

تخمین پارامترهای تابع مات شدگی حرکت خطی با استفاده از روش‌های حوزه‌ی مکان و فرکانس

فرزاد جمالزهی مقدم^۱، عباس ابراهیمی مقدم^۲

^۱ گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، farzad.jamalzehi@yahoo.com

^۲ استادیار گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، a.ebrahimi.m@gmail.com

چکیده: کیفیت بازیابی تصویری که در اثر حرکت نسبی بین دوربین و شی مات شده است، تا حد بسیار زیادی به تخمین مناسب پارامترهای تابع مات شدگی حرکت خطی بستگی دارد. این پارامترها طول حرکت و زاویه حرکت هستند. منظور از طول حرکت میزان جابجایی پیکسل‌های تصویر در اثر حرکت نسبی بین دوربین و شی بوده و منظور از زاویه حرکت، جهتی است که در راستای آن این حرکت صورت گرفته است. در این مقاله برای تخمین این پارامترها از روش‌های حوزه مکانی و فرکانس استفاده می‌کنیم. همچنین فرض می‌کنیم که سرتاسر تصویر به یک میزان مات شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد که الگوریتم مورد نظر پاسخ‌های مناسبی ارائه می‌کند. کلید واژه: تابع منبع نقطه ای نور، زاویه حرکت، طول حرکت، مات زدائی تصویر، مات شدگی حرکت

درباره عامل ماتی، بازیابی می‌شود. اینگونه اصلاح تصویر تحت عنوان روش‌های مات زدائی کور^۱ دسته بندی می‌شود.

همانطور که اشاره کردیم، اگر در حین ضبط تصویر دوربین یا شی مورد نظر دچار حرکتی شود، در این صورت تصویر مربوطه در جهت حرکت دوربین یا شی مات می‌شود. از آنجاییکه زمان نوردهی^۲ دوربین (زمانی که شاتر دوربین برای ضبط تصویر باز است)، بسیار کم است، می‌توان این نوع مات شدگی در اثر حرکت را مات شدگی حرکت خطی^۳ نامید. [۱]

در مات شدگی حرکت خطی، دوربین یا شی مربوطه با سرعت ثابتی (بدون شتاب) و در یک جهت خاصی حرکت می‌کند. بنابراین پارامترهایی که برای شناسایی عامل ماتی باید تخمین زده شوند، طول حرکت و زاویه حرکت می‌باشند. منظور از طول حرکت، میزان جابجایی پیکسل‌ها تصویر در اثر حرکت خطی دوربین یا شی است و منظور از زاویه حرکت، جهتی است که در راستای آن پیکسل‌های تصویر دچار حرکت شده اند. از آنجاییکه کیفیت تصویر بازیابی شده تا حد بسیار زیادی به تخمین مناسب این پارامترها بستگی دارد. پیاده‌سازی روشی که بتواند این پارامترها را بخوبی تخمین زند، از اولویت‌های مساله می‌باشد.

۱- مقدمه

مات شدن در اثر حرکت، یکی از مهمترین عوامل تخریب تصویر است. این عامل در اثر حرکت نسبی بین دوربین و شی در هنگام باز بودن شاتر دوربین بوجود می‌آید. از آنجاییکه حرکت دوربین دستی در حین باز بودن شاتر و یا ثابت بودن دوربین و حرکت جسم، امری اجتناب ناپذیر است، تصویر ضبط شده، وضوح مناسبی نداشته و مات خواهد شد. بنابراین بعد از اخذ تصویر، دستیابی به روشی که بتواند تصویر را مات زدائی کند، احساس می‌شود.

مات زدائی تصویر را می‌توان در دو شاخه مورد بررسی قرار داد. در روش‌های بازیابی کلاسیک، عاملی که باعث مات شدن تصویر شده است، مشخص بوده و فرآیند مات زدائی تصویر با علم به مشخص بودن این عامل صورت می‌گیرد. از عمده ترین این روش‌ها می‌توان به روش ریچاردسون لاکي و فیلتر وینر اشاره کرد که به دلیل پیاده سازی ساده و حصول نتایج مناسب به کرات مورد استفاده قرار گرفته اند.

