

چکیده:

این مقاله، خلاصه کوتاهی از مدل ها و روش های مبتنی بر مجموعه های فازی برای درک و پردازش تصویر از سطح پایین تا سطوح بالاتر تفسیر، پیشنهاد می دهد. بیشتر تاکید این مقاله بر روندهای اخیر بوده است.

کلمات کلیدی: پردازش تصویر، درک تصویر، مجموعه های فازی، اطلاعات فضایی، اطلاعات ساختاری، استدلال فضایی

1. مجموعه های فازی برای درک و پردازش تصویر: مقدمه

از زمان معرفی مجموعه های فازی، این نظریه به سرعت در حال بهره برداری و توسعه مسائل مربوط به درک و پردازش تصویر بوده است، که یکی از دلایل آن اهمیت مواجهه و برخورد با اطلاعات و دانش مبهم و غیردقیق است. همچنین فراهم آوردن یک چارچوب ریاضی استوار و ثابت برای ارائه و نمایش اطلاعات، مدلسازی اطلاعات در سطوح مختلف، تلفیق اطلاعات ناهمگن و ایجاد استدلال و تصمیم گیری. در این مقاله، نکات اصلی تحقیق را خلاصه کرده و به برخی زمینه های جدید که شایسته بررسی است، اشاره می کنیم. بعضی از ارجاعات و منابع به عنوان نمونه ذکر شده و جامعیت ندارند.

منابع عدم قطعیت (عدم دقت)

عدم دقت اغلب برای تصاویر ذاتی محسوب می شود و دلایل آن را در چندین سطح می توان پیدا کرد. پدیده مشاهده شده، (محدودیت های عدم دقا بین ساختار و اشیاء) فرایند اکتساب (وضوح محدود، روش بازسازی عددی، مصنوعات بالقوه)، مراحل پردازش تصویر (برای نمونه، عدم قطعیت ناشی از یک فیلتر). عدم قطعیت علاوه بر دانش موجود و در دسترس، درباره فرایند اکتساب، خواص تصاویر بدست آمده، دامنه و ... رخ می دهد.

تمایل به استفاده از مجموعه های فازی

مجموعه های فازی برای نشان دادن چنین عدم قطعیت ها و ناهماهنگی ها، همانند سایر زمینه های پردازش اطلاعات دارای چند مزیت هستند: چون که آنها چارچوب یکپارچه ای برای ارائه و پردازش اطلاعات عددی و نمادین (سمبولیک) تشکیل می دهند. اولاً، آنها (مجموعه های فازی) قادر هستند چندین نوع از ناهمسانی را در تصاویر نشان دهند. برای مثال ناهمسانی در موقعیت مکانی اشیاء، یا ناهمسانی و نامشخص بودن عضویت یک شیء به یک کلاس. برای نمونه، اثر حجم جزئی و یک نمایش نامتناقص را در مجموعه های فازی پیدا می کند. (درجه عضویت یک پیکسل یا واکسل به اشیاء به طور مستقیم، نشان دهنده عضویت جزئی به اشیاء

مختلفی که در این پیکسل یا واکسل ترکیب شده است که منجر به یک مدل سازی سازگار با واقعیت می شود). ثانیاً، با مجموعه های فازی، اطلاعات تصویر را می توان در سطوح مختلف (محل، منطقه ای یا جهانی) به خوبی فرم های مختلف دیگر (عددی یا نمادین) نشان داد. برای مثال: طبقه بندی براساس تنها سطوح خاکستری، شامل اطلاعات محلی بسیاری است (سطح پیکسل)، نشان دادن پیوستگی فضایی در طبقه بندی یا روابط بین ویژگی ها، شامل اطلاعات منطقه ای است و نمایش روابط بین اشیاء یا نواحی در تفسیر صحنه، شامل اطلاعات بیشتر جهانی و مربوط به زمینه استدلال فضایی است. ثالثاً، چارچوب مجموعه فازی، اجازه نمایش اطلاعات بسیار ناهمگون را می دهد و قادر است با اطلاعاتی که مستقیماً از تصاویر استخراج شده اند و همچنین اطلاعات بدست آمده از برخی دانش های خارجی نظیر دانش تخصصی، مواجهه شود. این مورد به طور خاص، در تشخیص الگو مبتنی بر مدل (مدل محور) به کار گرفته می شود. جایی که اطلاعات فازی استخراج شده از تصاویر مقایسه شده با یک مدل که نشان دهنده دانش بیان شده در جملات فازی است، تطبیق می یابد.

