علوم و فناوری نساجی و پوشاک
دوره جدید، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۹
صفحه ۲۱-۹، ۱۳۹۶
ISSN: ۲۱۵۱-۷۱۶۲

مروری بر روش‌های تولید، ارزیابی و تشخیص الگوی استتاری

A Review for Camouflage Pattern Designing, Evaluating and Breaking Methods

منا زینل‌پور یزدی[۱]، پدرام پیوندی[۱*]، حسین ایزدان[۲]

۱- یزد، دانشگاه یزد، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۷۴۱-۸۹۱۹۵
۲- اصفهان، دانشگاه صنعتی اصفهان، مجتمع فنی و مهندسی، دانشکده مهندسی نساجی، صندوق پستی ۸۳۱۱۱-۸۴۱۵۶

چکیده

مسئله استتار قرن‌هاست که به‌وسیله حیوانات و انسان‌ها به منظور محافظت خود از دشمن و در واقع راهی برای جلوگیری از دیده‌شدن هدف توسط مشاهده‌گر استفاده می‌شود. در مقاصد نظامی نیز برای تغییر شکل‌دادن نیروها و تجهیزات در برابر شناسایی دشمن از استتار به‌عنوان فریب نظامی استفاده می‌شود. در زمان‌های قدیم تولید طرح‌های استتاری توسط هنرمندان و به‌طور دستی انجام می‌شد که بسیار زمان‌بر و پرهزینه بود. امروزه با پیشرفت فناوری و اهمیت‌داشتن استتاری مناسب، استفاده از روش‌های پردازش تصویر نظیر فیلترهای بهبود تصویر، فیلترهای تشخیص لبه، شکل‌شناسی ریاضی، استفاده از روش خوشه‌بندی k-means و نیز استفاده از فرکتال سبب افزایش دقت و سرعت تولید این گونه طرح‌ها می‌شود. در این بررسی، پژوهش‌های انجام گرفته در زمینه تولید، ارزیابی و تشخیص استتار با استفاده از روش‌های پردازش تصویر بررسی شد.

کلمات کلیدی
الگوی استتاری،
پردازش تصویر،
خوشه‌بندی،
فرکتال

تعریف استتار

واژه اســـتتار برگرفته از کلمه فرانسوی به معنای کور و نابینا و در اصطلاح ایتالیایی به معنای پنهان‌کردن هویت، فریب و منشأ نامشخص است. همواره استتار از دغدغه‌های مهم در زندگی بشـــر بوده است و بسیاری از پژوهشگران سعی کرده‌اند، برای استتار تعاریفی داشته باشند. در اینجا تعاریفی بیان شده که ماهیت استتار را مشخص می‌سازد. استتار شامل مخلوطی از روش‌های مختلف با استفاده از مواد و رنگ‌آمیزی‌ها و نور و تاریکی برای پنهان‌کردن خود از دید افراد و سایر حیوانات است. استتار از راه‌هایی است که برای در امان‌ماندن موجودات زنده و غیرزنده از دیده‌شدن به‌وسیله دشمن از طریق غیرقابل تشخیص‌شدن از محیط اطـــراف به‌کار می‌رود. با این تفســـیرها، اغلب لباس‌های اســـتتاری با هدف پنهان‌کاری و همسان‌سازی با محیط ســـاخته می‌شـــوند تا با محیط زمینه پیرامون، یکسان انگاشته شـــوند و از برگشت شـــکل منظم بدن خود، با مختل‌کردن و برهمزدن دید دیگران، جلوگیری به‌عمل آورند. استتار در زمینه نظامی نیز به‌عنوان روشی چشمگیر برای محافظت از تجهیزات و امکانات نظامی در جنگ‌های مدرن نیز استفاده می‌شود [۴-۱].

*مسئول مکاتبات، پیام‌نگار: peivandi@yazd.ac.ir

انواع استتار

استتار را می‌توان به دو نوع مرئی و نامرئی تقسیم‌بندی کرد. ابتدا برای پنهان‌سازی، استتار در ناحیه مرئی صورت انجام می‌شد، اما در سال‌های اخیر با پیشرفت علم، تجهیزات ردیابی نیز به‌سرعت پیشرفت کرده و در محدوده‌های مختلفی از طیف الکترومغناطیس عمل می‌کنند.

برای ایجاد استتار در نواحی مرئی، هدف باید از نظر رنگ، بافت و الگو با محیط اطراف آن همانند باشد. در این ناحیه از طیف الکترومغناطیس، ظاهر هدف و همانندی آن با محیط اطراف آن بسیار مهم است. اما، در ناحیه نامرئی مشاهده و شناسایی هدف با استفاده از تجهیزات شب انجام می‌شود.

در ناحیه نامرئی اگر هدف مدنظر بازتابی مشابه با بازتاب اجزای محیط داشته باشد، قابل تشخیص نیست و استتار صورت می‌گیرد. در نتیجه در ناحیه نامرئی طیف بازتابی هدف باید با طیف بازتابی محیط پیرامون همانند باشد [۵].

همچنین، استتار را می‌توان با توجه به قرارگیری در نواحی مختلف طیف به انواع زیر دسته‌بندی کرد [۶]:

الف) استتار با دامنه مرئی:

جهت تشخیص اشیاء بصری بدون استفاده از دستگاه‌های نوری در دامنه دید، مشکل ایجاد می‌کند. محدوده طول موج این نوع استتار [$۰/۷۸\times۱۰^{-۶}$، $۰/۳۸\times۱۰^{-۶}$] متر می‌باشد.

ب) استتار مادون قرمز:

جهت پیدا کردن اهداف با استفاده از تلویزیون مادون قرمز ، عکاسی با مادون قرمز و یا عکاسی حرارتی مشکل ایجاد می کند. محدوده ی طول موج این نوع [۱۴×۱۰^{-۶}، $۰/۷۸\times۱۰^{-۶}$] متر می‌باشد.

پ) استتار ضد رادار:

جهت تشخیص اهداف استتاری با استفاده از وسایل راداری در محدوده ی مایکروویو با طول موج [۱، ۳×۱۰^{-۶}] متر، مشکل ایجاد می‌کند.

ت) استتار ماورای بنفش:

این نوع استتار جهت تشخیص اهداف با استفاده از وسایل عملیاتی در طول موج [$۰/۳۸\times۱۰^{-۶}$، $۰/۰۱\times۱۰^{-۶}$] متر مشکل می‌کند.

اصول تشخیص استتار

تشخیص شئ استتاری در محیط به‌وسیله بینایی انسان طی چهار مرحله انجام می‌شود [۹]:

الف- پیداکردن خصوصیتی از تصویر که جزئی از پس‌زمینه نیست؛

ب- شناسایی منطقه‌ای در تصویر که نماینده تصویری واحد است؛

ج- تعریف لبه‌های تصویر (به‌دست‌آوردن شکل دوبعدی) و

د- تشخیص این مطلب که آیا شکل دوبعدی به‌وسیله شئی سه‌بعدی (که قبلاً در حافظه بیننده ذخیره شده است) ایجاد شده است.

مرحله (ج) براساس اصول اولیه قانون گشتالت که در ادامه به آن اشاره می‌شود، تصویری از لبه‌های مرحله (ب) را تولید می‌کند.

قانون گشتالت

گشتالت علم روانشناختی، شناخت شکل است که Wertheimer روانشناس آلمانی در اوایل دهه ۱۹۰۰ آن را مطرح کرد [۱۰،۱۱]. نظریه گشتالت بیان می‌کند، مغز انسان برای درک و فهم موضوعات پیچیده که از بخش‌های گوناگون تشکیل شده، به این گونه عمل می‌کند که تمام بخش‌ها را به‌صورت موضوعی واحد جمع‌آوری می‌کند و نخست درک کلی از آن موضوع را به‌دست می‌آورد[۹]. قانون گشتالت هفت اصل دارد که به‌صورت زیر تعریف می‌شود [۱۲،۱۳]:

(الف) نزدیکی (proximity): عناصر نزدیک به‌هم با هم در یک گروه به‌نظر می‌رسند (جدول ۱ ردیف ۱).

(ب) شباهت: عناصر شبیه به‌هم با یکدیگر گروه‌بندی می‌شوند (جدول۱ ردیف ۲).

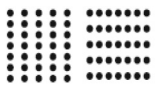
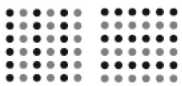
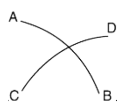
(ج) تداوم (continuity): خطوط صاف، مستقیم یا منحنی متعلق به‌هم هستند، مثلاً با توجه به جدول ۱ ردیف ۳، فرد خط A-B یا C-D را انتخاب می‌کند و احتمال انتخاب A-C و B-D خیلی کم است.

(د) بسته‌بودن: شکل‌ها حتی با اطلاعات ناقص و از دست رفته هم کامل می‌شوند (جدول ۱ ردیف ۴).

(ه) سرنوشت مشترک (common fate): عناصر متحرک که در یک جهت‌اند، متعلق به یک گروه به‌نظر می‌رسند (جدول ۱ ردیف ۵).

(و) طرح و زمینه (design-background): اساساً تمایل ذاتی به درک بخشی از رویداد به‌عنوان طرح و بخش دیگر به‌عنوان پس‌زمینه وجود

جدول ۱- قانون گشتالت [۱۲].