متأسفانه در بسیاری از کاربردهای عملی، عاملی که باعث مات شدن تصویر شده است، نامشخص بوده و همچنین اطلاعات ما از تصویر اصلی بسیار محدود است. در چنین مواردی به ناچار تصویر اصلی از نسخه مات شده‌اش، بدون دسترسی به اطلاعات کافی

^۱ Blind image deblurring

^۲ Exposure time

^۳ Linea motion blur

۳- مدل منبع نقطه‌ای نور

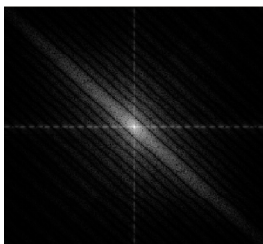
مدلی که برای تابع منبع نقطه‌ای نور در حالت حرکت خطی، می‌توان در نظر گرفت بصورت زیر است.

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{d} & 0 \leq |x|d \cos \theta; y = d \sin \theta \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

در حقیقت تابع psf یک پاره خطی از مبدا است که θ زاویه بین پاره خط مذکور و محور x بوده و بیانگر جهت حرکت می‌باشد و d بیانگر طول جابجایی پیکسل‌ها در اثر حرکت است.

۴- تخمین پارامترهای تابع منبع نقطه‌ای نور

طیف توان تبدیل فوریه تابع h که در رابطه ۲ بیان کردیم ساختار مشابه تابع سینک دارد. بنابراین دارای مقادیر نزدیک به صفر در یکسری از مکان‌ها می‌باشد. اگر فرض کنیم، نویز در سیستم وجود نداشته باشد، آنگاه با ضرب این تابع در تصویر اصلی، انتظار داریم که طیف توان تصویر مات شده نیز مشابه با طیف تابع مات شدگی باشد. این طیف توسط خطوط موازی که عمود بر جهت مات شدگی تصویر هستند نشان داده می‌شود. به عنوان مثال شکل زیر طیف توان تبدیل فوریه تابع psf با طول حرکت ۳۱ پیکسل و زاویه حرکت ۴۵ درجه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: طیف توان تبدیل فوریه تابع psf با طول حرکت ۳۱ و زاویه

حرکت ۴۵

۴-۱ تخمین زاویه حرکت

یکی از روش‌های موجود برای تخمین زاویه حرکت استفاده مستقیم از طیف توان تبدیل فوریه تصویر مات شده می‌باشد. نقاط بروی خط اصلی این طیف دارای شدت بیشتری به نسبت سایر نواحی هستند الگوریتمی که برای تخمین زاویه پیشنهاد می‌دهیم بصورت زیر است.

پیچیدگی‌های محاسباتی، دقت الگوریتم و زمان بر بودن آن سه شاخصه مهم در همه روش‌های بازیابی تصویر است. اهمیت نسبی هر کدام از خواص بالا بستگی به شرایط مساله دارد. یکی از روش‌های مناسب برای تخمین پارامترهای تابع مات شدگی حرکت خطی استفاده از تبدیل رادون می‌باشد. [۲،۳،۴] اگرچه این روش پاسخ‌های مناسبی ارائه کرده است، اما تکراری بودن ساختار این الگوریتم باعث شده است، مدت زمان لازم برای حصول نتیجه مناسب یک مقدار طولانی باشد. به علاوه برای حالت‌هایی که طول حرکت عدد کوچکی است، خطای الگوریتم بیشتر خواهد شد. یکی دیگر از روش‌های موجود برای تخمین این پارامترها استفاده از تبدیل هاف می‌باشد [۵]. اما این روش هم مشکلات تبدیل رادون را داشته و علاوه بر آن برای دستیابی به نتایج مناسب، نیاز به نقاط نماینده^۴ دارد. Aung و همکاران در [۶] روشی برای تخمین این پارامترها ارائه کردند. روش مربوطه به نسبت روش‌های تبدیل هاف و رادون پاسخ گویی بسیار سریعتری داشته اما دقت کمتری دارد. بخصوص برای حالت‌هایی که طول حرکت عدد کوچکتري است.

این مقاله به صورت زیر سازماندهی شده است. در بخش ۲ به بیان مدل تخریب، در بخش ۳ به مدل منبع نقطه‌ای نور و در بخش ۴ به تخمین پارامترهای عامل ماتی، می‌پردازیم. در بخش ۵ به مات زدائی تصویر پرداخته و در نهایت در بخش ۶ به بررسی نتایج شبیه سازی شده می‌پردازیم.