بنابراین این نظریه می تواند وظایف و تکالیف را در سطوح مختلف از سطوح پایین (مثل طبقه بندی مبتنی بر سطح خاکستری) به سطوح بالا (مثل تشخیص ساختاری مبتنی بر مدل و تفسیر صحنه) انجام دهد. این یک چارچوب انعطاف پذیر برای انجام اطلاعات و همچنین ابزارهای قدرتمندی را برای استدلال و تصمیم گیری فراهم می آورد. از دیدگاه ریاضی، مجموعه های فازی می توانند با یک ساختار شبکه بندی کامل مجهز شوند که برای ارتباط آن با سایر نظریه های پردازش اطلاعات با ساختارهایی سبیه ساختار مورفولوژی ریاضی یا علم منطق، مناسب خواهد بود. در حالی که کاربردهای اولیه عمدتاً به خاطر طبقه بندی، تشخیص لبه یا فیلترینگ در سطح پایینی قرار دارند، در حال حاضر مدل سازی و پردازش اطلاعات سطح بالا به طور گسترده ای توسعه یافته و همچنان موضوع تحقیقات فعلی به شمار می رود. این موضوع، شامل برخورد و مواجهه با اطلاعات فضایی در سطح متوسط یا بالاتر از طریق مورفولوژی ریاضی، استدلال فضایی، هستی شناسی، نمودارها یا سیستم های دانش محور و همچنین پیشرفت در یادگیری ماشین، توصیف سطح بالای محتوای تصویر، سروکار داشتن با سطوح مختلف دانه است. این موارد تنها به عنوان نمونه ذکر شد. اگرچه جا دارد به موارد بیشتری اشاره کرد.

شکاف معنایی (منطقی)

یکی از مهم ترین مسائل استدلال سطح بالا، برای مثال در مدل های مبتنی بر نماد، شکاف معانی است [147]. سوال مورد نظر باید بدین شرح باشد که: نحوه پیوند ادراک های بصری از تصویر به توصیفات نمادین چگونه است؟ این مورد به عنوان مسئله نهادینه کردن نماد در هوش مصنوعی شناخته می شود [82 و 56]. علاقه مجموعه های فازی برای جواب دادن به این پرسش بخاطر توانایی آن ها در زبان شناسی مدل و همچنین اطلاعات و دانش وابسته به آن است. یک مثال نمونه برای این، مفهوم متغیر زبانی است [159]، جایی که

مقادیر و ارزش های نمادین دارای معنی هستند که توسط توابع عضویت در یک حوزه مشخص تعریف می شوند.

یک مرور کوتاه بر رساله های موجود

حال اجازه دهید سیر تکاملی این حوزه را براساس رساله ها و کتاب های منتشر شده یا مجموعه مقالات به شدت مستقل یا کمتر مستقل، خلاصه کنیم. اولین اثر مربوط به طبقه بندی و تشخیص الگو و رساله های در مورد این موضوعات است که در اواخر 1990 منتشر شد. [119 و 52 و 18 و 17]. شاخص های ابهام و صحت خوشه ای قبلا معرفی شده است که ایراد اساسی در ارائه نتایج بهتر برای طبقه بندی های ترد و شکننده همراه است که با نیاز اولیه ادعا شده برای کلاس های فازی تناقض دارد. کتاب Tizhoosh [149] نیز به برخی فعالیت ها که در زمینه هندسه و مورفولوژی ریاضی روی مجموعه های فازی انجام گرفته است اشاره می کند. این کتاب به طور عمده روی پردازش های سطح پایین برای تشخیص لبه و بهبود کیفیت تصویر با استفاده از قوانین اعمال شده روی همسایگ های محلی از پیکسل ها یا به حداقل رساندن شاخص ابهام می پردازد. تکامل در جهت سیستم های مبتنی بر قاعده و رویکردهای عصبی-فازی در کتابی به نوشته Bezdek و همکارانش [17] تایید شده است. همه این رویکردها به سرهت در زمینه های کاربردی مختلفی همچون تصویربرداری پزشکی مورد استفاده قرار گرفته است. تیم Ghent چندین کتاب در زمینه: ارائه یک مرور کلی از پیشرفت های مورفولوژی ریاضی فازی، فیلترینگ با استفاده از رویکردهای محلی، کنترل و روش های مبتنی بر قاعده با کاربردهای مرتبط در [91] و به خصوص فیلترینگ تصویر در [114]، ویرایش و چاپ کرده اند. کاربردهای جدید در سنجش از راه دور، بازیابی تصویر، تحلیل ویدئو، تصویر برداری پزشکی، همچنین برخی پیشرفت های نظری در [113] گنجانده شده است. اجازه دهید تا علاوه بر این ها، به مقاله ای از Karmakar و همکارانش [90] اشاره کنیم که شامل تکنیک های تقسیم بندی فازی، خوشه بندی، قوانین IF-THEN است که بیشتر با تصاویر دو بعدی (یا تصاویری با تعداد کلاس ها یا خوشه های مشخص) انطباق دارد. کاربردهای اضافی در فشرده سازی، همچنین رویکردهای مختلف نرم افزاری، همچنان عمدها برای پردازش های سطح پایین در [120] گنجانده شده است.

اخیرا کتابی از Chaira و همکارانش [50] دوباره با پردازش سطح پایین با برخی اشارات درباره بازیابی تصویر و کاربردها در سنجش از راه دور سروکار داشتند. جالب است که این کتاب شامل مثال هایی از متلب نیز است که در نتیجه استفاده واقعی و عملی از همه این روش ها میسر می شود.

روش های سطح بالاتر به مرور معرفی شدند. به عنوان یک گواه برای این تکامل اجازه دهید به کتاب ویرایش شده توسط Matsakis و همکارانش [105] و مقاله خلاصه ای [25] که با روابط فضایی نظیر توپولوژیکی، متریک و روابط جهت دار در ارتباط است اشاره کنیم. این زمینه به مرور به روابط پیچیده تری سوق پیدا کرده است. توجه داشته باشید که علاقه به استفاده از مجموعه های فازی برای روابط فضایی قبلا در سال 1975 به رسمیت شناخته شده بود [76]. اما مدل های رسمی برای آن ها خیلی بعدها بوجود آمد.

