

بهبود ادغام تصاویر چندتمركزی با لحاظ اطلاعات فاز تبدیل فوریه

سیف اله سلیمانی^۱ عاطفه عصمتی^۲

۱- استادیار- گروه مهندسی کامپیوتر- دانشکده مهندسی - دانشگاه اراک- اراک- ایران

s-soleimani@araku.c.ir

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد- گروه مهندسی کامپیوتر- دانشکده مهندسی- دانشگاه اراک - اراک- ایران

a-esmati@msc.araku.ac.ir

چکیده: در تصویر برداری از یک صحنه در صورتی که عمق اشیاء موجود در صحنه از عمق میدان لنز بیشتر باشد، فقط اشیاء و یا قسمتهایی از اشیاء که در محدوده عمق میدان هستند واضح می‌شوند و بقیه قسمتها مات خواهند شد. جهت غلبه بر این مشکل از تکنیکی به نام ادغام تصاویر استفاده می‌شود. در این تکنیک با تغییر تمرکز دوربین چند تصویر اخذ می‌شود که در هریک، بخشی از صحنه واضح خواهد بود. سپس این تصاویر (که به آنها تصاویر چندتمركزی گفته می‌شود) با یکدیگر ادغام می‌شوند تا یک تصویر که همه بخشها واضح باشند به دست آید. در این مقاله، یک روش ادغام تصاویر چندتمركزی که تغییر یافته یک الگوریتم موجود است پیشنهاد شده است. در روش موجود، ابتدا نواحی برجسته در هر تصویر منبع، تشخیص داده شده و سپس با مقایسه برجستگی‌های موجود بین تصاویر منبع، نواحی مورد تمرکز مشخص می‌شوند. در روش مذکور، از دامنه تبدیل فوریه استفاده شده و پردازشی روی اطلاعات فاز انجام نشده است. در این مقاله، روشی برگرفته از مقاله‌ای دیگر جهت استفاده از اطلاعات فاز مورد بررسی قرار گرفته است. در روش استفاده شده، ابتدا چند تصویر جدید (که به آنها نقشه‌های ویژگی گفته می‌شود) با ترکیب کانالهای رنگ تصاویر ورودی ایجاد می‌شود. سپس اطلاعات فاز از نقشه‌های ویژگی در دامنه فرکانس استخراج شده و از آنها جهت تعیین نواحی برجسته هر تصویر و سپس ادغام استفاده می‌شود. با تست روش پیشنهادی روی یک مجموعه از تصاویر چند تمركزی و مقایسه با چند روش موجود و همچنین روش پایه، نتایج بهتری به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: ادغام تصاویر چندتمركزی، طیف فوریه، اطلاعات فاز

نوع مقاله: پژوهشی

DOI: 10.52547/jiaeee.19.2.169

تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۷/۱۲/۲۰

تاریخ پذیرش مشروط مقاله: ۱۳۹۸/۱۲/۱۰

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۲/۲۰

نام نویسنده‌ی مسئول: دکتر سیف اله سلیمانی

نشانی نویسنده‌ی مسئول: ایران - اراک - دانشگاه اراک - دانشکده‌ی مهندسی - گروه مهندسی کامپیوتر - کد پستی ۳۸۱۵۶-۸-۸۳۴۹

۱- مقدمه

اولین مرحله در پردازش تصاویر اخذ تصاویر با کیفیت مناسب است. در برخی موارد تصاویر اخذ شده دارای کیفیت مناسبی نیستند که با روشهایی مانند سوپر رزولوشن [۲۴]، روشهای آماری [۲۵] و یا تجزیه تصاویر [۲۶] سعی می شود کیفیت تصاویر بهبود یابد. در برخی موارد نیز یک تصویر به تنهایی نمی تواند نمایشگر صحنه باشد. در تصاویری که به وسیله دوربین های سی سی دی^۱ و یا میکروسکوپهای نوری گرفته می شود، به سبب محدودیت عمق میدان^۲ لنز، تصویر همه اشیاء موجود در صحنه واضح نمی شود و برخی از اجزای تصویر تار خواهند شد. به عبارت دیگر تنها بخش هایی از صحنه که در فاصله کانونی دوربین قرار دارند در تصویر به صورت واضح دیده می شوند و دیگر بخش های تصویر مات خواهند بود. جهت حل این مشکل از تکنیکی به نام ادغام تصاویر^۳ استفاده می شود. در این تکنیک با تغییر تمرکز دوربین، چندین تصویر از صحنه اخذ می شود (در هر تمرکز یک تصویر). سپس این تصاویر با یکدیگر ادغام می شوند تا تصویری تولید شود که در آن همه قسمت ها واضح باشند [۱]. یک جفت از چنین تصاویری در شکل (۱) نشان داده شده است. در این شکل، مرد بازیکن در تصویر سمت چپ واضح است در حالی که زمین و پرچم در این تصویر تار می باشند. بالعکس در تصویر سمت راست، بازیکن تار بوده و زمین و پرچم واضح هستند. هدف از ادغام تصاویر در اینجا به دست آوردن تصویری است که در آن هم بازیکن و هم زمین و پرچم واضح باشند. لازم به ذکر است که قبل از ادغام تصاویر، لازم است تصاویر ورودی بر یکدیگر منطبق باشند. فرض ما (و بسیاری از مقالات مرتبط) این است که تصاویر ورودی بر یکدیگر منطبق هستند در غیر این صورت لازم است تصاویر ابتدا با روشهای تطبیق تصاویر [۲۳] منطبق شوند.