۲- مدل تخریب

فرآیندی که در راستای آن تصویر تخریب می‌شود به صورت زیر مدل می‌گردد.

$$g = f * h + n \quad (1)$$

در رابطه فوق، g تصویر تخریب شده، f تصویر اصلی، h منبع نقطه ای نور^۵ (psf) و n نویز اضافه شده به سیستم است.

^۴ candidate points

^۵ Point spread function

۱- یکی از کانال‌های رنگ را انتخاب می‌کنیم. می‌کنیم، از شکلی که به ازای آن این مجموع عدد بزرگتری بود، برای تخمین زاویه استفاده می‌کنیم.

۲- طیف توان تبدیل فوریه این کانال را محاسبه کرده، این تبدیل را به مبدا مختصات انتقال داده و سپس برای برجسته نمودن پیکسل‌های موجود در طیف از تابع لگاریتم استفاده می‌کنیم.

۳- با توجه به ابعاد تصویر مات شده، اندازه طیف توان مربوطه را مربعی می‌کنیم.

۴- برای زوایای بین صفر تا ۹۰ درجه از ربع دوم طیف و برای زوایای ۹۰- تا صفر از ربع سوم استفاده می‌کنیم.

۵- پیکسل‌های بروی خط اصلی طیف دارای شدت بیشتری به نسبت سایر خطوط هستند، از این نکته برای تشخیص خط اصلی طیف استفاده می‌کنیم.

برای تشریح بهتر الگوریتم در ابتدا زوایای بین صفر و ۹۰ درجه را در نظر می‌گیریم. بنابراین از ربع دوم طیف استفاده می‌کنیم. برای آشکار سازی خط اصلی طیف یکبار بصورت سطری و یکبار بصورت ستونی ربع دوم طیف را بررسی کرده و در هر ردیف و یا ستون پیکسل‌هایی که دارای شدت بیشتری هستند را آشکار می‌نماییم. این عمل را برای اینکه تشخیص دهیم زاویه در فاصله صفر تا ۴۵ درجه قرار دارد یا در فاصله ۴۶ تا ۹۰، انجام می‌دهیم. اگر زاویه بین صفر تا ۴۵ درجه باشد، بررسی پیکسل‌ها باید بصورت سطری باشد و اگر زاویه بین ۴۶ یا ۹۰ بررسی پیکسل‌ها باید بصورت ستونی باشد. به‌عنوان مثال برای حالتی که $\theta = 30$ باشد، شکل ۲ تصویر سمت راست تشخیص پیکسل‌های با شدت بیشتر بصورت ستونی و در شکل سمت چپ تشخیص پیکسل‌های با شدت بیشتر بصورت سطری صورت گرفته است.

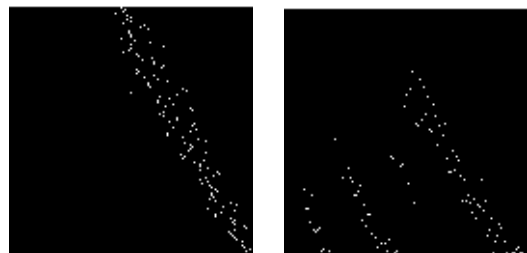
$$\begin{cases} \begin{cases} m/4 < x < m/2 \\ n/2 < y < n \end{cases} & \text{if } 0 \leq \theta \leq 45 \\ \begin{cases} m/2 < x < m \\ n/4 < y < n/2 \end{cases} & \text{if } 46 \leq \theta \leq 90 \end{cases} \quad (3)$$

سپس برای تخمین زاویه از روی این ناحیه از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$\theta = \tan^{-1}(y - n / x - m) \quad (4)$$

به ازای تمامی پیکسل موجود در این ناحیه و از طریق رابطه فوق، زاویه حساب شده و سپس میانگین این زوایا به عنوان یک معیار ابتدایی انتخاب می‌شود. حال باید مقادیر که بیشتر یا کمتر از این مقدار باشند را حذف کرده و سپس میانگین مقادیر باقی مانده بعنوان تخمین زاویه در نظر گرفته شود. برای یافتن پاسخ مناسب ابتدا نواحی تاریک نزدیک خط اصلی طیف را جستجو می‌کنیم. در این نواحی تاریک شدت پیکسل‌ها بسیار کم است. برای بدست آوردن این نواحی، شدت پیکسل‌ها در ردیف وسط مربوط به این طیف را بررسی می‌کنیم. به ازای هر کدام از زوایای یک خط با ضخامت واحد که شدت پیکسل‌ها بروی این خط یک و در سایر نواحی صفر است و با مبدا مختصات زاویه مربوطه را می‌سازد، در نظر گرفته و سپس خط مربوط به آن زاویه را به نواحی تاریک مربوطه شیف‌ت می‌دهیم. شکل ۳ نتیجه این کار را نشان می‌دهد.