این مدل ها در حال حاضر برای تقسیم بندی های مبتنی بر مدل و شناخت ساختارها در تصاویر بکار گرفته می شود. کتاب محاسبات دانه ای نوشته Pedrycz و همکارانش [127] مجموعه های فازی و همچنین مدل های دیگر را برای مدل سازی های عدم قطعیت نظیر تحلیل های وقفه دار و مجموعه های خشم مورد بررسی قرار می دهد. برخی از فصل های این کتاب لا تصاویر و استدلال فضایی سروکار دارد. به طور قابل توجهی، مقدمه این کتاب، تصاویر را به عنوان یک حوزه معمولی تعریف می کند که تا چه حد روش های توصیف شده در کتاب مفید هستند. (برای مثال برای استدلال از سطح پیکسل تا به سطح شیء)، پیشرفت در پایگاه های داده، استخراج داده، یادگیری ماشین، استدلال مبتنی بر حالت در [77] توصیف شده اند. تعداد از فصل ها به داده های فضایی به عنوان بخشی از حوزه بزرگتر پردازش اطلاعات فازی پرداخته است.

در نهایت، اجازه دهید به تعداد زیادی از نشست های ویژه در کنفرانس ها که به رویکردهای فازی برای پردازش تصویر و درک تصویر اختصاص داده شده می پردازیم. (مثل IPMU, WILF, FUZZ-IEEE, ICIP, EUSFLAT یعنی هر دو کنفرانس با تمرکز بر مجموعه های فازی و کنفرانس هایی در زمینه پردازش تصویر و بینایی کامپیوتر) تعدادی از این جلسات و نشست ها توسط کارگروه محاسبات نرم افزاری در پردازش تصویر، سازمان دهی شده است.¹ این گروه یکی از دنباله رو های گروه SCIP است. (محاسبات نرم افزاری در پردازش تصویر)² و امروزه به عنوان کارگروه جامعه اروپایی در زمینه فازیو فناوری شناخته می شود (EUSFLAT)³

2. نمایش ها

مجموعه های فازی را می توان هم برای نمایش اطلاعات تصویر به همراه عدم دقت های آن بکار برد و هم نمایش حوزه (دامنه) و دانش تخصصی.

مجموعه های فازی که اطلاعات تصویر را ارائه می دهد را می توان از دو منظر مورد توجه قرار داد. اولاً، یک تابع عضویت تابعی از فضایی باشد که در آن تصویری که داخل $[0,1]$ تعریف شده است، نشان دهنده درجه عضویت هر نقطه به یک شیء فازی فضایی است. چنین مدل هایی ممکن است انواع مختلف عدم دقت را هم روی مرز اشیاء (برای مثال به علت اثر حجم جزئی یا تفکیک فضایی) و هم تغییر پذیری این اشیاء، هم ابهام و گنگی بالقوه بین کلاس ها و غیره نشان دهد. دوماً یک تابع عضویت می تواند تابعی از یک فضای خاص در داخل $[0,1]$ باشد. در سطح عددی چنین خواصی، معمولاً سطوح خاکستری هستند. پس از آن مقدار عضویت، درجه ای را به یک سطح خاکستری، از عضویت در یک شیء یا یک کلاس موجود در شرایط مبهم مانند روشن، تاریک و پشتیبانی می کند. (ارائه می کند). در سطح

¹ http://graphicwg.irafrn.osu.cz/index.php/main_page

² <http://www.fuzzu.ugent.be/SCIP/index.html>

³ http://www.eusflat.org/research_wg_scip.php

متوسط، خواص می توانند برای مثال به نواحی فرم تصویر، مراجعه کنند. سپس توابع عضویت اجازه تعیین کشیدگی، منظم بودن و را در ناحیه تصویر می دهد.

با توجه به نمایش دانش، از مجموعه های فازی معمولا برای مدل سازی به صورت شبه کمی، نمادین یا دانش کیفی استفاده می شود که توصیف کننده محتوای موردانتظار از تصاویر است. (ظاهر و شکل اشیاء، روابط فضایی؛ همانگونه که در بخش 5 توصیف شده، نوع اشیاء و ...). مفهوم متغیر زمانی اخیرا بیشتر مورد استفاده قرار می گیرد. این نمایش ها برای کاهش شکاف معنایی توسط همسویی یک مقدار نمادین یا کیفی با یک بازنمایی در یک حوزه مشخص همکاری می کند. (حوزه فضایی یا دامنه صفات). این موضوع در انواع مختلفی از دانش کاربردی در درک تصویر اعمال می شود: دانش عمومی در مورد نوع صحنه مشاهده شده و نوع تصویر، دانش خاص مربوط به تصویر، مورد استفاده برای استخراج اطلاعات معنی دار از این تصاویر و دانش پیوند تصویر و مدل.