ردیف	اصل گشتالت	مثال تصویری
۱	اصل نزدیکی	
۲	اصل شباهت	
۳	اصل تداوم	
۴	اصل بسته‌بودن	
۵	اصل سرنوشت مشترک	
۶	اصل طرح و زمینه	
۷	اصل تقارن	[ ] [ ] [ ]

دارد. در جدول ۱ ردیف ۶، یک جام مشاهده می‌شود که در زمینه‌ای سفید قرار گرفته است. در حالت دیگر، تصویر دو صورت روبه‌روی یکدیگر که در زمینه‌ای مشکی قرار گرفته‌اند. با وجود این، امکان مشاهده این دو تصویر به‌طور هم‌زمان وجود ندارد.

(ز) تقارن (symmetry): براساس این قانون ذهن، اشیا را به‌طور متقارن درک می‌کند و آن‌ها را حول نقطه مرکزی شکل می‌دهد. به‌عنوان مثال در جدول ۱ ردیف ۷ تمایل به درک سه براکت متقارن و نه ۶ براکت جداگانه وجود دارد.

(الف) (ب) (ج)

شکل۱- اعمال تبدیل فوریه روی پارچه استتاری: (الف) پارچه استتاری، (ب) طیف پارچه و (ج) فاز پارچه.

روش‌های شاخص پردازش تصویر در زمینه استتار

پردازش تصویر روشی برای تبدیل تصویر به شکل دیجیتال و انجام برخی از عملیات روی آن، برای دریافت تصویری بهبود یافته یا برای استخراج برخی از اطلاعات مفید از آن است. پردازش تصویر شامل روش‌هایی است که اطلاعات دیجیتالی مهم را از بخش‌های تصویر جدا می‌کند. در چند دهه اخیر استفاده از روش‌های پردازش تصویر در زمینه تولید، ارزیابی و تشخیص استتار مورد توجه قرار گرفته است. در زمینه تولید طرح استتاری می‌توان به استفاده از روش‌های داده‌کاوی نظیر خوشه‌بندی فازی k-means اشاره کرد. در ارزیابی و تشخیص استتار نیز از فیلترهای لبه‌یاب و روش کنی استفاده زیادی شده است، در کنار این روش‌ها محاسبه بعد فرکتال نیز به‌عنوان روشی کارآمد برای تولید طرح استتاری استفاده شده است. در ادامه به‌طور مختصر به این روش‌ها پرداخته شده است.

فیلترها

عملیات فیلترگذاری به‌گونه‌ای روی تصویر اعمال می‌شود که مقدار پیکسل‌های تصویر را با توجه به مقدار پیکسل‌های همسایگی آن تغییر می‌دهند. فیلترها به دو نوع مات‌کننده و تیزکننده دسته‌بندی می‌شوند. فیلترهای مات‌کننده برای بهبود و صاف‌کردن تصاویر استفاده می‌شوند از جمله این فیلترها، فیلتر گوسین است که از این نوع فیلتر برای عملیات پیش‌پردازش قبل از تولید طرح استتاری استفاده می‌شود. فیلترهای تیزکننده نیز لبه‌های تصویر را نشان می‌دهند که نمونه‌ای از این نوع فیلترها، فیلترهای Sobel و Prewitte هستند که در زمینه تشخیص و ارزیابی استتار مورد توجه زیادی قرار گرفتند. یکی از روش‌های پرکاربرد در تشخیص استتار روش کنی است که در آن از چند فیلتر متفاوت برای تشخیص لبه استفاده می‌شود [۱۴].

نمودار شدت فراوانی

نمودار فراوانی شدت یا هیستوگرام (histogram) مبنایی برای بسیاری از روش‌های پردازش حوزه مکانی نظیر آستانه‌گذاری تصویر و بهبود تباین (contrast) تصویر است. در زمینه استتار از هیستوگرام بیشتر برای عملیات پیش‌پردازش قبل از تولید طرح استتاری استفاده شده است [۱۴].

تبدیل فوریه

تبدیل فوریه (fast Fourier transform) در پردازش تصویر بیشتر برای اعمال فیلترهای بالاگذر، پایین‌گذر یا استخراج تکرارهای موجود در تصویر به‌کار می‌رود. با استفاده از این تبدیل تصویر را می‌توان به دو بخش طیف و فاز تبدیل کرد [۱۴]. استفاده از تبدیل فوریه بیشتر در زمینه تولید طرح استتاری است. اعمال تبدیل فوریه روی تصویری استتاری در شکل ۱ نشان داده شده است.

شکل‌شناسی ریاضی

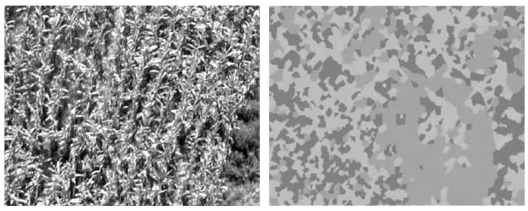
شکل‌شناسی (morphology) ریاضی روشی یکنواخت و قدرتمند در پردازش تصویر است که برای استخراج اطلاعات از تصویر به‌کار می‌رود [۱۵]. ابزار فرسایش و گسترش دو عملی که پایه پردازش مبتنی بر شکل‌شناسی ریاضی هستند و در زمینه تولید طرح‌های استتاری استفاده می‌شوند [۱۶]. در شکل ۲ نمونه‌ای از ایجاد الگوی استتاری از منظره طبیعی با استفاده از شکل‌شناسی ریاضی مشاهده می‌شود.

داده‌کاوی

داده‌کاوی به روشی گفته می‌شود که با استفاده از آن می‌توان اطلاعات نهان یا الگوها را در حجم زیادی از داده‌ها کشف کرد [۱۷]. امروزه از داده‌کاوی برای تولید طرح استتاری و تشخیص استتار استفاده می‌شود. دو روش پرکاربرد داده‌کاوی در این زمینه، استفاده از روش خوشه‌بندی k-means و خوشه‌بندی فازی k-means است که در ادامه به آن پرداخته شده است.

خوشه‌بندی k-means

خوشه‌بندی یا تحلیل خوشه‌ای، شاخه‌ای از علم تحلیل داده‌هاست که با استفاده از ویژگی مشترک داده‌ها و بدون نیاز به اطلاعات پیش‌فرض، داده‌ها را به تعداد خوشه از پیش‌تعیین شده نسبت می‌دهد. یکی از کاربردهای این روش خوشه‌بندی در گروه‌بندی نقاط با شدت نورهای مشابه است که از آن برای تقسیم‌بندی و جداسازی اشیا از زمینه تصویر



(الف) (ب)

شکل۲- ایجاد الگوی استتاری با استفاده از شکل‌شناسی ریاضی: (الف) تصویر اصلی و (ب) پارچه استتاری تولید شده [۱۶].

استفاده می‌شود. به‌طور خلاصه الگوریتم k-means[۱۸] عبارت است از:
- انتخاب k داده از میان داده‌ها به صورت تصادفی به‌عنوان مراکز خوشه‌ها؛
- تعیین فواصل بقیه داده‌ها با مراکز خوشه‌ها؛
- قرارگیری داده‌هایی در آن خوشه که به مرکز هر یک از خوشه‌ها نزدیک‌اند؛
- محاسبه میانگین هر یک از خوشه‌ها به‌عنوان مراکز جدید خوشه‌ها و
- تکرار مرحله دوم تا چهارم تا رسیدن به عدم تغییر در خوشه‌ها.

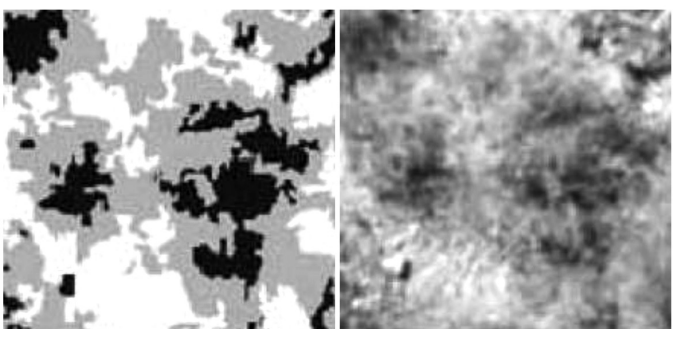
به علت اینکه الگوریتم خوشه‌بندی k-means با مراکز خوشه تصادفی کار می‌کند، برای همین نتایج خوشه‌بندی، متأثر از مراکز خوشه اولیه انتخابی است در نتیجه الگوریتم دارای جواب یکتایی نیست. مسئله پیداکردن خوشه‌بندی بهینه، در این زمینه مورد توجه است و معمولاً مسئله اعتبار خوشه نامیده می‌شود. شاخص‌های اعتبار خوشه‌بندی اغلب از دو معیار فشردگی و پراکندگی برای ارزیابی خوشه‌بندی انجام شده استفاده می‌کنند. این شاخص‌ها سعی در محاسبه فشردگی و جدایش بین خوشه‌ها و در برخی موارد هم‌پوشانی آن‌ها و ساخت ترکیب مناسبی از آن‌ها برای پیداکردن مناسب‌ترین خوشه‌بندی دارند. از این خوشه‌بندی بیشتر در زمینه کاهش رنگ تصاویر برای ایجاد تولید طرح استتاری استفاده می‌شود.

