

الگوریتم انطباق مرزی ترکیبی و سریع برای اختفای خطای زمانی داده‌های ویدئویی

سید مجتبی مروتی‌زاده و حسین قانع‌ی خندان
دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

با وجود روش‌های مقاوم‌سازی داده‌ها در برابر خطا که در طرف فرستنده روی داده‌های ویدئو اعمال می‌شوند، بروز خطا در حین انتقال داده‌های ویدئویی از کانال‌های مخابراتی اجتناب‌ناپذیر است. اختفای خطا، شیوه‌ای مؤثر جهت ارتقای کیفیت ویدئوهای آسیب‌دیده در طرف گیرنده است. در این مقاله، یک الگوریتم انطباق مرزی ترکیبی و سریع جهت تخمین دقیق‌تر بردارهای حرکت آسیب‌دیده ویدئوی دریافتی ارائه می‌شود. الگوریتم پیشنهادی، اختفای خطا را برای هر ماکروبلوک آسیب‌دیده مطابق با فهرست اولویت اختفای خطا انجام می‌دهد. در روش ارائه‌شده، اعوجاج مرزی برای هر پیکسل از هر مرز ماکروبلوک نامزد با استفاده از معیار انطباق مرزی ترکیبی پیشنهادشده محاسبه می‌شود؛ سپس با توجه به صحت هریک از مرزهای مجاور ماکروبلوک آسیب‌دیده، وزن خاصی به آن‌ها در فرایند تطبیق، داده می‌شود. در نهایت، فهرست اولویت اختفای خطا به‌روزرسانی‌شده و بردار حرکت نامزد با کمترین اعوجاج مرزی به‌عنوان بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده انتخاب می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی بدون افزایش قابل ملاحظه‌ی زمان محاسبات، ضمن بهبود کیفیت ویدئوهای بازسازی‌شده، مقدار متوسط PSNR برای دنباله‌های مختلف آزمون بیش از 1/8 dB در مقایسه با روش‌های مرجع افزایش می‌دهد.

واژگان کلیدی: اختفای خطای زمانی، تخمین بردار حرکت، الگوریتم انطباق مرزی ترکیبی، ماکروبلوک.

۱- مقدمه

با توجه به پهنای باند محدود شبکه‌های مخابراتی از قبیل شبکه‌های بی‌سیم و اینترنت، اطلاعات ویدئویی فشرده‌شده، به‌طور گسترده‌ای نسبت به خطاهای ارسال آسیب‌پذیر هستند. به‌منظور جلوگیری از افت کیفیت تصاویر ویدئویی دریافت‌شده در کدگشا، روش‌های گوناگونی پیشنهاد شده‌اند. این روش‌ها اغلب سبب افزایش پهنای باند و یا تأخیر در کدگشایی ویدئوی دریافتی می‌شوند.

اختفای خطا^۱، شیوه‌ای مؤثر به‌منظور تخمین اطلاعات آسیب‌دیده با استفاده از اطلاعات صحیح ویدئوی دریافتی در کدگشا است. استفاده از این روش سبب حفظ بهره مؤثر کدگذاری ویدئو، صرفه‌جویی در مصرف پهنای باند و عدم ایجاد تأخیر در کدگشایی اطلاعات آسیب‌دیده جهت

کاربردهای بی‌درنگ می‌شود. اختفای خطا به سه دسته عمده شامل روش‌های حوزه مکان (ما و همکاران، ۲۰۱۰؛ عاشری و همکاران، ۲۰۱۲؛ سیلیجیانی و همکاران، ۲۰۱۲؛ کیم و همکاران، ۲۰۰۸)، روش‌های حوزه زمان، و روش‌های حوزه فرکانس (پارک و همکاران، ۱۹۹۷) تقسیم می‌شود.