تکنیک های ادغام تصاویر از یک جنبه به دو دسته تقسیم می شوند: ادغام مبتنی بر حوزه مکان و ادغام مبتنی بر حوزه تبدیل. دسته اول با استفاده از یک سری قوانین مشخص مانند انتخاب بیشینه یا کمینه، مجموع وزنی و ... اطلاعات را در حوزه مکان ادغام می کنند. رایج ترین روش ها در دسته دوم مبتنی بر تبدیلات چند-مقیاسی^۴ هستند. از جمله الگوریتم های تبدیل چندمقیاسی، می توان به تبدیل موجک گسسته^۵ [۳]، هرم گرادیان^۶ [۴]، تبدیل موجک مختلط با درخت دوگانه^۷ [۵] اشاره کرد. در سال های اخیر، چند روش جدید در حوزه تبدیل برای ادغام تصاویر ارائه شده است مانند تبدیل کرولت^۸ [۶]، تبدیل کانتورلت^۹ [۷]. روش های ادغام تصاویر در حوزه تبدیل به طور کلی شامل سه مرحله می باشند؛ ابتدا، تصاویر منبع به حوزه تبدیل انتقال می یابند. سپس ضرایب تبدیل، با استفاده از یک سری قوانین، ادغام می شوند تا ضرایب تصویر ادغام شده در حوزه تبدیل به دست آیند. در نهایت با اعمال تبدیل

معکوس، تصویر ادغام شده نهایی به دست می آید. لازم به ذکر است در برخی موارد ترتیب فوق به شکل دیگری انجام شده است مثلاً در [۸] یک روش مبتنی بر موجک ارائه شده است که گام ادغام آن در حوزه مکان انجام می شود.

الگوریتم های ادغام تصاویر که از تبدیلات استفاده نمی کنند معمولاً از روشهای تشخیص تمرکز^{۱۰} در حوزه مکان استفاده می کنند. در این روش ها، تشخیص تمرکز یک نکته کلیدی می باشد [۹]. فرض اصلی ادغام تصاویر چندتمركزی این است که اشیایی که مورد تمرکز قرار گرفته اند تیزتر از اشیاء خارج از تمرکز می باشند [۲]. در این الگوریتم ها ابتدا تصاویر منبع به بلوک هایی تقسیم می شوند؛ سپس عمل مقایسه تیزی بین بلوک های تصاویر منبع (به کمک برخی معیارها) انجام شده و تصویر نهایی به دست می آید. اشکال مهم این الگوریتم ها آن است که ممکن است در تصویر، بلوک های مصنوعی ایجاد کنند.

اخیراً الگوریتمی جهت ادغام تصاویر پیشنهاد شده است که مبتنی بر مقایسه طیف^{۱۱} می باشد (از این به بعد به آن الگوریتم SCF^{۱۲} می گوئیم) [۱۰]. در این الگوریتم جهت تشخیص تمرکز، از یک روش سراسری استفاده شده است که باعث می شود در تصویر ادغام شده، بلوک های مصنوعی ایجاد نشده و نیز مانع کاهش تابین در تصویر ادغام شده شود. در بخشی از الگوریتم SCF اطلاعات دامنه



شکل (۱): یک جفت تصویر چند تمرکزی

تبدیل فوریه پردازش شده در حالیکه پردازشی روی اطلاعات فاز انجام نمی شود. در این مقاله جهت بهبود عملکرد الگوریتم SCF، روشی جهت استفاده از اطلاعات فاز پیشنهاد شده است. در ادامه، ابتدا در بخش ۲ به معرفی روش SCF می پردازیم. در بخش ۳، روش پیشنهادی معرفی می شود. در بخش ۴، ارزیابی روش پیشنهادی مورد بحث قرار گرفته و در نهایت در بخش ۵، جمع بندی مطالب ارائه می شود.

۲- روش SCF

فرض می کنیم از یک صحنه دو تصویر چند تمرکزی A و B با اندازه $M \times N$ اخذ شده است. مراحل الگوریتم SCF به شرح زیر می باشد [۱۰].

در ابتدا تبدیل فوریه تصاویر ورودی محاسبه می شود. اگر تصاویر منبع، رنگی باشند در ابتدا به تصاویر خاکستری تبدیل می-

شوند. با فرض اینکه I یکی از تصاویر منبع باشد، دامنه طیف فوریه عبارت است از:

$$A(f) = \Re(F(I)) \quad (1)$$

که در آن \square اندازه یک عدد مختلط است. همچنین فاز تبدیل فوریه عبارت است از:

$$P(f) = \Phi(F(I)) \quad (2)$$

سپس لگاریتم طیف دامنه که $L(f)$ نامیده می شود محاسبه می شود:

$$L(f) = \log(A(f)) = \log(\Re(F(I))) \quad (3)$$

سپس تصویر جدیدی تولید می شود که هموار شده $L(f)$ است و آن را با $\widetilde{L}(f)$ نشان می دهیم. حال تفاضل بین $L(f)$ و $\widetilde{L}(f)$ را به دست می آوریم:

$$R(f) = L(f) - \widetilde{L}(f) \quad (4)$$

در نهایت نقشه برجستگی برای تصویر منبع I به صورت زیر

تعریف می شود:

$$S(I) = g(x) * \{\mathcal{F}^{-1} [\exp(R(f) + jP(f))]\}^2 \quad (5)$$

که در آن $g(x)$ یک فیلتر گوسی است و $*$ به معنای کانولوشن بوده $j = \sqrt{-1}$ است. در پایان این مرحله دو ماتریس برای دو تصویر ورودی به دست می آید که نقشه های برجستگی می باشند و با $S(A)$ و $S(B)$ نشان داده می شوند. با استفاده از $S(A)$ و $S(B)$ می توان نقشه تشخیص تمرکز (MAP) را بدست آورد. این نقشه، در واقع یک ماتریس است که مشخص می کند در هر موقعیتی، مقدار پیکسل در تصویر نهایی به چه صورتی از تصاویر منبع گرفته شود. این نقشه در بعضی نقاط یک می باشد که به این معنی است که مقدار پیکسلها در تصویر ادغام شده در این نقاط از تصویر اول (تصویر A) گرفته می شوند. این حالت زمانی به وجود می آید که $S(A)_{ij} >> S(B)_{ij}$ (یعنی اگر $S(A)$ خیلی بیشتر از $S(B)$ باشد). در نقاطی در نقشه که مقدار صفر باشد به این معنی است که مقدار پیکسلها در تصویر ادغام شده در این نقاط، از تصویر دوم (تصویر B) گرفته می شوند. این حالت زمانی به وجود می آید که $S(B)_{ij} << S(A)_{ij}$ اما اگر $|S(A)_{ij} - S(B)_{ij}| < \varepsilon$ باشد (به این معنی که $S(A)_{ij}$ کمی بزرگتر یا کمی کوچکتر از $S(B)_{ij}$ باشد) نمی توانیم با اطمینان بگوییم در کدام تصویر این پیکسل در تمرکز است. در چنین نقاطی در نقشه عددی بین ۰ و ۱ قرار می گیرد و میانگین وزنی پیکسلها در دو تصویر ورودی در تصویر ادغامی قرار داده می شود. جهت تحقق موارد فوق، از یک تابع سیگماید به صورت زیر استفاده می شود:

$$MAP = \frac{1}{1 + \exp(-a\omega(S(A) - S(B)))} \quad (6)$$

در رابطه فوق، پارامتر a یک مقدار ثابت است که میزان تیزی تابع را کنترل می کند و مقدار w یکی از دو مقدار ۱+ و ۱- می باشد که

در ادامه توضیح داده شده است. مزیت تابع سیگماید آن است که از یک طرف شبیه تابع آستانه عمل می کند و از طرف دیگر تابعی هموار است و نقشه تمرکز هموارتری را بدست می دهد که مانع ظاهر شدن مصنوعات بلاکی در تصویر ادغام شده می شود. روال تعیین پارامتر a در [۱۰] توضیح داده شده است.

جهت تشریح تابع سیگماید در معادله (۶)، این تابع به ازای چند مقدار a و دو مقدار ممکن w و مقادیر بین ۶- و ۶+ برای $S(A)$ - $S(B)$ ، در شکلای ۲ و ۳ رسم شده است. در شکل ۲، نقشه به ازای $w=1$ رسم شده است. همانطور که در این شکل ملاحظه می شود وقتی $S(A)_{ij} >> S(B)_{ij}$ است $MAP=1$ و لذا مقدار پیکسل تصویر اول به تصویر ادغامی منتقل می شود و بالعکس اگر $S(A)_{ij} << S(B)_{ij}$ باشد، $MAP=0$ و لذا مقدار پیکسل از تصویر دوم به تصویر ادغامی منتقل می گردد. اما اگر $|S(A)_{ij} - S(B)_{ij}| < \varepsilon$ باشد، مقدار نقشه عددی بین صفر و یک خواهد بود و لذا میانگین وزنی پیکسلها در دو تصویر به تصویر ادغامی منتقل می شود. در شکل ۳، تابع سیگماید به ازای $w=-1$ رسم شده است که به صورت برعکس عمل می کند یعنی اگر $S(A)_{ij} >> S(B)_{ij}$ آنگاه $MAP=0$ و لذا مقدار پیکسل تصویر دوم به تصویر ادغامی منتقل می شود و اگر در مکانی $S(A)_{ij} << S(B)_{ij}$ باشد، $MAP=1$ و لذا مقدار پیکسل از تصویر اول به تصویر ادغامی منتقل می شود. ضمناً در حالتی که میانگین وزنی استفاده می شود وزن بیشتر به تصویری داده می شود که نقشه برجستگی آن کمتر است. در واقع، هدف از ماتریس w آن است که در هر نقطه مشخص شود آیا آن نقطه تحت تاثیر لبه ها و یا بافت مجاور می باشد و یا خیر. اگر نقطه ای تحت تاثیر لبه ها و یا بافت مجاورش باشد مقدار ۱- برای w باعث می شود نقشه تشخیص تمرکز به صورت معکوس عمل کند. علت این تصمیم با توجه به یافته [۲] می باشد که در آن نشان داده شده که اگر پیکسلی در ناحیه هموار بوده و نزدیک لبه و یا بافت باشد، احتمال تعلق آن پیکسل به ناحیه در تمرکز با سطح فعالیتش (در اینجا سطح فعالیت همان نقشه برجستگی است) نسبت عکس دارد. جهت تعیین مقادیر ماتریس w به صورت زیر عمل می شود. ابتدا ناحیه بندی تصویر مبتنی بر عملگر Sobel انجام می شود. به این صورت که تصاویر منبع با دو فیلتر $H = [-1, -2, -1; 0, 0, 0; 1, 2, 1]$ و $V = [-1, 0, 1; 2, -2, 0; -1, 0, 1]$ فیلتر می شوند تا گرادیانهای افقی و عمودی تصاویر منبع به دست آیند، که به ترتیب G_H و G_V نامیده می شوند. سپس گرادیان نهایی به صورت زیر به دست می آید:

