

استفاده از انرژی بالون مبتنی بر کانتورلت در مدل کانتور فعال پارامتری به منظور تقطیع شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی

پیمان معلم، هما تحویلیان و سید امیرحسین منجمی

شد [۶]. کمی بعد مالادی به بیان و تبیین همین مدل پرداخت [۷]. این مدل‌ها بر مبنای تئوری تحول منحنی و روش مجموعه سطح^۶، پایه‌ریزی شده‌اند و در آنها سطوح فقط با استفاده از معیارهای هندسی تکامل می‌یابند. در روش آنها منحنی و سطوح در حال تغییر شکل را به‌طور ضمنی به‌صورت یک مجموع سطوح از تابعی با ابعاد بالاتر بیان می‌کنند که در نتیجه آن تغییرات توپولوژی به راحتی و به‌طور اتوماتیک به مدل اعمال می‌شود. در روش آنها امکان شناخت هم‌زمان مرزهای چندین شیء فراهم می‌شود. با این وجود به‌دلیل پیچیدگی محاسباتی، این روش نسبت به مدل‌های کانتور فعال پارامتری کندتر است [۸]. در این مقاله از مدل‌های کانتور فعال پارامتری برای شناسایی هدف و قطعه‌بندی تصویری آن استفاده می‌شود. لذا در ادامه به توصیف ریاضی این مدل پرداخته می‌شود.

۱-۱ توصیف ریاضی مدل کانتور فعال پارامتری

در مدل کانتور فعال پارامتری، سطح یا منحنی کانتور، در طول فرآیند تغییر شکل، به فرم پارامتری مشخص می‌شود. در واقع منظور از یک کانتور فعال پارامتری یک منحنی باز یا بسته است که به‌صورت پارامتری زیر توصیف می‌شود [۵]

$$S(u) = I(x(u), y(u)) \quad , \quad u \in [0, 1] \quad (1)$$

نقاط این کانتور در فضای مختصات (x, y) آن قدر حرکت می‌کنند تا منحنی بر ویژگی‌های مورد علاقه شیء مورد نظر منطبق شود. برای پیاده‌سازی، تابع برداری $S(u)$ در مجموعه نقاط $\{u_i\}, i=0, 1, \dots, M$ لازم است به‌صورت گسسته تقریب زده شود که در آن M تعداد نقاط روی کانتور می‌باشد. منحنی پیوسته از درون‌یابی این نقاط در مرحله نهایی به‌دست می‌آید. انرژی کانتور $E(S(u))$ از مجموع دو انرژی داخلی $E_{int}(S(u))$ و خارجی $E_{ext}(S(u))$ مطابق با (۲) محاسبه می‌شود

$$E(S(u)) = E_{int}(S(u)) + E_{ext}(S(u)) \quad (2)$$

بهترین مرز برای تقطیع شیء مورد نظر، کانتوری است که انرژی آن کمینه باشد (شکل ۱). بنابراین یافتن مرز شیء، معادل با کمینه‌کردن تابع انرژی کانتور خواهد بود.

انرژی داخلی، مقدار کشیدگی و همواری کانتور را مشخص کرده و مطابق با (۳) محاسبه می‌شود

$$E_{int} = \frac{\alpha}{2} \left| \frac{\partial S(u)}{\partial u} \right|^2 + \frac{\beta}{2} \left| \frac{\partial^2 S(u)}{\partial u^2} \right|^2 \quad (3)$$

انرژی‌های داخلی به‌گونه‌ای تعریف می‌شوند که فاصله بین نقاط کانتور را یکسان نگه داشته و از نوسانی و زیگزگی شدن کانتور جلوگیری

چکیده: شناسایی مرزهای هدف یکی از موضوعات مورد علاقه در بینایی ماشین و پردازش تصویر است. مدل‌های کانتور فعال یکی از روش‌های معروف در شناسایی هدف و قطعه‌بندی اشیاء می‌باشند. این مقاله روشی جدید برای قطعه‌بندی اشیاء بافتی با استفاده از مدل‌های کانتور فعال پارامتریک معرفی می‌کند. در روش پیشنهادی با اضافه‌کردن یک انرژی بالون به تابع انرژی مدل کانتور فعال پارامتریک، امکان شناسایی و قطعه‌بندی شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی فراهم می‌شود. در این روش، ویژگی‌های بافتی نقاط کانتور با استفاده از تبدیل کانتورلت محاسبه می‌شود، سپس با مقایسه این ویژگی‌ها با ویژگی‌های بافتی شیء هدف که به‌صورت اطلاعات قبلی وجود دارد، جهت حرکت بالون مشخص می‌شود که در نتیجه آن، منحنی کانتور به‌منظور انطباق بر مرزهای شیء هدف منبسط یا منقبض می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور دارای دقت بالاتری می‌باشد.

کلید واژه: مدل‌های کانتور فعال پارامتریک، تابع انرژی، ویژگی‌های بافت، کانتورلت.

۱- مقدمه

شناسایی صحیح مرزهای شیء و قطعه‌بندی^۱ تصویر یکی از موضوعات مهم در کاربردهای ماشین بینایی مانند کنترل و نظارت ترافیک در سیستم‌های حمل و نقل شهری [۱]، نظارت ویدئویی^۲ [۲]، کاربردهای پزشکی [۳] و شناسایی هدف در اهداف نظامی [۴] است. مدل‌های کانتور فعال^۳ (ACM) یکی از تکنیک‌های قوی در قطعه‌بندی تصویر بر مبنای مرز می‌باشند. این مدل‌ها که به دلیل شکل خاص و نوع حرکت آنها به‌عنوان مدل‌های ماری شکل^۴ هم شناخته می‌شوند، اولین بار در سال ۱۹۸۷ توسط کاس و همکاران [۵] به‌صورت منحنی‌هایی با انرژی کمینه تعریف شدند. به‌طور کلی کانتورهای فعال به دو دسته هندسی و پارامتری تقسیم‌بندی می‌شوند.

مدل‌های کانتور فعال هندسی^۵ در سال ۱۹۹۳ توسط کاسلکس معرفی

این مقاله در تاریخ ۲۷ فروردین ماه ۱۳۹۰ دریافت و در تاریخ ۲۸ بهمن ماه ۱۳۹۰ بازنگری شد.

پیمان معلم، گروه مهندسی برق، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان (email: p_moallem@eng.ui.ac.ir)

هما تحویلیان، گروه مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، اصفهان (email: h_tahviliyan@sel.iaum.ac.ir)

سید امیرحسین منجمی، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه اصفهان، اصفهان (email: monadjemi@eng.ui.ac.ir)

1. Segmentation
2. Video Surveillance
3. Active Contour Models
4. Snake Models
5. Geometric Active Contour Models

قادر به تقطیع اهدافی با رنگ‌های پیچیده و یا بافتی نیست [۱۳]. هارمانه و همکاران [۱۴] نوعی از کانتور فعال رنگی را معرفی کردند که در آن از انرژی توری برای هدایت کانتور به سمت هدف استفاده می‌شود. این انرژی از فضای رنگ RGB نرمال شده یا فضای رنگ HSV برای تولید انرژی فشار رنگ استفاده می‌کند. این مدل از کانتور فعال در تصاویر پزشکی و برای جداسازی ضایعات زبانی استفاده شد.

