

بررسی و بهینه‌سازی روش‌های تخمین حرکت با کاربرد

در بازسازی دنباله‌های تصویر

مجتبی قادری (دانشجوی کارشناسی ارشد)

شهره کسایی (استاد یار)

دانشکده‌ی مهندسی برق، دانشگاه صنعتی شریف

وجود لکه‌ها در فیلم‌های قدیمی، از جمله آسیب‌های اصلی وارده بر این فیلم‌هاست. شدت روشنایی این لکه‌ها تقریباً یکنواخت است و در دو کادر متوالی در یک محل تکرار نمی‌شوند. برای تشخیص و بازسازی این لکه‌ها از اطلاعات کادرهای قبل و بعد استفاده می‌شود. برای برآورد دقیق‌تر میزان شدت روشنایی صحیح، لازم است حرکت احتمالی موجود در صحنه نیز در نظر گرفته شود و میزان برآورد پس از اعمال پردازش جبران حرکت محاسبه شود. در این نوشتار، پس از بررسی و مقایسه‌ی نحوه‌ی عملکرد برخی از روش‌های برتر برآورد حرکت بلوکی برای تصاویر سالم و آسیب‌دیده، روش جدیدی برای نحوه‌ی جستجو در الگوریتم تطبیق بلوکی پیشنهاد شده است. این الگوریتم با استفاده از پیشگویی حرکت و جستجوی مارپیچی این امکان را فراهم می‌سازد تا بتوانیم برای رسیدن به دقت دلخواه، بدون افزایش زیاد زمان جستجو، محدوده‌ی جستجوی حرکت را بزرگ انتخاب کنیم. همچنین، با به کارگیری روش پیشنهادی در اولین مرحله از یک الگوریتم چنددقتی^۲ به نتایجی بهتر از نتایج الگوریتم معمول رسیده‌ایم.

مقدمه

آسیب‌های وارده بر بسیاری از فیلم‌های قدیمی موجود در آرشیوها، چنان از کیفیت آنها کاسته است که برای استفاده در آرشیوهای دیجیتال پیشرفته، لازم است تا حد ممکن اصلاح شوند. از جمله تأثیرات این آسیب‌ها ایجاد لکه‌هایی پراکنده در سطح تصاویر است که عمدتاً ناشی از وجود ذرات ریزگرد و غبار بر روی فیلم، فساد شیمیایی در لایه‌های فیلم، و نیز عدم رعایت اصول صحیح حفظ، نگهداری و انتقال آنهاست. بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که تغییرات شدت روشنایی در سطح این لکه‌ها کم است و معمولاً در کادرهای متوالی در محل یکسان تکرار نمی‌شوند. لازم به ذکر است که وجود این لکه‌ها علاوه بر پایین آوردن کیفیت تصاویر، موجب کاهش عملکرد الگوریتم‌های فشرده‌سازی (که معمولاً در پی آنها اعمال می‌شوند) می‌شوند.

برای تشخیص محل لکه‌ها می‌بایست ابتدا شدت روشنایی نقاط هر کادر را به کمک مقادیر شدت روشنایی در همسایه‌های مکانی و زمانی آنها برآورد کرد و سپس با توجه به میزان خطای محاسبه شده برای هر نقطه، در مورد وجود یا عدم وجود لکه در آن نقطه تصمیم‌گیری کرد. با توجه به وجود حرکت در کادرها، بهتر است برای تعیین همسایه‌های زمانی ابتدا میزان جابه‌جایی در هر نقطه مشخص

شود. بنابراین مرحله‌ی نخست سیستم بازسازی تصویر را معمولاً

«برآورد حرکت» تشکیل می‌دهد.

روش‌های زیادی برای برآورد حرکت وجود دارند که مشتمل بر دو دسته‌ی کلی برآورد قطعی و برآورد آماری‌اند. روش‌های تصادفی بر پایه‌ی فرمول بیز^۳ و مدل مارکوف^۴ برای بردارهای حرکت استوارند. از مزایای عمده‌ی این روش‌ها امکان دخالت دادن خواص بردارهای حرکت، مانند پیوستگی آنها در یک جسم و نیز ناپیوستگی آنها در لبه‌های اجسام، در تعیین بردارهای حرکت است. همچنین ترکیب مراحل مختلف بازسازی تصویر باعث یکپارچگی الگوریتم و دقیق‌تر شدن مدل می‌شود. مثلاً کنراد از این روش برای برآورد حرکت استفاده می‌کند^۱، موریس برآورد حرکت و تشخیص لکه را با یکدیگر ترکیب می‌کند^۲ و همه‌ی مراحل بازسازی تصویر یکباره انجام می‌شود.^۳ از معایب عمده‌ی روش‌های تصادفی پیچیدگی و بالا بودن بار محاسباتی آنهاست، زیرا برای یافتن جواب با بیشترین احتمال از روش‌هایی مانند تابل‌کاری شبیه‌سازی شده^۵ استفاده می‌شود که حجم محاسباتی زیادی دارند. همچنین در این روش‌ها معمولاً از بردارهای حرکت اعشاری استفاده می‌شود که به درون‌یابی شدت روشنایی در نقاط میانی پیکسل‌ها نیاز دارد. روش‌های تطبیق بلوکی^۶ و روش‌های مبتنی بر گرادیان^۷ از

فاصله‌ی معین، که معمولاً فاصله‌ی آن‌ها در مراحل متوالی کم‌تر می‌شود، تعیین می‌کنند. برای تعیین بردار حرکت در یک نقطه، بلوکی در اطراف آن در نظر می‌گیرند و به کمک تطبیق بلوکی بردار حرکت را به دست می‌آورند. همچنین از مراحل دوم به بعد از روش دورن‌یابی به کمک بردارهای مجاور برای تعیین مقدار اولیه‌ی بردارهای حرکت در نقاطی که در مرحله‌ی قبل بردار حرکت آنها را به دست نیاورده‌اند استفاده می‌شود. در پایان نیز به کمک درون‌یابی، بردارهای حرکت در تمام نقاط تصویر به دست می‌آید. برای کم شدن بار محاسباتی معمولاً از نمونه برداری پایه^{۱۱} در بلوک‌ها استفاده می‌شود.

روش دیگری که در این زمینه پیشنهاد شده است، روش چند شبکه^{۱۲} است. در این روش ابتدا تطبیق بلوکی برای هر بلوک انجام می‌شود. اگر اختلاف آن بلوک با بلوک متناظر در حد دلخواه باشد، بردار حرکت حاصل قابل قبول است؛ در غیر این صورت بلوک مطابق با الگوی خاصی به بلوک‌های کوچک‌تر تقسیم می‌شود و برای هر بلوک جدید جستجو تکرار می‌شود. این عمل تا رسیدن به دقت دلخواه، یا کوچک شدن بلوک تا اندازه‌ی معینی ادامه می‌یابد.