شکل ۲: تشخیص خط اصلی طیف برای حالتی که زاویه ۳۰ درجه است در شکل فوق پیکسل‌های روشن دارای ارزش یک و پیکسل‌های تاریک دارای ارزش صفر هستند. این دو شکل را در ربع دوم طیف ضرب کرده و سپس مجموع پیکسل‌ها را حساب



شکل ۳: تشخیص خط اصلی طیف برای حالتی که زاویه ۳۰ درجه است در شکل فوق پیکسل‌های روشن دارای ارزش یک و پیکسل‌های تاریک دارای ارزش صفر هستند. این دو شکل را در ربع دوم طیف ضرب کرده و سپس مجموع پیکسل‌ها را حساب

حرکت نزدیک به مبدا باشد. روشی که برای تخمین طول حرکت پیشنهاد می‌دهیم بصورت زیر است.

۱- ابتدا توسط الگوریتم تخمین زاویه، زاویه ای که در راستای آن تصویر مات شده است را پیدا می‌کنیم.

۲- تصویر مات شده را در خلاف جهتی که در راستای آن تصویر مات شده است، می‌چرخانیم. با این کار مات شدن تصویر را بصورت عمودی تبدیل می‌کنیم.

۳- برای استخراج لبه‌های تصویر از ماسک بالا گذر زیر استفاده می‌کنیم.

$$\text{window} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

ماسک فوق را با تصویر بجا مانده از مرحله قبل کانوالو می‌کنیم.

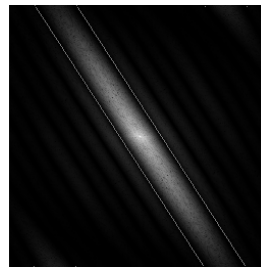
۴- برای برجسته نمودن لبه‌ها، تصویر خروجی از مرحله قبل را با فیلتر زیر کانوالو می‌کنیم.

$$\text{high_lighter} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -5 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (6)$$

۵- تابع همبستگی تصویر خروجی از مرحله قبل را بدست می‌آوریم. این تابع را بصورت زیر تعریف می‌کنیم.

$$A(i) = \frac{1}{(M-i) \times N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=i}^{M-1} f(x, y) * f(x, y-i) \quad (7)$$

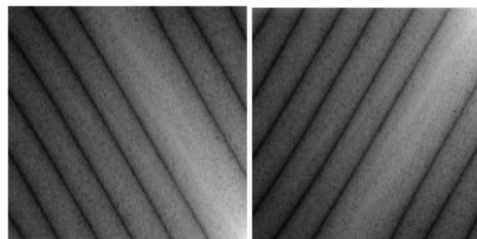
در رابطه فوق M, N ابعاد تصویر و $f(x, y-i)$ با شیفت چرخشی تصویر در راستای عمودی بدست می‌آید. و $i = 1:n$ که مقدار n بصورت اختیاری انتخاب می‌شود. مکانی که در آن تابع همبستگی دارای کمترین مقدار است، بیانگر طول حرکت است. از آنجاییکه در روشی پیشنهادی از الگوریتم تخمین زاویه استفاده کردیم، باید لبه‌های تصویر را که حاوی اطلاعات مهمی هستند، بخوبی استخراج و برجسته نماییم. بطوریکه حتی اگر تخمین زاویه نیز با خطا همراه باشد، تخمین طول نیز بخوبی صورت گیرد. در [۹] از فیلتر $[1 \ -1]$ برای استخراج لبه‌ها استفاده شده است.



شکل ۳: مشخص نمودن نواحی تاریک در طیف

بنابراین به ازای هر زاویه، دوخط خواهیم داشت، این خطوط را در طیف توان تبدیل فوریه تصویر مات شده، ضرب کرده و سپس مجموع را حساب می‌کنیم. زاویه ای که به ازای آن، کمترین مجموع را داشته باشیم، زاویه مطلوب خواهد بود. در نهایت این مقدار را گرد می‌کنیم.