همان‌طور که اشاره شد، انرژی‌های خارجی مسئول کشاندن کانتور به سمت ویژگی‌های مورد علاقه در قطعه‌بندی مانند خطوط، لبه‌ها، گوشه‌ها و سایر ویژگی‌های تصویری می‌باشد. از نمونه انرژی‌های خارجی می‌توان به پتانسیل گوسی [۱۰]، پتانسیل فاصله [۱۵]، میدان جریان برداری گرادیان [۱۶] و بالون [۱۷] اشاره کرد.

در مدل کانتور فعالی که از انرژی پتانسیل گوسی به‌عنوان نیروی خارجی استفاده می‌کند، باید نقاط اولیه کانتور در نزدیکی شیء هدف انتخاب شود. به بیان دیگر فاصله جذب^۲ محدود می‌باشد [۱۸]. پتانسیل فاصله بر اساس فاصله اقلیدسی است و به مراتب نسبت به پتانسیل گوسی از فاصله جذب بیشتری برخوردار است. اما این دو نوع انرژی خارجی که در جذب کانتور به سمت لبه اشیای محدب موفق عمل می‌کنند، قادر به جذب اشیای با مرزهای مقعر نمی‌باشند [۱۹].

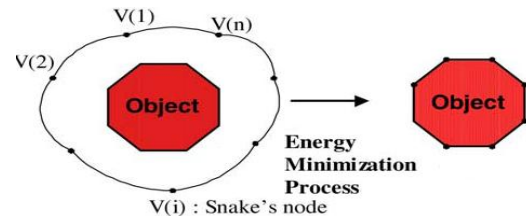
یکی از نیروهای خارجی دیگری که ماهیت غیر پتانسیلی دارد، میدان جریان برداری گرادیان است. این انرژی از روی نقشه لبه تصویر به‌دست می‌آید و مسئول کشاندن کانتور به سمت لبه‌های تصویر است. یک نقشه لبه از تصویر در محل مرز اشیای مورد نظر مقدار بیشتری دارد و می‌تواند توسط هر آشکارساز لبه‌آی به‌دست آید. این نوع از نیروی خارجی در جذب کانتور به سمت لبه اشیای مقعر موفق می‌باشد. برای این مدل از کانتور فعال، کانتور اولیه می‌تواند در فاصله دورتری از شیء هدف قرار گیرد [۱۶].

انرژی خارجی دیگری که برای قطعه‌بندی اشیا با مرزهای مقعر پیشنهاد شد، میدان برداری مرز^۴ بود که این نیرو با استفاده از نقشه مرز تصویر و نقشه باینری مرز تصویر محاسبه می‌شود. میدان برداری مرز هزینه محاسباتی کمتری نسبت به نیروی جریان برداری گرادیان و توانایی بالاتری در جذب مرزهای مقعر دارد [۱۸].

نیروی جریان برداری سیال^۵ نوع دیگری از نیروهای خارجی است که اولین بار برای جداسازی تومر مغزی به‌کار برده شد. این روش شامل سه مرحله می‌باشد: (۱) تولید نقشه مرزی باینری، (۲) مقداردهی اولیه جریان برداری و (۳) محاسبه بردار جریان سیال. این نیرو توانایی بالاتری در جذب مرزهای مقعر پیچیده مثلاً زینی شکل نسبت به نیروی جریان برداری گرادیان و میدان برداری مرز دارد. به‌علاوه فاصله جذب بزرگتری دارد [۲۰].

یکی دیگر از انرژی‌های خارجی انرژی بالون است. این انرژی در جهت عمود بر منحنی کانتور اعمال شده و کانتور را با سرعت ثابت به سمت داخل یا خارج رشد می‌دهد [۱۷].

انرژی‌های خارجی مطرح‌شده در مواجهه با تصاویر بافتی با مشکل مواجه می‌شوند، از این رو اخیراً به انرژی خارجی مبتنی ویژگی‌های بافتی نیز توجه شده است. محققین نشان دادند که با اضافه‌کردن یک انرژی



شکل ۱: مثالی از قطعه‌بندی با استفاده از مدل کانتور فعال پارامتریک [۹].

می‌کنند. قسمت اول و دوم انرژی داخلی به‌ترتیب مانع از کشیدگی و خمیدگی بیش از اندازه کانتور می‌شوند و کانتور را منسجم و هموار نگه می‌دارند. در این صورت مدل انعطاف‌پذیر همانند یک رشته با هر دو ویژگی ارتجاع و استحکام عمل خواهد کرد. از پارامترهای وزن‌دهی برای تنظیم دو خاصیت ارتجاع و استحکام نسبت به یکدیگر استفاده می‌شود.

انرژی خارجی در دامنه تصویر تعریف شده و مسئول کشاندن کانتور به سمت ویژگی‌های مورد علاقه در تصویر برای قطعه‌بندی مانند لبه‌ها، خطوط، گوشه‌ها و سایر ویژگی‌های تصویری است. از این رو به انرژی خارجی، انرژی تصویر $E_{img}(S(u))$ نیز گفته می‌شود. در نتیجه انرژی کل کانتور فعال پارامتری مطابق با (۴) تعریف می‌شود

$$E = \frac{\alpha}{\gamma} \oint \left| \frac{\partial}{\partial u} S(u) \right|^{\gamma} du + \frac{\beta}{\gamma} \oint \left| \frac{\partial^{\gamma}}{\partial u^{\gamma}} S(u) \right|^{\gamma} du + \oint E_{img}(S(u)) du \quad (4)$$

تاکنون ویژگی‌های مختلفی به‌عنوان انرژی تصویر در نظر گرفته شده که در قسمت بعدی به آنها اشاره می‌شود.

۱-۲ انرژی‌های تصویر در مدل کانتور فعال

در مدل اولیه کانتور فعال پارامتری، فرض شده بود که منحنی کانتور آن‌قدر تغییر شکل یابد تا در حد قابل قبولی بر مرزهای واقعی شیء منطبق شود. بنابراین در رابطه اولیه مدل کانتور فعال، انرژی تصویر متناسب با ویژگی لبه و مطابق با (۵) [۵] و یا پس از آن مطابق با (۶) [۱۰] پیشنهاد شده بود

$$E_{img} = E_{edge} = -|\nabla I(s)|^{\gamma} \quad (5)$$

$$E_{img} = E_{edge} = -p|\nabla(G_{\sigma}(s) \times I(s))|^{\gamma} \quad (6)$$

که (۶) برای کاهش نویز استفاده می‌شود و در آن p پارامتری است که مقدار بزرگی انرژی تصویر را کنترل می‌کند. ∇ عملگر گرادیان و $G_{\sigma} \times I$ کانولوشن تصویر با فیلتر گوسی دارای انحراف معیار σ را نشان می‌دهد.