از روش‌های قطعی دیگر، روش‌های مبتنی بر گرادیان است. این روش‌ها بر پایه‌ی تقریب بسط تیلور معادله حرکت استوارند. اگر I_1 و I_2 دو کادر متوالی باشند، مدل ساده‌ی که معمولاً برای حرکت در نظر گرفته می‌شود، به صورت زیر است:

$$I_2(X) = I_1(X + d(X)) \quad (1)$$

که در آن $d(X)$ بردار حرکت در مکان X است. اگر در سمت راست معادله از دو جمله‌ی اول بسط تیلور استفاده کنیم، رابطه‌ی برای $d(X)$ بر حسب $I_1(X)$ و $I_2(X)$ و مشتق آن به دست می‌آید. در تعدادی از این روش‌ها، با فرض ثابت بودن $d(X)$ در یک بلوک، رابطه‌ی ۱ برای تمام نقاط آن نوشته می‌شود. سپس جوابی که طبق معیار مشخصی بهتر از بقیه‌ی جواب‌ها در این معادلات صدق کند، به عنوان بردار حرکت آن بلوک معرفی می‌شود. اگر $d_0(X)$ بردار حرکت حاصل باشد، می‌توان برای دقیق‌تر شدن جواب، دوباره بسط تیلور را در اطراف $X + d_0(X)$ نوشت تا بهترین جواب برای $u(X) = d(X) - d_0(X)$ به دست آید. این کار را تا رسیدن به دقت یا تعداد تکرار مورد نظر می‌توان ادامه داد. اگر تعداد نقاط داخل یک بلوک m باشد (X_1, X_2, \dots, X_m) ، و معادله‌ی خطی به دست آمده از رابطه‌ی ۱ را برای تمام نقاط بلوک مزبور بنویسیم به فرم ماتریسی زیر دست می‌یابیم:

$$z = Gu \quad (2)$$

که در آن u_i بردار شامل مقادیر $u(x)$ در نقاط بلوک در مرحله‌ی i ام

مهم‌ترین روش‌های برآورد قطعی‌اند. در روش تطبیق بلوکی تصویر به بلوک‌های مساوی تقسیم می‌شود^{۱۴} و برای هر بلوک یک بردار حرکت در نظر گرفته می‌شود. برای یافتن بردار حرکت در هر بلوک، بلوک‌هایی که در فاصله‌ی $S \pm S$ مقدار ثابتی است که محدوده‌ی جستجو را تعیین می‌کند) از آن در کادر مرجع (قبل یا بعد) قرار دارند، با بلوک اصلی مقایسه می‌شوند و با توجه به معیار مشخصی اختلاف بین آنها محاسبه می‌شود. بلوکی که کم‌ترین اختلاف را با بلوک اصلی داشته باشد، به عنوان بلوک متناظر در نظر گرفته می‌شود و با توجه به اختلاف مکانی بین مراکز آنها بردار حرکت محاسبه می‌شود. در این نوشتار برای اندازه‌گیری اختلاف بین دو بلوک از معیار میانگین خطای مطلق^۸ استفاده شده است.

برای جلوگیری از بروز اشتباه در تشخیص نقاط ثابت از نقاط متحرک و نیز کاهش محاسبات، معمولاً از یک شناساگر حرکت^{۱۵} استفاده می‌شود. بدین ترتیب که ابتدا هر بلوک با بلوک متناظر خود در کادر مرجع مقایسه می‌شود. اگر دقت در حد قابل قبول باشد، جستجو انجام نمی‌شود و بردار حرکت صفر به آن بلوک نسبت داده می‌شود؛ در غیر این صورت تمام منطقه جستجو می‌شود. از روش‌های کارآمدی که برای کاهش محاسبات به کار گرفته می‌شود، روش چنددقتی^{۴-۱۶} است که در آن ابتدا بردارهای حرکت در تصویر با کم‌ترین دقت به دست می‌آید و سپس این بردارها در مراحل بعدی و به کمک تصاویر با دقت بالاتر ترمیم می‌شود. این عمل علاوه بر کاهش محاسبات - به علت کوچک‌تر بودن اندازه‌ی بلوک‌ها و محدوده‌ی جستجو در اولین مرحله - به افزایش کارایی پردازش برآورد حرکت به علت کاهش اثر اغتشاش و لگه‌ها در تصاویر با دقت کم‌تر می‌انجامد، که خود باعث جلوگیری از تشخیص نادرست حرکت در صحنه می‌شود. همچنین با توجه به این که در هر مرحله مقدار تقریبی بردار حرکت در مرحله‌ی قبل به دست آمده است، محدوده‌ی جستجو در مراحل بعدی می‌تواند بسیار کوچک انتخاب شود. در حالت ایده‌آل یک محدوده 2×2 کافی می‌باشد.

در روش‌های تطبیق بلوکی، برای کم کردن احتمال وجود چند بلوک با کم‌ترین میزان اختلاف، باید بلوک‌ها را در اندازه‌ی بزرگ انتخاب کرد. از طرف دیگر در یک بلوک با اندازه‌ی بزرگ فرض ثابت بودن بردار حرکت نادرست است. برای حل این تناقض روش سلسله مراتبی^{۱۰} پیشنهاد شده است^{۱۴} که در آن ابتدا به کمک بلوک‌های بزرگ بردارهای حرکت را به طور تقریبی به دست می‌آورند و در مراحل بعد از بلوک‌های کوچک‌تر برای تصحیح حرکت استفاده می‌کنند. در هر مرحله، بردارهای حرکت را در تعدادی از نقاط با

$$\mathbf{u}_i = \begin{cases} \alpha_{max} \mathbf{k}_{max} & \text{if } \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} > \alpha \\ [\mathbf{G}^T \mathbf{G} + \mu \mathbf{I}]^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{z} & \text{otherwise} \end{cases}$$

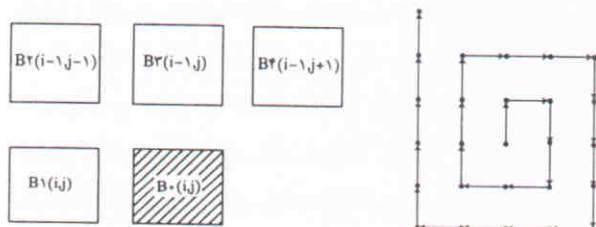
$$\mu = |\mathbf{z}| \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} \quad \text{if } \frac{\lambda_{max}}{\lambda_{min}} \leq \alpha$$

$$\alpha_{max} = \frac{\mathbf{k}_{max}^T \mathbf{G}^T \mathbf{z}}{\lambda_{max}} \quad (6)$$

که در آن λ_{min} و λ_{max} مقادیر ویژه $\mathbf{M}_R = \mathbf{G}^T \mathbf{G}$ و \mathbf{k}_{max} بردار ویژه λ_{max} متناظر با λ_{max} است.

