیه بندی است زیرا از محتوای اطلاعاتی تصویر برای تعیین اتوماتیک آستانه استفاده می کند و آستانه ای را بعنوان مقدار بهینه انتخاب می کند که محتوای اطلاعاتی شیء و زمینه حداکثر می شود. با ترکیب روش آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی و الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات آستانه بهینه با سرعت بالاتری بدست می آید و این نکته امکان ناحیه بندی زمان حقیقی تصاویر اعم از پزشکی و غیرپزشکی را فراهم می کند. در این مقاله نشان داده شد که بکارگیری آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی با جستجوی کامل (جستجوی k-2 مرحله ای در تصویر با k سطح خاکستری) و آستانه یابی مبتنی بر آنتروپی ترکیب شده با الگوریتم بهینه سازی گروه ذرات هر دو به نتایج یکسانی منجر می شوند در حالیکه آستانه یابی که با PSO ترکیب شده است سریعتر به نتیجه می رسد و در نتیجه برای پردازشهای زمان حقیقی مناسبتر است.