در صورت عدم وجود لبه‌های قوی، مدل کانتور فعال پارامتری اولیه در یافتن مرزهای شیء هدف دچار مشکل می‌شود. بنابراین برای غلبه بر این مشکل اوینز و همکاران [۱۱] و اسچاپ و همکاران [۱۲] مدل‌های مختلف کانتور فعال رنگی را معرفی کردند. در این روش یک نیروی فشار رنگ به تابع انرژی مدل کانتور فعال پارامتریک اضافه شده و با استفاده از تابع انرژی جدید منحنی کانتور به سمت شیء هدف با رنگ مشخص هدایت می‌شود. از این روش در قطعه‌بندی تصاویر پزشکی و در نورپردازی تصاویر تلفن همراه استفاده شد. این روش امکان تقطیع اهدافی که دارای لبه‌های ضعیف هستند را فراهم می‌کند. مشکل این روش آن است که رنگ شیء و پس‌زمینه در این روش باید ساده باشد و این روش

1. Gradient Vector Flow
2. Capture Range
3. Edge Detector
4. Boundary Vector Flow
5. Fluid Vector Flow

نشان داده‌اند انرژی بافتی بانک فیلتر گابور پاسخ بهتری از ویژگی‌های گشتاور دارد ولی حجم محاسبات آن بالاتر است [۲۲].
وقتی پیچیدگی بافتی زیاد می‌شود استفاده از ویژگی‌های گشتاور قادر به قطعه‌بندی و ردیابی اشیای بافتی با دقت بالا نیست. در مقاله دیگری ورد و همکاران، ویژگی بافتی نقاط کانتور و شیء هدف را با استفاده از تبدیل والش هادامارد جهت^۱ (DWHT) محاسبه و ثابت می‌کنند دقت بالاتری در قطعه‌بندی شیء هدف در پس‌زمینه بافتی نسبت به کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور دارد [۲۳]. تبدیل والش هادامارد جهتی، یک تبدیل چندمقیاسی جهت‌دار است که اولین بار توسط منجمی و همکاران معرفی شد [۲۴]. این روش مبتنی بر نوعی خاص از دوران تصویر ورودی قبل از اعمال تبدیل والش هادامارد است. تبدیل والش هادامارد جهتی تمام ویژگی‌های تبدیل والش هادامارد را دارا می‌باشد. حسن این تبدیل این است که اولاً خاصیت جهت‌دار بودن بافت را حفظ می‌کند و بار محاسباتی کمتری در مقایسه با بانک فیلتر گابور دارد. برای محاسبه ویژگی‌های بافتی بر اساس روش DWHT به این صورت عمل می‌کنیم [۲۳]: ابتدا یک پنجره 4×4 در اطراف نقاط کانتور و شیء هدف مشخص می‌شود. پنجره را در چهار جهت $\{0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ\}$ می‌چرخانیم. ماتریس‌های حاصل از چرخش را در ماتریس هادامارد 4×4 ضرب می‌کنیم. ستون‌های ماتریس‌ها را به صورت $\{1/4, 1/4, 1/2\}$ تقسیم می‌کنیم که باندهای سکونسی^۲ را تشکیل می‌دهند و از آنها برای استخراج ویژگی‌های بافتی استفاده می‌کنیم.

۳- تبدیل کانتورلت

تبدیل کانتورلت توسعه‌ای بر تبدیل موجک گسسته است. تبدیل موجک گسسته به دلیل خواص نظیر محلی‌سازی مکان-فرکانس، نمایش با تفکیک‌پذیری چندگانه^۳ مدل‌سازی برتر از سیستم بینایی انسان^۴ (HVS) و پیچیدگی محاسباتی خطی [۲۵] معروفیت بیشتری را در بین تبدیلات دیگر به دست آورده است. اساساً موجک‌ها برای ناپیوستگی‌ها در سیگنال‌های یک‌بعدی مناسب هستند [۲۶] اما در سیگنال‌های با ابعاد بالاتر مانند تصاویر دوبعدی غیر از ناپیوستگی‌های صفربعدی، ناپیوستگی یک‌بعدی نیز وجود دارد، مثل ناپیوستگی‌هایی به شکل یک خط یا منحنی. ولی چون موجک‌های دوبعدی توسط حاصل ضرب تانسوری موجک‌های یک‌بعدی به دست می‌آیند، در نتیجه تنها قادر به نمایش مناسب ناپیوستگی‌های صفربعدی هستند.

تبدیل کانتورلت، تبدیل دوبعدی جهت‌دار جدایی‌ناپذیری است که توانایی بالایی در نمایش تصاویر شامل منحنی‌ها و کانتورهای هموار داشته و توانایی توصیف منحنی‌ها و جزئیات ظریف را دارد. تبدیل کانتورلت علاوه بر تمام ویژگی‌های تبدیل موجک اعم از محلی‌سازی مکان-فرکانس، نمایش با تفکیک‌پذیری چندگانه، ویژگی‌های دیگری از جمله جهت‌داری و ناهمسان‌گردی^۵ را نیز دارا می‌باشد. این تبدیل بر خلاف دیگر تبدیل‌ها، با کمک بانکی از فیلترهای یک حوزه گسسته شروع شده و سپس از طریق یک چهارچوب تحلیلی تفکیک‌پذیری چندگانه به یک حوزه پیوسته همگرا می‌شود [۲۷].

$$m_{1,1} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad m_{1,2} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad m_{1,3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$m_{2,1} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad m_{2,2} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad m_{2,3} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

شکل ۲: ماسک‌های گشتاور.

بالونی جدید مبتنی بر ویژگی‌های بافتی به تابع انرژی مدل‌های کانتور فعال پارامتری، امکان قطعه‌بندی اشیای بافتی در پس‌زمینه بافتی فراهم می‌شود [۱۳]، [۲۱] تا [۲۳].

تمرکز این مقاله بر مدل‌های کانتور فعال پارامتری برای قطعه‌بندی شیء در محیط بافتی است. در این مقاله از ویژگی‌های بافتی مبتنی بر کانتورلت در مدل کانتور فعال پارامتری استفاده می‌شود. علت استفاده از تبدیل کانتورلت در مدل پیشنهادی این مقاله آن است که این تبدیل توانایی بالایی در تشخیص منحنی دارد. به همین دلیل مدل کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی کانتورلت توانایی بالایی در قطعه‌بندی شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی که بافت‌های آن به صورت منحنی و دایره‌ای شکل است را دارا خواهد بود [۲۱].

در بخش بعدی این مقاله، مروری بر انرژی‌های مختلفی مبتنی بر ویژگی بافتی که تاکنون در مدل‌های کانتور فعال پارامتری استفاده شده، انجام می‌شود. در بخش سوم، تبدیل کانتورلت توضیح داده می‌شود که ویژگی بافتی استفاده شده در این مقاله است. در بخش چهارم، مدل کانتور فعال پارامتری پیشنهادی با استفاده از انرژی بالونی مبتنی بر تبدیل کانتورلت تشریح می‌شود. در بخش پنجم، نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی و مقایسه آن با کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور و والش هادامارد جهتی آمده است و در بخش ششم نتیجه‌گیری و جمع‌بندی مقاله ارائه می‌شود.