روش پیشنهادی

با توجه به این که در تصاویر واقعی، بردارهای حرکت در بیشتر کادرها و مناطق تصویر کوچک‌اند و معمولاً رسیدن به میزان خطای تطبیق مشخصی برای ما کافی است، جستجو به صورت مارپیچی مانند شکل ۱-الف می‌تواند در کم‌کردن زمان جستجو مؤثر باشد. در این شکل هر نقطه نمایانگر مرکز بلوک مقایسه شونده و نقطه‌ی مرکزی نشان‌دهنده‌ی نقطه‌ی متناظر با مرکز بلوک اصلی در کادر قبل و یا بعد است. در این روش، جستجو در مسیر گفته شده انجام می‌شود و هرگاه دقت به حد کافی رسید جستجو متوقف می‌شود. در هر یک از بلوک‌های منطقه‌ی جستجو، ابتدا اختلاف آن بلوک با بلوکی که بردار حرکت آن مورد نظر است محاسبه می‌شود. اگر این اختلاف از حداقل اختلاف به دست آمده تا آن بلوک کم‌تر نباشد، جستجو در بلوک بعدی ادامه می‌یابد؛ در غیر این صورت اختلاف با سطح آستانه‌ی مورد نظر، T_1 مقایسه می‌شود. اگر خطای به دست آمده کم‌تر از این سطح باشد، جستجو متوقف می‌شود و در غیر این صورت جستجو ادامه می‌یابد. این روش امکان انتخاب منطقه‌ی جستجوی بزرگ‌تر را، بدون اینکه زمان جستجو خیلی افزایش یابد، فراهم می‌کند (زیرا بدین ترتیب در کادرها یا مناطقی که حرکت کمی داریم مجبور به جستجوی تمام محدوده نخواهیم بود). البته در رسیدن به این خواسته، انتخاب دقت



الف) مسیر جستجو؛ ب) مکان بلوک‌های همسایه علی؛ شکل ۱. روش پیشنهادی برای جستجوی بردار حرکت.

است، همچنین \mathbf{z} بردار اختلاف‌ها و \mathbf{G} ماتریس مشتق‌ها در نقاط بلوک است و به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$\mathbf{z} = \begin{bmatrix} I_1(\mathbf{X}_1) - I_1(\mathbf{X}_1 + \mathbf{d}_{i-1}) \\ I_1(\mathbf{X}_2) - I_1(\mathbf{X}_2 + \mathbf{d}_{i-1}) \\ \vdots \\ I_1(\mathbf{X}_m) - I_1(\mathbf{X}_m + \mathbf{d}_{i-1}) \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\mathbf{G} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} I_1(\mathbf{X}_1 + \mathbf{d}_{i-1}) & \frac{\partial}{\partial y} I_1(\mathbf{X}_1 + \mathbf{d}_{i-1}) \\ \frac{\partial}{\partial x} I_1(\mathbf{X}_2 + \mathbf{d}_{i-1}) & \frac{\partial}{\partial y} I_1(\mathbf{X}_2 + \mathbf{d}_{i-1}) \\ \vdots & \vdots \\ \frac{\partial}{\partial x} I_1(\mathbf{X}_m + \mathbf{d}_{i-1}) & \frac{\partial}{\partial y} I_1(\mathbf{X}_m + \mathbf{d}_{i-1}) \end{bmatrix} \quad (4)$$

جواب حداقل مربعات 13 این معادلات طبق رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$\mathbf{u}_i = [\mathbf{G}^T \mathbf{G}]^{-1} \mathbf{G}^T \mathbf{z} \quad (5)$$

مشکل اساسی این روش در استفاده از تقریب بسط تیلور است که باعث می‌شود حتی با استفاده از عملیات بازگشتی نیز نتوان جابه‌جایی بزرگ را برآورد کرد. برای حل این مشکل می‌توان روش چنددقتی بهره‌گرفت یا از پیشگویی حرکت 14 استفاده کرد. 15 برای دقیق‌تر شدن برآورد حرکت، Biemond با جملات مرتبه‌ی بالاتر بسط تیلور به عنوان اغتشاش سفیدگوسی برخورد می‌کند و روشی براساس روش وینر 15 ارائه می‌کند. 15 مشکل دیگر این روش، احتمال خطرناک بودن ماتریس $\mathbf{M}_G = \mathbf{G}^T \mathbf{G}$ است. این وضعیت باعث ناپایداری و عدم دقت در تعیین جواب می‌شود. مارتینز توانست این مسئله را به نسبت مقادیر بیشینه و کمینه‌ی کنتراست یا گرادیان مربوط کند. او نشان می‌دهد که جهت بردارهای ویژه \mathbf{M}_G جهت بیشینه و کمینه‌ی گرادیان یا کنتراست متوسط (در بلوک) و مقادیر ویژه‌ی متناظر یا مقادیر گرادیان متوسط در این جهات را معلوم می‌کند. 15 بنابراین خطرناک بودن وقتی اتفاق می‌افتد که مقدار بیشینه‌ی گرادیان متوسط نسبت به مقدار کمینه‌ی آن زیاد باشد که این وضعیت تنها در لبه‌ها اتفاق می‌افتد. در این حالت دقیق‌ترین بردار حرکت، در جهت بیشینه‌ی کنتراست و یا عمود بر لبه است. ککارام با هدف دقیق‌تر شدن بردار برآیند، ترکیب دو روش گفته شده را (تحت عنوان AWB 16) به کار می‌برد. 17 در این روش، $\hat{\mathbf{u}}_i$ از رابطه‌ی ۶ به دست می‌آید:

البته موفقیت این روش به بازه‌ی جستجو و اندازه‌ی بلوک در اولین سطح بستگی دارد. اگر تمام نقاط بررسی شوند، زمان لازم برای جستجوی مارپیچی بیشتر است (به علت مقایسه با سطح آستانه) و چون در محدوده‌های کوچک احتمالاً مجبور به بررسی تمام منطقه‌ی جستجو می‌شویم، ممکن است زمانی بیش از حالت عادی بگیرد. این حالت برای بلوک‌های با اندازه‌ی بزرگ نیز ممکن است اتفاق بیفتد. زیرا برای بلوک‌های با اندازه‌ی بزرگ، احتمال یافتن بلوک مشابه کمتر می‌شود.

در این روش، می‌توان برای پیشگویی بردارهای حرکت از بردارهای به دست آمده در کادر قبل نیز استفاده کرد.^[۹]

مقایسه‌ی عملکرد روش‌های مختلف برای تصاویر سالم

در این قسمت به بررسی کارایی روش‌های مشروح در بخش‌های پیش می‌پردازیم. برای شبیه‌سازی از نرم‌افزار MATLAB استفاده شده است. اندازه‌ی بلوک به جز در موارد گفته شده ۱۶×۱۶ در نظر گرفته شده است. همچنین بازه‌ی جابجایی برای جستجو ± 16 و مقدار سطح آستانه T، برابر 0.03 انتخاب شده است. در روش ساده‌ی تطبیق بلوکی (تطبیق بلوکی ۱)^[۴] از این سطح آستانه برای شناساگر حرکت استفاده شده است. در روش تطبیق بلوکی ۲ نیز از شناساگر حرکت استفاده می‌شود و جستجو به طریق معمول انجام می‌شود و وقتی دقت به حد کافی (سطح آستانه‌ی T) برسد، جستجو متوقف می‌شود. شکل ۲ بردارهای حرکت به دست آمده برای دو کادر متوالی از دنباله‌ی ترور را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل دیده می‌شود، بردارهای حرکت حاصل از روش تطبیق بلوکی در بعضی از مناطق با بردارهای حاصل از جستجوی کامل (تطبیق بلوکی ۱) اختلاف زیادی دارد. در حالی که با به کارگیری روش جستجوی مارپیچی این اختلاف بسیار کم شده است. استفاده از پیشگویی نیز ضمن کمی افزایش در کارایی، همان‌طور که خواهیم دید، باعث کاهش زمان می‌شود.