$$G = \sqrt{G_V^2 + G_H^2} \quad (7)$$

با مقایسه G با یک مقدار آستانه TH_G ، تصویر به دو بخش تقسیم

لازم به ذکر است که اگر تصاویر A و B رنگی باشند یعنی

$$A = \begin{bmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{bmatrix} \text{ و } B = \begin{bmatrix} R_B \\ G_B \\ B_B \end{bmatrix}, \text{ آنگاه برای ادغام تصاویر رنگی رابطه (۹)}$$

به شکل زیر بازنویسی می‌شود:

$$F = \text{MAP} \cdot \begin{bmatrix} R_A \\ G_A \\ B_A \end{bmatrix} + (1 - \text{MAP}) \cdot \begin{bmatrix} R_B \\ G_B \\ B_B \end{bmatrix} \quad (10)$$

۳- روش پیشنهادی: تشخیص برجستگی مبتنی بر فاز

در روش SCF جهت محاسبه نقشه های برجستگی از دامنه تبدیل فوریه استفاده و از فاز تبدیل فوریه صرفنظر گردید. یک روش تشخیص برجستگی در حوزه فرکانس در [۱۲] ارائه شده است که از اطلاعات فاز تبدیل فوریه استفاده می‌کند. هدف ما آن است که قسمت محاسبه نقشه برجستگی در الگوریتم SCF را با این روش جایگزین نماییم. مراحل کار در ادامه تشریح می‌شوند.

۳-۱- نقشه‌های ویژگی تصاویر منبع

در ابتدا برای هر یک از تصاویر منبع ورودی، سه تصویر موسوم به نقشه‌های ویژگی به صورت زیر محاسبه می‌شوند [۱۲]:

$$I = \frac{(r + g + b)}{3} \quad (11)$$

$$RG = R - G, \quad (12)$$

$$BY = B - Y \quad (13)$$

که در آنها r، g و b مقادیر مربوط به یک پیکسل رنگی بوده و:

$$R = r - \frac{(g+b)}{2}, \quad (14)$$

$$G = g - \frac{(r+b)}{2}, \quad (15)$$

$$B = b - \frac{(r+g)}{2} \quad (16)$$

$$Y = \frac{(r+g)}{2} - \frac{|r-g|}{2} - b \quad (17)$$

۳-۲- محاسبات در حوزه فرکانس

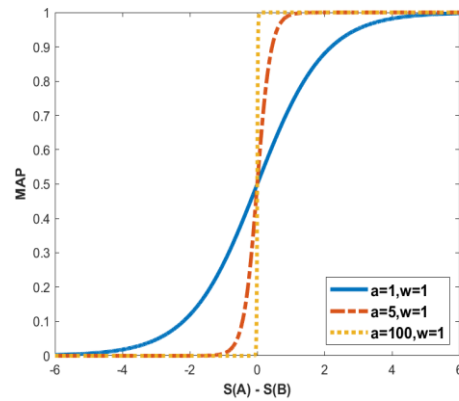
اگر تبدیل فوریه گسسته تصویر f را با F نشان دهیم با توجه به اینکه در حالت کلی F مختلط است می‌تواند در حالت قطبی به شکل زیر نشان داده شود [۱۲]:

$$F = F_r + jF_i = |F|e^{j\angle F} \quad (18)$$

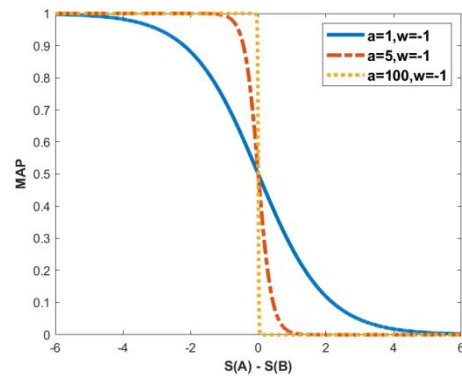
که در آن F_r و F_i به ترتیب قسمت‌های حقیقی و موهومی F می‌باشند و |F| اندازه F و $\angle F$ نشان دهنده فاز F می‌باشد که از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$|F| = \sqrt{F_r^2 + F_i^2}$$

$$\angle F = \tan^{-1}\left(\frac{F_i}{F_r}\right)$$



شکل (۲): تابع سیگموئید به ازای چند مقدار a و w=1



شکل (۳): تابع سیگموئید به ازای چند مقدار a و w=-1

می‌گردد: ۱- نواحی هموار و ۲- لبه‌ها (یا بافت‌ها). مقدار آستانه $TH_G = 0.06 * \max\{G\}$ در نظر گرفته شده است (این مقدار در [۱۱] پیشنهاد شده است).