خوشه‌بندی فازی

در خوشه‌بندی k-means هر داده متعلق به یک خوشه است و نمی‌تواند عضو دو خوشه یا بیشتر باشد. به عبارت دیگر، خوشه‌ها با یکدیگر هم‌پوشانی ندارند، اما در حالتی که مقدار تشابه یک داده با دو خوشه یا بیشتر یکسان باشد، از خوشه‌بندی فازی [۱۹] استفاده می‌شود. از این نوع خوشه‌بندی نیز برای تولید طرح استتاری و کاهش رنگ تصاویر استفاده می‌شود. در شکل ۳ نمونه‌ای از طرح استتاری ایجاد شده به‌وسیله خوشه‌بندی فازی k-means مشاهده می‌شود.

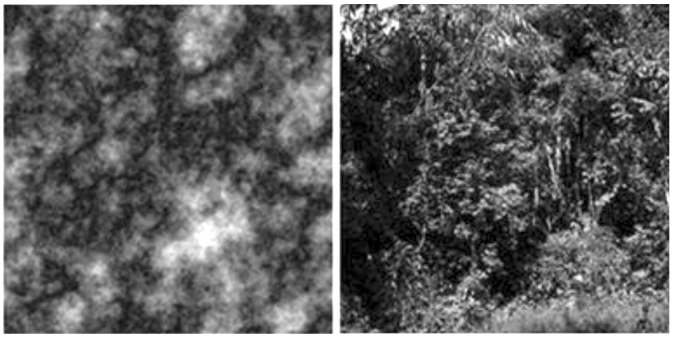
هندسه فرکتال

فرکتال یا بَرخال ساختاری هندسی (fractal geometry)، متشکل از اجزایی است که با بزرگ‌کردن هر جزء به نسبت معین، همان ساختار اولیه به‌دست می‌آید. به عبارتی دیگر، فرکتال ساختاری است که هر جزء از آن با کل آن



(الف) (ب)

شکل۳- طرح استتاری ایجاد شده با روش فازی k-means: (الف) تصویر اولیه و (ب) الگوی استتاری [۳].



(الف) (ب)

شکل۴- نمونه‌ای از تولید طرح فرکتالی [۲۰]: (الف) تصویر اصلی و (ب) تصویر فرکتالی.

همانند است. فراکتال‌ها شکل‌هایی هستند که برخلاف شکل‌های هندسی اقلیدسی به هیچ وجه منظم نیستند. این شکل‌ها اولاً سرتاسر نامنظم‌اند، ثانیاً میزان بی‌نظمی آن‌ها در همه مقیاس‌ها یکسان است و جسم فراکتال از دور و نزدیک یکسان دیده می‌شود. فرکتال‌ها دارای سه ویژگی مشترک خودهمانندی، پیچیدگی در مقیاس خرد و نداشتن بعد صحیح هستند. در زمینه تولید طرح استتاری از بعد فرکتالی استفاده می‌شود. استتار سنتی براساس تعدادی از علائم بی‌قاعده با زاویه‌های نرم و هموار است که مرز بین رنگ‌ها به‌خوبی مشخص می‌شود، اما امروزه برای دستیابی به طرح‌های استتاری مؤثرتر، از تلفیق الگوهای کوچک و بزرگ استفاده می‌کنند که به این طرح‌ها، طرح‌های دیجیتالی یا فرکتالی می‌گویند [۲۰]. شکل ۴ نمونه‌ای از تولید طرح فرکتالی را نشان می‌دهد.

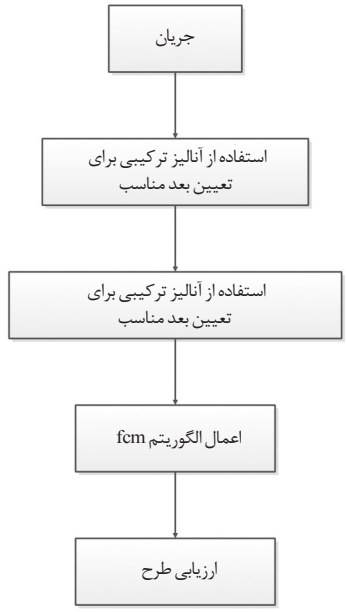
مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه استتار

با توجه به اهمیت استتار، در چند دهه اخیر توجه پژوهشگران و دانشمندان زیادی به این زمینه جلب شده است. در این قسمت به کارها و پژوهش‌های انجام شده در زمینه تولید، ارزیابی و تشخیص استتار پرداخته شده است.

تولید طرح استتاری

برای چاپ یک طرح روی پارچه به دلیل محدودیت رنگی که وجود دارد، باید رنگ‌ها کاهش داده شود که این کمی‌سازی رنگی باید به بهترین شکل ممکن انجام شود، زیرا روی کیفیت طرح پارچه اثرگذار است. یکی از روش‌های کاهش رنگ استفاده شده به‌کارگیری روش فازی k-means است. در این روش مراکز اولیه باید انتخاب شود، بنابراین انتخاب مناسب می‌تواند در بهبود عملکرد این الگوریتم بسیار مؤثر باشد. با توجه به اهمیت این موضوع گرجی و همکاران [۲۱] در سال ۲۰۰۷ روش جدیدی را برای به‌دست آوردن خوشه‌های اولیه مناسب برای بهبود در عملکرد الگوریتم فازی k-means ابداع کردند.

ابتدا برای ساده‌سازی محاسبات و صرفه‌جویی در وقت از اصول آنالیز ترکیبی (principal component analysis, PCA) برای پیداکردن یک بعد مناسب از سه بعد رنگی موجود استفاده شد. سپس، از تابع چگالی احتمال (probability density function, PDF) برای تخمین مراکز اولیه استفاده شد که نقاط دارای تابع چگالی احتمال بیشتر، شانس زیادتری برای انتخاب به‌عنوان مراکز اولیه داشتند.



شکل۵- نمودار جریان (فلوچارت) روش بهبود انتخاب مراکز خوشه‌های اولیه [۲۱].

در نهایت، هم برای ارزیابی تفاوت رنگی بین طرح اصلی و طرح چاپ شده روی پارچه از روش S-سیلاب (S-CEILAB) استفاده شد که برپایه فضای رنگی‌سیلاب است. روش بهبود انتخاب مراکز خوشه‌های اولیه در شکل ۵ نشان داده شده است.

شکل ۶- نمودار جریان تولید طرح استتاری با استخراج شکل‌ها [۱].

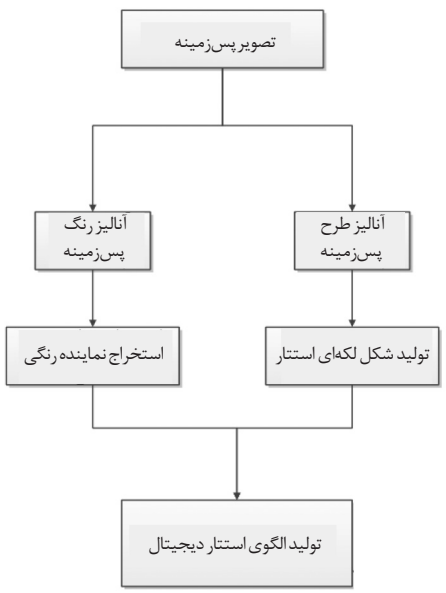
در تولید طرح‌های استتاری سخت‌ترین مرحله مشخص‌کردن شکل‌ها و تکرار آن‌ها برای دستیابی به طرحی استتاری است.

Dimitrovski و همکاران [۱] در سال ۲۰۰۹ از روش‌های پردازش تصویر برای مشخص‌کردن شکل استفاده کردند. ابتدا از محیط شهری پایتخت اسلوونی عکس گرفته شده و پس از انجام عملیات پیش‌پردازش شامل صاف‌کردن تصویر روی آن با نرم‌افزار فوتوشاپ با استفاده از آستانه‌گذاری (treshold) تصاویر مرزی شدند و شکل‌های هندسی، غیرهندسی و میکرو استخراج شدند و پس از تکرار و ترکیب با هم به‌صورت الگوی استتاری درآمدند. شکل ۶ نمودار جریان (فلوچارت) تولید طرح استتاری را با استخراج شکل‌ها نشان می‌دهد.

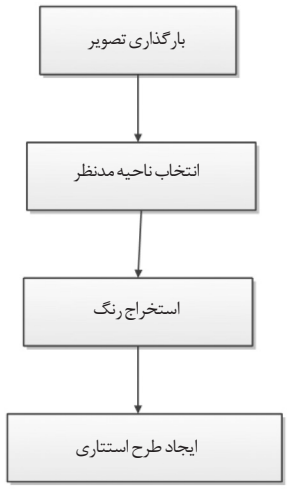
Zang و همکاران [۲۲] در زمینه طراحی استتار در سال ۲۰۰۹ روش بایونیک را برای ایجاد طرح‌های استتاری ارائه دادند. یکی دیگر از کارهای آن‌ها بهبود خوشه‌بندی فازی k-means در انتخاب رنگ‌های استتاری برای ایجاد طرح استتاری بود.

آن‌ها در سال ۲۰۱۰ طراحی استتار را با کمک روش فازی k-means انجام دادند که روش تولید با استفاده از خوشه‌بندی فازی به‌طور خلاصه در شکل ۷ نشان داده شده است. در این روش جدید، تعدیل هیستوگرام و تطابق رنگی بین رنگ‌های پس‌زمینه تصویر و رنگ‌های استاندارد نظامی توسط فضای رنگی HSV (HSV colour space) برای تعیین نماینده‌های رنگی در ابتدا انجام دادند. سپس، با به‌کارگیری روش فازی k-means شکل لکه‌ای استتار را ایجاد کردند و با به‌کارگیری عملیات شکل‌شناسی و سپس استفاده از نماینده رنگی استخراج شده، الگوی استتاری را تولید کردند.