3. سطح پایین: خوشه بندی، تقویت (افزایش)، فیلترینگ، شناسایی لبه

پردازش سطح پایین به نمایش اطلاعات تصویر در سطح یک پیکسل یا واکسل بستگی دارد. (یا در یک همسایگ کوچک در اطراف سطح پیکسل ها). یکی از شایع ترین وظایف مورد توجه در این سطح، خوشه بندی و طبقه بندی است. ایده این است که کلاس هایی را با مرز های نامشخص مثل کلاس های فازی مدل سازی کنیم و بهترین تقسیمی که برخی از ضوابط را بهینه می کند، بیابیم. در بین این روش ها، بیشترین استفاده از الگوریتم فازی C-Means صورت می گیرد. [FCM]. [16] که اغلب برای اطلاعات سطح خاکستری به کار می ود. اشکال اصلی این روش آن است که با توجه به محدودیت نرمالیزه کردن، توابع عضویت نسبت به فاصله از مراکز کلاس، کاهش نمی یابد. یک راه حل جایگزین برای FCM که مانع از ایرادات نرمالیزه شدن می شود، توسط امکان C-means (PCM) [93]، ارائه می شود. اخیرا رویکردهایی برای اصلاح تابع هدف برای افزایش توانایی FCM برای نويز پیشنهاد شده است. همچنین برای یکی کردن اطلاعات فضایی با تعریف توابع عضویتی که به همسایگی محلی اطراف هر نقطه بستگی دارد، پیشنهاداتی ارائه داده شده است. برای مثال [1،74،92،98،101،132،143] کلاس بندی فازی با سایر فرمالیسم ها (فرم گراها) مثل میدان های تصادفی Markov [142] یا توابع باور [104] در ارتباط است.

ثابت شده که نمایش های مبتنی بر تبدیل های فازی [129] نیز برای پردازش تصویر سطح پایین مثل فشرده سازی تصویر یا کدینگ، مفید خواهد بود.

یکی از کارهای مهم دیگر در پردازش محلی، مربوط به فیلترینگ، تقویت و شناسایی لبه است. رویکردهای اصلی را می توان به دو گروه تقسیم کرد: تکنیک های مبتنی بر بهینه سازی عملکردی در یک طرف، و در طرف دیگر، تکنیک های مبتنی بر قاعده. این جنبه ها به طور گسترده ای در زبان شناسی توسعه یافته است. (برای نمونه [6،7،17،19،48،89،96،100،150] را ببینید) رویکردهای عملکردی شامل به

حداقل یا حداکثر رساندن یک عملکرد، که می تواند به عنوان نمایش تحلیلی از یک هدف تفسیر شود، می باشد. به عنوان مثال، افزایش کنتراست یک تصویر به کمک این تکنیک، به کاهش ابهامات تصویر می افزاید (کمک می کند). این را می توان به کمک یک اصلاح ساده در توابع عضویت (برای مثال استفاده از اپراتورهای تشدید کننده) با به حداقل رساندن یک شاخص فازی، مثل انتروپی، یا حتی با تعیین یک مقدار آستانه بهینه (برای مثال بهینه در تشخیص به حداقل رساندن یک شاخص فازی) که منجر به یک تقویت شدید می شود، انجام داد. (تا باینری سازی) [121،122]. روش های دیگر عبارتند از، اصلاح فیلترهای کلاسیک (فیلتر میانه برای مثال) به کمک ترکیب توابع وزن دهی فازی [97]. تکنیک های مبتنی بر قاعده به مدل های ایده آل وابسته هستند. (از فیلترها، کانتورها و ...). این موارد ایده آل، کمیاب هستند لذا تغییرات و تفاوت های مربوط به این مدل ها، از طریق نمایش های فازی مدل ها به عنوان قوانین فازی مجاز است. [41،95،139،140]. توجه داشته باشید که گاهی اوقات قواعد تنها یک نمایش متفاوت از رویکردهای عملکردی هستند. مزیت اصلی آن ها این است که طراحی آن ها (به ویژه برای اپراتورهای تطبیقی) و تفسیر آن ها آسان است و ارتباط با کاربر را سهولت می بخشد.

با وجود این که این رویکردهای سطح پایین به طور گسترده ای توسعه یافته اند (بررسی همه آن ها در اینجا میسر نیست) با این حال محدودیت دارند و تاثیر مجموعه های فازی همیشه تاثیر بالایی نیست. عملکرد و تاثیر این مجموعه ها در سطوح متوسط یا بالا افزایش می یابد که در بخش های بعدی خلاصه وار آورده شده است.

4. سطح متوسط

کار در سطح متوسط از طریق مدل ها و عملیات هندسی، توپولوژیکی یا متریکی انجام می شود. برخی اشیاء هندسی مثل نقطه ها، قرص ها (دیسک ها)، مستطیل ها یا خطوط برای فازی شدن گسترش یافته اند. [45،79،136]. چندین عملیات در زبان شناسی اشیاء فازی به ویژه اشیاء فازی فضایی، از زمان کارهای اولیه Zadeh [159] بر روی عملیات مجموعه و اثر Rosenfeld بر روی عملیات هندسی [136] تعریف شده است. مثال های نوعی برای عملیات هندسی، مساحت و محیط یک شیء فازی هستند. آن ها را می توان به عنوان اعداد ترد و شکننده معرفی کرد، جایی که محاسبات شامل هر نقطه تا درجه عضویت آن است. اما زمانی که اشیاء به خوبی تعریف نشده باشند، بهتر است فرض شود که اندازه گیری انجام شده روی آن ها هم غیردقیق بوده است و این دیدگاه منجر به تعاریفی به نام اعداد فازی می شوند [68]. در [145،146] نشان داده شده است که استفاده از نمایش فازی اشیاء دیجیتال، اجازه می دهد که اندازه گیری های قوی تری نسبت به استفاده از نمایش های شکننده بدست آید و به طور خاص برخورد مناسب با عدم دقت ها در نتیجه فرایند دیجیتال سازی، القا می شود (بوجود می آید). چنین اندازه گیری های هندسی، می تواند به طور معمول در تشخیص شکل مورد استفاده قرار بگیرد در حالی که ویژگی های هندسی اشیاء مدنظر گرفته می شود (برای