شیوه‌های اختفای خطای مکانی، از افزودنی‌های مکانی بین پیکسل‌های تصویر برای بازسازی ماکروبلوک^۲‌های آسیب‌دیده بهره می‌برند. شیوه‌های اختفای خطای زمانی از افزودنی‌های زمانی بین قاب‌های متوالی برای تخمین بردارهای حرکت^۳ آسیب‌دیده استفاده می‌کنند. شیوه‌های اختفای خطای فرکانسی، از اطلاعات ماکروبلوک‌های مجاور ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده در حوزه فرکانس برای اختفای خطا استفاده می‌کنند. در این مقاله، ما بر روی اختفای

^۲Macroblock

^۳Motion Vector

^۱Error Concealment

خطای زمانی متمرکز شده‌ایم.

ساده‌ترین روش اختفای خطای زمانی، روش جایگزینی زمانی^۱ (هسکل و همکاران، ۱۹۹۲) است. در این روش، تمامی بردارهای حرکت آسیب‌دیده با صفر جایگزین می‌شوند. در این صورت، هر ماکروبلوک آسیب‌دیده در قاب کنونی با ماکروبلوک متناظر مکانی از قاب قبلی جایگزین می‌شود. این روش برای کاربردهای دارای دنباله‌های ویدئویی با نرخ بیت پایین از قبیل کنفرانس‌های ویدئویی و نظارت با مراقبت‌های زمان حقیقی که مقدار حرکت بین قاب‌های متوالی کم است، مناسب می‌باشد. همچنین در (چین و همکاران، ۲۰۱۰) با استفاده از روش جایگزینی زمانی بهبودیافته، یک الگوریتم اختفای خطای اتلاف تمام قابی^۲ ارائه شده است.

روش استفاده از بردار حرکت قبلی (قنبری و همکاران، ۱۹۹۳)، بردار حرکت آسیب‌دیده در قاب کنونی را با بردار حرکت ماکروبلوک متناظر مکانی از قاب قبلی جایگزین می‌کند. در روش‌های استفاده از بردار حرکت میانگین و بردار حرکت میانه (سوح و همکاران، ۱۹۹۷) نیز، بردار حرکت آسیب‌دیده با میانگین یا میانه بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های مجاور مکانی در قاب کنونی تقریب زده می‌شود. در (وازکوئز و همکاران، ۲۰۱۱)، پنج روش اختفای خطای زمانی ساده جهت بازسازی قاب‌های تخریب‌شده تا حد ۵۰٪ توسط دو متریک مشابهت بررسی شده‌اند. روش‌هایی که تاکنون ذکر شد، تنها در کاربردهای خاص عملکرد مطلوبی دارند.

روش درون‌یابی لاگرانژ^۳ (ژنگ و همکاران، ۲۰۰۴)، یک روش ساده و مفید برای بازسازی بلاک‌های 4×4 است. این روش فرض می‌کند که بردار حرکت آسیب‌دیده در محدوده بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های مجاور است. در صورتی که این فرض صحیح نباشد، این روش نتایج نامطلوبی خواهد داشت.

در روش درون‌یابی بردار حرکت (گلکری، ۲۰۰۹)، بردار حرکت هر بلاک 4×4 با درون‌یابی از بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های مجاور، تخمین زده می‌شود. در این روش، فاصله بین بلاک‌های ماکروبلوک‌های مجاور تا بلاک آسیب‌دیده به‌عنوان وزن بردارهای حرکت استفاده می‌شود. الگوریتم مشهور انطباق مرزی کلاسیک^۴ (لام و

همکاران، ۱۹۹۳)، از فرض همواری مکانی بین پیکسل‌های مرزی ماکروبلوک آسیب‌دیده بهره می‌برد. این الگوریتم، بردار حرکت آسیب‌دیده را با کمینه کردن اعوجاج تطبیق مرزی، بین مرزهای داخلی و خارجی ماکروبلوک بازسازی‌شده تخمین می‌زند. هرچند این الگوریتم نتایج مطلوبی دارد، اما تغییرات سریع روشنایی پیکسل‌های مرزی و نیز لبه‌های مایل موجود در این مرزها می‌توانند سبب کاهش کارایی آن شوند. همچنین در (گائو و همکاران، ۲۰۰۴) یک روش پس‌پردازشی با استفاده از فیلتر کالمن^۵ برای افزایش دقت بردارهای حرکت تخمین‌زده‌شده با الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک ارائه شده است.

