متا الگوریتم‌های پردازش تصویر و داده‌کاوی از معیارهای چندگانه بکار رفته در ثبت تصاویر پزشکی

عاطفه حسن‌زاده[۱] زهرا آذرکیش[۲]

[۱] استادیار- دانشکده فنی فومن- پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران Hasanzadeh.a@ut.ac.ir

[۲]دانشجوی کارشناسی فناوری اطلاعات، دانشکده فنی فومن-پردیس دانشکده‌های فنی- دانشگاه تهران 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 به‌دست‌آمده از اعتبارسنجی معیارهای بکار رفته امکان تحقیقات گسترده‌ای را در زمینه روش‌های پردازش تصویر فراهم می‌آورد. استفاده از متا الگوریتم در ثبت تصویر در نظر گرفته شده است که با بسیاری از الگوریتم‌های پردازش تصویر قابل استفاده است. روش‌های داده‌کاوی 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 درعین‌حال پیامدهایی را نیز در بردارد که به آن‌ها نیز پرداخته شده است.

کلیدواژه‌ها: *پایگاه داده، پردازش تصویر، متا الگوریتم، معیارهای آماری، معیارهای مبتنی بر شدت*

مقدمه

معیارهای جدیدی در زمینه ثبت تصویر بالأخص 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 علاقه‌مندی به این معیارها وجود دارد. بااین‌وجود، فراوانی روش‌های ناشی از سیستم تصویربرداری با کارایی بالا، بالأخص 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 دست‌یابی به الگوها و الگوریتم‌هایی با استفاده از معیارهای ارزیابی چندگانه شده است و نتایج بهتری را در زمینه پردازش تصویر به همراه داشته است [۱-۴]، که از آن‌ها برای ثبت در تصویربرداری پزشکی می‌توان استفاده نمود.

در این مقاله دو خانواده از معیارهای تشابه تصویر در نظر گرفته شده است: معیارهای مبتنی بر شدت (معیارهای شدت یا مقادیر درخشندگی وکسل‌ها) و معیارهای آماری (معیارهای توزیع آن‌ها).

استفاده از چندین معیار در پردازش تصویر به این دلیل دارای اهمیت است که اندازه‌گیری‌ها اقدامات اجرایی هستند، بنابراین آگاهی از آن‌ها شرط لازم برای یک عملکرد خوب است. انتخاب نوعِ الگوریتم می‌تواند عواقب مهم و تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر عملکرد داشته باشد. همچنین الگوریتم ها به‌نوبه خود محدودیت‌های بالقوه‌ای در عملکرد پردازش تصویر دارند. از این منظر، روش‌های پردازش تصویر نقش بهینه‌ساز را ایفا می‌کنند که بر فرضیات مربوط به توزیع‌های به‌دست‌آمده از تصاویر استوار بوده و اعتبار سنجی این توزیع‌ها را بر عهده دارند.

معیارهای گوناگونی در بخش ۲ مطرح شده است که نتایج حاصل از الگوریتم‌های مختلف پردازش تصویر و تنظیمات پارامتر را می‌توان برحسب آن‌ها ارزیابی کرد و مقادیر متریک را می‌توان با داده‌کاوی تجزیه‌وتحلیل نمود تا بهترین نتایج را به دست آورد.

رصد نتایج به‌دست‌آمده 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 داده‌کاوی 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 قرارگیری آن در رده‌ای خاص از روش‌های پردازش تصویر می‌شود. اما همه آن‌ها در این واقعیت مشترک‌اند که هیچ الگوریتمی نمی‌تواند از معیار مورداستفاده برای ارزیابی آن بهتر باشد. به‌طور معادل، ارزیابی مناسب کارایی یک الگوریتم نیازمند در نظر گرفتن معیارهای متعدد است. پیامدهای به‌کارگیری معیارهای چندگانه در بخش ۳ مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

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 به‌عنوان یک متریک یا متر تعبیر می شود. اگرچه متریک‌های بسیاری وجود دارد، معمولاً شباهت بین تصاویر به‌عنوان تابعی از شدت (درخشندگی) یا توزیع شدت وکسلهای مربوطه در بین تصاویر مشخص می شود 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.