برای مقایسه‌ی عددی روش‌های مختلف، از ۱۰ کادر از دنباله‌ی Trevor (کادرهای ۲ تا ۱۱) استفاده کرده‌ایم و نسبت سیگنال به اغتشاش^{۲۱} و زمان انجام محاسبات را به عنوان معیار مقایسه به کار برده‌ایم. جدول ۱ نشانگر نتایج عددی به دست آمده است. با مقایسه‌ی روش‌های تطبیق بلوکی ۲ و جستجوی مارپیچی با روش تطبیق بلوکی ۱ ملاحظه می‌شود که با به کارگیری یک سطح آستانه‌ی نسبتاً کوچک می‌توان بدون کاهش زیاد SNR زمان را بسیار کاهش داد. ضمناً به کمک روش‌های جستجوی مارپیچی، چنان که انتظار

لازم یا سطح آستانه مهم است. اگر سطح آستانه آنقدر کوچک باشد که با جستجوی کامل نیز نتوان به آن حد رسید، میزان محاسبات با این روش کمتر نخواهد شد.

جستجوی دوبعدی لگاریتمی^{۱۹} و جستجوی سه‌مرحله‌ی^{۲۰} از روش‌های معمول است که برای سریع‌تر شدن جستجو مطرح شده است.^[۴] ایده‌ی کلی این روش‌ها آن است که فضای جستجو به چند ناحیه تقسیم می‌شود و در هر یک از آنها یکی از نقاط آزمایش می‌شود تا بهترین ناحیه، و بنابراین جهت کلی بردار حرکت انتخاب شود. سپس این کار با تقسیم دوباره‌ی ناحیه‌ی اطراف نقطه‌ی به دست آمده به نواحی کوچک‌تر، و تصحیح بردار حرکت ادامه می‌یابد. بنابراین در این روش‌ها هیچگاه تمام نقاط جستجو نمی‌شود، ولی در روش پیشنهادی در صورت لزوم تمام نقاط محدوده‌ی جستجو، بررسی می‌شود. در ادامه از نام «جستجوی مارپیچی بدون پیشگویی» برای اشاره به این روش استفاده می‌کنیم.

در نوع دیگر این الگوریتم، که در ادامه با عنوان «جستجوی مارپیچی با پیشگویی» از آن نام برده می‌شود، به منظور کاهش بیشتر زمان جستجو، ابتدا در هر نقطه به کمک بلوک‌های مجاور مقدار اولیه‌ی برای بردار حرکت برآورد می‌شود و سپس جستجو براساس روش گفته شده در اطراف آن انجام می‌گیرد. در این نوشتار، روش مورد استفاده برای پیشگویی روشی است که در آن اگر B_1, B_2, B_3 و B_4 بلوک‌های همسایه‌ی علی‌بلوک مورد نظر (مطابق شکل ۱-ب)، d_i بردار حرکت مربوط به بلوک B_i و $d_m = \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 d_i$ باشد^[۸]، آنگاه:

$$d_{mn} = \begin{cases} d_p & \text{if } \max_{i=1 to 4} \|d_i - d_m\| < T_p \\ (0,0) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

که در آن T_p یک سطح آستانه است. برای بردار حرکت پیشنهادی مختلفی داده شده است و ما در اینجا از رابطه‌ی ۸ استفاده می‌کنیم:

$$d_p = \underset{i}{\operatorname{arg\,min}} \|d_i - d_m\|, \quad i = 1, 2, 3, 4. \quad (8)$$

البته برای اینکه تغییرات چشم‌گیر باشد، اندازه‌ی بلوک‌ها باید کوچک انتخاب شود تا احتمال نزدیکی بردارهای این پنج بلوک افزایش یابد.

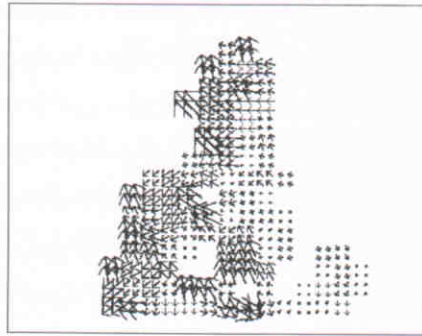
از آنجا که روش‌های چنددقتی کاربرد زیادی یافته‌اند و معمولاً عملکرد خوبی دارند، از روش پیشنهادی برای پیدا کردن بردارهای حرکت، در مرحله‌ی اول از الگوریتم چنددقتی نیز استفاده کرده‌ایم.



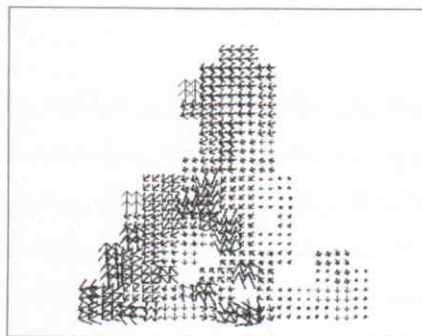
(ب)



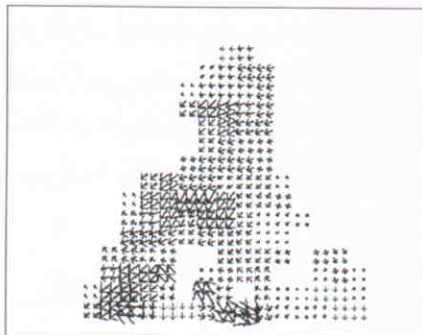
(الف)



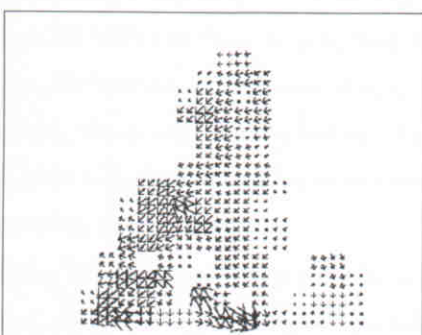
(د)



(ج)



(و)



(ه)

شکل ۲. بردارهای به‌دست آمده از روش‌های مختلف برای کادرهای ۵۰ و ۶۰ از دنباله‌ی Trevor (الف تصویر اول، ب تصویر دوم، ج تطبیق بلوکی ۱، د تطبیق بلوکی ۲، ه جستجوی ماریجی بدون پیشگویی، و جستجوی ماریجی با پیشگویی).

کمتر، منطقه‌ی بیشتری از تصویر را دربرمی‌گیرد. این کار ضمن کم کردن بار محاسباتی، می‌تواند باعث دقیق‌تر شدن جواب (به‌علت کم شدن اثر لکه در تصاویر با دقت کمتر) شود. مشکل این روش آن است که نمی‌توان به شدت تعداد سطوح دقت را بالا برد، زیرا با تعداد سطوح زیاد، تعداد بلوک‌ها در تصاویر با کمترین دقت به‌طور نامعقولی کم می‌شود.

به‌طور کلی می‌توان گفت که این روش، مانند روش سلسله‌مراتبی است و تا حدودی از مزایای آن برخوردار است، ولی به‌اندازه‌ی آن روش آزادی عمل نداریم.

می‌رود به «نسبت سیگنال به اغتشاش» بالاتری روش تطبیق بلوکی ۲ رسیده‌ایم. همچنین با اعمال پیشگویی ضمن افزایش در SNR به زمان کم‌تری نیز دست یافته‌ایم. البته این اختلاف با انتخاب بلوک کوچک‌تر به‌علت نزدیکی بیشتر بردارهای حرکت بلوک‌های همسایه بیشتر می‌شود.