در الگوریتم بردارهای حرکت مضاعف وزن‌دارشده (آی و همکاران، ۲۰۱۰)، ابتدا دو بردار حرکت بهترین مطابق با معیار انطباق مرزی وزن‌دارشده انتخاب می‌شوند؛ سپس با وزن‌دهی هر یک براساس دقت به‌دست آمده برای آن، بردار حرکت بهینه برای اختفای خطا انتخاب می‌شود. در (مروستی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲)، روشی برای بهبود الگوریتم انطباق مرزی وزن‌دارشده پیشنهاد شده است. در این روش، برای هر یک از بهترین دو ماکروبلوک نامزد به‌دست آمده با معیار انطباق مرزی وزن‌دارشده، مرز با حداکثر اطلاعات لبه‌ای استخراج می‌شود؛ سپس این مرزها با استفاده از روش درون‌یابی دومکعبی تغییر نرخ داده می‌شوند. در نهایت، بردار حرکتی که منجر به حداقل اعوجاج مرزی برای دو ماکروبلوک نامزد بهترین شود، انتخاب می‌شود.

در (هانگ و همکاران، ۲۰۰۶)، یک شیوه اختفای خطای زمانی با استفاده از شبکه عصبی SOM^۶ پیشنهاد شده است. در این شیوه، از شبکه عصبی SOM به‌عنوان یک پیش‌بینی‌کننده برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده شده است. شیوه‌های استفاده از شبکه‌های عصبی GRNN^۷ (قانع‌ی خدان و خادمی، ۱۳۹۰) و CNN^۸ (قانع‌ی خدان، ۲۰۱۳) متناسب با حرکت در نواحی مختلف قاب‌های ویدئو، از پیش‌بینی‌کننده با شبکه‌های عصبی یا الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌کنند.

روش اختفای خطای زمانی مبتنی بر استدلال فازی

^۵Kalman filter

^۶Self-Organizing Map (SOM)

^۷General Regression Neural Network (GRNN)

^۸Competitive Neural Network (CNN)

^۱Temporal replacement

^۲Whole frame loss

^۳Lagrange interpolation

^۴Classic Boundary Matching Algorithm (BMA)

ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده‌ای که دارای لبه‌های مایل در مرزهای خود هستند، دچار مشکل می‌شوند.

در روش انطباق مرزی جهتی^۲ (چن و همکاران، ۲۰۰۸)، ابتدا جهت مقایسه هر پیکسل مرزی ماکروبلوک نامزد از روی دو مرز داخلی ماکروبلوک نامزد در قاب مرجع تعیین می‌شود؛ سپس، هر پیکسل مرزی در جهت تعیین شده با پیکسل مرز خارجی ماکروبلوک آسیب‌دیده مقایسه می‌شود. این روش با فرض همبستگی بالای قاب‌های متوالی، سعی در بهبود تخمین بردار حرکت آسیب‌دیده دارد. الگوریتم انطباق مرزی زمانی جهتی^۳ (سان و همکاران، ۲۰۱۰)، جهت صحیح لبه‌های موجود در مرزها را با مقایسه پیکسل‌های مرزی در سه جهت در قاب مرجع به‌دست می‌آورد؛ سپس بردار حرکت نامزد با کوچک‌ترین اعوجاج مرزی در جهت‌های تعیین شده، برای اختفای خطا استفاده می‌شود. در صورتی که ماکروبلوک‌های نامزد حاصل از مراحل قبلی اختفای خطا و یا دارای تغییرات سریع روشایی پیکسل‌های مرزی در قاب‌های متوالی باشند، این الگوریتم نتایج مطلوبی نخواهد داشت.

