

# ماتریکهای پردازش تصویر و داده کاوی از معیارهای چندگانه

## بکار رفته در ثبت تصاویر پزشکی

عاطفه حسنزاده<sup>۱</sup>

زهرا آذرکیش<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار دانشکده فنی فومن، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران، ایران، [hasanzadeh.a@ut.ac.ir](mailto:hasanzadeh.a@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup> دانشجوی کارشناسی، فناوری اطلاعات، دانشکده فنی فومن، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران،

[zahra.azarkish@ut.ac.ir](mailto:zahra.azarkish@ut.ac.ir)

**چکیده:** در این مقاله معیارهای گوناگون ثبت تصویر اعم از معیارهای مبتنی بر شدت و معیارهای آماری مطرح شده است. با توجه به آنها نتایج حاصل از الگوریتمهای مختلف پردازش تصویر و تنظیم پارامترها در ثبت تصاویر پزشکی مطالعه شده است، زیرا رصد نتایج بدست آمده از اعتبارسنجی معیارهای بکار رفته امکان تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه روش‌های پردازش تصویر فراهم می‌آورد. استفاده از ماتریکهای ثبت تصویر در نظر گرفته شده است که با بسیاری از الگوریتمهای پردازش تصویر قابل استفاده است. روشهای داده کاوی نیز برای شناسایی روابط در بین الگوریتمها و معیارها مطالعه شده است. داشتن مقادیر معیارهای چندگانه برای توسعه فرایند پردازش تصویر و تنظیم پارامترها حائز اهمیت است، اما در عین حال پیامدهایی را نیز در بردارد که به آنها نیز پرداخته شده است.

**کلیدواژه‌ها:** بانگاه داده، پردازش تصویر، ماتریک، معیارها، آماری، معیارها، مبتنی بر شدت

### ۱. مقدمه

در این مقاله دو خانواده از معیارهای تشابه تصویر در نظر گرفته شده است: معیارهای مبتنی بر شدت (معیارهای شدت یا مقادیر درخشندگی و کسلها) و معیارهای آماری (معیارهای توزیع آنها). استفاده از چندین معیار در پردازش تصویر به این دلیل دارای اهمیت است که اندازه گیری‌ها اقدامات اجرایی هستند، بنابراین آگاهی از آنها شرط لازم برای یک عملکرد خوب است. انتخاب نوع الگوریتم می‌تواند عواقب مهم و تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد داشته باشد. همچنین الگوریتمها به نوبه خود محدودیتهای بالقوه-ای در عملکرد پردازش تصویر دارند. از این منظر، روشهای پردازش تصویر نقش بهینه ساز را ایفا می‌کنند که بر فرضیات مربوط به توزیعهای بدست آمده از تصاویر استوار بوده و اعتبار سنجی این توزیعها را برعهده دارند. معیارهای گوناگونی در بخش ۲ مطرح شده است که نتایج حاصل از الگوریتمهای مختلف پردازش تصویر

معیارهای جدیدی در زمینه ثبت تصویر بالاخص در حوزه زیست پزشکی کشف و بررسی شده است که هم معیارهای اختلاف / تمایز و هم معیارهای تشابه را در بر می‌گیرد. دلایل زیادی برای علاقه مندی به این معیارها وجود دارد. با این وجود، فراوانی روشهای ناشی از سیستم تصویربرداری با کارایی بالا، بالاخص در پزشکی، معضلی اساسی برای پزشکان است و این سؤال اساسی مطرح می‌شود که از کدام متریک باید استفاده شود؟ برای پاسخگویی به این سؤال تلاش‌هایی صورت گرفته است که منجر به دست یابی به الگوها و الگوریتمهایی با استفاده از معیارهای ارزیابی چندگانه شده است و نتایج بهتری را در زمینه پردازش تصویر به همراه داشته است [۴-۱]، که از آنها برای ثبت در تصویربرداری پزشکی می‌توان استفاده نمود.