در این نوشتار دو روش مختلف برای الگوریتم چنددقتی به کار گرفته شده است: در روش اول [۴] اندازه‌ی بلوک در تصاویر با دقت کم‌تر، به همان نسبت کوچک می‌شود. اما در روش دوم اندازه‌ی بلوک ثابت می‌ماند. [۶] به این ترتیب هر بلوک در تصویر با دقت

در روش چنددقتی اول با تغییر تعداد سطوح از ۲ به ۳، زمان کمتر می‌شود ولی با افزایش تعداد سطوح به ۴ زمان زیاد می‌شود. این به دلیل زیاد شدن محاسبات مربوط به فیلتر کردن تصویر و زمان نمونه برداری پایه‌ی آن است. همچنین زمان به دست آمده در روش چنددقتی دوم طبق انتظار از زمان حاصل از روش چنددقتی اول کمتر شده است؛ البته SNR نیز اندکی پایین آمده است که به دلیل بزرگ بودن اندازه‌ی بلوک (با توجه به کوچک شدن اندازه‌ی تصویر) در مرحله‌ی اول است.

از دیگر روش‌های مورد بررسی، الگوریتم‌های چنددقتی با استفاده از روش جستجوی ماریجی با پیشگویی در مرحله‌ی اول است. در روش چنددقتی اول با تعداد سطوح ۲، با استفاده از روش جدید زمان کاهش پیدا کرده است، ولی با افزایش تعداد سطوح نتیجه معکوس شده است که علت آن کم شدن محدوده‌ی جستجو در مرحله‌ی اول است، زیرا چنان‌که گفتیم برای محدوده‌های کوچک جستجو ممکن است زمان حتی بیشتر از روش عادی باشد. در روش چنددقتی دوم نیز کاربرد این روش مفید نبوده است زیرا به علت بزرگ بودن اندازه‌ی بلوک‌ها در مرحله‌ی اول، یافتن بلوک مشابه سخت می‌شود و جستجو دیرتر پایان می‌پذیرد. بنابراین ممکن است با اندازه‌ی بلوک کوچک‌تر نتیجه‌ی معکوس شود.

در روش سلسله مراتبی، امکان انتخاب زیادی وجود دارد ولی صرفاً حالتی را در نظر گرفته‌ایم که شباهت زیادی به روش چنددقتی دوم دارد. در این روش تعداد مراحل ۲، اندازه‌ی بلوک‌ها در دو مرحله‌ی ۳۲ و ۱۶، و فاصله‌ی نقاطی که در آنها عمل جستجو انجام می‌شود در دو مرحله‌ی ۳۲ و ۱۶ انتخاب شده است. دو تفاوت عمده‌ی آن با روش چنددقتی عبارت است از: ۱. استفاده از درون‌یابی برای تعیین بردارهای حرکت ۲. از آنجا که خود تصاویر نمونه برداری پایه نمی‌شوند، محدوده‌ی جستجو در مرحله‌ی اول همان ۱۶ است. ملاحظه می‌شود که با وجود صرف زمان بیشتر در این روش نسبت به روش چنددقتی دوم، افزایش قابل توجهی در SNR حاصل نمی‌شود.

در روش چند شبکه سه حالت را که در آنها حداکثر و حداقل اندازه‌ی بلوک ۱۶ و ۳۲ و ۱۶ و ۸ و ۳۲ و ۸ است بررسی کرده‌ایم. ملاحظه می‌شود که SNR در حالت اول بین اعداد به دست آمده برای SNR در روش تطبیق بلوکی ۱ که با بلوک‌های ۱۶×۱۶ و ۳۲×۳۲ محاسبه شده‌اند، قرار دارد. این وضعیت در دو حالت بعد هم تکرار می‌شود. ولی در مورد زمان چنین شرایطی را نداریم. یعنی بر خلاف آنچه در ابتدا به نظر می‌آید، لزوماً زمان این روش بین زمان‌های

فیلتر پایین‌گذر به کار برده شده به صورت زیر تعریف می‌شود: [۱۵]

$$f(x,y) = \frac{1}{A} w(x,y) \exp \left[- \left(\frac{r^2}{2\sigma^2} \right) \right]$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}$$

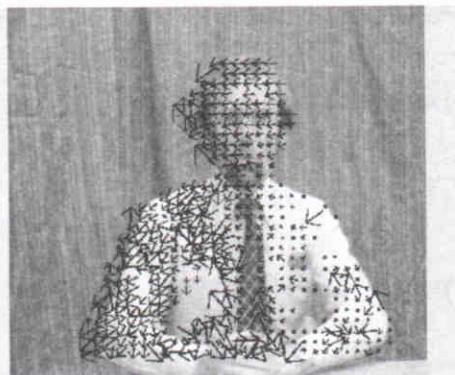
$$w(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{for } x^2 + y^2 \leq R^2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$A = \sum \sum w(x,y) \exp \left[- \left(\frac{r^2}{2\sigma^2} \right) \right]$$

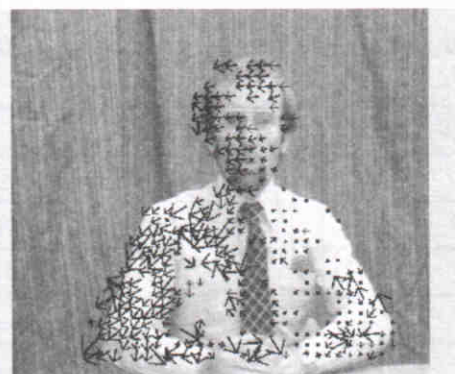
(۹)

جدول ۱. مقایسه‌ی روش‌ها در حالت بدون لگه برای ۱۰ کادر از دنباله‌ی Trevor.

روش	SNR(dB)	زمان (ثانیه)
محاسبه‌ی اختلاف بدون برآورد حرکت	۱۵/۷۶	—
تطبیق بلوکی ۱	۲۲/۲۰	۱۶/۶
تطبیق بلوکی ۲	۲۰/۷۲	۷/۸
جستجوی ماریجی (بدون پیشگویی)	۲۱/۶۵	۸/۴
جستجوی ماریجی (با پیشگویی، T=۱۰)	۲۱/۷۷	۷/۷
چنددقتی اول	۲۲/۰۵	۳/۷
	۲۱/۷۴	۲/۳
	۲۱/۳۶	۲/۵
چنددقتی اول (جستجوی ماریجی در مرحله‌ی اول)	۲۱/۹۵	۳/۰
	۲۱/۷۷	۲/۴
	۲۱/۲۸	۲/۵
چنددقتی دوم	۲۱/۴۰	۲/۲
	۱۹/۴۲	۱/۹
چنددقتی دوم (۲ سطح جستجوی ماریجی در مرحله‌ی اول)	۲۱/۴۰	۲/۳
سلسله مراتبی	۲۱/۴۷	۱۲/۴۵
چند شبکه	حداقل: ۱۶، حداکثر: ۳۲	۲۱/۳۱
	حداقل: ۸، حداکثر: ۱۶	۲۳/۵۱
	حداقل: ۸، حداکثر: ۳۲	۲۲/۱۲
تطبیق بلوکی ۱ با بلوک‌های ۳۲×۳۲	۱۹/۸۳	۱۱/۹
تطبیق بلوکی ۱ با بلوک‌های ۸×۸	۲۴/۵۱	۳۱/۸
AWB	۱۸/۱۷	۲۱/۲
AWB (چنددقتی)	۱۹/۱۸	۴۲/۲
تطبیق بلوکی ۱ با بلوک‌های ۸×۸ و دو جهت	۲۶/۳۶	۷۸/۱



الف) روش یک‌جهته (نسبت به کادر قبل).



