

طبقه‌بندی معنایی تصاویر پزشکی در یک ساختار سلسله مراتبی مبتنی بر یک روش جدید خوشه‌بندی غیر نظارتی

حسن قاسمیان

استاد، گروه مهندسی پزشکی

دانشگاه تربیت مدرس

ghassemi@modares.ac.ir

حسین پورقاسم

دانشجوی دکتری مهندسی پزشکی

دانشگاه تربیت مدرس

h_poorghasem@modares.ac.ir

تصاویر غیرمرتبط و کاهش فضای جستجو تأثیر بسزایی در عملکرد بازیابی تصاویر دارد.

در این مقاله سعی شده است با اعمال یک نقشه جدید ادغام بر روی کلاس‌های همپوشان در یک ساختار سلسله مراتبی طبقه‌بندی، عملکرد روش‌های موجود در طبقه‌بندی بهبود داده شود. در این مقاله با تعریف مفهوم کلاس‌های همپوشان به کمک سه معیار صحت طبقه‌بندی، نرخ دسته‌بندی اشتباه و شباهت بین دو کلاس، این کلاس‌ها با یکدیگر ادغام شده تا بدین وسیله صحت طبقه‌بندی کلاس‌های جدید در هر سطح ساختار سلسله مراتبی افزایش یابد. با انجام طبقه‌بندی در سطوح پایین‌تر ساختار و اعمال نقشه ادغام در آن سطوح، تصویر ورودی در یکی از کلاس‌های از پیش تعریف شده طبقه‌بندی می‌شود. انتخاب مجموعه ویژگی‌های مناسب، متناسب با کلاس‌های تصاویر، عملکرد خوب طبقه‌بندی در هر گره (طبقه بند) از ساختار سلسله مراتبی را تضمین می‌کند. در این مقاله از ویژگی‌های شکل و بافت جهت طبقه‌بندی تصاویر به کمک طبقه بند شبکه عصبی پرسپترون چند لایه (MLP) استفاده می‌شود.

در بخش ۲ مقاله، اصول طبقه‌بندی تصاویر پزشکی آورده می‌شود. در بخش ۳، ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی توضیح داده می‌شود. بخش ۴، نتایج آزمایش‌های انجام شده را ارائه می‌کند و در بخش ۵ نیز نتیجه‌گیری و جمع‌بندی از این تحقیق ارائه می‌گردد.

۲- طبقه‌بندی تصاویر پزشکی

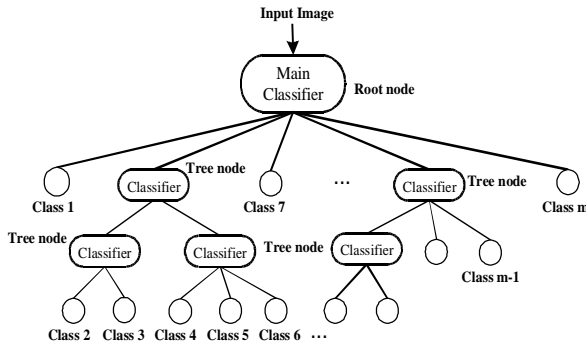
طبقه‌بندی تصویر یک مسأله شناسایی الگو است که از سه گام استخراج ویژگی، انتخاب ویژگی و تشخیص (آموزش یک طبقه‌بند با ویژگی‌های مستخرج) تشکیل شده است. در این مقاله، از یک طبقه‌بند شبکه عصبی MLP استفاده شده است که با الگوریتم پس انتشار خطا آموزش می‌بیند. در ادامه جزئیات دو بخش استخراج و انتخاب ویژگی بطور کامل تشریح می‌شود.