۲- مروری بر ویژگی‌های بافتی استفاده شده در مدل کانتور فعال پارامتری

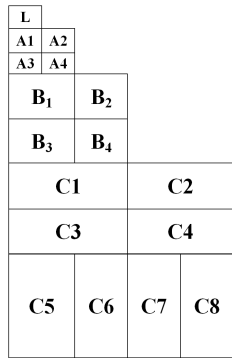
به منظور قطعه‌بندی و ردیابی اشیای بافتی در پس‌زمینه بافتی، اضافه کردن یک انرژی فشاری جدید به نام انرژی فشار بافت که متناسب با ویژگی‌های بافتی باشد، به تابع انرژی مدل کانتور فعال، توسط محققین پیشنهاد شده است. در این مدل پس از محاسبه ویژگی‌های بافتی نقاط کانتور و با مقایسه این ویژگی‌ها با ویژگی‌های بافت شیء هدف که به صورت اطلاعات قبلی وجود دارد، منحنی کانتور جهت انطباق بر مرزهای شیء، منبسط و یا منقبض می‌شود [۱۳].

در روش پیشنهادی توسط ورد و همکاران از انرژی ویژگی‌های بافتی گشتاور با استفاده از روش ماسک‌های گشتاور استفاده شده است. برای این منظور شش ویژگی گشتاور با کمک ماسک تعریف شده در شکل ۲ از تصویر استخراج می‌شود.

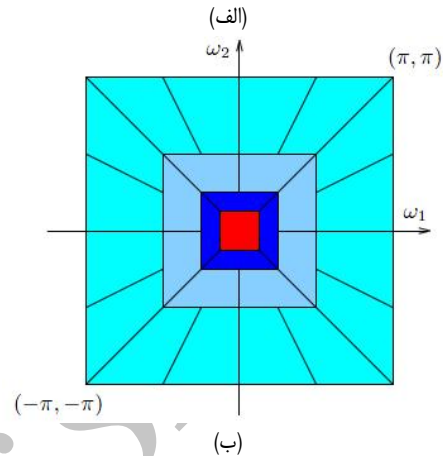
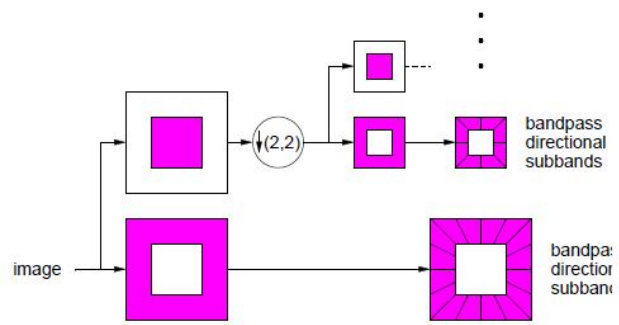
برای استخراج ویژگی‌های بافتی کانتورلت، تصویر با هر یک از ماسک‌ها محاسبه شده و مطابق با هر یک از آنها، یک تصویر گشتاور حاصل می‌شود. سپس ویژگی‌های بافت هر نقطه از تصویر و انرژی فشار بافت محاسبه می‌گردد و با استفاده از آن انرژی کل کانتور محاسبه می‌شود [۱۳].

تحویل‌یابان و همکاران، استفاده از ویژگی‌های مبتنی بر بانک فیلتر گابور را با ویژگی‌های گشتاور در مدل کانتور فعال پارامتری مقایسه کرده‌اند و

1. Directional Walsh Hadamard Transform
2. Sequency
3. Multi Resolution
4. Human (and other Mammals) Visual System
5. Anisotropy



شکل ۴: تجزیه کانتورلت.



شکل ۳: نمودار بانک فیلتر بانک جهت‌دار هرمی (PDFB)، (الف) بلوک دیاگرام PDFB و (ب) نحوه تقسیم‌بندی صفحه فرکانس حاصل از PDFB.

- ابتدا تبدیل کانتورلت را برای چهار سطح انجام می‌دهیم و ۳۱ زیرتصویر حاصل می‌شود.

- از بین این سی و یک زیرتصویر حاصل‌شده، شش تصویر که انرژی بیشتری دارند (با معیاری از انرژی که با استفاده از (۷) محاسبه می‌شود) را انتخاب می‌کنیم و شش تصویر به نام‌های $M_1, M_2, M_3, M_4, M_5, M_6$ حاصل می‌شود

$$M_t = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n A(i, j)}{m \times n} \quad (7)$$

در (۷) منظور از A مجموعه سی و یک تصویر بوده و m و n اندازه زیرتصویر می‌باشد.

ویژگی‌های هر نقطه از تصویر با استفاده از (۸) محاسبه می‌شود

$$F_t(i, j) = \frac{1}{L} \sum_{a=-L}^L \sum_{b=-L}^L |\tanh(\varepsilon(M_t(i+a, j+b)))| \quad (8)$$

$t = 1, 2, 3, 4, 5, 6$

که در این رابطه $L \times L$ اندازه پنجره‌ای است که نقطه (i, j) در مرکز آن قرار دارد و ε ثابتی است که توسط کاربر تعیین می‌شود. با انجام عمل فوق، برای هر نقطه از تصویر یک بردار ویژگی بافت به صورت $F(i, j) = [F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6]$ ایجاد می‌شود که می‌توان از آن برای قطعه‌بندی تصویر استفاده کرد. شکل ۵ نمودار بلوکی این فرآیند را نشان می‌دهد. از بردارهای $F, O\mu$ و $O\sigma$ به دست آمده در مرحله بعد برای تولید انرژی بالون مبتنی بر ویژگی‌های کانتورلت استفاده می‌شود.

۴-۲ انرژی بالون مبتنی بر ویژگی‌های بافتی

همان‌طور که در مقدمه بیان شد، مدل کانتور فعال پارامتری به صورت (۲) است. در روش پیشنهادی ما از انرژی بالون مبتنی بر ویژگی‌های بافتی (ویژگی‌های بافتی با استفاده از تبدیل کانتورلت محاسبه می‌شود) استفاده می‌کنیم. انرژی بالون اولین بار توسط کوهن [۱۷] معرفی شد. بنابراین انرژی خارجی به صورت (۹) است

$$E_{ext} = \delta \cdot E_{img} + E_{bat} \quad (9)$$

که در روش پیشنهادی به صورت (۱۰) می‌باشد

$$E_{bat} = T(I(S)) \times \bar{n}(s) \quad (10)$$

در این رابطه $\bar{n}(s)$ بردار نرمال واحد در نقطه کانتور می‌باشد. تابع T به صورت (۱۱) مشخص می‌شود

$$T(I(s)) = \begin{cases} 1 & \text{if } \frac{\|F(I(s)) - O\mu\|}{\|O\sigma\|} < \|K\| \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

تبدیل موجک مانند هرم لاپلاسین که یک تبدیل چند مقیاسه است و برای تسخیر نقاط ناپیوسته تصویر یعنی همان لبه‌های تصویر بکار می‌رود. اگر این تبدیل را با یک بانک فیلتر جهت‌دار که برای ارتباط نقاط ناپیوستگی به یک ساختار خطی به کار می‌رود، ترکیب کنیم به چنین ترکیبی بانک فیلتر جهت‌دار هرمی (PDFB) و به بسط حاصل از آن تبدیل کانتورلت می‌گویند. ساختار بلوکی برای بانک فیلترهای کانتورلت در شکل ۳ همراه با یک مثال از افزایش فرکانسی‌اش نمایش داده شده است [۲۶]. شکل ۴ تبدیل کانتورلت را برای سه سطح نشان می‌دهد.