در ادامه نزدیک‌ترین فاصله هر پیکسل در نواحی هموار از پیکسل‌های لبه یا بافت محاسبه شده و در ماتریسی به نام ماتریس تبدیل فاصله^{۱۳} یا DT قرار داده می‌شوند. با مقایسه DT با یک مقدار آستانه به نام TH_D می‌توان تعیین کرد که آیا یک پیکسل تحت تاثیر لبه‌ها یا بافت‌ها هست یا خیر. نتیجه این مقایسه در ماتریسی که همان ماتریس W (و یا نقشه تاثیر) نامیده می‌شود نگهداری می‌گردد. این ماتریس هم اندازه تصاویر ورودی است و همانطور که گفته شد مقادیر پیکسل‌های آن یکی از دو مقدار ۱+ و ۱- خواهند بود:

$$w_{ij} = \begin{cases} -1 & \text{if } DT(i,j) < TH_D \\ +1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

پس از تعیین نقشه تمرکز از رابطه (۶)، الگوریتم flood-fill روی آن اعمال می‌شود تا حفره‌های جدا^{۱۴} حذف شوند و MAP نهایی به دست می‌آید. در نهایت، تصویر ادغام‌شده نهایی با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$F = \text{MAP} \cdot A + (1 - \text{MAP}) \cdot B \quad (9)$$

روش پیشنهادی علاوه بر روش پایه، با چند روش دیگر هم مقایسه شده است. در جدول ۱ میانگین معیارهای ارزیابی روشهای مختلف بر روی همه تصاویر مجموعه داده آورده شده است. جهت ساده تر شدن ارائه نتایج، برای هر یک از روشهای مورد مقایسه، یک نام اختصاصی در نظر گرفته شده است که به همراه مرجع مربوطه در ستون اول جدول ۱ ذکر شده اند.

در مورد معیار $Q^{AB/F}$ همانطور که از ستون مربوطه در جدول ۱ مشاهده می شود روش پیشنهادی در این پژوهش در مقایسه با سایر روشها با اختلاف بسیار کمی در رده چهارم است. روشهای با میانگین بالاتر عبارتند از lp و DTCWT و Nsct که با اختلاف بسیار ناچیزی بهتر عمل کرده اند به گونه ای که می توان گفت تقریباً در یک رده هستند.

از نظر معیارهای MI و FMI همانطور که از ستونهای مربوطه در جدول ۱ ملاحظه می شود روش پیشنهادی بهترین عملکرد را داشته است.

ضمناً همانطور که از جدول ۱ ملاحظه می شود در مقایسه با روش SCF، روش پیشنهادی با هر سه معیار بهتر عمل کرده است. جهت بررسی شهودی، در شکل (۴) در ردیفهای (ج) و (د) نقشه های تشخیص تمرکز تصاویر ردیفهای (الف) و (ب) با استفاده از روشهای SCF و پیشنهادی نشان داده شده و در ردیف (ه) تفاضل نقشه های تشخیص تمرکز دو روش نشان داده شده اند. همانطور که از تفاضلهای مشاهده می شود نقشه های تشخیص تمرکز روش پیشنهادی و روش SCF تفاوتی قابل ملاحظه ای دارند. در تصویر اول که در ردیف (الف) ستون سمت چپ قرار گرفته، بازیکن مورد تمرکز قرار گرفته است و در تصویر دوم در همین ستون، پرچم و زمین بازی مورد تمرکز قرار گرفته و تصویر بازیکن تار است. در همین ستون در ردیف (ج) نقشه تشخیص برجستگی با استفاده از روش SCF و در ردیف (د) نقشه تشخیص برجستگی پیشنهادی نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می شود نقشه تولید شده به وسیله روش پیشنهادی در قسمت بازیکن کاملاً یکنواخت می باشد در صورتی که نقشه تولید شده به وسیله روش SCF در قسمتی از پایین بدن بازیکن، خاکستری است که نشان دهنده وجود عددی کمتر از یک برای این نقاط است در صورتی که در این نقاط با توجه به تمرکز بازیکن، مقادیر نقشه باید ۱ و یا بسیار نزدیک به ۱ باشند. ضمناً در قسمت مثلثی شکل بین دستهای بازیکن، نقشه روش پیشنهادی به درستی سیاه است که نشان دهنده آن است که این نقاط در تصویر دوم کاملاً در تمرکز هستند در صورتی که نقشه روش SCF در این ناحیه خاکستری است. این مشکل روش SCF، خود را در تصاویر ادغامی مربوطه که در شکل (۵) آمده است به خوبی نشان داده است (در شکل (۵) برای دیدن بهتر، قسمت مورد بحث بزرگنمایی شده است). همانطور که در شکل (۵) الف مشخص است، در تصویر ادغامی به وسیله روش

اگر دامنه $(|F|)$ را برابر یک قرار داده و بدون تغییر دادن اطلاعات فاز $(\angle F)$ ، معکوس تبدیل فوریه را به دست آوریم، در واقع از دامنه تبدیل فوریه صرفنظر کرده ایم و سیگنال به دست آمده فقط ناشی از اطلاعات فاز تبدیل فوریه است.