چکیده: طبقه‌بندی خودکار تصاویر روشی است که به کمک آن یک تصویر به یکی از کلاس‌های از پیش تعریف شده قبلی نسبت داده می‌شود. طبقه‌بندی تصاویر یکی از مهمترین مراحل در یک سیستم بازیابی تصویر براساس محتوا است. وجود این مرحله باعث کاهش زمان بازیابی تصویر بوسیله کاهش فضای جستجو در این سیستم‌ها می‌شود. در این مقاله، از یک ساختار سلسله مراتبی برای طبقه‌بندی تصاویر پزشکی استفاده می‌شود. در این ساختار با پیشنهاد یک روش خوشه‌بندی تحت عنوان نقشه ادغام، کلاس‌هایی که دارای همپوشانی قابل توجهی هستند، در یکدیگر ادغام می‌شوند. در این نقشه با استفاده از سه معیار صحت طبقه‌بندی، نرخ دسته‌بندی اشتباه و معیار شباهت، به نوعی یک روش خوشه‌بندی غیرنظارتی مدل می‌شود. در هر سطح ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی، تصاویر براساس محتویات شکلی و بافتی بوسیله طبقه‌بند شبکه عصبی پرسپترون چند لایه طبقه‌بندی می‌شود. ساختار پیشنهادی با یک پایگاه داده بزرگ از تصاویر اشعه X شامل ۹۱۰۰ تصویر در ۴۰ کلاس ارزیابی شد. صحت طبقه‌بندی ۸۸/۹٪ برای یک مسأله ۲۵ کلاسه در سطح اول ساختار بدست آمد. اگر سه تا از نزدیکترین کلاسها به عنوان کلاس صحیح در نظر گرفته شود این مقدار به ۹۴/۵٪ افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: طبقه‌بندی معنایی، تصاویر پزشکی، نمایه‌گذاری و بازیابی تصویر براساس محتوا، خوشه‌بندی غیرنظارتی.

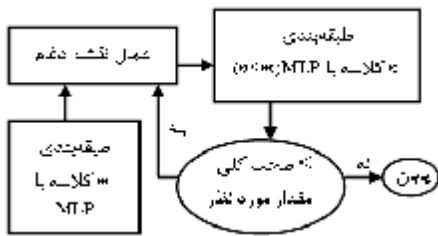
۱- مقدمه

رشد روزافزون تعداد پایگاه داده‌های با حجم بزرگ در زمینه‌های متفاوت پزشکی همچون مدیریت پایگاه داده تصاویر پزشکی (برای مثال سیستم PACS)، تشخیص به کمک کامپیوتر، تحقیقات، آموزش و تعلیم پزشکی نیاز به سیستم‌های بازیابی تصویر را بیش از پیش مشخص می‌کند [1]. در یک سیستم بازیابی تصویر براساس محتوا قبل از هر پردازشی، سیستم بازیابی باید کلاس مشابه تصویر پرس‌وجو را شناسایی کند. از این رو است که طبقه‌بندی تصاویر پزشکی براساس سیستم تصویربرداری، عضو بدن و جهت تصویربرداری با کنار زدن



شکل (۱): ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی برای طبقه‌بندی تصاویر

پزشکی.



شکل (۲): فرآیند تکراری نقشه ادغام پیشنهادی.

افزایش عملکرد طبقه‌بندی و طبقه‌بندی ابتدایی براساس ناحیه آناتومی و جهت تصویربرداری از بدن، کدام یک از کلاس‌های تصاویر باید با یکدیگر ادغام شوند؟ برای حل مشکل اول از روش انتخاب به جلو جهت انتخاب ویژگی استفاده می‌شود و برای حل مشکل دوم، نقشه ادغام پیشنهادی ارائه می‌گردد. در ادامه جزئیات این نقشه ارائه می‌گردد. شکل (۱) ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی برای طبقه‌بندی تصاویر پزشکی را نشان می‌دهد. در ساختار نشان داده شده، کلاس‌های ادغام شده در هر سطح ساختار توسط یک طبقه‌بند جدید، طبقه‌بندی می‌شوند.

۳-۱- نقشه ادغام

کلاس‌هایی از تصاویر که دارای همپوشانی قابل توجهی هستند با نقشه ادغام پیشنهادی با یکدیگر ادغام می‌شوند. نقشه ادغام از یک فرآیند تکراری تشکیل شده است که در هر تکرار پس از آموزش طبقه‌بند (شبکه عصبی) با نمونه‌های آموزشی، کلاس‌های همپوشان با سه معیار صحت طبقه‌بندی، نرخ دسته‌بندی اشتباه و شباهت بین دو کلاس، شناسایی شده تا پس ادغام کلاس‌های مشابه با یکدیگر، کلاس‌های جدید دوباره به شبکه آموزش داده شود. اگر صحت طبقه‌بندی کلی در حد قابل قبولی نبود فرآیند دوباره تکرار می‌شود در غیر اینصورت فرآیند به اتمام می‌رسد. شکل (۲) فرآیند تکراری نقشه ادغام پیشنهادی را نشان می‌دهد.