برای زوایای بین صفر تا 90° درجه نیز به همین صورت رفتار می‌کنیم با این تفاوت که از ربع سوم طیف استفاده کرده آنرا به نسبت محور x قرینه کرده و سپس روال ذکر شده بعد از تشخیص خط اصلی طیف را دنبال می‌کنیم.



شکل ۴: طیف توان با زاویه 30° و قرینه آن نسبت به محور x

۲-۴ تخمین طول حرکت

یکی از روش‌های مناسب برای تخمین طول حرکت استفاده از تابع همبستگی تصویر مات شده می‌باشد. Yitzhaky نشان داد که این تابع در در مبدا بیشترین مقدار و در و در نقطه d (طول حرکت) دارای کمترین مقدار است. وی با استفاده از این نکته طول حرکت را تخمین زد [۷].

روش فوق برای حالت‌هایی که پیکسل‌های تصویر مات شده دارای همبستگی بالای باشند (مانند تصاویر متن) پاسخ‌گویی مناسبی ندارد. به عبارت دیگر به‌ازای این تصاویر ماکزیمم و می‌نیمم تابع همبستگی در نقاط مبدا و d قرار نمی‌گیرد. در [۸] Yitzhaky نشان داد که استفاده از استفاده از فیلترهای تفاضلی ایده مناسبی برای کاهش این همبستگی است. اگرچه روش ارائه شده در این مقاله به نسبت روش قبلی پاسخ‌گویی مناسب‌تری داشت، منتها این روش چندان دقیق نیست، بخصوص برای حالت‌هایی که زاویه

درصد خطای ۳درجه	درصد خطای ۲درجه	درصد خطای ۱درجه	درصد پاسخ دقیق	تصویر
٪۰	٪۳.۳۳	٪۱۶/۶۷	٪۸۰	lena
٪۰.۵۵	٪۲/۷۸	٪۲۲/۷۸	٪۷۳/۸۹	peppers

جدول ۱: بررسی صحت الگوریتم تخمین زاویه حرکت با طول حرکت ۱۰

آزمایش را به ازای طول حرکت ۱۵ نیز تکرار می‌کنیم.

درصد خطای ۳درجه	درصد خطای ۲درجه	درصد خطای ۱درجه	درصد پاسخ دقیق	تصویر
٪۰	٪۰	٪۶/۶۷	٪۹۳/۳۳	lena
٪۰	٪۰	٪۷/۷۷	٪۹۲/۲۲	peppers

جدول ۲: بررسی صحت الگوریتم تخمین زاویه حرکت با طول حرکت ۱۵

برای بررسی صحت الگوریتم تخمین طول، به ازای تصاویر ذکر شده، طول حرکت را ۱۵ قرار داده و زاویه را از ۹۰- تا ۹۰+ می‌چرخانیم.

درصد خطای ۱درجه	درصد پاسخ دقیق	تعداد خطای ۱درجه	تعداد پاسخ دقیق	تصویر
٪۷/۲۲	٪۹۲/۷۸	۱۳	۱۶۷	lena
٪۹/۴۴	٪۹۰/۵۶	۱۷	۱۶۳	peppers

جدول ۳: بررسی صحت الگوریتم تخمین طول

یکی از روش‌های مشابه با الگوریتم پیشنهادی برای تخمین زاویه حرکت، روش [۶] می‌باشد. جدول زیر نتایج حاصل از این الگوریتم را به ازای طول حرکت‌های بین ۱۵ تا ۴۵ نشان می‌دهد.

درصد خطای	درصد خطای	خطای	خطای	تصویر
٪۷/۱۸	٪۹۲/۲۲	۱۴	۱۶۶	lena
٪۵/۱۶	٪۹۴/۴۴	۱۰	۱۷۰	peppers

جدول ۴: نتایج الگوریتم [۶]

با مقایسه نتایج جدول ۱ و ۲ و جدول ۴ متوجه می‌شویم که الگوریتم پیشنهادی پاسخ‌های به مراتب بهتری ارائه می‌کند. زیرا هرچقدر طول حرکت کوچکتر باشد، به دلیل وسیع شدن عرض خط اصلی طیف، تخمین زاویه حرکت به ازای هر روشی با خطای بیشتری همراه است. زیرا پیکسل‌های با شدت بیشتر در فضای بزرگتری پخش می‌شوند. دستیابی به پاسخ دقیق با استفاده از

منتها استفاده از این فیلتر برای حالت‌هایی که زاویه حرکت نزدیک به مبدا و زوایای ۹۰- و ۹۰+ است با خطا همراه بوده و همچنین اگر تخمین زاویه بخوبی صورت نگیرد، تخمین طول با خطا همراه است. ولی روش پیشنهادی به ازای این موارد نیز پاسخ‌گویی خوبی دارد.