جدول ۱: برخی معیارهای تصویر آماری و مبتنی بر شدت

ردیف	نام معیار	ضابطه
۱	میانگین مربعات اختلاف شدت‌ها	$msd(R, S) = \frac{1}{N} \sum_x (R(x) - S(x))^2$
۲	قدر مطلق اختلاف شدت‌ها	$adi(R, S) = \frac{1}{N} \sum_x  R(x) - S(x) $
۳	آنتروپی شانون از اختلاف شدت‌ها	$edi(R, S) = \frac{1}{N} \sum_x p(R(x) - S(x)) \log p(R(x) - S(x))$
۴	اطلاعات متقابل	$mif(R, S) = I(R, S) = H(R) + H(S) - H(R, S)$
۵	اطلاعات متقابل نرمالایز شده	$nmi(R, S) = \frac{I(R, S)}{H(R, S)} + 1 = \frac{H(R) + H(S)}{H(R, S)}$
۶	همبستگی مقاطع نرمالایز شده	$ncc(R, S) = \frac{cov(R, S)}{\sigma_R \sigma_S}$
۷	همبستگی	$cor(R, S) = 1 - \frac{1}{N} \sum_i \frac{N(i) \sigma^2(i)}{\sigma^2}$
۸	جنگل	$woo(R, S) = 1 - \frac{1}{N} \sum_i \frac{N(i) \sigma(i)}{\mu(i)}$
۹	فراوانی	$red(R, S) = \frac{I(R, S)}{H(R) + H(S)} = 1 - \frac{H(R, S)}{H(R) + H(S)}$
۱۰	یک متریک جهانی	$uni(R, S) = 1 - \frac{I(R, S)}{H(R, S)} = 2 - \frac{H(R) + H(S)}{H(R, S)}$
۱۱	متریک جهانی دیگر	$aum(R, S) = 1 - \frac{I(R, S)}{\max(H(R), H(S))}$

در متریک‌های همبستگی و جنگل اندیس  $i$  روی مقادیر شدت تغییر می‌کند و  $N(i)$  تعداد وکسل را در  $\mu(i)$  و  $\sigma^2(i)$  نیز میانگین و واریانس شدت‌های  $i$  در موقعیت‌های وکسل یکسان‌اند.

و تنظیمات پارامتر را می‌توان بر حسب آنها ارزیابی کرد و مقادیر متریک را می‌توان با داده کاوی تجزیه و تحلیل نمود تا بهترین نتایج را بدست آورد.

رصد نتایج بدست آمده از اعتبارسنجی معیارهای بکار رفته امکان تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه روش‌های پردازش تصویر فراهم می‌آورد. استفاده از یک متا الگوریتم در ثبت تصویر در نظر گرفته شده است، این روش با بسیاری از الگوریتم‌های پردازش تصویر قابل استفاده است. روشهای داده کاوی نیز امکان شناسایی روابط در بین الگوریتم‌ها و معیارها را فراهم می‌آورد.

توجه به این نکته ضروری است که هر معیار دارای نقاط قوت و ضعفی است و منجر به قرار گیری آن در رده‌ای خاص از روش‌های پردازش تصویر می‌شود. اما همه آنها در این واقعیت مشترک اند که هیچ الگوریتمی نمی‌تواند از معیار مورد استفاده برای ارزیابی آن بهتر باشد. به طور معادل، ارزیابی مناسب کارایی یک الگوریتم نیازمند در نظر گرفتن معیارهای متعدد است. پیامدهای به کارگیری معیارهای چندگانه در بخش ۳ مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

## ۲. معیارهای تصویر

اگر  $R$  و  $S$  دو تصویری هستند که بایستی با یکدیگر مقایسه شوند، معیار مورد بررسی  $D(R, S)$  است که در اینجا  $D$  مقدار شباهت را نشان می‌دهد که به عنوان یک متریک یا متر تعبیر می‌شود. اگرچه متریک‌های بسیاری وجود دارد، معمولاً شباهت بین تصاویر به عنوان تابعی از شدت (درخشندگی) یا توزیع شدت وکسل‌های مربوطه در بین تصاویر مشخص می‌شود یا بر اساس مورفولوژی ویژگی‌های موجود در هر دو تصویر است.

همه ساله مقالات زیادی در زمینه ثبت تصاویر پزشکی منتشر می‌شود که متریک‌های جدیدی را معرفی می‌کند. متریک‌هایی که در جدول ۱ مطرح شده‌اند، شامل معیارهای مبتنی بر شدت هستند (که فقط به شدت وکسل‌ها متکی هستند) و معیارهای آماری که مبتنی بر توزیع این شدت‌ها هستند که در آن،  $N$  اندازه تصاویر (تعداد کل پیکسل‌ها) است و  $x$  موقعیت‌های وکسل را نشان می‌دهد.

مقادیر متریک بالاتر "بهتر" بوده و شباهت بیشتر یا فاصله کمتری را نشان می‌دهد. هر مسیر در سراسر طرح، ردیف ۱۱ مقدار متریک به دست آمده توسط یک تصویر را ارائه می‌دهد. در مجموع ۱۸۶ مسیر وجود دارد، بنابراین یک جدول کامل از  $11 \times 186$  مقدار متریک در اینجا ترسیم شده است. امتیازات بالاتر بهتر است، اما نتایج مربوط به محاسبه متریک / نمره در هر ستون بطور مستقل مقیاس بندی شده است، بنابراین ستون‌ها نشان دهنده بازه‌های واقعی مختلف هستند.