Kim و همکاران [۲۳] در سال ۲۰۱۱ برنامه‌ای خودکار را برای ایجاد الگوی پیکسلی طبق فرایندی اجرا کردند که در شکل ۸ نشان داده شده است. برنامه بدین صورت عمل می‌کند که ابتدا تصویر بارگذاری شده سپس منطقه‌ای از تصویر انتخاب می‌شود. رنگ‌هایی براساس ویژگی‌های پس‌زمینه



شکل۷- نمودار جریان تولید طرح استتاری با روش فازی k-means [۲۲].



شکل۸- نمودار جریان ایجاد طرح استتاری با برنامه خودکار [۲۳].

از تصویر استخراج شده در نهایت یک الگوی پیکسلی ایجاد می‌شود.

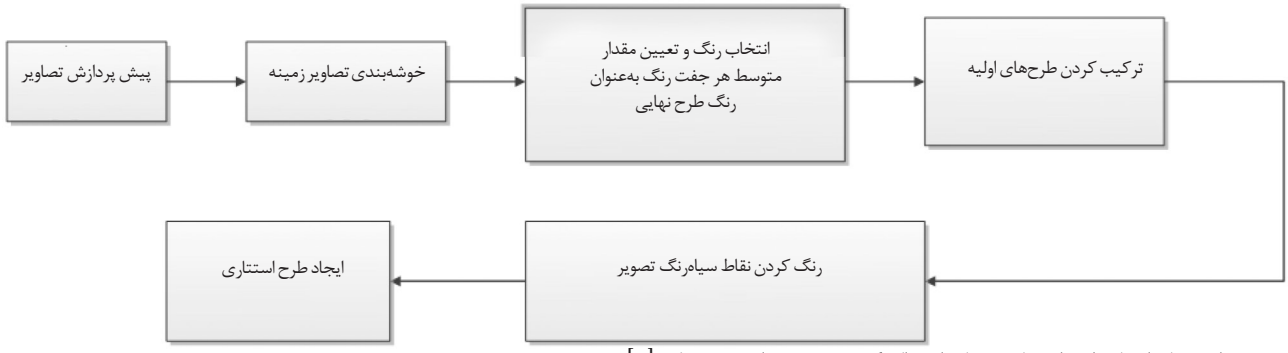
صفابخش و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۱ روش جدیدی را برای تولید طرح‌های استتاری برپایه اشتراک‌گیری و رشد نواحی مشترک ارائه دادند. همچنین، این روش قابلیت تعمیم برای تولید طرح استتاری برای چند طرح پس‌زمینه را نیز دارد. در این روش پس از پیش‌پردازش که برای بهبود تصویر انجام می‌گیرد، پیکسل‌های هر تصویر براساس رنگی که داشتند با روش فازی k-means به سه خوشه دسته‌بندی شدند، پیکسل‌های هر تصویر به رنگ مرکز خوشه درآمدند و این سبب شد تا از هر پس‌زمینه طرح استتاری اولیه به‌وجود آید. اما لزوماً رنگ‌های هر طرح یکسان نبود. بنابراین، برای تعیین رنگ الگوی نهایی رنگ‌های دو طرح با هم جفت شدند و مقدار متوسط هر جفت رنگ به‌عنوان رنگ طرح نهایی انتخاب شد. پس از یکسان‌سازی هر یک از رنگ‌ها در طرح‌های موجود برای اینکه بتوان بین آن‌ها اشتراک گرفت، باید رنگ‌ها در طرح از یکدیگر جدا می‌شدند، بنابراین برای هر رنگ یک ماتریس پوشش‌دهنده (global mask matrice) درنظر گرفته شد که با روی هم قرارگیری این ماتریس‌ها نواحی مشترک گسترش پیدا کردند. فرایند گسترش باید به‌گونه‌ای باشد که طرح بافت و شکل اصلی تغییر نکند. طی رشد نواحی نقاطی بودند که به هیچ رنگ خاصی تعلق پیدا نکردند و در طرح به‌صورت نقاط سیاه ظاهر شدند که برای رفع این مشکل نقاط به‌وسیله روش همسایگی پیکسل‌ها رنگ شدند و در نهایت طرح استتاری ایجاد شد. در شکل ۹ خلاصه روش ایجاد طرح استتاری مبتنی بر اشتراک‌گیری به‌صورت نمودار جریان آورده شده است.

گرچه این روش با ترکیب چند طرح استتاری، طرحی با قابلیت تعمیم بیشتر ارائه می‌کند و تصاویر بیشتری را در نظر می‌گیرد، اما این روش نمی‌تواند برای تعداد تصاویر نامحدود استفاده شود، در نتیجه صفابخش و عبدی [۲۴] در سال ۲۰۱۱ روش دیگری را ارائه دادند که در آن می‌توان هر تعداد دلخواه تصویر زمینه به‌عنوان ورودی داد و طرحی متناسب با رنگ و بافت تصاویر ورودی به‌عنوان خروجی دریافت کرد. این روش برپایه الگوریتم‌های تکاملی عمل می‌کند و از شیوه‌ای تصادفی برای تولید طرح‌های استتاری بهره می‌برد.

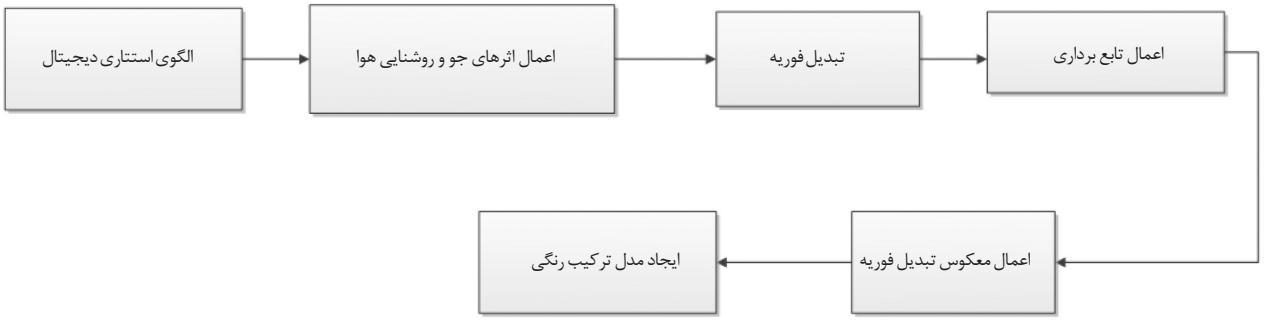
Zhang و همکاران [۲۵] در سال ۲۰۱۳ مدل ترکیب رنگی را براساس بسامد زاویه‌ای ارائه دادند که برای طراحی طرح استتاری دیجیتال استفاده می‌شوند. این مدل نه تنها برای طراحی الگوی استتاری مفید است، بلکه برای ارزیابی میزان مؤثربودن استتار نیز استفاده می‌شود. در شکل ۱۰ خلاصه روش ایجاد مدل ترکیب رنگی آورده شده است. در این روش ضرایب آثار جوی و روشنایی هوا که روی ترکیب رنگ اثرگذار است، روی الگوی استتار دیجیتال اعمال می‌شود، طرح به‌وجود آمده به‌وسیله تابع انتقال فوریه از دامنه فضایی به دامنه بسامدی انتقال پیدا می‌کند، سپس از بسامد زاویه‌ای رنگی که به‌عنوان تابعی بسامدی برای بینایی انسان درنظر گرفته شده، برای فیلتر طرح استفاده شد (استفاده از سه فیلتر گوسی برای رنگ سبز، قرمز و سبز) و سر انجام طرح با تبدیل فوریه معکوس، به یک طرح استتاری با ترکیب رنگی تبدیل می‌شود.

Jiang-Hua و همکاران [۱۶] در سال ۲۰۱۳ عملیات شکل‌شناسی ریاضی را برای ایجاد طرح استتاری استفاده کردند. در این مقاله نظریه شکل‌شناسی ریاضی و استتار با هم ترکیب شدند و الگوریتم‌های فرسایش و گسترش طبق نمودارهای جریان در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ برای تصاویر رنگی طراحی شدند، سپس رنگ غالب پس‌زمینه تولید و طرح استتاری به‌وجود آمد.

منتظری [۲۶] در سال ۲۰۱۴ از الگوریتم ژنتیک برای طراحی الگوی استتاری استفاده کرد. در این پژوهش، ابتدا با استفاده از روش خوشه‌بندی k-means تصاویر ورودی به ۱۰ رنگ کاهش رنگ داده شدند. سپس، هر طرح نیز بین ۸-۱ رنگ کاهش رنگ پیدا کردند. سپس، الگوریتم بیشترین رنگی که در تصویر زمینه استفاده شده را با بیشترین رنگی که در طرح



شکل۹- نمودار جریان ایجاد طرح استتاری برپایه اشتراک‌گیری و رشد نواحی مشترک [۳].