با توجه به توضیحات فوق، تبدیل فوریه نقشه های ویژگی I, RG و BY را به دست می آوریم. سپس با یک کردن دامنه تبدیل فوریه آنها و محاسبه تبدیل معکوس به حوزه مکان برگردانده می شوند که آنها را به ترتیب با $Imap, RGmap$ و $BYmap$ نشان می دهیم.

۳-۳ تشکیل نقشه برجستگی نهایی

در این مرحله، نقشه برجستگی نهایی که با SM نشان داده می شود به صورت زیر محاسبه می شود:

$$SM = \frac{Imap + RGmap + BYmap}{3} \quad (19)$$

نقشه برجستگی فوق برای هر یک از تصاویر منبع محاسبه شده و جایگزین نقشه های برجستگی در روش SCF می گردند.

۴- ارزیابی روش پیشنهادی

جهت ارزیابی روش پیشنهادی از مجموعه داده ای به نام Lytro^{۱۵} استفاده گردید. این مجموعه دارای بیست جفت تصویر دو تمرکز می باشد. در شکل (۴)، سه جفت از این تصاویر در ردیفهای (الف) و (ب) نمایش داده شده اند.

از آنجایی که تصاویر مرجع (یعنی تصاویر ادغام شده از قبل مشخص) در دسترس نیست، برای ارزیابی روش های ادغام گوناگون از معیارهای ارزیابی بدون مرجع استفاده شده است. این معیارها در زیربخشهای زیر معرفی می شوند.

۴-۱- اطلاعات متقابل (MI)

با این معیار، میزان اطلاعات انتقال یافته از هر یک از تصاویر منبع به تصویر ادغام شده اندازه گیری می گردد [۱۴].

۴-۲- معیار پتروویک و اکسیدیس $(Q^{AB/F})$

پتروویک و اکسیدیس یک معیار کارایی عینی در [۱۵] ارائه داده اند که مقدار نسبی اطلاعات لبه را که از تصاویر منبع به تصویر ادغامی انتقال یافته اند، اندازه گیری می کند.

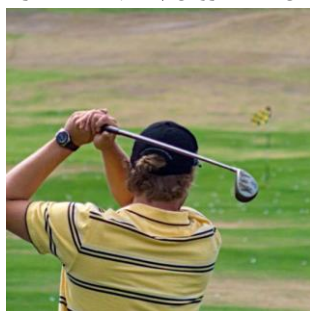
۴-۳- معیار اطلاعات متقابل ویژگی های

تصویر $(FMI)^{۱۷}$

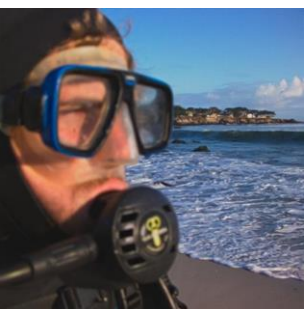
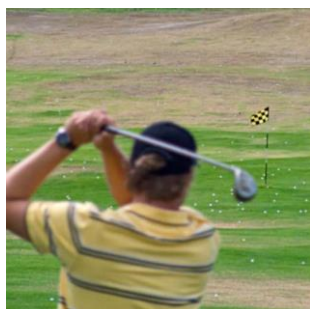
این معیار بر اساس گرادیان محاسبه شده است که شامل اطلاعاتی درباره همسایگان یک پیکسل، مانند قدرت لبه و جهت، بافت و تباین در تصویر می باشد [۱۶].

است. همچنین همانطور که در ردیف (ج) شکل (۴)، دیده می‌شود قسمتهای خارج از ناحیه بازیکن، نقشهٔ روش پیشنهادی بسیار

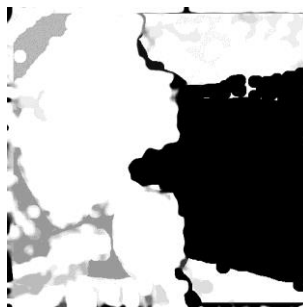
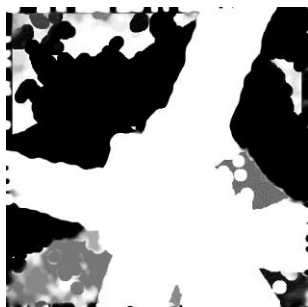
SCF، ناحیهٔ مثلثی شکل بین دستها تار هستند در صورتی که در تصویر ادغامی با روش پیشنهادی (شکل (۵) ب)، این ناحیه واضح



(الف) تصاویر ورودی اول



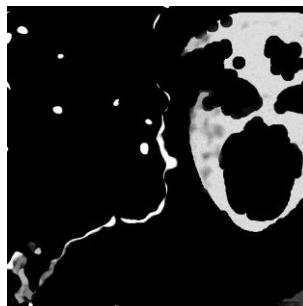
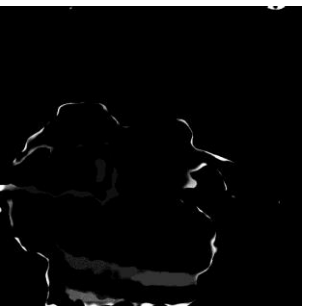
(ب) تصاویر ورودی دوم



(ج) نقشه های تشخیص تمرکز با استفاده از روش SCF



(د) نقشه های تشخیص تمرکز به روش پیشنهادی



(ه) تفاضل نقشه های تشخیص تمرکز

شکل (۴)