پراکندگی مقادیر محور عمودی ظاهراً چشمگیر نیست. توجه کنید که برخی از اختلالات به دلیل بروز بیماری رخ می‌دهد، اما در بقیه موارد ترتیب نتایج نسبتاً منطبق با متریک‌های در نظر گرفته شده در امتداد مسیرها است.

### ۳. پیامدهای استفاده از معیارهای چندگانه

نخستین پیامد این است که متریک‌ها اشیای مختلف را اندازه می‌گیرند و می‌توانند نامناسب باشند. مفاهیم بسیاری از تشابه وجود دارد. این گستردگی از اندازه گیری‌های مبتنی بر متریک‌های آماری جدول ۱ برای برخی از مسائل مناسب نیست.

به عنوان مثال، ثبت تصاویر دگرگونی عصب یا آسیب مغزی با استفاده از این معیارها ممکن است نتایج متضادی داشته باشد و مقادیر متریک "بهتر" ممکن است تطابق رضایت بخشی نداشته باشد، زیرا معیارهای وکسل - سطح ممکن است تشابه سراسری یا معنایی نداشته باشد. معیارهای مورد استفاده باید متناسب با مسئله باشند.

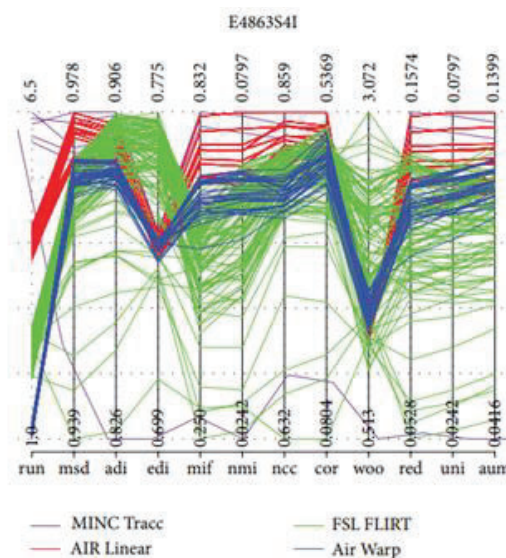
همچنین معیارهای تصویر می‌توانند شامل ویژگی‌های تصویر (و بنابراین هم تشخیص ویژگی و هم تطابق ویژگی) باشند و هم مدل (و بنابراین تخمین مدل، بازسازی تصویر، تبدیل تصویر و بهینه سازی عددی) [۶].

به طور کلی، هر جنبه‌ای از ثبت تصویر می‌تواند بخشی از یک تعریف متریک تصویر باشد. این معیارهای مبتنی بر ویژگی و مدل می‌توانند محاسبات قوی به همراه داشته باشند، اما معیارهای جدول ۱ هزینه محاسباتی سنگینی ندارند.

در نهایت متریک‌ها می‌توانند نتایج متناقضی را ارائه کند. ثبات در میان این معیارها را می‌توان با یک نمودار مختصاتی موازی از

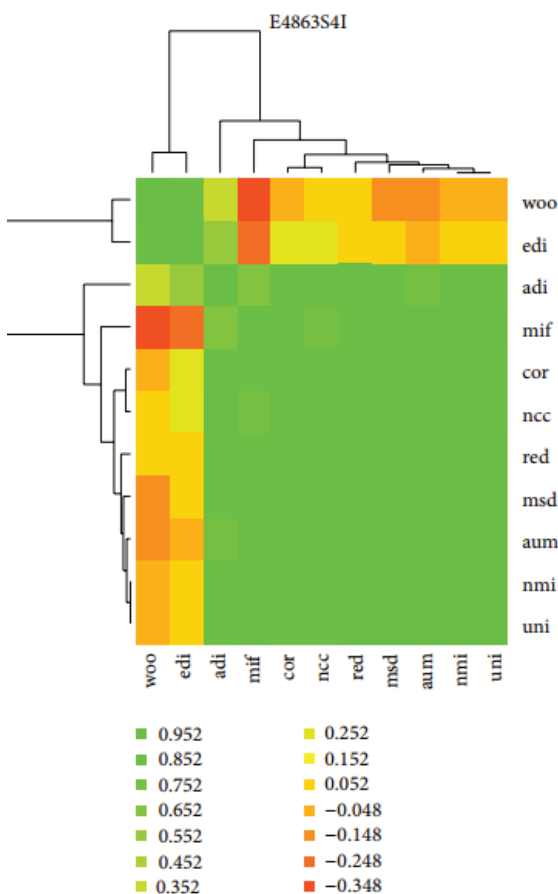
همبستگی متقابل نرمالایز شده همبستگی وکسل مانند با میانگین و انحراف استاندارد محاسبه شده بر روی کل تصویر است. متریک‌ها به نوع برنامه و به روش‌های ورودی تصاویر بستگی دارد. معیارهای موجود در جدول ۱ نشان می‌دهد که چگونه هر متریک نقاط قوت و ضعف خود را در هنگام استفاده از دسته بندی از روش‌های تصویر نشان می‌دهد. برخی از متریک‌ها برای دسته بندی‌های خاص طراحی شده‌اند و یا هدفمند هستند و بنابراین نمی‌توانند کلیه انواع تصویر و کیفیت‌های ممکن موجود در یک برنامه خاص را شامل شوند. برای اینکه امکان مقایسه‌ای بین متریک‌های گوناگون وجود داشته باشد، همه مقادیر در بازه  $[0,1]$  امتیاز دهی می‌شوند و ۱ به عنوان حد مطلوب و بهینه در نظر گرفته شده است.