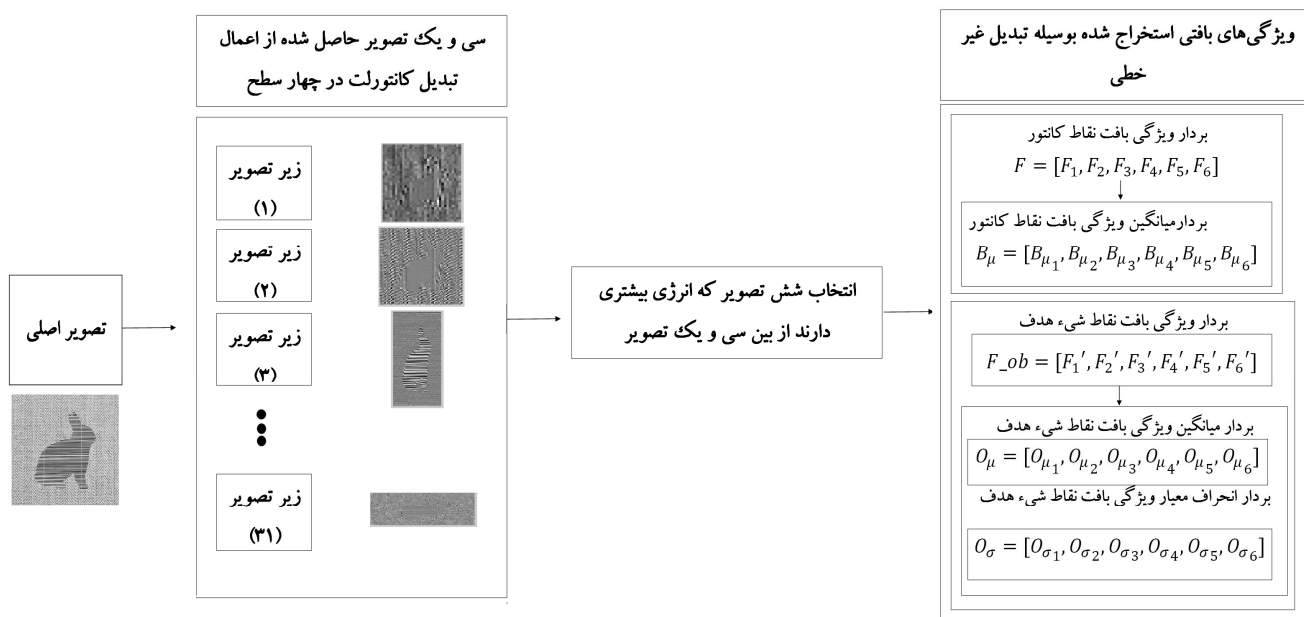
۴-۳ مدل پیشنهادی کانتور فعال مبتنی بر انرژی بالون کانتورلت

روش پیشنهادی در تقطیع بر مبنای استفاده از انرژی بالونی مبتنی بر کانتورلت در مدل کانتور فعال است که در دو قسمت چگونگی استخراج ویژگی بر اساس کانتورلت و استفاده از ویژگی استخراج‌شده در انرژی بالونی مدل کانتور فعال بیان می‌شود.

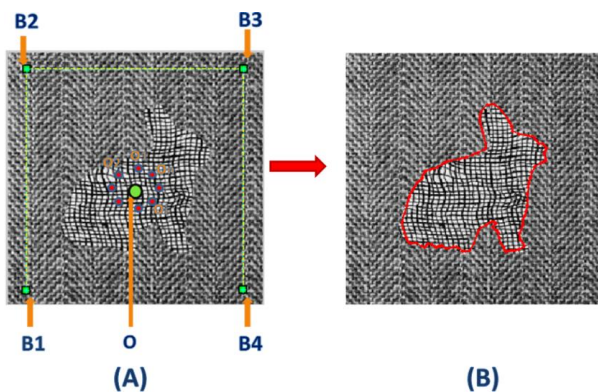
۴-۱ استخراج ویژگی مبتنی بر کانتورلت

تبدیل موجک مرسوم تنها دارای سه جهت افقی، عمودی و مورب است ولی تبدیل کانتورلت تبدیل یکنابی است که تعداد باندهای جهت‌دار را کاربر تعیین می‌کند. در روش پیشنهادی تصویر اصلی را تا چهار سطح به ۳۱ زیرباند $(A_1, A_2, A_3, B_1, \dots, B_4, C_1, \dots, C_8, D_1, \dots, D_{16})$ تجزیه می‌کنیم.

به این دلیل چهار سطح را انتخاب می‌کنیم که تعداد باندهای جهت‌دار بیشتری را شامل شود. برای محاسبه ویژگی‌های بافتی بر اساس کانتورلت به صورت زیر عمل می‌کنیم:



شکل ۵: نمودار بلوکی استخراج ویژگی های بافت مبتنی بر تبدیل کانتورلت نقاط کانتور و نقاط شیء هدف.

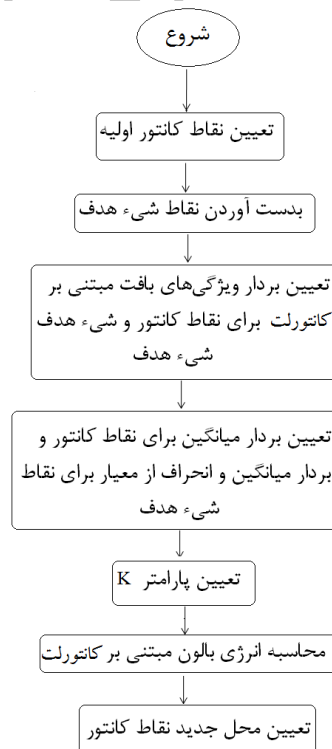


شکل ۷: محاسبه نقاط شیء هدف.

هدف قرار می گیرد به سمت مرزهای آن منبسط شود. E_{img} در (۹) با استفاده از (۶) به دست می آید. در ادامه رابطه کلی انرژی کانتور به صورت (۴) محاسبه می شود.