۰.۶۰۴۹۶	۰.۷۵۵۳۶	۷.۳۵۴۵	Lp [۲۱]
۰.۵۸۶۳۳	۰.۷۴۱۱۱	۷.۳۰۱۳	Rp [۲۲]
۰.۶۳۱۰۴	۰.۷۴۴۰۳	۸.۴۳۲۹	SCF [۱۰]
۰.۶۴۳۵۷	۰.۷۴۵۶۷	۸.۶۵۲۷	Proposed



جدول (۲): میانگین زمان اجرای روشهای مختلف

روش	میانگین زمان اجرا
Proposed	۰.۶۹۳۲۷
SCF	۰.۴۶۳۲
lp	۰.۱۶۴۷۱
nsct	۴.۷۹۵۱
curvelet	۱.۴۶۶۵
DTCWT	۰.۳۵۳۵۹
rp	۰.۱۰۵۰۸
DCHWT	۴.۳۳۲۴
DctVar	۰.۶۷۸۰۸
DctVarCv	۰.۴۸۳۳۸

ارزیابی ذهنی و هم با استفاده از سه معیار ارزیابی عینی، به دست آمد که این موضوع به خوبی بیانگر اهمیت فاز تبدیل فوری در ادغام تصاویر می باشد. با این وجود این الگوریتم به دلیل محاسبه چند نقشه ویزگی برای هر یک از تصاویر منبع کمی از روش SCF کندتر است که می توان افزایش سرعت آن را به عنوان یک کار آینده در نظر گرفت. ضمناً در این روش و همچنین روشهای مورد مقایسه، فرض بر این است که تصاویر ورودی دقیقاً بر هم منطبق هستند. با توجه به اینکه دامنه طیف فوری به جابجایی حساس نمی باشد و با توجه به عدم استفاده از دامنه طیف فوری در این مقاله، می توان به عنوان کار آینده با استفاده از این خاصیت طیف فوری، امکان مقاوم سازی روش پیشنهادی در مقابل عدم انطباق را بررسی نمود. البته روش دیگر در مواجهه با عدم تطابق تصاویر آن است که قبل از ادغام تصاویر، با استفاده از الگوریتمهای موجود، تصاویر را بر یکدیگر منطبق نمود.

مراجع

- [۱] یوکاید صدری، علی آقاگل زاده، مهدی ازوجی، ادغام تصاویر چندفوکوسه با استفاده از مدل همدوسی فاز، مجله مهندسی برق دانشگاه تبریز، جلد ۴۵، شماره ۴، صفحه ۱۱۷-۱۲۷، زمستان ۹۴.
- [2] X.L. Zhang, X.F. Li, Z.J. Liu, Y.C. Feng, "Multi-focus image fusion using image-partition-based focus detection", Signal Process., vol. 102, 2014, 64-76.
- [3] G. Pajares, J.M. de la Cruz, "A wavelet-based image fusion tutorial", Pattern Recognition, vol. 37, pp. 1855-1872, 2004.
- [4] V.S. Petrovic, C.S. Xydeas, "Gradient-based multiresolution image fusion", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, , pp. 228-237, 2004.
- [5] J.J. Lewis, R.J. O'Callaghan, S.G. Nikolov, D.R. Bull and N. Canagarajah, "Pixel- and region-based image fusion with complex wavelets", Information Fusion, vol. 8, pp. 119-130, 2007.

(ب) پیشنهادی

SCF (الف)

شکل (۵) یکی از تصاویر ادغام شده به روش (الف) SCF

(ب) پیشنهادی

تمیزتر، سیاه است اما در نقشه روش SCF قسمتهای سفیدرنگی دیده می شود که نباید اینگونه باشند چون این نواحی در تصویر دوم در تمرکز هستند. موارد مشابهی را می توان در مورد ستونهای میانی و راست شکل (۴) ملاحظه نمود.

الگوریتم پیشنهادی در محیط نرم افزار MATLAB 2018 پیاده سازی شده و تمام آزمایش های این پژوهش در کامپیوتری با پردازنده Intel® core i7 و رم ۸ گیگا بایت انجام شده است. میانگین زمان صرف شده برای انجام الگوریتم های مورد آزمایش بر روی مجموعه داده مورد نظر در جدول ۲ آورده شده است. الگوریتم پیشنهادی در روش های مورد بررسی در رده الگوریتمهایی است که کمتر از ۱ ثانیه به ازای هر جفت از تصاویر عمل می کند. البته روش پیشنهادی با کد ساده ای پیاده سازی شده است و ممکن است بتوان با بهینه سازی قسمتهای مختلف کد به زمان کمتری دست یافت.