ب) روش دوجته (نسبت به کادر قبل).



ج) روش دوجته (نسبت به کادر بعد).

شکل ۳. مقایسه‌ی روش‌های دوجته با روش یک‌جهته برای کادر ۶ از دنباله‌ی Trevor.

یک نقطه و یا عدم تخصیص بردار به آن است.^{۱۱} شکل ۳ بردارهای حرکت به دست آمده برای یک کادر را نشان می‌دهد. در حالت دوجته^{۲۳}، برداری که کم‌ترین اختلاف را ایجاد کرده انتخاب شده است. ملاحظه می‌شود که در نواحی دارای هم‌پوشانی، در حالت دوجته برخلاف حالت یک‌جهته بردار صفر تخصیص داده شده است. با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان نتیجه گرفت که برای تصاویر سالم روش چنددقتی اول با استفاده از روش جستجوی

به دست آمده با روش تطبیق بلوکی^۱ نیست. با مشاهده‌ی اعداد جدول ۱ درمی‌یابیم که تنها در حالت دوم شرایط زمانی خوبی وجود دارد و زمان نسبت به زمان به دست آمده در روش تطبیق بلوکی^۱ با اندازه‌ی بلوک‌های ۸×۸ کمتر است. علت بیشتر بودن زمان از مقدار مورد انتظار در دو حالت دیگر آن است که تعداد بلوک‌هایی که در مرحله‌ی اول به پاسخ دلخواه نمی‌رسند و باید تقسیم شوند زیاد است و چون برای بلوک‌هایی که تقسیم می‌شوند عمل جستجو تکرار می‌شود، زمان افزایش یافته بیش از زمان کاهش یافته به دلیل بزرگ بودن بلوک‌ها در مراحل اول کم است.

روش‌های دیگری که نتایج آن در جدول ۱ آمده است، روش AWB عادی و به صورت چنددقتی است. ملاحظه می‌شود که در این روش‌ها با صرف زمانی بیشتر از روش‌های دیگر، به SNR کمتری رسیده‌ایم. در این روش‌ها هنگامی محاسبات را متوقف می‌کنیم که نرم بردار ۳، به سطح آستانه‌ی مورد نظر رسیده باشد و یا تعداد تکرار به حد مشخصی برسد. حداکثر تعداد تکرار در روش AWB، ۱۰ و در روش چنددقتی در دو مرحله‌ی ۱۰ و ۵ انتخاب شده است. علت افزایش زمان در این روش‌ها، نیاز به درون‌یابی، لزوم محاسبات ماتریسی و موارد دیگر است. همچنین کاربرد روش چنددقتی، باعث افزایش دقت و زمان شده است. افزایش دقت به دلیل کوچک شدن بردار حرکت و در نتیجه بهتر شدن تقریب بسط تیلور در مرحله‌ی اول است.

مورد دیگری که بررسی کرده‌ایم، به کاربردن روش تطبیق بلوکی^۱، در دو جهت (نسبت به کادرهای قبل و بعد) است. این روش برای بازسازی تصویر به کار گرفته شده است.^{۱۱} برای محاسبه‌ی خطا در هر نقطه، هر کدام از دو برداری که حداقل خطا داشته باشد انتخاب می‌کنیم. به علت وجود نواحی دارای گرفتگی^{۲۲} و یاهم‌پوشانی، معمولاً در روش‌های تشخیص از بردارهای به دست آمده نسبت به هر دو کادر استفاده می‌شود. البته اگر مانند روش مطرح تطبیقی بلوکی^۱ در هر بلوک تنها به یکی از بردارها نیاز شود، شاید نیاز به محاسبه‌ی هر دو بردار نباشد. بدین ترتیب که ابتدا بردار را در یک جهت به دست آورده، میزان خطا را با یک سطح آستانه مقایسه می‌کنیم؛ اگر از آن مقدار بیشتر بود به یافتن بردار در جهت دیگری می‌پردازیم. در صورتی که به هر دو بردار نیاز داشته باشیم، می‌توان با کاربرد روش‌هایی مانند روش پیشنهادی کالرا حجم محاسبات را کمتر کرد.^{۱۱} در این روش برای محاسبه‌ی بردارهای حرکت هر کادر نسبت به کادر قبل، از بردارهای به دست آمده در کادر قبل نسبت به کادر حاضر استفاده می‌شود. مشکل این کار، تخصیص چند بردار به



شکل ۴. نمونه‌ی تصویری که به طور مصنوعی آسیب دیده است.

جدول ۲. مقایسه‌ی روش‌ها در حالت وجود لکه برای ۱۰ کادر از دنباله‌ی Trevor.

زمان (ثانیه)	SNR (dB)	روش
۲۱/۶	۲۰/۳۸	تطبیق بلوکی ۱
۱۵/۷	۱۸/۷۰	تطبیق بلوکی ۲
۱۹/۵	۲۰/۳۱	جستجوی ماریچی (بدون پیشگویی)
۱۸/۴	۲۰/۰۲	جستجوی ماریچی (با پیشگویی، T=۵)
۶/۰	۲۰/۳۹	۲ سطح
۳/۴	۱۹/۰۳	۳ سطح
۳/۳	۱۸/۵۶	۴ سطح
۶/۱	۱۹/۵۳	۲ سطح
۳/۶	۱۹/۱۰	۳ سطح
۳/۴	۱۸/۲۲	۴ سطح
۳/۴	۲۰/۱۷	چنددقتی دوم (۲ سطح)
۱۹/۰	۱۸/۹۲	سلسله مراتبی
۹۶/۵	۲۰/۵۳	چندشبهه (حداقل: ۸، حداکثر: ۳۲)
۴۴/۷	۱۷/۰۶	AWB (چنددقتی)

میزان تغییرات شدت روشنایی کم است. شکل ۴ تصویری را که بدین ترتیب ساخته شده است نشان می‌دهد.

جدول ۲ نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی تصاویر آسیب‌دیده را نشان می‌دهد. به‌منظور انجام مقایسه، مقادیر پارامترها مانند بخش قبل انتخاب شده است. احتمال وجود لکه در همه‌ی موارد ۰/۰۳ است. برای محاسبه‌ی SNR نیز از تصاویر سالم استفاده شده است.

بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد که به‌دلیل اضافه شدن لکه، شناساگر حرکت در بیشتر موارد وجود حرکاتی را تشخیص می‌دهد. این پدیده باعث زیاد شدن زمان محاسبات در روش‌های مختلف می‌شود. نتایج فهرست شده در جدول ۲ به‌خوبی نشان می‌دهد که در بین روش‌های مختلف، روش‌های چنددقتی،

ماریچی پیشنهادی از کارایی بهتری برخوردار است. ضمناً اگر در موردی نخواهیم از روش چنددقتی استفاده کنیم، باز روش پیشنهادی می‌تواند زمان را به‌طور قابل توجهی کاهش دهد.