به عنوان یک نمونه مقایسه‌ای و در حوزه تصویربرداری پزشکی، شکل ۱ تمام مقادیر متریک‌ها را برای ۱۸۶ نوع مختلف از تصویر تولید شده توسط چهار ابزار ثبت تصویر را نشان می‌دهد.



شکل ۱: این نقشه مختصات موازی نمایش تصویری از یازده مقدار متریک ما برای ۱۸۶ نوع مختلف تصویر E4863S4I، تولید شده توسط چهار ابزار ثبت تصویر شامل AIR Warp آبی، AIR Linear قرمز، FSL FLIRT سبز و MINC Tracc بنفش [۵].

پایگاه داده استفاده کردیم که موجب می‌شود از ابزارهای دیگر تحلیل داده برای ارزیابی جداول حاصل از مقادیر متریک و اطلاعات اجرایی استفاده شود.



شکل ۲: نمایش نقشه گرما از ماتریس همبستگی برای جدول مقادیر متریک برای ۱۸۶ نوع تصویر ورودی E4863S4I، با معیارهای خوشه بندی شده در یک سلسله مراتب توسط تشابه ناهموار

استفاده از بانک اطلاعاتی برای ذخیره اطلاعات بالاخص در حوزه تصویر برداری اعصاب، سه فایده مهم را فراهم می‌آورد: نخست آنکه پایگاه داده، متا الگوریتم را به خصوصیات ACID (اتمی بودن، ثبات، انزوا و دوام) مجهز می‌کند. دوم، این امکان را فراهم

داده‌ها (شکل ۱) و یا یک نمایش تصویری از ماتریس همبستگی (شکل ۲) تجسم نمود و در نتیجه جدول ارزش معیار را می‌توان با تعداد محدودی از ابعاد تقریب زد.

در این مورد، متریک edi دارای کمترین سازگاری با دیگران است و انعکاسی از مولفه اصلی دوم است. تجربه بیشتر با این سازگاری ممکن است به تجزیه و تحلیل عملکرد در سراسر خانواده‌های متریک و یا توسعه نظریه‌های مربوط به ترکیبات محدب از معیارهای انتخاب شده منجر شود.

با این حال، برای کاهش ابعاد، کار با متریک‌هایی صورت می‌گیرد به این معنی که نتایج آنها به طور بالقوه همبسته‌اند. به عنوان مثال، می‌توان به متریک جنگل یا woods [۷] اشاره نمود:

$$woo(R, S) = 1 - \frac{1}{N} \sum_i \frac{N(i)\sigma(i)}{\mu(i)} \quad (1)$$

که در آن اندیس  $i$  روی مقادیر شدت تغییر می‌کند،  $N(i)$  تعداد وکسل‌های در  $R$  با مقدار  $i$  است و  $\mu$  و  $\sigma$  میانگین و انحراف استاندارد شدت‌ها در  $S$  در موقعیت‌های وکسل یکسان هستند. متریک (۱) اغلب با سایر معیارها متضاد بوده است. اگرچه از نظر مثبت موارد مربوط به تصاویر پزشکی مناسب است، ناسازگاری آن ایجاب می‌کند که متریک جنگل اغلب نتایج بسیار متفاوتی را نسبت به سایر معیارها بدست آورد.