در نقشه پیشنهادی، برای شناسایی کلاس‌های همپوشان از سه معیار استفاده می‌شود: معیار اول، صحت طبقه‌بندی کلاس (A_i) ،

۲-۱- استخراج ویژگی

در این مقاله، طبقه‌بندی تصاویر پزشکی بر روی شکل شئی داخل تصویر متمرکز شده‌است. به این دلیل عمده ویژگی‌های مورد استفاده از نوع ویژگی‌های شکل می‌باشند. ولی علاوه بر ویژگی‌های شکل از ویژگی‌های بافت نیز جهت تقویت بردار ویژگی استفاده شده است. برای این منظور ویژگی‌های شکلی همچون ممانه‌های نامتغیر^(۵) (مان اول)^(۲)، ضرایب تشریح‌کننده فوریه^(۶) (با دو جایگزینی فاصله مرکز جرم و تابع مختصات مختلط)^(۳)، جهت محور اصلی^(۴)، میزان کشیدگی^(۵) و طول محور اصلی و فرعی^(۴) و ویژگی‌های بافتی همچون کنتراست، همگنی، انرژی و همبستگی مستخرج از ماتریس هم‌خدادی در چهار جهت (افقی، عمودی، قطری و فرعی) مورد استفاده قرار می‌گیرند^(۵).

۲-۲- انتخاب ویژگی

هدف اصلی در انتخاب ویژگی پیدا کردن یک مجموعه حداقل از ویژگی‌ها است که بهترین تمایز را بین تصاویر کلاس‌ها ایجاد می‌کند. از آنجایی که مجموعه بهینه از ویژگی‌ها ناشناخته است، معمولاً دو دسته روش رایج، انتخاب به جلو^(۷) و حذف به عقب^(۸) برای انتخاب ویژگی وجود دارد. روش انتخاب به جلو با یک مجموعه تهی از ویژگی‌ها شروع کرده و یکی یکی ویژگی‌ها را به مجموعه اضافه کرده تا مجموعه نهایی شکل گیرد. روش حذف به عقب با یک مجموعه کامل از ویژگی‌ها شروع کرده و ویژگی‌های ناکارآمد را یکی یکی حذف می‌کند تا در نهایت مجموعه ویژگی بهینه شکل گیرد. در این مقاله از روش انتخاب به جلو، جهت انتخاب مجموعه ویژگی‌ها استفاده شده است.

۳- ساختار سلسله مراتبی پیشنهادی برای طبقه‌بندی

دو دلیل عمده برای ترکیب طبقه‌بندها جهت حل مسائل طبقه‌بندی وجود دارد^(۶). اول اینکه، طبقه‌بندهای متفاوتی وجود دارد که هر کدام در یک زمینه متفاوت تبحر پیدا کرده‌اند. دوم اینکه، طبقه‌بندهای متفاوت که با نمونه‌های مشابه آموزش می‌بینند در عملکردهای کلی تفاوتی ندارند بلکه نقطه قوت آنها در عملکردهای جزئی به چشم می‌آید. هر طبقه‌بندی ممکن است در ناحیه‌ای از فضای ویژگی دارای بهترین عملکرد باشد. در کاربرد ما، به دلیل تعداد زیاد کلاس‌های تصاویر پزشکی با همپوشانی زیاد با یک طبقه‌بند تنها نمی‌توان به عملکرد خوبی رسید. برای این منظور طبقه‌بند سلسله مراتبی گزینه مناسبی جهت غلبه بر این مشکل خواهد بود.

برای شکل‌دهی ساختار سلسله مراتبی در اولین گام، با دو مسأله روبرو می‌شویم. اول اینکه، برای رسیدن به حداکثر تمایز بین تصاویر کلاس‌های متفاوت و حداکثر شباهت بین تصاویر کلاس‌های مشابه از نظر معنایی، کدام دسته از ویژگی‌ها باید انتخاب گردد؟ دوم اینکه، جهت