در این مقاله برای حل مشکلات روش‌های متداول اختفای خطای زمانی، از یک تابع انطباق مرزی ترکیبی و سریع برای تخمین دقیق‌تر بردار حرکت آسیب‌دیده استفاده می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، از دو معیار انطباق مرزی کلاسیک و انطباق مرز خارجی به‌طور هم‌زمان در تابع تطبیق مرزی استفاده شده است. استفاده هم‌زمان از این دو معیار سبب بهره‌برداری هم‌زمان از همبستگی‌های زمانی و مکانی قاب‌های ویدئو می‌شود. از این‌رو، تصمیم‌گیری جهت انتخاب بهترین بردار حرکت نامزد برای اختفای خطا با دقت بیش‌تری انجام می‌شود. همچنین، ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده در هر قاب بر اساس فهرست اولویت اختفای خطا بازسازی می‌شوند. این فهرست سبب افزایش مشارکت ماکروبلوک‌های مجاور ماکروبلوک آسیب‌دیده در تعیین کمترین اعوجاج مرزی با همسایگان خود می‌شود. در نهایت، الگوریتم پیشنهادی برای هر مرز خارجی ماکروبلوک آسیب‌دیده از ضرایب دقت متفاوت در تابع اعوجاج تطبیق کلی استفاده می‌کند. در نتیجه، الگوریتم پیشنهادی با جلوگیری از اثر گسترش خطا، سبب افزایش دقت در تخمین بردار حرکت آسیب‌دیده می‌شود.

ادامه مقاله به‌صورت زیر سازماندهی شده است. در

(زوفنگ و زوشانگ، ۲۰۱۰)، به‌طور هم‌زمان از دو معیار اعوجاج تطبیق جانبی و جمع تفاضل مطلق برای تخمین بردارهای حرکت آسیب‌دیده استفاده می‌کند. همچنین در (لای و همکاران، ۲۰۰۶)، یک متریک فازی مبتنی بر انتگرال فازی Sugeno به‌عنوان معیاری برای مقایسه بردارهای حرکت نامزد استفاده شده است که با دستگاه بصری انسان سازگارتر است.

در (عراقی و همکاران، ۲۰۱۱)، روشی برای بهینه‌سازی بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده با استفاده از بهترین دو بردار حرکت به‌دست آمده با تابع معیار انطباق مرزی کلاسیک ارائه شده است. همچنین در آن، پیش‌پردازشی برای تعیین مجموعه بهتر از بردارهای حرکت نامزد پیشنهاد شده است. شیوه اختفای خطای زمانی جامع برای H.264/AVC (وانگ، ۲۰۱۱)، به‌طور وقتی از دو حالت زمانی برای تخمین بردار حرکت آسیب‌دیده استفاده می‌کند. در الگوریتم انطباق مرز خارجی^۱ (تاپیانچ و همکاران، ۲۰۰۷) از یک مدل انتقال خطی جهت اختفای خطای ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود. اگرچه این الگوریتم بسیار مشابه با الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک و دارای پیچیدگی به‌طور تقریبی یکسانی است، اما کارایی بهتری نسبت به الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک دارد. همچنین در (تاپیانچ و همکاران، ۲۰۰۸)، شیوه‌های اختفای خطای زمانی با پیچیدگی کم با استفاده از الگوریتم انطباق مرز خارجی برای کاربردهای تلفن همراه بررسی شده است.

در (مروستی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۳)، روشی پویا پیشنهاد شده است که مبتنی بر پیش‌بینی حرکت در منطقه‌ای که ماکروبلوک آسیب‌دیده در آن قرار دارد، از یکی از روش‌های جایگزینی زمانی، استفاده از بردار حرکت مجاور مکانی یا الگوریتم انطباق مرز خارجی وزن‌دار شده استفاده می‌کند.

روشی دیگر، الگوریتم انطباق مرزی زمانی- مکانی است که در (شیانگ و همکاران، ۲۰۱۱) پیشنهاد شده است. این روش، هم‌زمان از دو معیار انطباق مرزی داخلی و خارجی و نیز معیاری برای همواری مرز بلاک آسیب‌دیده (با در نظر گرفتن ضرایب ثابت برای هر کدام) استفاده می‌کند.