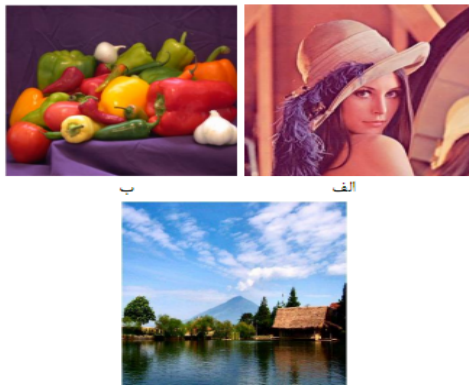
۳-۴ پالایش پارامترها

با انجام آزمایش‌های گوناگون و به ازای تصاویر با ابعاد مختلف به این نتیجه رسیدیم که الگوریتم پیشنهادی تخمین زاویه در بدترین شرایط (طول حرکت‌های کم) دارای خطای حداکثر ۴ درجه می‌باشد. بنابراین عملیات پالایش زاویه را بر مبنای این موضوع انجام می‌دهیم.

اگر زاویه تخمین زده شده اولیه را با θ_0 نشان دهیم آنگاه زوایای $\{\theta_0, \theta_0 \pm 1, \theta_0 \pm 2, \theta_0 \pm 3, \theta_0 \pm 4\}$ را در نظر گرفته و به ازای هر کدام از این زوایا الگوریتم طول حرکت را اجرا کرده و طولی که دارای بیشترین تکرار باشد را انتخاب می‌کنیم. با مشخص شدن طول حرکت، به ازای هر کدام از زوایا، طیف توان تبدیل فوریه توابع psf مربوطه را بدست می‌آوریم. سپس دو ناحیه تاریک نزدیک خط اصلی را به همان منوالی که اشاره کردیم به دست می‌آوریم. با این تفاوت که برای دقیق تر بودن پاسخ و جلوگیری از خطا، خطی که دارای زاویه مربوطه است، دارای ضخامت ۳ پیکسل بوده که شدت پیکسل‌های روی این خط یک و در جاهای دیگر صفر است. به ازای تمامی زوایا این کار را تکرار کرده و زاویه‌ای که به ازای آن مجموع حاصلضرب این دو خط در طیف توان تبدیل فوریه تصویر مات شده، دارای کمترین مقدار است، پاسخ نهایی سیستم خواهد بود.

۵- نتایج

در این قسمت الگوریتم پیشنهادی را به ازای تصاویر با ابعاد مختلف مورد بررسی قرار می‌دهیم. در آزمایش اول تصویر لنا با ابعاد 256×256 (شکل ۵ الف) و تصویر فلفل با ابعاد 512×384 (شکل ۵ ب) را در نظر گرفته و طول حرکت را عدد ۱۰ انتخاب کرده و زاویه را از ۹۰- تا ۹۰+ می‌چرخانیم.