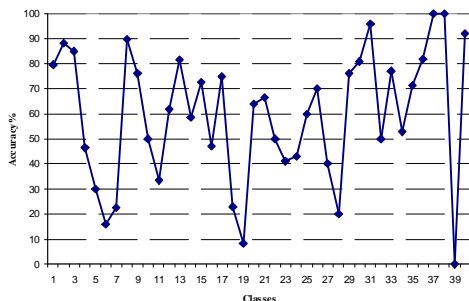
می‌شوند. جدول (۳) نتایج نقشه ادغام وقتی پارامترهای a ، b و g به ترتیب دارای مقادیر $۰/۶۰$ ، $۰/۳$ و $۰/۷۵$ هستند را نشان می‌دهد. در این جدول کلاس‌های پایگاه داده فقط با شماره کلاس مشخص شده‌اند در صورتی که شماره کلاس‌های جدید با C مشخص شده است. بعد از اولین تکرار نقشه ادغام، تعداد کلاسها در گره ریشه ساختار سلسله مراتبی به ۲۵ کلاس کاهش می‌یابد. نتایج نقشه ادغام نشان می‌دهد که اغلب کلاس‌هایی که از نظر معنایی مشابه بوده‌اند، در یکدیگر ادغام شده‌اند و کلاس‌های یکنواختی را شکل داده‌اند. پس از یکبار تکرار نقشه ادغام بر روی نتایج طبقه‌بندی تصاویر، تعداد کلاسها از ۴۰ کلاس به ۲۵ کلاس کاهش یافت و صحت طبقه‌بندی کلی به مقدار $۸۸/۹\%$ افزایش یافت. اگر کلاس صحیح طبقه‌بندی را در بین سه تا از نزدیکترین کلاسها در نظر بگیریم، صحت کلی طبقه‌بندی به مقدار $۹۴/۵\%$ افزایش می‌یابد.

جدول (۱): ویژگی‌های مستخرج به همراه اختصار نام آنها.

ویژگیها	طول ویژگی	علامت اختصار
میزان کشیدگی	۱	E
طول محور اصلی و فرعی	۲	M
جهت محور اصلی	۱	O
ضرایب فوریه - جایگزینی فاصله مرکز جرم	۱۲۷	FD
ضرایب فوریه - جایگزینی تابع مختلط	۲۵۴	FZ
ممان‌های نامتغیر	۵	I
بافت - کنتراست، همبستگی، انرژی و همگنی	۱۶	T

جدول (۲): نتایج طبقه‌بندی تصاویر در ۴۰ کلاس با طبقه‌بند MLP و آستانه ردی ۰/۲.

ردی (%)	صحت طبقه‌بندی (%)	طول بردار	مجموعه ویژگیها (وزنهای آنها در بردار ویژگی)
۸۸	۴۴	۴	E,M,O, (1,1,1)
۹۳	۱۲	۱۲۷	FD
۷۷	۷۵	۲۵۴	FZ
۹۴	۲	۵	I
۹۸	۴۴	۱۶	T
۲۶	۶۲	۲۵۸	FZ,E,M,O, (1.5,1,1,1)
۸۶	۲۳	۲۷۰	FZ,T, (1.5,1)
۲۸	۵۵	۲۶۳	FZ,I,E,M,O, (1.5,1,1,1,1)
۲۵	۶۰	۲۷۹	FZ,I,E,M,O,T, (1.5,1,1,1,1,1)
۲۴	۵۸	۲۶۳	FZ,I,E,M,O, (1.5,1.5,1,1,1)
۲۲	۵۹/۴۵	۲۶۳	FZ,I,E,M,O, (1.6,1.5,1.2,1,1)



شکل (۳): صحت طبقه‌بندی تصاویر پزشکی در ۴۰ کلاس.

معیار دوم، نرخ دسته‌بندی اشتباه بین دو کلاس i و j (M_{ij}) که بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$M_{ij} = \frac{\text{Num. of images class } i \text{ that is classified to class } j}{\text{Sum of assigned images to class } i \text{ and class } j} \quad (۶)$$

معیار سوم، فاصله همبستگی^۱ بین توابع توزیع دو کلاس i و j (D_{ij}). کلاس i با کلاس j دارای همپوشانی هستند و در یکدیگر ادغام می‌شوند، اگر سه شرط $A_i < a$ ، $M_{ij} > b$ و $D_{ij} < g$ بطور همزمان برقرار باشد. a ، b ، g به ترتیب سه آستانه برای سه معیار صحت طبقه‌بندی، نرخ دسته‌بندی اشتباه و معیار فاصله بین دو کلاس است. اگر برای آستانه‌های a و g مقدار بیشتر و b مقدار کمتری انتخاب گردد، تعداد کلاسهای بیشتری یکدیگر ادغام شده و صحت کلی طبقه‌بندی نیز افزایش می‌یابد. در انتها دو نکته باقی می‌ماند یکی نحوه تخمین تابع توزیع کلاسها و دیگری کاهش ابعاد ویژگی است که اولی با استفاده از مدل‌های ترکیبی گوسین (GMM) و الگوریتم EM در فضای ویژگی تخمین زده می‌شود [7] و دومی از الگوریتم آنالیز مولفه اصلی^۱ استفاده می‌شود [8].