اغلب روش‌های اختفای خطای متداول (از قبیل الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک)، تنها از یک جهت برای محاسبه تفاضل مرزی در تابع اعوجاج تطبیق استفاده می‌کنند. به‌همین دلیل، این روش‌ها در تخمین اطلاعات

² Directional Boundary Matching (DBM)

³ Directional Temporal Boundary Matching Algorithm (DTBMA)

¹ Outer Boundary Matching Algorithm (OBMA)

بخش دوم، معیارهای انطباق مرزی استفاده شده در الگوریتم پیشنهادی ارائه می شود. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی تشریح شده است. نتایج تجربی حاصل از پیاده سازی الگوریتم در بخش چهارم و به دنبال آن نتیجه گیری در بخش پنجم خواهد آمد.

۲- معیارهای انطباق مرزی

معیارهای انطباق مرزی^۱ با استفاده از همبستگی های موجود بین پیکسل های یک قاب ویدئو و یا با استفاده از همبستگی زمانی بین قاب های متوالی، سعی در تخمین صحیح بردارهای حرکت آسیب دیده در قاب کنونی را دارند. با توجه به این که در الگوریتم پیشنهادی از معیارهای انطباق مرزی استفاده شده است، در ادامه دو معیار مشهور انطباق مرزی کلاسیک و انطباق مرز خارجی به اختصار شرح داده می شوند.

۲-۱- معیار انطباق مرزی کلاسیک (CBMC)

این معیار، مشابه معیار استفاده شده در الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک است. این الگوریتم بر این فرض که پیکسل های تصویر در تصویر آسیب ندیده همبستگی مکانی بالایی دارند، استوار است. تابع CBMC برای هر مرز ماکرو بلاک آسیب دیده به صورت بردارهای $1 \times S$ با روابط (۱) تا (۴) تعریف می شود.

$$CBMC_{top} = w_{top} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i+n, j-1) - f_{ref}(i+vi+n, j+vj)| \quad (1)$$

$$CBMC_{bottom} = w_{bottom} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i+n, j+S) - f_{ref}(i+vi+n, j+vj+S-1)| \quad (2)$$

$$CBMC_{left} = w_{left} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i-1, j+n) - f_{ref}(i+vi, j+vj+n)| \quad (3)$$

$$CBMC_{right} = w_{right} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i+S, j+n) - f_{ref}(i+vi+S-1, j+vj+n)| \quad (4)$$

در این روابط، (i, j) مختصات پیکسل چپ-بالا در ماکرو بلاک آسیب دیده، $f_{cur}(...)$ نماینده قاب کنونی، $f_{ref}(...)$

نماینده قاب مرجع، $MV(vi, vj)$ نشان دهنده بردار حرکت نامزد و S تعداد پیکسل های موجود در هر مرز است. مرزهای خارجی ماکرو بلاک آسیب دیده و مرزهای داخلی ماکرو بلاک نامزد در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۲- معیار انطباق مرز خارجی (OBMC)

این معیار نیز مشابه با معیار استفاده شده در الگوریتم انطباق مرز خارجی است. این معیار، از قید همواری زمانی و مکانی مرزهای ماکرو بلاک آسیب دیده استفاده می کند. تابع OBMC برای هر مرز ماکرو بلاک آسیب دیده به صورت بردارهای $1 \times S$ با روابط (۵) تا (۸) تعریف می شود.

$$OBMC_{top} = w_{top} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i+n, j-1) - f_{ref}(i+vi+n, j+vj-1)| \quad (5)$$

$$OBMC_{bottom} = w_{bottom} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i+n, j+S) - f_{ref}(i+vi+n, j+vj+S)| \quad (6)$$

$$OBMC_{left} = w_{left} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i-1, j+n) - f_{ref}(i+vi-1, j+vj+n)| \quad (7)$$

$$OBMC_{right} = w_{right} \times \sum_{n=0}^{S-1} |f_{cur}(i+S, j+n) - f_{ref}(i+vi+S, j+vj+n)| \quad (8)$$