مقایسه‌ی عملکرد روش‌های مختلف برای تصاویر آسیب‌دیده

در این قسمت آزمایش‌های بخش قبل را برای همان تصاویر که به آنها به‌طور مصنوعی لکه اضافه شده است، تکرار می‌کنیم. اگر تصویر اصلی I و تصویر آسیب‌دیده G باشد، مدلی که برای G در نظر می‌گیریم چنین است:

$$G(x,y) = \begin{cases} c & \text{with probability } p \\ I(x,y) & \text{with probability } (1-p) \end{cases} \quad (10)$$

که در آن c مقداری تصادفی با توزیع یکنواخت بین مقادیر حداکثر و حداقل میزان شدت روشنایی تصویر است. برای اضافه کردن لکه، از مدل مارکوف برای تعیین موقعیت لکه‌ها استفاده کرده‌ایم. [۱۲] در این آزمایش ماتریس تصادفی است که مقدار آن در هر نقطه وجود یا عدم وجود لکه را نشان می‌دهد و d نمونه‌ی تصادفی از آن است. به‌طوری که $d(x,y) = 1$ وجود لکه و $d(x,y) = -1$ عدم وجود لکه در نقطه‌ی (x,y) را نشان می‌دهد. برای تابع توزیع احتمال D مدل گیبس-مارکوف را در نظر می‌گیریم:

$$p(D=d) = \left[\frac{1}{Z} \right] \exp \left[- \sum_{C \in \mathcal{C}} V_C(d) \right] \quad (11)$$

که در آن C نشان دهنده‌ی یک کلیک 2^4 ، مجموعه‌ی کلیک‌ها، V_C تابع پتانسیل مربوط به کلیک C و Z عدد ثابتی برای نرمالیزه کردن تابع توزیع است. برای کلیک‌های دو تایی $V_C(d_i, d_j) = -\beta_1 d_i d_j$ و برای کلیک‌های تک‌عضوی $V_C(d_i) = \beta_2 (1 + d_i)$ در نظر گرفته شده است. برای تولید نمونه‌ی تصادفی، از نمونه‌برداری گیبس [۲۵] استفاده کرده‌ایم. برای تعیین حالت اولیه، ماتریسی که نقاط با مقدار ۱ آن به‌صورت ضربه‌ی و با احتمال ۰/۱ توزیع شده‌اند را تولید کرده‌ایم. مقادیر β_1 و β_2 نیز به ترتیب ۱ و ۲/۲- انتخاب شده‌اند. در این الگوریتم هنگامی که نسبت نقاط آسیب‌دیده به کل نقاط به حد دلخواه برسد، نمونه‌برداری متوقف می‌شود. همچنین برای ایجاد شرایط طبیعی مقدار شدت روشنایی در سطح لکه‌ها را عددی تصادفی با توزیع یکنواخت بین $m - 0/05$ و $m + 0/05$ انتخاب کرده‌ایم (که در آن m متغیری تصادفی با توزیع یکنواخت بین ۰ و ۱ است). بدین ترتیب هم شکل هندسی لکه‌ها و هم مقدار شدت روشنایی آنها شباهت زیادی با نمونه‌های واقعی دارد، زیرا در لکه‌های واقعی نیز

جدول ۳. تأثیر بازسازی تصویر در دقت تخمین حرکت برای کادرهای ۲ تا ۱۱ از دنباله‌ی Trevor.

بازسازی			بدون بازسازی			روش
نرخ هشدار خطا	نرخ تشخیص صحیح	زمان (ثانیه)	SNR (dB)	زمان (ثانیه)	SNR (dB)	
۰/۰۲	۰/۷۷	۱۶/۴	۲۰/۴۰	۱۸/۴۳	۲۰/۰۴	تطبیق بلوکی ۱
۰/۰۳	۰/۸۰	۳/۶	۲۰/۴۴	۴/۰	۱۹/۵	چنددقتی دوم (۲ لایه)

مقایسه‌ی عملکرد روش‌ها برای دنباله‌های متفاوت

در قسمت‌های پیشین عملکرد روش‌های مختلف را برای دنباله‌ی Trevor بررسی کردیم. در این بخش عملکرد سه نمونه از روش‌های کارآمدتر را بر روی دو دنباله‌ی دیگر تصویر بررسی می‌کنیم. اولین دنباله، کادرهای ۲ تا ۱۱ از دنباله‌ی Stennis و دومین دنباله کادرهای ۴۰ تا ۵۱ از دنباله‌ی Diskus است. جدول‌های ۴ و ۵ نتایج به دست آمده را نشان می‌دهد. در دنباله‌ی Stennis بیشتر مناطق تصویر بدون حرکت است. از طرفی میزان جابه‌جایی در مناطق کوچک و متحرک تصویر زیاد است و تعداد نقاطی که در آنها از پیشگویی استفاده می‌شود کم است. به همین دلیل روش دوم کارایی زیادی ندارد.

اما در دنباله‌ی دوم، نقاط به هم پیوسته‌ی متحرک زیادی وجود دارد که باعث می‌شود با وجود تغییرات زیاد در این دنباله به علل اندازه‌دهی روش دوم مؤثرتر باشد. نکته‌ی دیگر آن است که در دنباله‌ی دوم و در حالت وجود لگه، روش چنددقتی، در مقایسه با روش ساده، SNR بیشتری دارد، که البته با توجه به توضیحات داده شده دور از انتظار هم نیست.

جدول ۴. مقایسه‌ی روش‌های مختلف برای کادرهای ۲ تا ۱۱ از دنباله‌ی Stennis.

تصاویر سالم		تصاویر آسیب‌دیده		روش
SNR (dB)	زمان (ثانیه)	SNR (dB)	زمان (ثانیه)	
۲۵/۰۸	۴/۶	۲۳/۴۰	۱۳/۷	تطبیق بلوکی ۱
۲۵/۰۳	۴/۷	-	-	جستجوی ماریجی (پایشگویی، $T=10$)
۲۴/۴۳	۱/۴	۲۳/۰۰	۲/۵	چنددقتی دوم (۲ لایه)

جدول ۵. مقایسه‌ی روش‌های مختلف برای کادرهای ۴۰ تا ۵۱ از دنباله‌ی Diskus.

تصاویر سالم		تصاویر آسیب‌دیده		روش
SNR (dB)	زمان (ثانیه)	SNR (dB)	زمان (ثانیه)	
۱۸/۱۹	۱۹/۳	۱۶/۸۱	۲۷/۹	تطبیق بلوکی ۱
۱۷/۳۱	۱۰/۰۲	۱۶/۷۸	۲۱/۸	جستجوی ماریجی (پایشگویی، $T=10$)
۱۷/۵۵	۲/۶	۱۶/۹۴	۳/۷	چنددقتی دوم (۲ لایه)

کارآمدترین روش‌ها هستند که با وجود بار محاسباتی کم SNRهای بالاتری را تولید می‌کنند.

در اینجا به علت اضافه شدن لگه، یافتن بلوک‌های مشابه مشکل‌تر می‌شود و به همین دلیل تفاوت زمانی روش‌های پیشنهادی با روش تطبیق بلوکی ۱ بسیار کم شده است. این امر در حالت چنددقتی اول با توجه به کوچکی محدوده‌ی جستجو، باعث افزایش زمان نیز شده است و بنابراین در کاربرد بازسازی تصویر استفاده از روش چنددقتی همراه با روش پیشنهادی توصیه نمی‌شود.