۴-۳ الگوریتم قطعه بندی بر اساس روش پیشنهادی

مراحل مختلف برای قطعه بندی شیء بافتی در پس زمینه بافتی به صورت نمودار بلوکی در شکل ۶ رسم شده است. همان طوری که در نمودار مشاهده می شود، برای قطعه بندی شیء، ابتدا کانتور اولیه مشخص می گردد. این کار با گذاشتن چند نقطه در اطراف شیء هدف توسط کاربر انجام می شود (B_1, B_2, B_3, B_4). سپس مرکز نقاط را پیدا کرده و تعداد نقطه حول نقطه مرکزی (O) به عنوان نقاط شیء هدف به دست می آید (O_1, \dots, O_n) (شکل ۷). در مرحله بعد، بردار ویژگی های بافت نقاط کانتور (پس زمینه) F و نقاط شیء هدف F_{ob} تعیین می شود. میانگین و انحراف آنها محاسبه (O_{μ} ، O_{σ} ، B_{μ}) و سپس پارامتر K تعیین می شود. در مرحله بعد با استفاده از (۹) انرژی بالون مبتنی بر ویژگی های بافت محاسبه و پس از آن با استفاده از (۴) انرژی کل کانتور فعال تعیین می شود. در مرحله بعد با استفاده از انرژی محاسبه شده در مرحله قبل، محل جدید نقاط کانتور تعیین می گردد و این کار تا قرار گرفتن کانتور بر روی مرزهای شیء هدف ادامه می یابد.

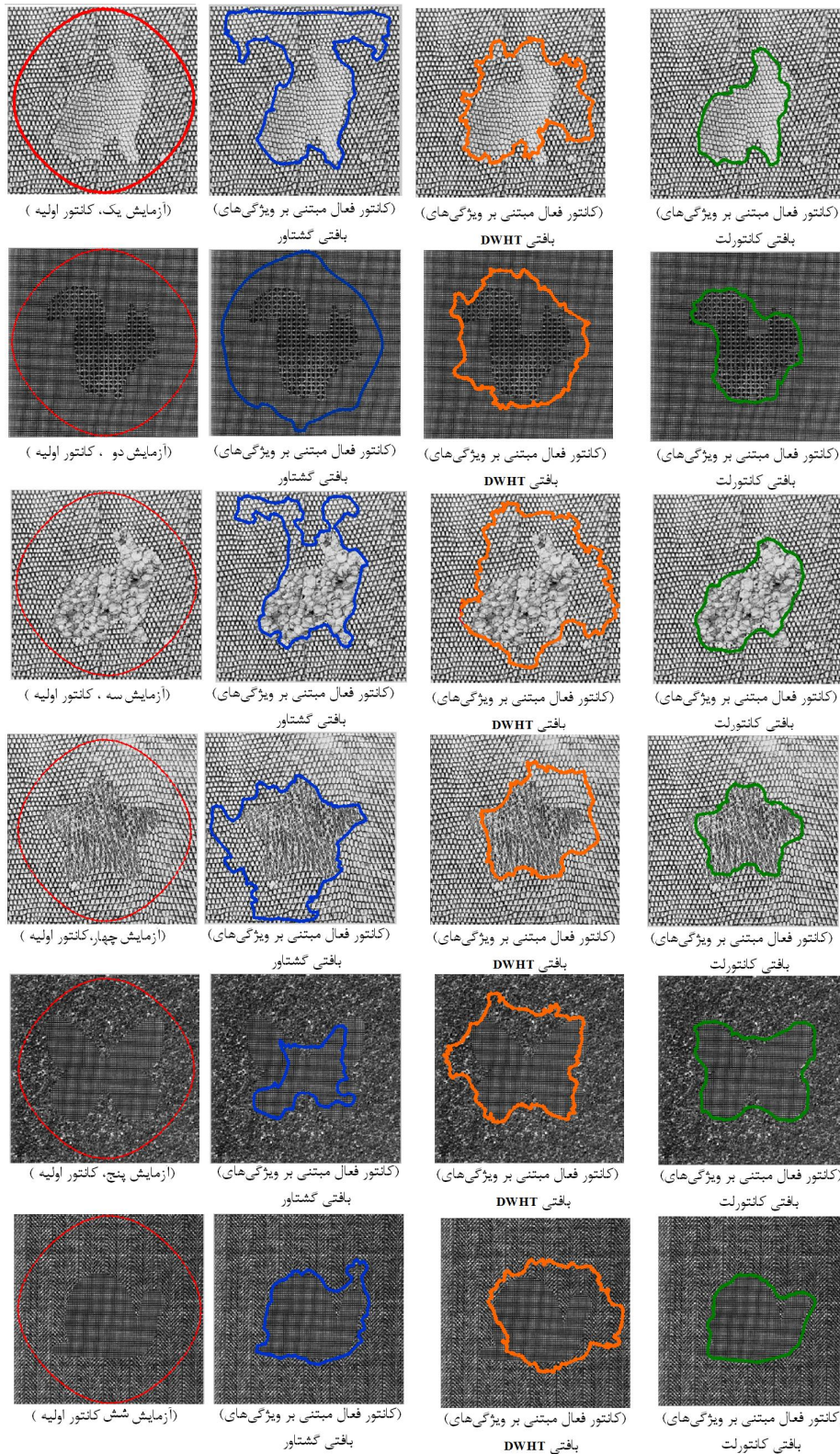


شکل ۶: دیاگرام بلوکی قطعه بندی بر اساس روش پیشنهادی.

که در آن F بردار ویژگی های بافت هر نقطه کانتور است و بردار B_{μ} به وسیله محاسبه میانگین بردار ویژگی های نقاط شیء هدف به دست می آید. F_{ob} بردار ویژگی های بافتی نقاط شیء هدف است. O_{μ} و O_{σ} به ترتیب میانگین و انحراف از معیار بردار ویژگی شیء هدف می باشند که با استفاده از بردار F_{ob} به دست می آید. K با استفاده از (۱۲) حاصل می شود

$$k = \frac{B_{\mu} - O_{\mu}}{O_{\sigma}} \quad (12)$$

E_{bal} باعث می شود وقتی کانتور در خارج هدف با بافت مشخص قرار دارد به سمت مرزهای آن منقبض شود و وقتی منحنی کانتور در داخل



شکل ۸: نتایج آزمایش بر اساس روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی کانتورلت و روش‌های کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور و والش هادامارد جهتی.

مقایسه قرار می‌دهیم.

تمام تصاویر به اندازه 256×256 است و از مجموعه بافت بردار [۲۸] بوده که دارای یک شیء بافتی است که در پس‌زمینه با بافت متفاوت قرار گرفته است. آزمایشات بر روی یک گروه متشکل از ۳۰ تصویر متفاوت با بافت‌های پس‌زمینه متفاوت و در هر بافت از اشیای بافتی متفاوت (با فرورفتگی‌ها و برجستگی‌های متفاوت) انجام شده است. شش تصویر از سی تصویر به صورت نمونه آورده شده است که نتایج آن در قالب شش آزمایش در شکل ۸ آمده است.

۵- آزمایش‌ها و نتایج آن

در این بخش ما روش پیشنهادی یعنی اضافه کردن انرژی بالون مبتنی بر تبدیل کانتورلت به مدل کانتور فعال (کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی کانتورلت) را با نرم افزار MATLAB R2008a پیاده‌سازی کردیم. سپس روش پیشنهادی را با دو روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور و کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی والش هادامارد جهتی از نظر دقت در قطعه‌بندی شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی مورد

جدول ۱: مقایسه آماری نتایج روش‌های مورد مقایسه در تقطیع شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی برای ۶ آزمایش انجام‌شده.

کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT				کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور				کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی کانتورلت			
متوسط	کمینه	بیشینه	میان	متوسط	کمینه	بیشینه	میان	متوسط	کمینه	بیشینه	میان
۲۵٫۷۷	۱۸٫۲۴	۰٫۶۹	۷۴٫۴۴	۲۴٫۲۱	۶۲٫۲۲	۴۲٫۳۰	۰٫۵۰	۴۲٫۳۰	۶۲٫۲۲	۲۴٫۲۱	۷۴٫۴۴
۱۵٫۲۲	۱۳٫۳۶	۰٫۴۲	۴۷٫۴۷	۱۱٫۷۱	۴۵٫۹۷	۳۶٫۲۵	۰٫۷۱	۳۶٫۲۵	۴۵٫۹۷	۱۱٫۷۱	۴۷٫۴۷
۲۱٫۶۹	۱۶٫۳۴	۱٫۵۷	۶۳٫۹۸	۱۷٫۵۵	۶۴٫۱۶	۴۷٫۶۸	۰٫۴۶	۴۷٫۶۸	۶۴٫۱۶	۱۷٫۵۵	۶۳٫۹۸
۱۴٫۶۳	۱۳٫۰۵	۰٫۶۹	۴۳٫۶۶	۸٫۷۱	۳۴٫۱۴	۲۹٫۵۳	۰٫۱۳	۲۹٫۵۳	۳۴٫۱۴	۸٫۷۱	۴۳٫۶۶
۹٫۸۷	۵٫۴۷	۰٫۱۴	۲۶٫۴۱	۱۰٫۳۵	۱۴٫۴۸	۶٫۵۴	۰٫۲۰	۶٫۵۴	۱۴٫۴۸	۱۰٫۳۵	۲۶٫۴۱
۱۶٫۴۶	۹٫۱۲	۰٫۳۰	۳۴٫۵۵	۱۷٫۴۵	۱۷٫۵۸	۹٫۶۳	۰٫۲۹	۹٫۶۳	۱۷٫۵۸	۱۷٫۴۵	۳۴٫۵۵

آزمایشات انجام‌شده توانمندی و دقت بالایی روش پیشنهادی را نسبت به مدل کانتور مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور و مدل کانتور مبتنی بر ویژگی‌های بافتی والش هادامارد جهتی در شرایط مختلف نشان می‌دهد.

مراجع

- [1] H. Eng, M. Thida, B. Chew, K. Leman, and S. Anggrelly, "Model-based detection and segmentation of vehicles for intelligent transportation system," in *Proc. 3rd IEEE Conf., Industrial Electronics and Applications*, pp. 2127-2132, Aug. 2008.
- [2] K. Huang and T. Tan, "Vs-star: a visual interpretation system for visual surveillance," *Pattern Recognition Letter*, vol. 31, no. 14, pp. 2265-2285, Oct. 2010.
- [3] N. Harandi, S. Sadri, N. Moghaddam, and R. Amirfattahi, "An automated method for segmentation of epithelial cervical cells in images of thin Prep," *Journal of Medical Systems*, vol. 34, no. 6, pp. 1043-1058, Dec. 2010.
- [4] Q. Chen, Q. Sun, and P. Heng, "Two-stage object tracking method based on kernel and active contour," *IEEE Trans. on Circuits and System for Video Technology*, vol. 20, no. 4, pp. 605-609, Apr. 2010.
- [5] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: active contour models," in *Proc. 1st Int. Conf. Computer Vision, London*, pp. 259-269, 1987.
- [6] V. Caselles, F. Catte, T. Coll, and F. Dibos, "A geometric model for active contours in image processing," *Numer. Math.*, vol. 66, no. 1, pp. 1-32, Dec. 1993.
- [7] R. Malladi, J. A. Sethian, and B. C. Vemuri, "Shape modeling with front propagation: a level set approach," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 17, no. 2, pp. 158-175, Feb. 1995.
- [8] L. Yang, P. Meer, and D. J. Foran, "Unsupervised segmentation based on robust estimation and color active contour models," *IEEE Trans. on Information Technology in Biomedicine*, vol. 9, no. 3, pp. 475-486, Sep. 2005.
- [9] W. Kim and J. Jang Lee, "Object tracking based on the modular active shape model," *Mechatronics*, vol. 15, no. 3, pp. 371-402, Apr. 2005.
- [10] J. L. Prince and C. Xu, "A new external force model for snakes," in *Image and Multidimensional Signal Processing Workshop*, pp. 30-31, 1996.
- [11] J. Ivins and J. Porrill, "Active region models for segmenting medical images," in *Proc. of the 1st Int. Conf. on Image Processing*, vol. 3, pp. 227-231, Austin, TX, US, Nov. 1994.
- [12] H. Schaub and C. Smith, "Color snakes for dynamic lighting conditions on mobile manipulation platforms," in *Proc. of the IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Albuquerque, NM, USA*, vol. 2, pp. 1272-1277, Oct. 2003.
- [13] A. Vard, P. Moallem, and A. Naghshnilchi, "Texture based parametric active contour target detection and tracking," *International J. of Imaging System Technology*, vol. 19, no. 3, pp. 187-198, Sep. 2009.
- [14] G. Hamarneh, A. Chodorowski, and T. Gustavsson, "Active contour models: application to oral lesion detection in color images," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Systems, Man, and Cybernetics*, vol. 4, pp. 2458-2463, Oct. 2000.
- [15] L. D. Cohen and I. Cohen, "Finite - element methods for active contour models and balloons for 2-D and 3-D images," *IEEE Trans. Pattern Anal.*, vol. 15, no. 11, pp. 1131-1147, Nov. 1993.
- [16] C. Xu and J. L. Prince, "Snakes, shapes, and gradient vector flow," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 7, no. 3, pp. 359-369, Mar. 1998.

برای محاسبه خطا ابتدا پیرامون شیء هدف را نسبت به پس‌زمینه به‌صورت دستی به‌دست می‌آوریم. سپس کمترین فاصله بین نقاط کانتور نهایی را با پیرامون شیء هدف محاسبه کرده و در نهایت میانگین، انحراف از معیار، کمترین و بیشترین مقدار بردار کمترین فاصله را به‌دست می‌آوریم.

در تمام آزمایشات، روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی کانتورلت، دقت بالاتری در مقایسه با کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور و کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT دارد. جدول ۱ نتیجه مقایسه متوسط، انحراف از معیار، مینیمم، بیشینه و میان بردار فاصله بین نقاط کانتور نهایی با پیرامون شیء هدف را برای شش آزمایش انجام‌شده در شکل ۶ نشان می‌دهد.

آزمایشات بر روی یک گروه متشکل از ۳۰ تصویر نشان می‌دهد به‌طور میانگین در این ۳۰ تصویر در روش پیشنهادی متوسط بردار فاصله نقاط کانتور با پیرامون شیء هدف (به‌طور میانگین ۱۵/۸۷)، در روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور (به‌طور میانگین ۳۹/۴۲) و در روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT (به‌طور میانگین ۲۷/۱۳) است. در روش پیشنهادی انحراف از معیار بردار فاصله نقاط کانتور با پیرامون شیء هدف (به‌طور میانگین ۱۲/۱۸)، در روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور (به‌طور میانگین ۲۸/۱۵) و کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT (به‌طور میانگین ۱۸/۶۴) است.