این معیار در مواجهه با لبه های اریب در مرزهای ماکرو بلاک آسیب دیده به خوبی عمل می کند؛ ولی در صورتی که قاب های متوالی همبستگی زمانی کمی داشته باشند، کارایی این معیار کاهش می یابد. مرزهای خارجی ماکرو بلاک آسیب دیده و ماکرو بلاک نامزد در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳- الگوریتم اختفای خطای پیشنهادی

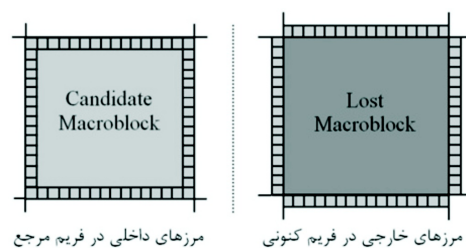
به منظور تمرکز روی موضوع اختفای خطا، در این مقاله فرض شده که موقعیت ماکرو بلاک های آسیب دیده در قاب های ویدئو مشخص است. در (وانگ و ژو، ۱۹۹۸)، برخی از روش های مؤثر برای آشکارسازی خطا در سامانه های

³ Outer Boundary Matching Criterion (OBMC)

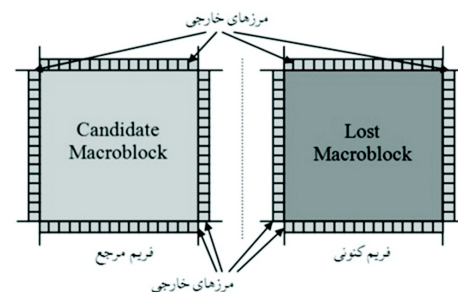
¹ Boundary Matching Criteria

² Classic Boundary Matching Criterion (CBMC)

کدبندی تصویر و ویدئو بررسی شده است. طبق روندنمای الگوریتم پیشنهادی که در شکل (۳) نشان داده شده است، پس از به دست آوردن مختصات ماکرو بلاک های آسیب دیده در قاب کنونی، فهرست اولویت اختفای خطای ماکرو بلاک های آسیب دیده تعیین می شود. چگونگی تعیین این فهرست، در زیربخش ۳-۱ تشریح شده است؛ سپس، یکی از ماکرو بلاک های آسیب دیده با بیشترین اولویت انتخاب شده و بردارهای حرکت ماکرو بلاک های بالا، پایین، چپ و راست ماکرو بلاک آسیب دیده و نیز بردار حرکت متناظر بردار حرکت آسیب دیده انتخابی، از قاب قبلی استخراج می شوند. جهت بالابردن دقت روش پیشنهادی، هریک از بردارهای حرکت نامزد در صورتی که آسیب دیده باشند، از مجموعه بردارهای حرکت حذف می شوند.



(شکل-۱): تشریح مناطق مرزی مورد استفاده در CBMC



(شکل-۲): تشریح مرزهای خارجی مورد استفاده در OBMC

مجموعه بردارهای حرکت (در صورت سالم بودن تمامی بردارهای حرکت مجاور) به صورت بردار حرکت صفر، بردارهای حرکت همسایه، بردار حرکت میانگین و بردار حرکت میانه بردارهای حرکت همسایه و نیز بردار حرکت ماکروبلاک متناظر با ماکروبلاک آسیب دیده از قاب قبلی در نظر گرفته می شوند.