۶- نتیجه گیری

در این پژوهش نقشه برجستگی الگوریتم SCF که از فاز تبدیل فوری صرف نظر می کند با روشی که از فاز تبدیل فوری استفاده می کند جایگزین گردید. در واقع نوآوری این مقاله، ترکیب دو روش و انجام تطبیقهای لازم می باشد. با روش پیشنهادی نتایج بهتری هم از نظر

جدول (۱): میانگین نتایج کمی ارزیابی روشهای

ادغام تصاویر بر روی همه تصاویر مجموعه داده

← معیار ارزیابی ← ↓ روش ↓	FMI	$Q^{AB/F}$	MI
[۶] Curvelet	۰.۵۷۶۲۷	۰.۷۳۶۴	۶.۷۷۷۲
[۷] Nset	۰.۵۹۷۳۴	۰.۷۵۰۰۹	۷.۱۵۸۷
[۸] DTCWT	۰.۶۰۱۹۸	۰.۷۵۰۲۸	۷.۰۵۳۲
[۹] DCHWT	۰.۵۴۴۷۲	۰.۷۱۹۶۳	۶.۷۵۱۹
[۱۷] DctVarCv	۰/۶۱۰۴۴	۰/۶۸۷۱	۸/۲۹۹۸
[۱۸] DctVar	۰/۵۹۷۵۱	۰/۶۹۷۵۲	۸,۲۲۲۳

- [26] Kamran R, Nezamabadipour H, Saryazdi S. A Large Scale Image Inpainting Method Based on Image Decomposition to Texture and Structure Sub-Images. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2011; 8 (2) :13-24

زیرنویس‌ها

¹ CCD: Charged Coupled Device

² Limited Depth of Field

³ Image Fusion

⁴ Multi Scale

⁵ Discrete Wavelet Transform(DWT)

⁶ Gradient Pyramid

⁷ Dual-Tree Complex Wavelet Transform(DTCWT)

⁸ Curvelet Transform

⁹ Contourlet Transform

¹⁰ Focus Detection

¹¹ Spectrum Comparison

¹² Spectrum Comparison Fusion

¹³ Distance Transform

¹⁴ Isolated holes

¹⁵ <http://mansournejati.ece.iut.ac.ir/content/lytro-multi-focus-dataset>

¹⁶ Mutual Information

¹⁷ Feature Mutual Information

- [6] F. Nencini, A. Garzelli, S. Baronti, L. Alparone, "Remote sensing image fusion using the curvelet transform", Information fusion, vol. 8, pp. 143-156, 2007.
- [7] K. Liu, L. Guo, J. Chen, "Contourlet transform for image fusion using cycle spinning", J. Syst. Eng. Electron., vol. 22, pp. 353-357., 2011.
- [8] S. Soleimani, F. Rooms, W. Philips and L. Tessens, "Image fusion using blur estimation", 17th International Conference on Image Processing, IEEE, 2010.
- [9] W. Chen, X. Chen, "Focal-plane detection and object reconstruction in the noninterferometric phase imaging", J. Opt. Soc. Am. A, VOL.29, PP. 585-592, 2012.
- [10] X. Zhang, X. Li, Y. Feng, "A new multifocus image fusion based on spectrum Comparison", Signal Processing, vol. 123, pp. 127-142, 2016.
- [11] J. Li, G. Chen, Z. Chi and C. Lu, "Image coding quality assessment using fuzzy integrals with a three-component image model", IEEE Trans. Fuzzy Syst., vol. 12, pp. 99-106, 2004.
- [12] J. Wan, K. M. Lam, "Phase-based Salient Object Detection", 6th International Conference on Signal Processing and Communication Systems (ICSPCS), IEEE, 2012.
- [13] A. Treisman and G. Gelade, "A feature-integration theory of attention", Cognitive Psychology, vol. 12, pp. 97-136, 1980.
- [14] G. Qu, D. Zhang, P. Yan, "Information measure for performance of image fusion", Electron. Lett., vol. 38, pp. 313-315, 2002.
- [15] Xydeas CS, Petrovic V. "Objective image fusion performance measure", Electron Lett, vol. 36, pp. 308-9, 2000.
- [16] M. B. A. Haghighat, A. Aghagolzadeh, H. Seyedarabi, "A non-reference image fusion metric based on mutual information of image features", Computers and Electrical Engineering, vol. 37, pp. 744-756, 2011.
- [17] M.B.A. Haghighat, A. Aghagolzadeh, H. Seyedarabi: 'Multi-Focus Image Fusion for Visual Sensor Networks in DCT Domain'.
- [18] Computers and Electrical Engineering, vol. 37, no. 5, pp. 789-797, Sep. 2011
- [19] B. K. Shreyamsha Kumar, "Multifocus and Multispectral Image Fusion based on Pixel Significance using Discrete Cosine Harmonic Wavelet Transform", Signal, Image and Video Processing, Vol. 7, 2013, pp. 1125-1143.
- [20] Li H, Wu X J, Kittler J. Infrared and Visible Image Fusion using a Deep Learning Framework[J]. arXiv preprint arXiv:1804.06992, 2018.
- [21] P. Burt and E. Adelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," in IEEE Transactions on Communications, vol. 31, no. 4, pp. 532-540, April 1983.
- [22] A. Toet. Image fusion by a ratio of low-pass pyramid. Pattern Recognition Letters. Volume 9, Issue 4. 1989.
- [23] Sarani Rad V, sanati S, Sheikholeslami Z, Saadatmand Tarzjan M. A New Method for Medical Image Registration Based on Deformable Models: Application for Thorax CT Images. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2018; 15 (2) :69-80
- [24] kalantari S, Abdollahifard M J, ahmadi S. Image Super-Resolution Using Analytical Edge Model. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2018; 15 (2) :45-54
- [25] Rahmati M, Bejestani M R. A Method for Destriping of Satellite-Based Pushbroom-Type Images. Journal of Iranian Association of Electrical and Electronics Engineers. 2016; 13 (2) :93-102