از آنجا که متریک‌ها را می‌توان به طور خودکار محاسبه کرد، ارزیابی مجموعه‌ای از آنها نه تنها راهی ارزان برای ارزیابی جنبه‌های مختلف تشابه است بلکه راهبردی برای حذف نتایج ضعیف و نیز پایه‌ای برای یادگیری ماشین است. ماشینی‌شدن هرگز نیاز به نظر متخصص را نادیده نمی‌گیرد، اما می‌تواند به از بین بردن عدم تمرکز و بهبود بهره‌وری کمک کند.

در ادامه پیامدها می‌توان به این مطلب اشاره نمود که مقادیر متریک را می‌توان در یک پایگاه داده برای تجزیه و تحلیل ذخیره کرد. در جریان این توسعه، ما اجرای آن را در انتخاب معیارها، در ضبط نتایج (با یک پایگاه داده) اصلاح کرده‌ایم که در پیشرفت‌های عملکردی مختلف افزایش همسانی و کاهش تغییر فایل را به همراه دارد.

به طور خاص، ما برای ثبت تمام مقادیر متریک به دست آمده در هر اجرا و همچنین ابرداده در مورد اجرای برنامه از یک سیستم

- International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI '99), vol. 1679 of Lecture Notes in Computer Science, pp.555-566, Springer, 1999.
- [4] J.P.W. Pluim, J.B.A.A. Maintz, and Viergever, "Mutualinformation-based registration of medical images: a survey," IEEE Transactions on Medical Imaging, vol. 22, no. 8, pp. 986-1004, 2003.
- [5] K. Leung, K., A. Cunha, A.W. Toga, and D.S. Parker, "Developing Image Processing Meta-Algorithms with Data Mining of Multiple Metrics", Computational and Mathematical Methods in Medicine, Volume 2014, 7 pages.
- [6] B. Zitova, and L. Flusser, Image registration methods: a survey," Image and Vision Computing, Vol. 21, No.11, pp.977-1000, 2003.
- [7] R.P. Woods, S.T. Grafton, C.J. Holmes, S.R. Cherry, and J.C. Mazziotta, "Automated image registration: I. General methods and intrasubject, intramodality validation," Journal of Computer Assisted Tomography, Vol.22, No.1, pp.139-152, 1998.

می آورد که متا الگوریتم در محیطهای محاسبات موازی بطور مؤثر عمل کند.

در حقیقت استفاده از بانک اطلاعاتی برای ثبت نتایج به طور مستقل روشی زیبا برای رفع این نیاز است و امکان استخراج و تجزیه و تحلیل داده‌های منتج را فراهم می‌کند. سوم آنکه مدیریت اطلاعات در مورد مقادیر متریک در یک پایگاه داده، امکانات جالب توجهی را برای داده کاوی فراهم می‌آورد.

به عنوان مثال، می‌توان دریافت که نه تنها الگوریتم‌ها و تنظیم پارامترها نتایج بهتری را برای تصاویر حاصل از یک منبع معین به دست می‌آورند، بلکه همچنین زمان اجرا و حتی تفاوت عملکرد در نسخه‌های مختلف یک الگوریتم داده را تجزیه و تحلیل می‌کنند.

#### ۴. نتیجه گیری

معیارهای گوناگون ثبت تصویر شامل معیارهای مبتنی بر شدت و معیارهای آماری مطرح شد. نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و تنظیم پارامترها در ثبت تصاویر پزشکی مطالعه و بررسی شد. استفاده از متا الگوریتم در ثبت تصویر در نظر گرفته شد. روشهای داده کاوی برای شناسایی روابط در بین الگوریتم‌ها و معیارها مطالعه شد. پیامدهای ناشی از ارائه مقادیر معیارهای چندگانه برای توسعه فرایند پردازش تصویر و تنظیم پارامترها بررسی شد.

#### ۶. مراجع

- [1] J.H. Hipwell, G.P. Penney, T.C. Cox, J.V. Byrne, and D.J. Hawkes, "2D-3D intensity based registration of DSA and MRA-a comparison of similarity measures," in Proceedings of the Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention (MICCAI '02), T. Dohi, R. Kikinis, vol. 2489 of Lecture Notes in Computer Science, pp.501-508, 2002.
- [2] G.P. Penney, J. Weese, J.A. Little, J.A., P. Desmedt, D.L.G. Hill, and D.J. Hawkes, "A comparison of similarity measures for use in 2-D-3-D medical image registration," IEEE Transactions on Medical Imaging, Vol.17, No.4, pp.586-595, 1998.
- [3] A. Roche, G. Malandrin, N. Ayache, and S. Prima, "Towards a better comprehension of similarity measures used in medical image registration," in Proceedings of the 2nd