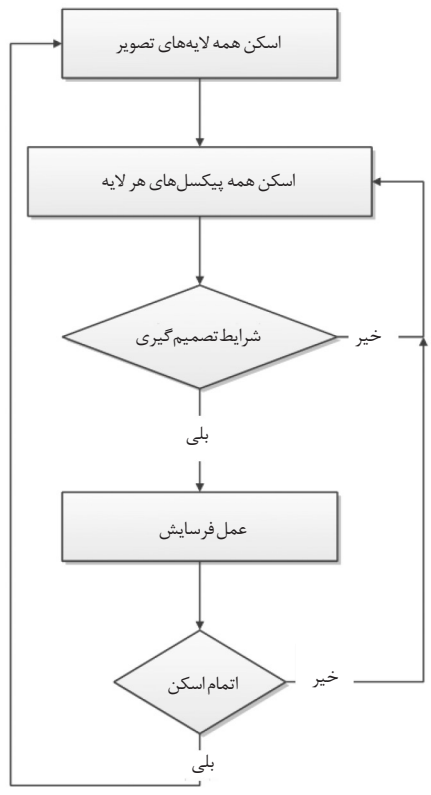


شکل ۱۰- نمودار جریان ایجاد مدل ترکیب رنگی برای ایجاد طرح استتاری [۲۵].

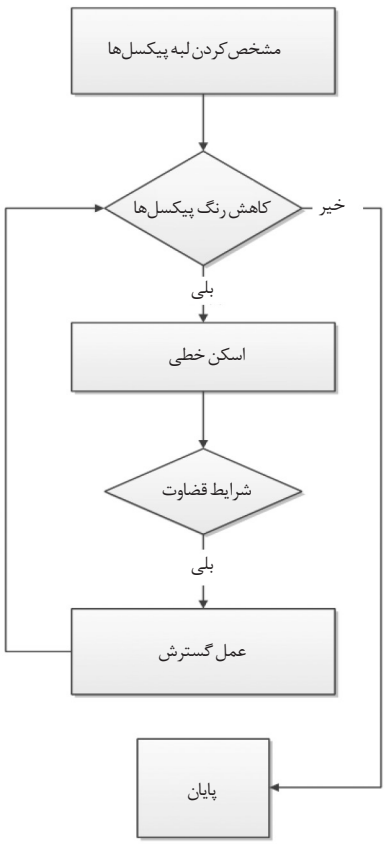
وجود دارد، جایگزین می‌کند و در نهایت طرح‌های اســـتتاری با الگوریتم ژنتیک نیمه‌خودکار تولید می‌شـــود. کریم‌پور و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۴ با اســـتفاده از طیف فوریه سطح تصویر یک طرح فرکتالی را ایجاد کردند که کارایی بهتری نسبت به طرح دیجیتالی دارد. روش ایجاد طرح فرکتالی در شکل ۱۳ آورده شده است.

ارزیابی استتار

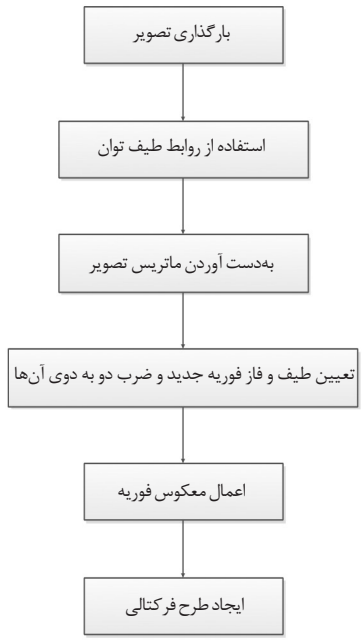
بیشترین چالش در زمینه طرح‌های استتاری مختلف این است که مقدار مؤثربودن آن به‌ســـختی قابل اندازه‌گیری اســـت. در گذشته، روش‌های ارزیابی ذهنی مانند پرسش‌نامه اســـتفاده می‌شد، اما چنین روش‌هایی فاقد داده‌های تجربی بود. امروزه روش‌های دیگری از ارزیابی ذهنی مثل شبیه‌ســـازی تصویر توسعه یافته‌اند. این روش را Pollatsek و Boyce در سال ۱۹۹۲ و نیز Doll و همکاران [۲۷] در سال ۱۹۹۳ انجام دادند، بدین صورت بود که مجموعه‌ای از تصاویر با اهداف استتاری جلوی پس‌زمینه‌ها قـــرار می‌گرفـــت و کاربران از لحاظ بصری و ذهنـــی عملکرد طرح‌ها را بررسی می‌کردند. در ارزیابی بصری استتار کنترل روی شرایط محیطی سخت است، در راستای کنترل بهتر شرایط، سازمان آتلانتیک شمالی و سازمان فناوری و تکنولوژی (NATO RTO) توسعه گروه SCI-095 را برای جمع‌آوری داده‌های شبیه‌سازی تصویر به عهده گرفتند. این روش دارای دو مرحلـــه جمع‌آوری داده‌های تصویری و جمـــع‌آوری داده‌های مشاهده‌کننده و در نهایت تجزیه و تحلیل است. در سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹ نیروی ارتش آمریکا این روش را برای ارزیابی طرح اســـتتاری جهانی (universal camouflage) و اســـتتار چندجانبه (multiCam®) استفاده



شکل ۱۱- نمودار جریان الگوریتم فرسایش [۱۶].



شکل ۱۲- نمودار جریان الگوریتم گسترش [۱۶].



شکل۱۳- نمودار جریان ایجاد طرح فرکتالی [۲۰].

کرد. شبیه‌سازی در سه محیط بیابانی، شهری و جنگلی انجام شد، در فواصل اندازه‌گیری متفاوت از اهداف استتاری عکس‌برداری شد. فاصله کانونی دوربین نیز به‌گونه‌ای انتخاب شد که تقریباً با محدوده دید انسان یکسان باشد. در مرحله ارزیابی مشاهده‌کننده لپ‌تاب، صفحه نمایش و موس بود. تصاویر روی صفحه نمایش قرار گرفتند و کاربر با فاصله‌ای معین در مقابل آن قرار گرفت. در هر بار اجرای برنامه تصویر استتاری روی منظره قرار گرفت و کاربر به محض مشاهده تصویر استتاری روی آن کلیک می‌کند. در نهایت با تجزیه و تحلیل نتایج حاصل نتیجه این شد که طرح استتار چند جانبه به علت اینکه بیشتر از طرح دیگر با ویژگی‌های محیط مطابقت دارد، سخت‌تر تشخیص داده می‌شود [۲۸].

برای اینکه یک شئ به‌خوبی بتواند در محیط استتار کند، نیازمند تطابق

شکل۱۴- نمودار جریان روش ارزیابی استتار با توجه به جنبه‌های بینایی چشم انسان [۲۹].

با رنگ، شکل و بافت محیط است. کشف موفق شئ استتاری وابسته به ویژگی‌های فیزیکی چشم مشاهده‌کننده است.

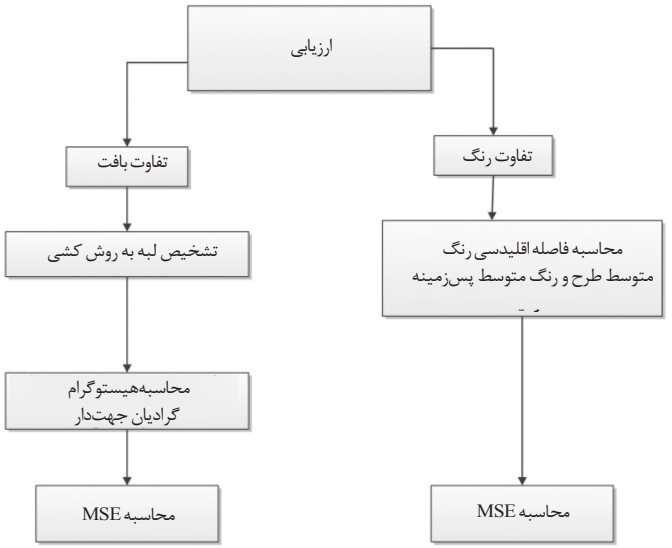
در سال ۲۰۰۸ Baumbach [۲۹] با توجه به جنبه‌های بینایی چشم انسان سه طرح استتاری متفاوت را از لحاظ کارایی بررسی کرد. نتایج نشان داد، در فواصل کم بافت‌های استتاری با عناصر کوچک‌تر و در فواصل بزرگ‌تر بافت‌های استتاری با اجزای بزرگ‌تر اثربخشی بیشتری در استتار دارند. مراحل کار در شکل ۱۴ آورده شده است.

صفابخش و همکاران [۳] همان‌طور که اشاره شد، در سال ۲۰۱۱ طرح‌های استتاری برپایه اشتراک و رشد ناحیه‌های مشترک انجام دادند و در نهایت طرح تولیدی خود را از لحاظ بافت و رنگ ارزیابی کردند تا میزان شباهت آن را با تصویر زمینه بسنجند. مقدار تفاوت رنگ به‌صورت فاصله اقلیدسی رنگ متوسط هر یک از تصاویر زمینه و رنگ متوسط طرح بیان شد و سپس متوسط مربعات خطا برای هر رنگ محاسبه شد. برای بیان شباهت بافت از هیستوگرام گرادیان جهت‌دار (HOG) بدین صورت استفاده شد که ابتدا لبه پیکسل‌ها با روش کنی به‌دست آمد. سپس، مقدار هیستوگرام گرادیان جهت‌دار برای پیکسل‌های لبه در هر تصویر محاسبه شد. در نهایت مقدار متوسط مربعات خطا برای هیستوگرام‌ها به‌عنوان معیاری برای مقایسه تفاوت بافت بین هر طرح و هر تصویر زمینه محاسبه شد (شکل ۱۵).