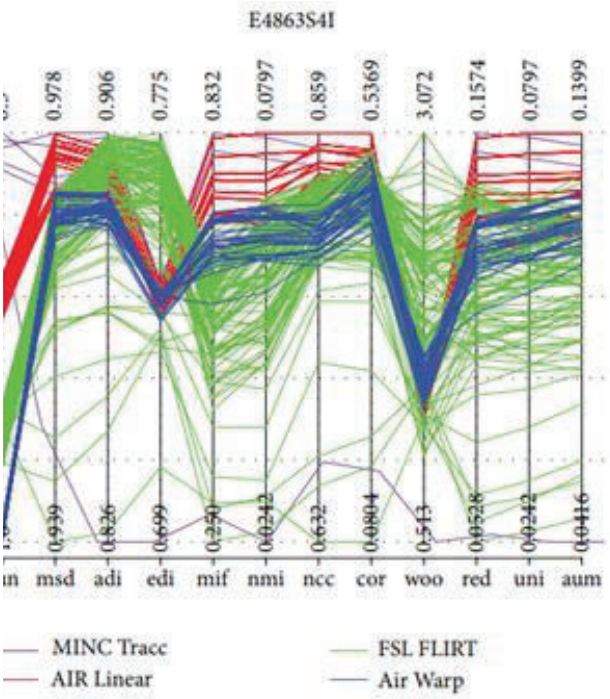
جدول ۱: برخی معیارهای تصویر آماری و مبتنی بر شدت

ردیف	نام معیار	ضابطه
۱	میانگین مربعات اختلاف شدت‌ها	$msd(R,S)=\frac{1}{N}\sum_x\left(R(x)-S(x)\right)^2$
۲	قدر مطلق اختلاف شدت‌ها	$adi(R,S)=\frac{1}{N}\sum_x\lvert R(x)-S(x)\rvert$
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 متقاطع نرمالایز شده	$ncc(R,S)=\frac{\mathrm{cov}(R,S)}{\sigma_R\sigma_S}$
۷	همبستگی	$\mathrm{co}\,r(R,S)=1-\frac{1}{N}\sum_i\frac{N(i)\sigma^2(i)}{\sigma^2}$
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 S در موقعیت‌های وکسل یک سان‌اند. 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 دسته‌بندی از روش‌های تصویر نشان می‌دهد. برخی از متریک‌ها برای دسته‌بندی‌های 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 $[0,1]$ امتیازدهی می‌شوند و ۱ به‌عنوان حد مطلوب و بهینه در نظر گرفته شده است.

به‌عنوان یک نمونه مقایسه‌ای و در حوزه تصویربرداری پزشکی، شکل ۱ تمام مقادیر متریک‌ها را برای ۱۸۶ نوع مختلف از تصویر تولیدشده 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، تولیدشده توسط چهار ابزار ثبت تصویر شامل AIR Warp آبی، AIR Linear قرمز، FSL FLIRT سبز و MINC Tracc بنفش [۵].

مقادیر متریک بالاتر "بهتر" بوده و شباهت بیشتر یا فاصله کمتری را نشان می‌دهد. هر مسیر در سراسر طرح، ردیف ۱۱ مقدار متریک به‌دست‌آمده توسط یک تصویر را ارائه می‌دهد. درمجموع ۱۸۶مسیر وجود دارد، بنابراین یک جدول کامل از 186×11 مقدار متریک در اینجا ترسیم‌شده است. امتیازات بالاتر بهتر است، اما نتایج مربوط به محاسبه متریک / نمره در هر ستون به‌طور مستقل مقیاس بندی شده است، بنابراین ستون‌ها نشان‌دهنده 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.

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 اندازه‌گیری‌های مبتنی بر متریک‌های آماری جدول ۱ برای برخی از مسائل مناسب نیست.

به‌عنوان‌مثال، 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 موردا ستفاده 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، باز سازی تصویر، تبدیل تصویر و بهینه‌سازی عددی) [۶].

به‌طورکلی، 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.