الگوریتم پیشنهادی متناسب با دقت هر یک از مرزهای ماکرو بلاک‌های مجاور مکانی، به هر یک از آنها وزن خاص، می‌دهد که چگونه، آن در زیربخش ۳-۲ شرح داده

$$HBMC \text{ position} = \sum (\min \text{ of column } [GBMC \text{ position}])$$

$$\text{position} \in \text{top, bottom, left, right}$$

(۱۰)

در نهایت، مقدار اعوجاج تطبیق نهایی برای هر ماکروبلوک نامزد به صورت رابطه (۱۱) محاسبه می شود.

$$HBMC \text{ Candidate } MB(z) = (w_{top} \times HBMC_{top})$$

$$+ (w_{bottom} \times HBMC_{bottom})$$

$$+ (w_{left} \times HBMC_{left})$$

$$+ (w_{right} \times HBMC_{right})$$

(۱۱)

در این رابطه، z تعداد ماکروبلوک های نامزد و w ضریب دقت برای هر مرز است. این ضریب، زمانی که ماکروبلوک مجاور به طور کامل سالم است برابر یک، زمانی که ماکروبلوک مجاور حاصل از اختفای خطا در مراحل قبلی است، برابر با ۰/۵ و زمانی که ماکروبلوک مجاور آسیب دیده، برابر صفر است. این وزن دهی سبب حذف مرزهای ماکروبلوک های آسیب دیده مجاور و اهمیت بیش تر دادن به مرزهای با اطلاعات مطمئن تر در فرایند تطبیق پیکسل های مرزی (به صورت فوقی) برای هر ماکروبلوک نامزد می شود. در نهایت، بردار حرکت نامزدی که سبب کوچک ترین مقدار تابع اعوجاج تطبیق ترکیبی شود، به عنوان بردار حرکت ماکروبلوک آسیب دیده انتخاب می شود.

۴- نتایج پیاده سازی الگوریتم پیشنهادی

فرمت های ویدئویی دیجیتال استاندارد مطابق با کاربردهای مختلف، دارای ویژگی های متنوعی در حجم داده، تعداد قاب در ثانیه، نرخ بیت ویدئو و وضوح تصویر هستند. از جمله فرمت های متداول ویدئوی دیجیتال، فرمت های CIF^۳ و QCIF^۴ هستند که در کاربردهایی از قبیل کنفرانس های ویدئویی و تلفن های تصویری مورد استفاده قرار می گیرند. به منظور پیاده سازی روش پیشنهادی، از دنباله های آزمون "Bus"، "Mother-daughter" و "Foreman" با وضوح CIF (۳۵۲×۲۸۸) پیکسل در هر قاب و "Walk"، "Mother-daughter" و "Bridge-close" با وضوح QCIF (۱۷۶×۱۴۴) پیکسل در هر قاب استفاده شد. همچنین، اختفای خطا تنها

۳-۱- تعیین فهرست اولویت اختفای خطا

همان گونه که ذکر شد، الگوریتم پیشنهادی برای ماکروبلوک های آسیب دیده موجود در هر قاب، فهرست اولویت اختفای خطایی را تعیین و پس از اختفای خطای هر ماکروبلوک آسیب دیده، آن را به روزرسانی می کند. پس از به دست آوردن مختصات ماکروبلوک های آسیب دیده در قاب کنونی، تعداد ماکروبلوک های مجاور مکانی سالم برای هر ماکروبلوک آسیب دیده تعیین می شود. در این صورت، متناسب با این تعداد، فهرست اولویت اختفای خطای ماکروبلوک های آسیب دیده قاب کنونی تعیین می شود. در این فهرست، به ماکروبلوک های آسیب دیده ای که دارای مرزهای صحیح بیشتری باشند، اولویت بالاتری داده می شود. با استفاده از این فهرست، در هر مرحله، ماکروبلوک با اولویت بالاتر جهت اختفای خطا انتخاب می شود و پس از اختفای خطای هر ماکروبلوک آسیب دیده، این فهرست به روزرسانی می شود. این به روزرسانی شامل حذف ماکروبلوک مخفی شده و تعداد همسایگان آن و اضافه کردن یک همسایه به ماکروبلوک های مجاور مکانی در صورت آسیب دیده بودن آنها می شود.

۳-۲- معیار انطباق مرزی ترکیبی (HBMC)

الگوریتم پیشنهادی، از دو معیار انطباق مرزی شرح داده شده به صورت ترکیبی استفاده می کند. این معیار سعی دارد تا کوچک ترین مقدار تابع تطبیق مرزی را به ازای هر پیکسل مرزی ماکروبلوک نامزد، بدون افزایش چشم گیر در پیچیدگی محاسباتی به دست آورد.