در سال ۲۰۱۱ Zhang و همکاران [۲۲] پارچه‌های استتاری را با کمک روش فازی k-means تولید کرده سپس آن را ارزیابی کردند. روش ارزیابی آن‌ها بدین صورت بود که طرح‌های ایجاد شده روی دو پس زمینه مختلف قرار گرفتند و از طریق روش کنی و فیلتر Sobel لبه‌ها شناسایی و مقدار مؤثربودن آن‌ها ارزیابی کردند.

Ramli و همکاران [۳۰] در سال ۲۰۱۲ از تجزیه و تحلیل فراکتال‌ها برای ارزیابی کمی مؤثربودن طرح‌های استتاری استفاده کردند.

Billock، Friskovec، Gabrijelcic و همکاران فراکتال‌ها را نیز قبلاً به‌طور موفقیت‌آمیزی روی طرح‌های منسوجات استفاده کردند. در این پژوهش،



شکل ۱۵- نمودار جریان ارزیابی بافت و رنگ [۳].

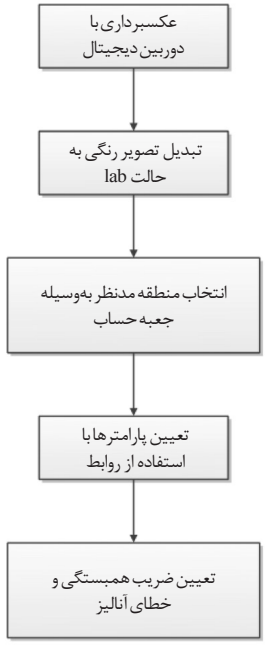
از دو پارامتر تجزیه و تحلیل فراکتال اســـتفاده می‌شود. پارامتر اول بعد فراکتال بوده که مربوط بـــه افزایش کیفیت جزئیات در افزایش مقیاس اســـت. دومین پارامتر لکونا‌ریتی (lacunarity)، کمیتی است که توزیع فضایی وجود فراکتال را در زمینه تعیین می‌کند. روش‌های متفاوتی برای محاســـبه این دو پارامتر وجود دارد که در اینجا از روش جعبه حســـاب (box counting) استفاده شده است. در این روش، جعبه‌های شطرنجی روی بخشی از تصویر قرار گرفته و تعداد فراکتال‌ها و نیز پیکسل‌های داخل جعبه شمرده می‌شود. سپس، اندازه جعبه از لحاظ مقیاس کم می‌شود و فرایند تکرار می‌شود. شکل ۱۶ مراحل روش استفاده از فراکتال را نشان می‌دهد.

Lee و همکاران [۲۷] در سال ۲۰۱۳ طرح‌های استتاری را با داده‌های حرکت چشم ارزیابی کردند. این مطالعه ویژگی‌های حرکات چشم را طی جســـتجوی هدفی پنهان بررسی می‌کند. این سامانه از یک دوربین سر برای پیگیری تصویر مردمک و بازتاب قرنیه استفاده می‌کند. سه دوربین روی دومین پیشـــانی بند نصب شده که اجازه ردیابی هم‌زمان موقعیت چشـــم و سر را می‌دهد. شکل ۱۷ سامانه ردیابی حرکات چشم انسان را نشان می‌دهد.

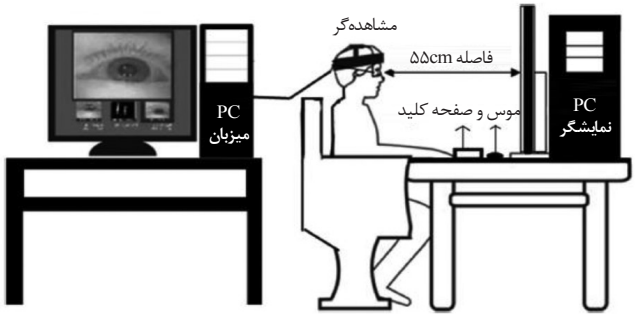
مراحل انجام آزمون داده‌های حرکت چشم در شکل ۱۸ نشان داده شده است.

Feng و همکاران [۳۱] در سال ۲۰۱۴ از روش جدیدی برای ارزیابی استتار اســـتفاده کردند. روش بدین صورت است که طرح برجسته‌ای (saliency map) را از تصویر ورودی ایجاد می‌کند که می‌تواند به‌صورت کمی مقدار اختلاف هدف و زمینه را از نظر روشـــنایی و توزیع فضایی ارزیابی کند. روش به‌طور خلاصه در شکل ۱۹ آورده شده است.

Ramteke و همکاران [۳۲] در سال ۲۰۱۴ با استفاده از روش شباهت ســـاختار وزنی (WSSIM) و ویژگی‌های تصویر واقعی، بافت استتاری را



شکل۱۶- نمودار جریان استفاده از فراکتال برای ارزیابی کمی استتار [۳۰].



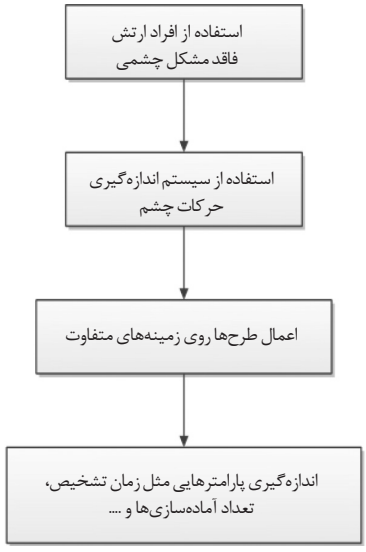
شکل۱۷- سامانه ردیابی حرکات چشم انسان [۲۷].

بررســـی کردند. مراحل روش شباهت ســـاختار وزنی در شکل ۲۰ آورده شده است.

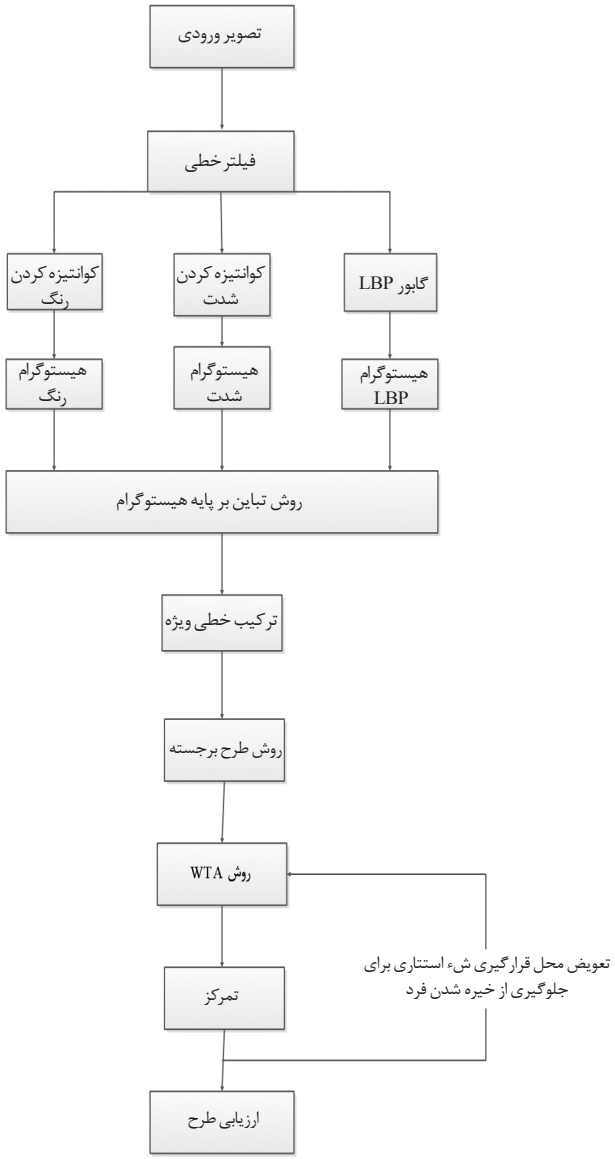
کریم‌پور و همکاران [۲۰] در سال ۲۰۱۴ پس از ایجاد طرح فرکتالی با اســـتفاده از طیف فوریه ســـطح تصویر، این طرح را با طرح ســـنتی اســـتتاری و طرح دیجیتالی مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که طرح فرکتالی مؤثرترین استتار را ایجاد می‌کند.

تشخیص استتار

ســـامانه‌های تشخیص اســـتتار برای آشکارکردن شئ مســـتتر شده از پس‌زمینه آن اســـتفاده می‌شـــود. کاربردهای بالقوه‌ای برای سامانه‌های تشخیص استتار وجود دارد، مثلاً از هم‌گسیخته‌سازی دشمنان در میدان جنگ با اســـتفاده از همین روش‌های تشخیص استتار صورت می‌گیرد، بنابراین، مفهوم تشخیص استتار این است که چگونه می‌توان یک بافت خاص را از پس‌زمینه تولید شده تشخیص داد. مدل‌هایی که تاکنون ارائه شـــده‌اند، برای شناسایی منطقه استتار شده هســـتند، اما در کنار آن به شناسایی استتار حرکتی و استتار در حالت سکون نیز پرداخته‌اند [۳۳]. همان‌طور که پیش‌تر گفته شد، بسیاری از حیوانات به‌گونه‌ای هستند که



شکل۱۸- نمودار جریان ارزیابی با داده‌های حرکت چشم [۲۷].