۴- نتایج آزمایش‌ها

در این مقاله از یک پایگاه داده شامل ۹۱۰۰ تصویر اشعه X پزشکی در ۴۰ کلاس مختلف استفاده شده است. این تصاویر مجموعه‌ای از تصاویر پایگاه داده پروژه IRMA [9] می‌باشد که توسط افراد خبره برچسب خورده است. این پایگاه داده به دو زیرمجموعه آموزشی (شامل ۷۸۶۱ تصویر) و زیرمجموعه آزمایشی (شامل ۱۲۳۹ تصویر) تقسیم شده است که جهت آموزش و آزمایش طبقه‌بند پیشنهادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۱- ساختار سلسله مراتبی در سطح اول

همانگونه که قبلاً اشاره شد، در سطح اول ساختار سلسله مراتبی، تصاویر براساس اشیاء داخل آنها به چند کلاس عمده طبقه‌بندی می‌شوند. برای پاسخگویی به دو سوالی که در بخش ۳ مطرح شد، در ابتدا تصاویر به ازای مجموعه ویژگی‌های متفاوت (۱۱ فضای ویژگی متفاوت در جدول (۲)) در ۴۰ کلاس طبقه‌بندی می‌شوند تا بهترین مجموعه ویژگیها انتخاب گردد. نتایج نشان می‌دهند که فضای ویژگی (FZ,I,E,M,O) با وزنهای (1.6,1.5,1.2,1,1) نسبت به بقیه فضاها ویژگی صحت طبقه‌بندی بالاتر و درصد ردی پایین‌تری را حاصل می‌کند (صحت طبقه‌بندی ۵۹/۴۵٪ با ۲۲٪ ردی). همانگونه که پیش‌بینی می‌شد، فضاها ویژگی که دارای اطلاعات محتوای شکلی (ویژگی‌های شکل با وزن بیشتر) هستند نسبت به بقیه فضاها عملکرد مطلوب‌تری از خود نشان می‌دهند. شکل (۳) صحت طبقه‌بندی تصاویر پزشکی در ۴۰ کلاس را نشان می‌دهد. در مرحله دوم، با اعمال نقشه ادغام، کلاس‌های همپوشان شناسایی شده و با یکدیگر ادغام

مراجع

- [1] Liu Y., Zhang D., Lu G., Ma W. Y., "A survey of content-based image retrieval with high-level semantics", Pattern Recognition, vol. 40, pp. 262-282, 2007.
- [2] Yang L., and Alregtsen F., "Fast computation of invariant geometric moments: A new method giving correct results," Proc. IEEE Int. Conf. on Image Processing, 1994.
- [3] Persoon E., and Fu K., "Shape discrimination using Fourier descriptors," IEEE Trans. Syst., Man, and Cybern., Vol. 7, pp. 170-179, 1977.
- [4] A. K. Jain, *Fundamental of Digital Image Processing*, Englewood Cliffs, Prentice Hall, 1989.
- [5] Haralick R. M., Shanmugan K., and Dinstein I., "Textural features for image classification", IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics, vol.3, no.6, pp.610-621, 1973.
- [6] Jain A.K., Duin P.W., Mao J., "Statistical pattern recognition - a review", IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell., Vol. 22, no. 1, pp. 4-36, 2000.
- [7] Greenspan H. and Pinhas A. T., "Medical Image Categorization and Retrieval for PACS Using the GMM-KL Framework", IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, vol. 11, no. 2, pp. 190-202, March 2007.
- [8] Jain A. K. and Bhandrasekaran B., *Dimensionality and sample size considerations in pattern recognition practice, in Handbook of Statistics*, vol. 2, P. R. Krishnaiah and L. N. Kanal, Eds., Amsterdam, The Netherlands: North Holland, pp. 835-855, 1987.
- [9] Lehmann T., Guld M., Thies C., Fischer B., Spitzer K., Keyers D., Ney H., Kohnen M., Schubert H., and Wein B. B., "Content-based image retrieval in medical applications," Methods Inform. Med., vol. 43, no. 4, pp. 354-361, 2004.
- [10] Keyers D., Dahmen J., Ney H., Wein B.B., Lehmann T.M., "A statistical framework for model-based image retrieval in medical applications," J. Electronic Image, Vol.12, no.1, pp.59-68, 2003.
- [11] Rahman M. M., Bhattacharya P., and Desai B. C., "A Framework for Medical Image Retrieval Using Machine Learning and Statistical Similarity Matching Techniques With Relevance Feedback", IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, vol. 11, no. 1, pp. 58-69, Jan. 2007.
- [12] Rahman M. M., Bhattacharya P., and Desai B. C., "A Framework for Medical Image Retrieval Using Machine Learning and Statistical Similarity Matching Techniques With Relevance Feedback", IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine, vol. 11, no. 1, pp. 58-69, Jan. 2007.