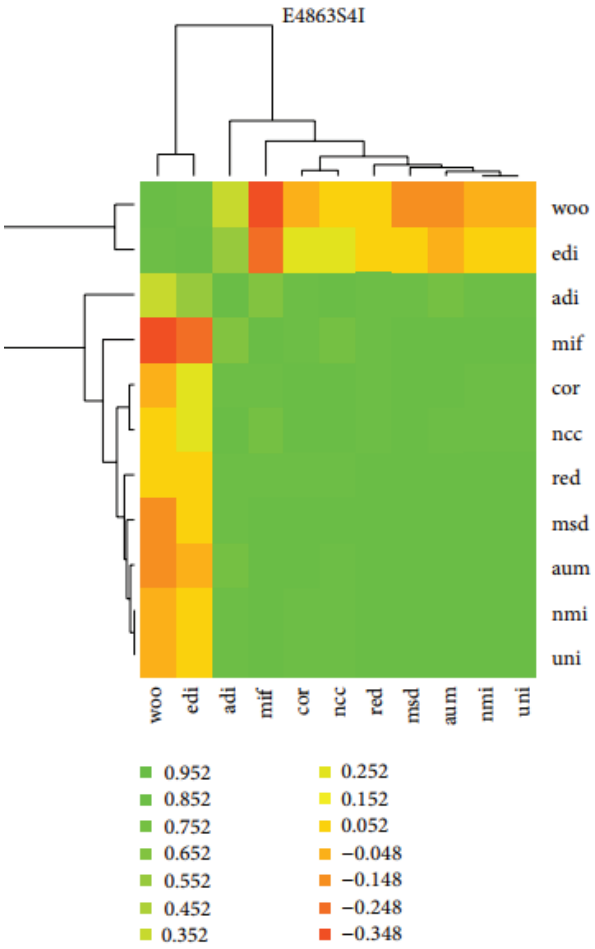
درنهایت متریک‌ها می‌توانند نتایج متناقضی را ارائه کند. ثبات در میان این معیارها را می‌توان با یک نمودار مختصاتی موازی از داده‌ها (شکل ۱) و یا یک نمایش تصویری از ماتریس همبستگی (شکل ۲) تجسم نمود و درنتیجه جدول ارزش معیار را می‌توان با تعداد محدودی از ابعاد تقریب زد.

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

بااین‌حال، برای کاهش ابعاد، کار با متریک‌هایی صورت می‌گیرد به این معنی که نتایج آن ها به‌طور بالقوه همبسته اند. به‌عنوان‌مثال، می‌توان به متریک جنگل یا woods [۷] اشاره نمود:

$$woo(R,S)=1-\frac{1}{N}\sum_{i}\frac{N(i)\sigma(i)}{\mu(i)} \qquad (۱)$$

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



شکل ۲: نمایش نقشه گرما از ماتریس همبستگی برای جدول مقادیر متریک برای ۱۸۶ نوع تصویر ورودی E4863S4I، با معیارهای خوشه‌بندی‌شده در یک سلسله‌مراتب توسط تشابه ناهموار

ازآنجاکه متریک‌ها را می‌توان به‌طور خودکار محاسبه کرد، ارزیابی مجموعه‌ای از آن‌ها نه‌تنها راهی ارزان برای ارزیابی جنبه‌های مختلف تشابه است بلکه راهبردی برای حذف نتایج ضعیف و نیز پایه‌ای برای یادگیری ماشین است. ماشینی شدن 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 تجزیه‌وتحلیل 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.

به‌طور خاص، ما برای ثبت تمام مقادیر متریک به‌دست‌آمده در هر اجرا و همچنین ابرداده در مورد اجرای برنامه از یک سیستم پایگاه داده استفاده کردیم که موجب می‌شود از ابزارهای دیگر تحلیل داده برای ارزیابی جداول حاصل از مقادیر متریک و اطلاعات اجرایی استفاده شود.

استفاده از بانک اطلاعاتی برای ذخیره اطلاعات بالأخص در حوزه تصویربرداری 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 می‌آورد که متا الگوریتم در محیط‌های محاسبات موازی به‌طور مؤثر عمل کند.

در حقیقت استفاده از بانک اطلاعاتی برای ثبت نتایج به‌طور مستقل روشی زیبا برای رفع این نیاز است و امکان استخراج و تجزیه‌وتحلیل داده‌های منتج را فراهم می‌کند. سوم آنکه مدیریت اطلاعات در مورد مقادیر متریک در یک پایگاه داده، امکانات جالب‌توجهی را برای داده‌کاوی فراهم می‌آورد.

به‌عنوان‌مثال، می‌توان دریافت که نه‌تنها 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 تجزیه‌وتحلیل می‌کنند.

نتیجه‌گیری

معیارهای گوناگون ثبت تصویر شامل معیارهای مبتنی بر شدت و معیارهای آماری مطرح شـــد. نتایج حاصـــل 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 داده‌کاوی برای شناسایی روابط در بین الگوریتم‌ها و معیارها مطالعه شد. پیامدهای ناشی از ارائه مقادیر معیارهای چندگانه برای توسـعه فرایند پردازش تصـویر و تنظیم پارامترها بررسی شد.

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 fo ruse 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. Malandin, N. Ayache, and S. Prima, "Towards a better comprehension of similarity measures used in medical image registration," in Proceedings of the 2nd 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.