مثال در تصاویر ماموگرافی [42،131] و یا به عنوان توصیف گرهای برای فهرست کردن و کاربردهای استخراج داده.

اجازه دهید که اکنون، اتصال فازی را به عنوان مثالی از ویژگی توپولوژیکی در نظر بگیریم. این مفهوم، که در ابتدا در [136] تعریف شده بود و سپس در مفاهیم اتصال فازی بکار گرفته شده بود، امروزه به طور گسترده برای مثال در تقسیم بندی تصاویر پزشکی [151]، مورد استفاده قرار می گیرد و در نرم افزارهای آزاد موجود مثل ITK⁴ بکار گرفته می شود. بعدها، کلاس های جامع تری از اتصال های فازی مشابه کاربرد تصویربرداری پزشکی توسعه یافتند [44،115،124]. با استفاده از هم توپولوژی و هم متریک ها، مفهوم اسکلت و محور میانی نیز به مجموعه های فازی تعمیم پیدا کرد. [84،102،118،123]

به لطف ساختار جبری قدرتمند مجموعه های فازی، توسعه، مورفولوژی ریاضی برای یک مورد فازی بسیار طبیعی بود. پیشرفت های اولیه را می توان در کتاب توصیف فازی Minkowski یافت [69]. اخیراً این مسئله توسط چند نویسندگان به طور مستقل مورد بررسی قرار گرفته است. برای مثال [12،20،37،58،57،60،103،110،133،144]، این آثار را می توان به دو رویکرد اصلی تقسیم کرد. در مورد اولی [37،58،59]، یک ویژگی مهم که در حال پیشرفت است، دوگانگی بین فرسایش و انبساط، یعنی دو عملیات اصلی از مورفولوژی ریاضی است. نوع دوم رویکرد، مبتنی بر مفاهیم وابستگی و مفهوم فازی هستند و در [60] رسمی شده اند. ارتباط بین هر دو رویکرد با شرایط همسان سازی آن ها در [29] روشن شده است. همچنین ثابت شده است که اگر بخواهیم مجموعه ای از خواص کلاسیک را با مورفولوژی ریاضی استاندارد به اشتراک بگذاریم، تعاریف انبساط و فرسایش در این رویکردها، موارد بسیار عمومی هستند. تنظیمات عمومی شبکه های کامل در [31] مورد بررسی قرار گرفته اند و در ادامه، همچنین اطلاعات دوقطبی در [32،106،111،112] مورد بررسی قرار گرفته اند. در کنار کاربردهای کلاسیک مورفولوژی ریاضی برای فیلترینگ، تقویت، تقسیم بندی، نسخه فازی آن برای مدل سازی عدم قطعیت فضایی، (برای مثال [39]) برای تعریف روابط فضایی فازی [25،26] همان گونه که در بخش 5 خواهید دید، برای تعریف مجموعه های فازی میانه و دنباله ای از مجموعه های فازی درونیایی [28] و استفاده شده بود.

5. سطح بالاتر

5-1 نمایش اطلاعات ساختاری

اطلاعات اصلی موجود در تصاویر، شامل خواص اشیاء و روابط بین اشیاء است که هر دو برای تشخیص الگو و به منظور تفسیر صحنه استفاده می شود. ارتباط بین اشیاء اهمیت ویژه ای دارد، زیرا آن ها اطلاعات ساختاری درباره صحنه را با مشخص کردن آرایش فضایی اشیاء با خود به همراه دارند. این روابط به شدت از تشخیص ساختاری مبتنی بر مدل ها حمایت می کنند. این مدل ها می توانند از

⁴ <http://www.itk.org>

نوع آیکونیک (نمادین)، به عنوان اطلس یا از نوع سمبولیک، به عنوان تفاسیر زبان، گراف های مفهومی یا معنایی یا هستی شناسی باشند.

روابط فضایی به شدت در توصیفات زبانی صحنه های بصری نقش دارند. آن ها، اطلاعات بسیار مهمی را برای کمک به تشخیص ساختارهای جاسازی شده در یک محیط پیچیده، تشکیل می دهند و روابط فضایی نسبت به ویژگی های اشیاء نظیر شکل و اندازه پایدارتر هستند و کمتر تمایل به تغییرپذیری دارند (حتی در موارد پاتولوژیک). مدل های ریاضی از چندین رابط فضایی (مجاورت، فاصله، روابط جهت دار، تقارن، تداخل، توازی و ...) در چارچوب تئوری مجموعه های فازی پیشنهاد شده اند که به شدت به اپراتورهای مورفولوژی ریاضی وابسته است. [152، 54، 40، 38، 35، 25، 23، 22]. برای مثال، معنی یک رابطه مانند نزدیک به، در سمت راست، را می توان به عنوان یک المان ساختاری فازی مدل سازی کرد و انبساط یک شیء مرجع توسط این المان ساختاری، ناحیه فازی فضایی را ایجاد می کند که در آن رابط مربوطه کافی و بسنده است.