نتایج آزمایشات برتری روش کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی کانتورلت از جهت متوسط بردار فاصله کانتور نهایی با پیرامون شیء هدف به اندازه ۶۰٪ نسبت به روش کانتور فعال مبتنی بر گشتاور و ۴۲٪ نسبت به کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT و از جهت انحراف از معیار بردار فاصله کانتور نهایی با پیرامون شیء هدف به اندازه ۵۷٪ نسبت به روش کانتور فعال مبتنی بر گشتاور و به اندازه ۳۴٪ نسبت به کانتور فعال مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT را نشان می‌دهد.

۶- نتیجه‌گیری

مدل کانتور مبتنی بر ویژگی‌های بافتی گشتاور و مدل کانتور مبتنی بر ویژگی‌های بافتی DWHT وقتی که پیچیدگی بافتی شیء هدف و پس‌زمینه افزایش می‌یابد یا بافت آن به‌صورت منحنی می‌شود، قادر به قطعه‌بندی شیء هدف در پس‌زمینه بافتی نمی‌باشند. تبدیل کانتورلت توانایی بالایی در نمایش تصاویر شامل منحنی و کانتورهای هموار دارد. در روش ارائه‌شده در این مقاله با اضافه کردن انرژی بالون مبتنی بر تبدیل کانتورلت به تابع انرژی مدل کانتور فعال پارامتریک، امکان شناسایی و قطعه‌بندی شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی با بافت‌های پیچیده فراهم شد.

پیمان معلم دانش‌آموخته کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی الکترونیک، به‌ترتیب در سال ۱۳۷۰ و ۱۳۷۴ از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه صنعتی امیرکبیر می‌باشد. نام‌برده در سال ۱۳۸۲ موفق به اخذ درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه صنعتی امیرکبیر گردید. دکتر معلم از سال ۱۳۸۲ به‌عنوان عضو هیأت علمی در دانشگاه اصفهان مشغول خدمت گردید و هم‌اکنون دانش‌یار گروه مهندسی برق دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان می‌باشد. زمینه‌های علمی مورد علاقه ایشان شامل موضوعاتی مانند پردازش تصاویر، توسعه شبکه‌های عصبی و پردازش هوشمند سیگنال‌ها می‌باشد. اجرای بیش از ۲۰ پروژه کاربردی، تألیف بیش از ۱۸۰ عنوان مقاله در مجلات و کنفرانس‌های معتبر بین‌المللی و ملی، راهنمایی و مشاوره بیش از ۷۰ دانش‌آموخته مقاطع تحصیلات تکمیلی و نیز تألیف سه عنوان کتاب در فعالیت‌های پژوهشی ایشان وجود دارد. ایشان در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۰ به‌عنوان پژوهش‌گر برتر استان اصفهان در حوزه مهندسی انتخاب شده‌اند.

هما تحویلیان تحصیلات خود را در مقطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ در دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد به پایان رسانده است. زمینه علمی مورد علاقه ایشان شناسایی و ردیابی اشیاء با استفاده از پردازش تصاویر است.

سید امیرحسین منجمی کارشناسی مهندسی برق/کامپیوتر خود را از دانشگاه صنعتی اصفهان در سال ۱۳۶۹ اخذ نمود. سپس در سال ۱۳۷۳ در رشته مهندسی کامپیوتر، هوش ماشین و رباتیک، موفق به اخذ مدرک فوق لیسانس از دانشگاه شیراز گردید. ایشان دکتری مهندسی کامپیوتر، پردازش تصاویر و تشخیص الگوی خود را نیز از دانشگاه بریستول انگلستان در سال ۱۳۸۳ اخذ نموده است. نام‌برده اکنون به‌عنوان دانشیار گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی دانشگاه اصفهان مشغول به کار است. سرفصل‌های تحقیقاتی مورد علاقه ایشان پردازش تصاویر و بینایی ماشین، شبکه‌های عصبی و امحای فیزیکی و بیوس‌ها می‌باشد.

- [17] L. D. Cohen, "On active contour models and balloons," *Computer Vision, Graphics and Image Processing, Image Understanding*, vol. 53, no. 2, pp. 211-218, Mar. 1991.
- [18] K. W. Sum and P. Y. S. Cheung, "Boundary vector field for parametric active contours," *Pattern Recognit.*, vol. 40, no. 6, pp. 1635-1645, Jun. 2006.
- [19] C. Davatzikos and J. L. Prince, "An active contour model for mapping the cortex," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 14, no. 1, pp. 65-80, Mar. 1995.
- [20] T. Wang, I. Cheng, and A. Basu, "Fluid vector flow and applications in brain tumor segmentation," *IEEE Trans. on Biomedical Engineering*, vol. 56, no. 3, pp. 781-789, Mar. 2009.
- [۲۱] ها. تحویلیان، پ. معلم و ا. ح. منجمی، "استفاده از انرژی مبتنی بر ویولت و کانتورلت جهت تقطیع شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی،" *اولین همایش منطقه‌ای پژوهش در فناوری برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد*، آذر ۱۳۸۹.
- [۲۲] ها. تحویلیان، پ. معلم و ا. ح. منجمی، "استفاده از انرژی مبتنی بر فیلتر گابور برای تقطیع شیء بافتی در پس‌زمینه بافتی،" *اولین همایش منطقه‌ای پژوهش در فناوری برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نجف‌آباد*، آذر ۱۳۸۹.
- [23] A. Vard, A. Monadjemi, K. Jamshidi, and N. Movahhedinia, "Fast texture energy based image segmentation using directional walsh-hadamard transform and parametric active contour models," *Expert Systems with Applications*, vol. 38, no. 9, pp. 11722-11729, Sep. 2011.
- [24] A. Monadjemi and P. Moallen, "Texture classification using a novel walsh/hadamard transform," in *Proc. 10th WSEAS Int Conf. on Computers, Vouliagmeni*, pp. 1002-1007, Athens, Greece, Jul. 2006.
- [25] P. Meerwald and A. Uhl, "A survey of wavelet domain watermarking algorithms," in *Proc. of SPIE, Electronic Imaging, Security and Watermarking of Multimedia Contents III*, vol. 4314, pp. 505-516, 2001.
- [۲۶] خ. مالک‌نژاد، ا. صلاحی و م. ش. معین، "روشی جدید برای نهم‌نگاری طیف گسترده تصاویر با استفاده از تبدیل کانتورلت،" *سیزدهمین کنفرانس ملی انجمن کامپیوتر ایران*، صص. ۲۴۳-۲۳۵، اسفند ۱۳۸۶.
- [27] M. N. Do and M. Vetterli, "The contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 14, no. 12, pp. 2091-2106, Sep. 2005.
- [28] P. Brodatz, *Textures: a Photographic Album for Artists and Designers*, Dover Publishing Co, 1966.