شکل۱۹- نمودار جریان ارزیابی با روش طرح برجسته [۳۱].

قسمت بالاتنه آن‌ها تیره و پایین تنه آن‌ها روشن است. این سبب می‌شود تا آن‌ها بتوانند خود را استتار کنند.

Tankus و همکاران [۳۴،۳۵] در سال ۲۰۰۰ روش تشخیص استتاری را برپایه همین اصول ارائه دادند، این روش که توضیحی احتمالی را درباره قابلیت تشـــخیص ارائه می‌دهد، از عملگر خاصی برای شناسایی سطوح خاکستری محدب و مقعر سه‌بعدی استفاده می‌کند.

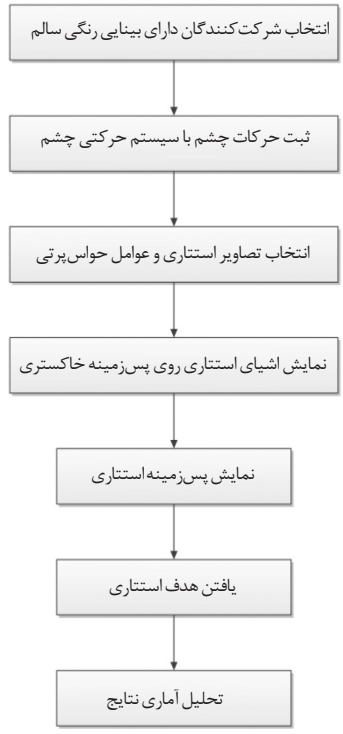
Nagabhushan و همکار [۳۵] در ســـال ۲۰۰۴ از ماتریس هم‌رخداد برای بررسی بافت استتاری اســـتفاده کردند. آزمایش آن‌ها روی تصاویر ترکیبی، قابلیـــت این روش را به اثبات رســـاند. در این روش از مفاهیم ریاضیاتی فراگیر عملگرهای ماتریسی برای استخراج پارامترهای بافت به منظور جســـت‌وجوی هدف استفاده شده و در پایان از عملگر کنی برای بیرون‌کشیدن لبه‌های شیء استتار یافته استفاده شد. شکل ۲۱ مراحل روش تشخیص استتار به روش ماتریس هم‌رخداد را نشان می‌دهد.

شکل۲۰- نمودار جریان روش ارزیابی با استفاده از ساختار وزنی و پارامترهای تصویر طبیعی [۳۲].

Neider و همکاران [۳۷] در ســـال ۲۰۰۵ اثر شباهت زمینه هدف را در جست‌وجوی دیداری در تشخیص اســـتتار بررسی کردند. در این روش طی چهار آزمون اسباب بازی‌های استتار شده با اندازه‌های متفاوت و در شـــرایط شباهت زمینه هدف متفاوت جست‌وجو شد. رابطه شیب جست‌وجو و شباهت زمینه هدف به‌دست آمد و در انتها از بررسی حرکتی چشم استفاده شد. اختلال رنگی و تقلید از محیط اطراف دو روش استفاده شده در طبیعت برای استتار است. اختلال رنگی از طریق تضاد شدید طرح ایجاد می‌شود، در حالی که تقلید از محیط برای ایجاد استتار حداقل تضاد را با پس‌زمینه ایجاد می‌کند.

Schaefer و همکار [۳۸] در ســـال ۲۰۰۶ این دو روش را با استفاده از به‌کارگیری پرندگان به‌عنوان شکارچی و پروانه‌ها به‌عنوان هدف در جنگل مقایسه کردند. نتیجه بدین صورت شد که پروانه‌هایی که در لبه بال‌های

شکل۲۱- نمودار جریان تشخیص استتار به روش ماتریس هم‌رخداد و روش کنی [۳۵].



شکل۲۲- نمودار جریان آزمایش بوت [۴۰]

خود طرح‌های اختلال رنگی دارند، استتار بهتری دارند، نسبت به آن‌هایی که از روش تقلید محیط استفاده می‌کنند و دیرتر تشخیص داده می‌شوند. Stevens و همکار در همین سال نیز مجدداً از اختلال رنگی استفاده کردند.

Billock و همکاران [۳۹] در سال ۲۰۰۸، اطلاعاتی برای تشخیص تصاویر فراکتال (نامنظم هندسی) ثابت و نیز تصاویر فراکتال متحرک ارائه کردند. همچنین، داده‌ای را معرفی کردند برای نشان‌دادن اینکه چگونه تمایز به‌عنوان تابعی از روش‌ها و شرایط آزمایش، تغییر می‌کند. به دلیل غیرخطی‌بودن سامانه‌های بینشی، افزودن نویزهای متحرک به اهداف می‌تواند تشخیص و شناسایی را در برخی شرایط بهبود ببخشد. Boot و همکار [۴۰] در سال ۲۰۰۹ با طراحی آزمون‌های بررسی کردند که آموزش افراد مهارت دیده می‌تواند سبب تشخیص بهتر استتارهای جدید شود، به همین منظور آن‌ها تعدادی از افراد را طی سه جلسه آموزش دادند. سپس، در جلسه آخر از آن‌ها خواستند تا اشیای استتاری جدید را کشف کنند. عکس‌العمل آن‌ها و ثبت حرکت‌های چشمی آن‌ها به‌وسیله سامانه حرکتی چشم انجام شد.

در نهایت پارامترهای مختلفی چون سرعت و زمان عکس‌العمل به‌کمک تحلیل آماری و آزمون ANOVA بررسی شد. پژوهش‌های گذشته توجه بیشتر به راهکار شئ نسبت به راهکار جست‌وجوی پس زمینه را دلیلی بر بی‌دقتی و کم‌بودن سرعت به‌حساب آورده بودند. اما سامانه بررسی حرکت چشم توجه بیشتر به زمینه را برای عملکرد بهتر نشان نداد. مراحل آزمون بصورت شکل ۲۲ است. شرکت‌کنندگان در فاصله ۶۲cm صفحه نمایش (مانیتور) قرار می‌گیرند. سپس با زدن دکمه روی صفحه نمایش بازی به این‌گونه شروع می‌شود که اشیای استتاری و عوامل حواس پرتی که از قبل انتخاب شده‌اند، به شرکت‌کننده نشان داده می‌شود و پس از آن هدف استتاری با صفحه نمایش جایگزین می‌شوند و فرد به دنبال هدف استتاری می‌گردد و با دادن پاسخ نادرست یا درست بازی تمام می‌شود (انتخاب صفحه استتاری با محدودکردن پیکسل شئ استتاری مدنظر و تکرار آن در کل صفحه انجام می‌گیرد).

Pan و همکاران در سال ۲۰۱۱ برای تشخیص مؤثر اهداف استتار شده در زمینه پیچیده از روشی بر مبنای تحدب سه‌بعدی استفاده کردند [۴۱]. این روش از یک عملگر جدید استفاده می‌کند که خطوط خاکستری تصویر را به‌وسیله ساختار تحدبی اهداف آماده می‌کند. سپس، برای محدودکردن اثر نویز از اعمال فیلتر میانه روی تصویر خاکستری استفاده می‌شود و در نهایت مؤثربودن شناسایی و مؤثربودن اهداف محدب فهمیده می‌شود. این روش نسبت به آشکارسازهای معمول لبه در شناسایی هدف‌های استتاری در زمینه پیچیده تواناتر است.

نتیجه‌گیری

در این مقاله تعاریف کلی استتار، روش‌های پردازش تصویر و داده‌کاوی در زمینه استتار آورده شد. در نهایت، مروری بر پژوهش‌های انجام شده در زمینه تولید، ارزیابی و تشخیص استتار انجام شد. مطالعات در زمینه تولید و طراحی نشان داد، روش‌های خوشه‌بندی k-means و روش فازی آن بیشترین کاربرد را دارند. از روش k-means بیشتر برای کاهش تعداد رنگ تصاویر ورودی و از روش فازی برای خوشه‌بندی تصاویر استفاده می‌شود. در زمینه ارزیابی و تشخیص استتار فیلترهای تشخیص لبه نظیر Soble و Prewitte و روش لبه‌یابی کنی مورد توجه زیادی قرار گرفته‌اند، زیرا این روش‌ها پس از اعمال روی تصاویر استتاری لبه‌های تصویر را مشخص می‌کنند و این سبب می‌شود تا هدف با سرعت بیشتری تشخیص داده شود و از لحاظ کارایی ارزیابی شود همچنین، در این مقاله مختصری به مفهوم فرکتال و کاربرد آن در ارزیابی و تولید استتار پرداخته شد که در ارزیابی استتار، کارایی طرح‌های فرکتالی از طرح‌های دیجیتالی و سنتی بیشتر بود.

مراجع

1. Gabrijelicic H., Friskovec M., and Dimitrovski K., The use of image analysis for defining the shapes of camouflage pattern, Autex 2009 World Textile Conference, Turkey, 26-28, 2009.