این نمایش های فازی می توانند هستی شناسی را بهبود و پرمایه کنند و به کاهش شکاف معنایی بین مفاهیم نمادین، همانگونه که در هستی شناسی و ادراکات بصری تاکید شده و همانگونه که از تصاویر برمی آید، کمک می کند. این ایده ها به طور خاص در تقسیم بندی و روش های تشخیص که در [153، 116، 85، 53، 36، 34، 11] توضیح داده شده بکار می رود: یک مفهوم از هستی شناسی برای کمک به تشخیص، با بیان معنی آن به عنوان یک مجموعه فازی بکار می رود. برای مثال در دامنه تصویر یا در یک دامنه صفات که به همین ترتیب می تواند به طور مستقیم به اطلاعات تصویر لینک شود.

به طور مشابه، چنین روابط فضایی، ویژگی های مفیدی در نمودارها و نمودارهای فازی بشمار می روند و تشخیص و استخراج روابط مبتنی بر تشابه بین نمودارها و اطلاعات ساختاری را [128، 49، 15، 5] با بهره گیری از ادبیات عظیم در ابزارهای مقایسه فازی (مثال [43]) به ارمغان می آورد. روابط فضایی، می تواند در نمودارهای مفهومی و دنباله های فازی آن ها همانند [153] تعبیه شود.

5-2 تلفیق

رویکردهای بسیاری برای پردازش و درک تصویر، و هرچه که در سطح آن ها باشد، شامل مراحل تلفیق هستند. تلفیق اطلاعات به خاطر فزونی تکنیک های تصویربرداری به شدت مهم می شوند. اطلاعات تلفیق شده می تواند از چندین تصویر یا فقط از یک تصویر ناشی شود. به عنوان مثال، استفاده از تلفیق چندین رابطه بین اشیاء یا چندین ویژگی اشیاء یا از تصاویر و یک مدل، مثل یک اطلس آناتومی یا یک نمودار مفهومی یا دانش بیان شده در فرم زبان شناسی یا مثل هستی شناسی. مزایای مجموعه های فازی و احتمالات در انواع اپراتورهای ترکیبی، بکار می روند که در انتخاب آن ها، انعطاف پذیری بالایی را ارائه می دهد که می

تواند با هر وضعیتی که در دست است، سازگار شود. و ممکن است با اطلاعات ناهمگن مقابله کند [70،156] طبقه بندی این اپراتورها، در [21] با توجه به رفتار آن ها (از لحاظ همبستگی، تفکیک، سازش [70]) پیشنهاد شده است. ثابت شده، کنترل احتمالی این رفتارها، خواص آن ها و قاطعیت آن ها برای چندین برنامه کاربردی در پردازش تصویر مفید و سودمند است. فرآیند تلفیقی را می توان در چندین سطح از نمایش اطلاعات، از سطح پیکسل تا سطح بالاتر انجام داد. تلفیق محلی اغلب محدود است. بخاطر اینکه اطلاعات فضایی واقعا مدنظر قرار نگرفته است و کار در سطح متوسط یا بالاتر (برای مثال، ترکیب چندین رابطه فضایی برای کمک به فرایند ادراک)، بسیار قدرتمند است. مثال ها را می توان در حوزه های مختلفی یافت. [34،53،107،116،125،137،153]

5-3 ادراک صحنه

درک صحنه با استفاده از رویکردهای فازی، بیشتر به حوزه استدلال فضایی تعلق دارد که می تواند به عنوان حوزه نمایش دانش فضایی به ویژه روابط فضایی بین موجودیت های فضایی و استدلال در این موجودیت ها و روابط تعریف شود. این زمینه ها تا حد زیادی در هوش مصنوعی توسعه یافته است. به ویژه با استفاده از نمایش های کیفی مبتنی بر قالب های منطقی [3]. در تفسیر تصویر و بینایی کامپیوتر، این موضوع خیلی کمتر توسعه یافته است و عمدتا مبتنی بر نمایش های کمی است.

یک مثال معمول در این حوزه، مربوط به تشخیص ساختار مبتنی بر مدل در تصاویر است که در آن مدل، موجودیت های فضایی و روابط بین آن ها را ارائه می کند. دو جزء اصلی این حوزه عبارتند از، نمایش دانش فضایی و استدلال دانش فضایی. به طور خاص، روابط فضایی، بخش مهمی از دانش را که ما با آن سروکار داریم، تشکیل می دهد. عدم دقت اغلب به استدلال فضایی در تصاویر افزوده می شود و می تواند در سطوح، از دانش تا نوع سوالی که ما می خواهیم پاسخ دهیم، رخ دهد. جزء استدلال شامل تلفیقی از دانش فضایی ناهمگن، تصمیم گیری، استنتاج و تشخیص است. هنگام برخورد با روابط تلفیقی فضایی دو نوع سوال مطرح می شود:

- (1) در دو شیء معین، (احتمال فازی): دسترسی به مرتبه ای که کدام رابطه بسنده و رضایت بخش است.
- (2) در یک شیء مرجع معین، سطحی از فضا را مشخص کنید که در آن، یک رابطه برای این مرجع بسنده و رضایت بخش باشد (تا یک مرتبه ای)

در [26] نشان داده شده است که پیوستگی سه چارچوب در یک روش واحد، برای مثال مورفولوژی ریاضی، مجموعه های فازی و منطق، از یک طرف اجازه می دهد دو الزام مهم مطابق هم باشند: بیان و تکمیل با توجه به انواع اطلاعات فضایی ارائه شده و از طرف دیگر، انجام وظایف استدلالی موفق برای درک تصویر.

یک نمایش معمول از اطلاعات ساختاری برای هدایت تفسیر تصویر از یک نمودار تشکیل شده است که در آن، راس های نمودار نشان دهنده اشیاء یا نواحی تصویری هستند (احتمالا با خواصی مثل شکل، اندازه،

رنگ یا سطح خاکستری) و لبه ها که حاوی اطلاعات ساختاری هستند (روابط فضایی بین اشیاء، کنتراست رادیومتری بین نواحی و ...).

اگرچه این نوع نمایش در 30 سال گذشته محبوب شده است [55]، با این حال، هنوز تعداد زیادی از مسائل صریح هنوز به طور موثر از آن ها برای تفسیر استفاده می کنند. یک نوع رویکرد این است که خودش از تصویرش نمودار استخراج کند. براساس یک تقسیم بندی اولیه از تصویر به نواحی ناهمگن و بیان کردن تشخیص به عنوان مسئله مطابقت یک نمودار بین نمودار تصویر و نمودار مدل. که با این وجود مشکلات ترکیبی را سبب می شود. [46،55]. در [80،99،126،141،157] یک برچسب زنی اولیه از نواحی تصویر انجام می شود و روابط فضایی برای اصلاح این برچسب زنی یا استخراج اشیاء مورد علاقه، استفاده می شود.

همه این رویکردها، یک تقسیم بندی اولیه صحیح از تصویر را در نظر می گیرد. با این حال، این روش به عنوان یک مسئله بسیار مشکل در پردازش تصویر شناخته می شود که هیچ راه حل فراگیر و جهانی برای آن وجود ندارد. تقسیم بندی معمولاً ناقص است و هیچ تناظری بین نمودارها برای مطابقت وجود ندارد. یک مطابقت غیردقیقی باید پیدا شود. برای مثال اجازه دادن به چندین ناحیه تصویر برای تبدیل شدن به راس یک مدل یا خرد کردن مفهوم مورفیسیم به مورفیسیم فازی [128]. برای مثال در [61،62] یک فرا تقسیم بندی تصویر انجام شده است که بدست آوردن آن ساده است. سپس یک ساختار مدل با یک مجموعه از نواحی به صورت محدود مرتبط می شود و تشخیص به عنوان یک مسئله رضایت محدود، بیان می شود. همچنان با تکیه بر یک تقسیم بندی اولیه، رویکردهای اخیر پیشنهاد شده اند. برای مثال، هستی شناسی [85،117]، با افزونه های فازی، علاوه بر سایر انواع روش ها (گرامری یا نمونه های احتمالی) مورد استفاده قرار می گیرند.

برای غلبه بر مشکل بدست آوردن تقسیم بندی های مربوطه، تقسیم بندی و تشخیص را می توان به صورت ضمنی و همزمان انجام داد. برای مثال روش پیشنهاد شده در [36،53] شامل تقسیم کردن و شناسایی هر شیء موردنظر به صورت روش از پیش محاسبه شده است. [75] اشیائی که به راحتی تقسیم بندی می شوند در ابتدا در نظر گرفته شده و به عنوان مرجع انتخاب می شوند. روابط فضایی برای این اشیاء مرجع کدگذاری شده در مدل ساختاری، به عنوان قیدی برای هدایت تقسیم بندی و تشخیص سایر اشیاء بکار می روند. با این حال استخراج اشیاء اول اگر به اندازه کافی مقید نشده باشد، ممکن است دشوار باشد و با توجه به ماهیت ترتیبی فرایند، خطاها به طور بالقوه انتشار می یابد. پس از آن ممکن است لازم باشد عقب نشینی شود همان گونه که در [75] پیشنهاد شده است.

برای غلبه بر مسائل مطرح شده در رویکردهای ترتیبی، در حینی که از روی آوردن به تقسیم بندی اولیه اجتناب می شد، روش دیگری با تکیه بر یک مدل ساختاری لیکن حل مسئله در یک چارچوب جهانی در [116] پیشنهاد شد. یک راه حل، انتساب یک ناحیه فضایی برای هر شیء مدل، که محدودیت های بیان شده در مدل را برآورده می کند. یک راه حل با کاهش فزاینده دامنه راه حل، برای همه اشیاء با حذف انتساب

ها که با مدل ساختاری سازگار نیستند، بدست می آید. شبکه های محدود کننده [138] یک چارچوب مناسب هم برای رسمیت دادن به مسئلت و هم برای بهینه سازی بوجود می آورند. این رویکرد در [153] به مسائل رضایتمندی محدودیت فازی (گسترش [66]) گسترش یافت. و با روابط پیچیده یا شامل شدن تعداد نامتناهی از اشیاء درگیر شد.