شکل ۵: الف) تصویر lena، ب) تصویر فلفل، ج) تصویر منظره

۷- مراجع

- [1] Y. M. Liu and L. F. Tian, "Approach to Optimizing Restoration of Motion Blur Images with Robust Blind Deconvolution Based on New Cepstrum and Total Variation," in *IEEE Conference on Computer Science and Electronics Engineering*, vol. 2, pp. 554-558, Hangzhou, March. 2012.
- [2] C. Khare and K. K. Nagwanshi, "Implementation and Analysis of Image Restoration Techniques," *International Journal of Computer Trends and Technology*, pp. 1-6, May. 2011.
- [3] M. E. Moghaddam and M. Jamzad, "Linear Motion Blur Parameter Estimation in Noisy Images using Fuzzy sets and Power spectrum," *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, pp. 1-8, March. 2007.
- [4] J. Safaei and M. Jamzad, "Restoration of a Single Motion Blurred Image," *11th International CSI computer conference*, pp. 1-6, Tehran, Iran, Jan. 2006.
- [5] B. Heflin, B. Parks, W. Scheirer and T. Boulton, "Single image deblurring for a real-time face recognition system," in *IEEE Conference on Industrial Electronics Society*, pp. 1185-1192, Glendale, California, Nov. 2010.
- [6] A. K. Soe and X. Zhang, "A Simple PSF Parameters Estimation Method for the De-blurring of Linear Motion Blurred Images Using Wiener Filter in OpenCV," in *IEEE conference on Systems and Informatics*, pp. 1855 - 1860, Yantai, China, May. 2012.
- [7] Y. Yitzhaky and N. S. Kopeih, "Identification of Motion Blur for Blind Image Restoration," in *IEEE Conference on Electrical and Electronics Engineers*, pp. 3.4.3/1- 3.4.3/5, Israel, March. 1997.
- [8] Y. Yitzhaky, I. Mor, A. Lantzman and N. S. Kopeih, "Direct Method for Restoration of Motion- Blurred Images," *optic Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 15, No. 6, pp. 1-8, June. 1998.
- [9] Y. Shen, J. Dang, T. Lei, and W. Luo, "Motion Blur Parameters Estimation Based on Frequency and Spatial Domain Analysis," in *IEEE Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks*, pp. 387-390, Yichang, China, April. 2012.
- [10] W. F. A. Maki and S. Sugimoto, "Blind Deconvolution Algorithm for Spatially-Invariant Motion Blurred Images based on Inverse Filtering and DST," *International Journal of Circuits, Systems and Signal Processing*, Vol. 1, pp. 92-100, April. 2007.

الگوریتم [۶] کار مشکلی می‌باشد. بنابراین خطای یک درجه به عنوان پاسخ مطلوب در نظر گرفته شده است.

در نهایت، نتایج حاصل از الگوریتم را با نتایج حاصل از الگوریتم [۱۰] به ازای طول حرکت و زوایای حرکت مختلف مقایسه می‌کنیم. در این الگوریتم برای تخمین زاویه حرکت از ترکیبی از روش کپستروم^۶ و روش رادون بهینه^۷ و برای تخمین طول حرکت از روش کپستروم دو بعدی استفاده شده است. جدول زیر نتایج حاصل از این مقایسه را نشان می‌دهد. تصویر مورد آزمایش تصویر منظره با ابعاد ۳۲۴ × ۳۴۴ (شکل ۵ ج) می‌باشد.

مقادیر واقعی	الگوریتم پیشنهادی	الگوریتم [۱۰]
$L = 15, \theta = 10$	$L = 15, \theta = 10$	$L = 15, \theta = 08$
$L = 24, \theta = 27$	$L = 24, \theta = 27$	$L = 24, \theta = 25$
$L = 25, \theta = 53$	$L = 25, \theta = 53$	$L = 25, \theta = 51$
$L = 30, \theta = 33$	$L = 30, \theta = 33$	$L = 30, \theta = 33$
$L = 41, \theta = 07$	$L = 41, \theta = 07$	$L = 41, \theta = 06$
$L = 44, \theta = 66$	$L = 45, \theta = 66$	$L = 43, \theta = 66$
$L = 30, \theta = -64$	$L = 30, \theta = -64$	$L = 30, \theta = -64$
$L = 41, \theta = -27$	$L = 41, \theta = -27$	$L = 41, \theta = -27$
$L = 15, \theta = -25$	$L = 15, \theta = -25$	$L = 15, \theta = -23$

جدول ۵: مقایسه نتایج الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم [۱۰]

۶- نتیجه گیری

از آنجاییکه کیفیت بازیابی تصویر تا حد زیادی به تخمین مناسب تابع منبع نقطه ای نور بستگی دارد، در این مقاله سعی شده است که تخمین پارامترهای تابع حرکت خطی با دقت مناسبی صورت گیرد. برای تخمین زاویه حرکت، از طیف توان تبدیل فوریه تصویر مات شده و برای تخمین طول حرکت از تابع همبستگی تصویر مات شده، استفاده شده است. به منظور اینکه الگوریتم پیشنهادی به ازای طول حرکت‌های کم، نیز پاسخ‌های مناسبی ارائه کند، عملیات پالایش زاویه صورت می‌گیرد. نتایج شبیه سازی شده نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی به نسبت روش مشابه [۶] پاسخ‌های دقیق‌تری ارائه می‌کند.

^۶ cepstrum

^۷ Modified Radon