۱۷. زارع نژاد ز.، پیوندی پ.، خوشه‌بندی تصاویر پوشاک با استفاده از پردازش تصویر و الگوریتم K-means، *مجله علوم و فناوری نساجی*، سال سوم، شماره ۱، ۳-۱۰، ۱۳۹۲.

۱۸. مزدک ز.، پیوندی پ.، علمدار یزدی ع.ا.، استخراج و طبقه‌بندی تصاویر طرح سنگشور پوشاک جین با استفاده از الگوریتم خوشه‌بندی k-means، *مجله علوم و فناوری نساجی*، سال دوم، شماره ۴، ۲۰۹-۲۱۵، ۱۳۹۱.

۱۹. خوشه‌بندی فازی، www.ceit.aut.ac.ir، آخرین بازدید ۱۹/۲/۱۳۹۵.

۲۰. کریم‌پور ف.، ایزدان ح.، حسینی ع.، ارزیابی همانندسازی بافتار تصاویر به روش روان فیزیکی، *نشریه علوم و فناوری رنگ*، سال ۸، شماره ۴، ۲۷۱-۲۸۱، ۱۳۹۳.

21. Gorji Kandi S., Amani Tehran M., and Rahmati M., New method for obtaining proper initial clusters to perform fcm algorithm for colour image clustering, *J. Text. Inst*, 100, 237-244, 2009.

22. Bian P., Jin Y., and Zhang N., Fuzzy C-means clustering based digital camouflage pattern design and it evaluation, IEEE 10th International Conference, on Signal Processing, Beijing, China, 3 December, 2010.

23. Cho W.J., Ahn W., Kim M.S., Park J., Kim S., and Han K.H., Making pixel patterns automatically for camouflage – using color information from their background, International Conference on Human-Computer Interaction, Springer, Berlin, 2011.

۲۴. صفابخش ر.، عبدی آ.، تولید طرح‌هایی به منظور افزایش میزان پنهان‌شدگی اشیا در صحنه‌های بازی‌های کامپیوتری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده نساجی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۹۰.

25. Zhang Y., XUE SH.Q., JIANG X. J., Mu J.Y., and Yi Y., The spatial color mixing model of digital camouflage pattern, *J. Def. Technol.*, 9, 3, 157-161, 2013

۲۶. پیوندی پ.، درخشن ج.، منتظری ز.، طراحی پارچه‌های استتاری با استفاده از پردازش تصویر زمینه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد اسلامی یزد، ۱۳۹۳.

27. Lin Ch.J., Chang Ch., and Lee Y.H., Evaluating camouflage design using eye movement data, *J. Appl. Ergon.*, 45, 3, 714-723, 2014.

28. Signature Measurements Guidebook, Glenn Rogers, US Army Aberdeen Proving Grounds, September 2007.

29. Baumbach J., Colour and pattern composition to blend objects into a natural environment, Association Internationale de la Couleur Conference (AIC), Stockholm, 2008.

30. Ramli A., Abd Ghani M., and Sathyamoorthy D., Quantitative evaluation of camouflage patterns on textile materials using fractal analysis, *J. Defe. Security*, 3, 1, 87-99, 2012.

31. Feng X., Guoying C., Richang H., and Jing G., Camou-

۲. گرجی کندی س.، امانی تهران م.، ارزیابی کمی قابلیت استتار طرح‌های استتاری، *فصلنامه پدافند غیرعامل*، سال اول، شماره ۳، ۱۳۸۹.

3. Safabakhsh R. and Abdi Hejrandoost A., Thinning based multipurpose camouflage pattern design, Machine Vision and Image Processing (MVIP), Zanjan,76-82, 2011.

4. Cho W., Seo H., Kim H., Lee J., Kang D., Kim M., and Han K., Camou LED: Real-time generation of pixel pattern for camouflage, HCI International Conference, Springer, 374, 699-703, 2013.

۵. گودرزی ا.، مختاری ج.، نوری، م.، استتار منسوج پنبه‌ای در ناحیه مرئی و زیرقرمز نزدیک با استفاده از رنگزای خمی، نشریه *علوم و فناوری رنگ*، ۳۵-۲۵، ۱۳۹۲.

6. Bartczak A., Fortuniak K., Maklewska E., Obersztyn E., Olejnik M., and Redlich G., Camouflage as the additional form of protection during special operations, *Tech. Wyr. Włókie.*, 17, 15-22, 2009.

7. Types of camouflage, www.AllCamouflage.com, Last visited 20 November 2015.

8. List of camouflage methods, https://en.wikipedia.org/wiki/List of camouflage methods, Last visited July 2016.

۹. شفیعی س.م، امانی تهران م.، گرجی کندی س.، ارائه نرم‌افزار ارزیابی‌کننده میزان کارایی طرح‌های استتاری، *مجله علوم و فناوری‌های پدافند غیرعامل*، سال دوم، شماره ۳، ۱۳۹۰.

10. Baumbach J., Psychophysics of human vision: The key to improved camouflage pattern design, Land Warfare Conference, November 2010.

11. Baumbach J., Colour and pattern composition to blend objects into a natural environment, Association Internationale de la Couleur (AIC), Stockholm, Sweden, 15-18 June, 2008.

12. Baumbach J., *Advances in Military Textiles and Personal Equipment*, Woodhead, 79-102, 2012

13. Friskovec M. and Gabrijelcic H., Development of a Procedure for Camouflage Pattern Design, *Fibers Text. East. Eur.*, 18, 68-76, 2010

۱۴. گونزالس ر.، وودز ر.، ترجمه جعفرنژاد ع.، *پردازش تصویر دیجیتال*، انتشارات علوم رایانه، ۱۳۸۷

۱۵. باغشاهی ن.، پیوندی پ.، توانایی م.ع.، مروری بر روش‌های اندازه‌گیری پارامترهای نخ با استفاده از پردازش تصویر، *مجله علوم و فناوری نساجی*، سال چهارم، شماره ۴، ۳۱-۴۴، ۱۳۹۳.

16. Jiang-hua H., Lei Q., and Tian-qi F., Image processing based on mathematical morphology in camouflage, 7th International Conference on Image and Graphics, Qingdao, China, 24 October, 2013.

flage texture evaluation using a saliency map, *J. Multipedia Syst.*, 21, 2, 169-175, 2014.

32. Patil R., Ramteke S., and Patil N., Implementation of weighted structure similarity and texture parameters for camouflage texture, *Int. J. Eng. Res. Technol*. (IJERT), 3, 2242-2245, 2014.
33. Singh S.K., Dhawale Ch. A., and Misra S., Survey of object detection methods in camouflaged image, International Conference on Electronic Engineering and Computer Science, IERI procedia, 4, 351-357, 2013.
34. Tankus A. and Yeshurun Y., A model for visual camouflage breaking, *Biologi. Motivat. Comput. Vis.*, 1811, 139-149, 2000.
35. Tankus A. and Yeshurun Y., Convexity-based visual camouflage breaking, *Comput. Vis. Image Und.*, 82, 3, 208-237, 2001.
36. Nagabhushan P. and Bhajantri N., Multiple camouflages breaking by CO-Occurrence and canny, DOS in Computer Science Conefrence, 2004.
37. Neider M. and Zelinsky G., Searching for camouflaged targets: Effects of target-background similarity on visual search, *J. Vis. Res. Oxford*, 46, 14, 2217-2235, 2006.
38. Schaefer H. and Stobbe N., Disruptive coloration provides camouflage independent of background matching, *Proc. Biol. Sci.*, 273, 1600, 2427-2432, 2006.
39. Billock V., Cunningham D., and Tsou B., What visual discrimination of fractal textures can tell us about discrimination of camouflaged targets: The human factors issues in combat identification, Farnham, UK, Ashgate, 99-112, 2008.
40. Boot W., Neider M., and Kramer A., Training and Transfer of Training in the Search for Camouflaged Targets, *Atten. Percept. Psychophys.*, 71, 950-963, 2009.
41. Pan Y., Chen Y., Fu Q., Zhang P., and Xu X., Study on the camouflaged target detection method based on 3d convexity, *J. Modern Appl. Sci.*, 5, 52-157, 2011.

Journal of
Apparel and Textile Science
and Technology

Renewed Period of Publication,
No. 3, Autumn 2017,
Issue No. 19, 9-21
ISSN: 2151-7162

A Review for Camouflage Pattern Designing, Evaluating and Breaking Methods

Mona Zeinalpour Yazdi[1], Pedram Payvandy[1*], and Hossein Izadan[2]

1. Department of Textile Engineering, Engineering Integrated, Yazd University, P.O. Box: 89195-741, Yazd, Iran
2. Department of Textile Engineering, Engineering Integrated, Isfahan University of Technology, P.O. Box: 84156-83111, Isfahan, Iran

Abstract

Camouflage has been wildly used by animals to avoid predators for centuries. Military camouflage is also used to protect armed forces and military equipment from observation and detection by enemy. In the past, artists were designing the camouflage patterns which was quite costly and time-consuming. However, nowadays by promotion in machine vision techniques such as image processing, designing suitable camouflage pattern can be done by computers. Some of image processing methods which are used for this purpose are image enhancement filters, edge detection filters, mathematical morphology, using k-means clustering as well as the use of fractal. In this paper, the studies related to designing, evaluation and detection of camouflage patterns are reviewed.

Keywords

camouflage pattern,
image processing,
clustering,
fractal

(*) Address Correspondence to P. Payvandy, Email: peivandi@yazd.ac.ir