نکته‌ی جالب توجه آن است که اگر کادر مرجع سالم باشد نتایج بهتری به دست می‌آید. این بدان علت است که در آزمایش‌های انجام شده، گاهی با وجود بلوک اصلی سالم (علی‌رغم آسیب‌دیدگی بلوک‌هایی که با آن مقایسه شده‌اند) احتمال خطای کم، نتایج زمانی در بعضی از روش‌ها تفاوت زیادی کرده است. بنابر این انتظار می‌رود که در یک سیستم کامل تشخیص و تصحیح لگه، که در آن خطاهای کادر قبل تا حدی تصحیح شده‌اند به نتایج بهتری دست یابیم. البته این موضوع به شناساگر خطا بستگی دارد. دو پارامتری که میزان این کارایی را مشخص می‌کند، نرخ تشخیص درست^{۲۶} و نرخ هشدار خطا^{۲۷} است که چنین تعریف می‌شوند:

نرخ تشخیص درست: نسبت نقاط آسیب‌دیده‌ی تشخیص داده شده به کل نقاط آسیب‌دیده.

نرخ هشدار خطا: نسبت نقاطی که اشتباهاً به‌عنوان لگه اعلام می‌شوند به کل نقاط تصویر.

اگر میزان نرخ هشدار خطا زیاد باشد، ممکن است با استفاده از کادرهای بازسازی شده، حتی به بردارهای غیر دقیق‌تری نیز برسیم. جدول ۳ نمونه‌ی نتایج به دست آمده در چنین سیستمی (با همان پارامترهای قبلی) را برای ۱۰ کادر از دنباله‌ی Trevor (کادرهای ۲ تا ۱۱) نشان می‌دهد. در اینجا برای تشخیص لگه از روش ساده‌ی شاخص شناسایی ضربه^{۱۲۱}^{۲۸} و برای تصحیح آن از مدل خودبرگشتی^{۱۳۱} AR^{۲۹} سه‌بعدی استفاده کرده‌ایم. از نتایج به دست آمده در جدول ۳ ملاحظه می‌شود که با آنکه اعداد مربوط به نرخ هشدار خطا مطلوب نیست، اما شرایط در مقایسه با حالت قبل بهتر شده است.

نتیجه گیری

همچنین ذکر شد که به کارگیری جستجوی مارپیچی در مرحله اول از یک الگوریتم چنددقتی در صورتی باعث بهبود عملکرد خواهد شد که در مرحله اول، اندازه‌ی بلوک به اندازه‌ی کافی کوچک و محدوده‌ی جستجو به حد کافی بزرگ انتخاب شود. از میان روش‌های مبتنی بر گرادینان، روش AWB مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و معلوم شد که این روش حتی با به کار بردن روش چنددقتی (برای افزایش دقت) نیز نتوانست به دقتی برابر با روش‌های تطبیق بلوکی دست یابد.

برای تصاویر آسیب‌دیده روش‌های پیشنهادی تا حدی زمان را کاهش می‌دهد. در حالت چنددقتی نیز استفاده از آن فقط برای محدوده‌های جستجوی بزرگ، اندازه‌های بلوک کوچک و سطوح آستانه‌ی بالا توصیه می‌شود. برای این تصاویر از میان روش‌های آزمایش شده، روش‌های چنددقتی و به خصوص روش چنددقتی دوم توصیه می‌شود.

در این نوشتار پیشنهاد جدیدی برای رسیدن سریع به دقت دلخواه در روش تطبیق بلوکی بیان شد. در این روش در صورت نیاز تمام فضای جستجو بررسی می‌شود. برای سریع‌تر شدن الگوریتم از روشی برای پیشگویی اولیه‌ی بردارهای حرکت استفاده کرده‌ایم. همچنین به شرح روش‌های مختلف برآورد حرکت و مقایسه‌ی کارایی آنها پرداختیم. عملکرد روش‌های مورد نظر بر روی تصاویر سالم و آسیب‌دیده (دارای لکه) بررسی شد.

نتایج به دست آمده تأثیر استفاده از سطح آستانه برای توقف جستجو را نشان می‌دهد. همچنین برتری روش‌های پیشنهادی نسبت به روش عادی تطبیق بلوکی با انجام آزمایش‌های ارائه شده مشخص شد. در روش چندشبکه نیز در صورت انتخاب مناسب اندازه‌ی بلوک و سطح آستانه می‌توان به نتایج مورد انتظار رسید. در میان روش‌های سلسله‌مراتبی نیز روش چنددقتی دوم برتری بیشتری نشان داد.

پانوش

1. blotch
2. multiresolution
3. Bayes' formula
4. Markov's model
5. simulated annealing
6. block matching methods
7. gradient-based methods
8. Mean Absolute Error (MAE)
9. motion detector
10. hierarchical
11. downsampling
12. multigrid
13. Least Squares (LS)
14. motion prediction
15. Wiener
16. Adaptive Wiener Based (AWB)
17. eigenvalue
18. 2-D logarithmic search
19. coarse-fine three-step search
20. occlusion
21. uncovering
22. Signal-to-Noise Ratio (SNR)
23. bidirectional
24. clique
25. Gibbs sampler
26. Correct Detection Rate (CDR)
27. False Alarm Rate (FAR)
28. Spike Detection Index (SDI)
29. Auto Regressive (AR)

منابع

1. Konrad, J. et al, "Bayesian estimation of motion vector fields", *IEEE Trans. PAMI*, **14**, pp 910-927 (Sept 1992).
2. Morris, R.D. "Image sequence restoration using Gibbs

distributions", Ph.D. Thesis, Cambridge Univ., UK (May 1995).

3. Kokaram, A.C. et al, "Joint detection, interpolation, motion and parameter estimation for image sequences with missing data," In *Proceedings of IEEE International Conf. on Image Processing*, pp 191-194, IEEE (Oct 1997).
4. Shi, Y.Q. et al, *Image and Video Compression for Multimedia Engineering*, CRC Press (1999).
5. Kokaram, A.C. "Motion picture restoration", Ph.D. Thesis, Cambridge Univ., UK (May 1993).
6. Hanjalic, J.A. et al, *Image and Video Databases Restoration, Watermarking and Retrieval*, Elsevier (2000).
7. Kokaram, A.C. "A system for reconstruction of missing data in image sequences using sampled 3D AR models and MRF motion priors", in *Proceedings of European Conf. in Computer Vision*, pp 613-624 (1996).
8. Xu, J.B. et al, "A new prediction model search algorithm for fast block motion estimation", in *Proceedings of IEEE International Conf. on Image Processing*, **3**, pp 610-613 (1997).
9. Zhang, Y.Q. et al, "Predictive block-matching motion estimation for TV coding. II. inter-frame prediction, *IEEE Trans. Broadcasting*, **37**, (3), pp 102-105 (1991).
10. Goh, W.B. et al, "Bi-directional 3D autoregressive model approach to motion picture restoration", in *IEEE ICASSP*, pp 2277-2280 (May 1996).
11. Kalra, S. et al, "Bidirectional Motion Estimation via Vector Propagation", *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology*, **8**, pp 976-987 (Dec 1998).
12. Kokaram, A.C. et al, "Detection of Missing Data in Image Sequences", *IEEE Trans. Image Processing*, **4**, pp 1496-1508 (Nov 1995).
13. Kokaram, A.C. et al, "Interpolation of Missing Data in Image Sequences", *IEEE Trans. Image Processing*, **4**, pp 1509-1519 (Nov 1995).