زیر نویس ها

- ¹ Multi Layer Perceptron
- ² Invariant Moment
- ³ Fourier Descriptor Coefficient
- ⁴ Major Axis Orientation
- ⁵ Eccentricity
- ⁶ Major and Mirror Axis Length
- ⁷ Forward selection
- ⁸ Backward elimination
- ⁹ Correlation
- ¹⁰ Principle Component Analysis

جدول (۳): نتایج نقشه ادغام در اولین تکرار.

نام کلاس جدید (اولین تکرار نقشه ادغام)	نام کلاس های ادغام شده در اولین سطح	صحت طبقه بندی (%)
C1	۱	۸۰
C2	۲	۸۵
C3	۳	۸۱
C4	۴, ۱۴, ۳۴	۸۹
C5	۵	۸۸
C6	۶, ۱۷, ۲۸	۸۵
C7	۷, ۱۹, ۲۶	۸۲
C8	۸, ۱۱, ۱۰	۸۵
C9	۹, ۲۵	۸۴
C10	۱۲	۱۰۰
C11	۱۳, ۲۰, ۳۲	۸۰
C12	۱۵	۸۸
C13	۱۶	۸۵
C14	۱۸, ۲۲, ۲۳	۸۸
C15	۲۱	۹۱
C16	۲۴	۸۲
C17	۲۷	۹۰
C18	۳۰	۸۸
C19	۲۹, ۳۵	۸۷
C20	۳۶	۹۱
C21	۳۱	۱۰۰
C22	۳۳	۹۵
C23	۳۷	۱۰۰
C24	۳۸, ۳۹	۹۵
C25	۴۰	۱۰۰

۵- نتیجه گیری

در این مقاله، یک ساختار سلسله مراتبی برای طبقه بندی معنایی تصاویر اشعه X پزشکی ارائه شده است. در این ساختار، عملکرد طبقه بندی با ارائه یک نقشه ادغام جهت ادغام کلاس های همپوشان افزایش یافته است. در روش پیشنهادی این مقاله، چگونگی ترکیب موثر یک روش طبقه بندی نظارتی با یک روش خوشه بندی غیرنظارتی را جهت طبقه بندی معنایی تصاویر پزشکی تشریح می کند. ساختار پیشنهادی با یک پایگاه داده بزرگ شامل ۹۱۰۰ تصویر در ۴۰ کلاس ارزیابی شد. صحت طبقه بندی در سطح اول ساختار با اعمال نقشه ادغام برابر ۸۸/۹٪ برای مسأله ۲۵ کلاسه فراهم شد. این مقدار به صحت ۹۴/۵٪ می رسد اگر سه تا از نزدیکترین کلاسها به عنوان کلاس صحیح در نظر گرفته شود. مقایسه دقیق بین روش های ارائه شده قبلی با روش پیشنهادی مقاله کار مشکلی است (به دلیل عدم وجود پایگاه داده استاندارد) [7]. کمترین خطای طبقه بندی گزارش شده در [10] ۸٪ برای یک مسأله ۶ کلاسه بر روی یک پایگاه داده شامل ۱۶۱۷ تصویر بوده است. صحت طبقه بندی تصاویر بر روی یک پایگاه داده ۶۳۳۱ تصویری ۸۵/۵٪ برای یک مسأله ۸۰ کلاسه بوده است [11]. در [12]، بهترین صحت طبقه بندی برای مسأله ۲۰ کلاسه بر روی یک پایگاه داده شامل ۵۰۰۰ تصویر ۸۱/۶٪ گزارش شده است. این مقدار در [7] برای یک مسأله ۱۷ کلاسه بر روی یک پایگاه داده شامل ۱۵۰۰ تصویر برابر با ۹۷/۵٪ گزارش شده است.