در کنار تشخیص و تقسیم بندی، ثابت شد که روابط فضایی فازی و به طور کلی، اطلاعات فضایی فازی برای سایر وظایف مثل، ردیابی چندین شیء [154،155]، هسته های نمودار برای یادگیری ماشین [5]، درک چهره [135]، ناوبری در محیط های ناشناخته در رباتیک [47،65،78] مفید است.

6. کار پژوهشی در حال توسعه و چشم انداز

1-6 استخراج و بازیابی

استخراج و بازیابی، پیش از این، از موضوعات قدیمی در تصویربرداری به شمار می رفت که توسط اندازه بزرگ (و همیشه در حال افزایش) و تعداد تصاویر توجیه می شود. در این حوزه استفاده از مجموعه های فازی علی رغم وجود پتانسیل در آن ها، خیلی کم کار شده است. برخی کارها از ویژگی های سطح پایین مثل بازیابی رنگ برای تصویر استفاده می کند. (برای مثال [51،81،88]) و حتی کمتر از اطلاعات ساختاری استفاده می کند. (برای مثال [5]) رویکردهای یادگیری ماشین نیز به یک مورد فازی گسترش و تعمیم یافته است. (برای مثال [5،108،109]) به وضوح مشخص است که هنوز یک مسیر باز برای تحقیق باز است. از جمله سوالات مربوط به پایه ریزی سمبل و شکاف معنایی.

2-6 به سوی دوقطبی

در حال حاضر یک تمایل در پردازش اطلاعات معاصر، بر اطلاعات دوقطبی متمرکز است. هم از نقطه نظر ارائه دانش و هم یک پردازش و استدلال. تشخیص و تمییز دو قطبی بین (i) اطلاعات مثبت که نشان دهنده آن است که چه چیزی ممکن است تضمین شود برای مثال چون قبلا دیده شده یا تجربه شده است و (ii) اطلاعات منفی که نشان دهنده آن است که چه چیزی غیرممکن یا ممنوع یا قطعا غلط است [67،72]. این زمینه اخیرا در چندین شاخه کار برانگیز شده و جای کار کردن دارد. به طور خاص، فرمالیسم های فازی و احتمالی برای اطلاعات دوقطبی در [13،14،67،73] پیشنهاد شده است. سه نوع از دوقطبی در [73] مشخص و برجسته شده است: (i) یکنواخت متقارن، (ii) دومتغیره متقارن، (iii) نامتقارن یا ناهمگن، که دو نوع اطلاعات لزوما با هم مرتبط نیستند و ممکن است از منابع مختلفی باشند. این نوع آخر در تفسیر تصویر و استدلال فضایی مورد علاقه است و می تواند از مورفولوژی ریاضی بهره ببرد. [27،30،33،106،111،112]. کار بیشتر در این شاخه، در ارتباط با استدلال مبتنی بر انواع مختلف منطق ها (مرحله اول را برای مثال در [86] ببینید) چالش برانگیز است.

3-6 به سوی تعاملات بیشتر بین دانش و اطلاعات تصویر

چنین تعاملاتی باید در دو شاخه درک شود و احتمالا در سال های آینده کارهای تحقیقاتی فراوانی را سبب خواهد شد. همان طور که در فصل 5 اشاره شد، دانش به ویژه بیان شده به یک فرم فازی، برای هدایت درک تصویر و استدلال فضایی مفید است. با این حال جنبه های استدلال، سزاوار توسعه بیشتری است. به عنوان مثال، درک تصویر می تواند به عنوان یک فرایند ابداعی بیان شود [8،10]، یا روزرسانی اطلاعات براساس اطلاعات زمانی یک فرایند تجدیدنظر کننده باشد. ادغام اطلاعات فضایی و زمانی، نیز یک شاخه مهم برای دنبال کردن است. برای کاربردهایی مثل آنالیز ویدئو، تشخیص تغییر و ... چندین چارچوب می تواند درگیر کار باشد مانند منطق مودال [24]، منطق توصیف [10،64،87]، تحلیل مفهوم رسمی [4،9،10] و ... برعکس نتایج بدست آمده از تصاویر برای ایجاد یک توصیف زبانی از صحنه مشاهده شده، می تواند بیشتر مورد استفاده قرار بگیرد. برای مثال در زبان دامنه تخصصی، لحاظ کردن فرایند درک تصویر به عنوان تولید یک توصیف کلامی از محتوای تصویر [134]. کارهای اخیر بر روی تلفیق اصطلاحات زبان شناختی چندگانه می تواند مفید باشد [83]

سپاسگذاری

من می خواهم از سردبیران این موضوع، A. Ralescu و H. Maitre, D. Doboies, H. Prade برای بحث های مفید و آگاهانه تشکر کنم. از M. Anvari و L. Zadeh برای ماندنشان. من تقریبا بیست سال پیش در Berkeley کار کردم که الهام بخش بسیاری از همکاری های من بود و همه همکاران و دانش آموزانی که در آثار ذکر شده شرکت داشتند.