در این معیار، ابتدا هردو بردار اعوجاج تطبیق برای CBMC و OBMC به ازای هر مرز ماکروبلوک نامزد محاسبه می شوند؛ سپس برای هریک از این مرزها، ماتریس GBMC^۲ با ابعاد ۸×۲ (شامل بردارهای CBMC و OBMC) به صورت رابطه (۹) تشکیل می شود؛

$$GBMC \text{ position} = \begin{bmatrix} CBMC \text{ position} \\ OBMC \text{ position} \end{bmatrix}$$

$$\text{position} \in \text{top, bottom, left, right}$$

(۹)

سپس، مقدار اعوجاج مرزی ترکیبی (HBMC) برای هریک از مرزهای ماکروبلوک نامزد به صورت رابطه (۱۰) به دست می آید.

^۳Common Intermediate Format (CIF)

^۴Quarter CIF (QCIF)

^۱ Hybrid Boundary Matching Criterion (HBMC)

^۲General Boundary Matching Criterion (GBMC)

مقایسه با روش‌های دیگر برای تخمین بردارهای حرکت آسیب‌دیده است.

برای بررسی کیفیت و پیچیدگی زمانی روش‌های مختلف اختفای خطا، از یک سامانه مشابه (Core-i5, 2.4 GHz) با ویندوز 7، RAM-4G و نرم‌افزار MATLAB 2010 استفاده شده است. مقادیر متوسط زمان بازسازی هر ماکروبلوک برای دنباله‌های آزمون CIF و QCIF در نرخ اتلاف ماکروبلوک ۱۰٪ در هر قاب، در جدول (۲) آمده است. همچنین، در شکل‌های (۴) و (۵) مقادیر متوسط PSNR به‌ترتیب برای دنباله‌های آزمون CIF و QCIF به‌ازای هر قاب نشان داده شده است.

نتایج تجربی به‌دست‌آمده از شکل (۴) نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی مقدار PSNR را در برخی از قاب‌های دنباله‌های آزمون CIF، به‌ترتیب حدود ۳/۴۳، ۳/۴۵، ۳/۲۰ و ۲/۸۳ دسی‌بل در مقایسه با روش‌های BMA، DBM، DTBMA و OBMA افزایش می‌دهد. همچنین با توجه به شکل (۵)، الگوریتم پیشنهادی مقدار PSNR را در برخی از قاب‌های دنباله‌های آزمون QCIF در مقایسه با روش‌های BMA، DBM، DTBMA و OBMA به‌ترتیب حدود ۶/۵۸، ۵/۲۱ و ۵/۳۹ دسی‌بل افزایش می‌دهد.

شکل (۶-الف) یک قاب بدون خطا (قاب ۱۹) از دنباله آزمون Bus با وضوح CIF و شکل (۶-ب) قاب تخریب‌شده آن با نرخ متوسط اتلاف ۲۰٪ برای ماکروبلوک‌ها را نشان می‌دهد. قاب‌های بازسازی‌شده با روش‌های BMA، DBM، DTBMA، OBMA و الگوریتم پیشنهادی به‌ترتیب در شکل‌های (۶-ج) تا (۶-ز) نشان داده شده‌اند. همچنین، شکل (۷-الف) یک قاب بدون خطا (قاب ۶۱) از دنباله آزمون Walk با وضوح QCIF و شکل (۷-ب) قاب تخریب‌شده آن با نرخ متوسط اتلاف ۲۰٪ برای ماکروبلوک‌ها را نشان می‌دهد. قاب‌های بازسازی‌شده با روش‌های BMA، DBM، DTBMA، OBMA و الگوریتم پیشنهادی به‌ترتیب در شکل‌های (۷-ج) تا (۷-ز) نشان داده شده‌اند (دایره‌های قرمز رنگ جهت مقایسه کیفیت عینی روش‌ها رسم شده‌اند). همان‌طور که از شکل‌های (۶) و (۷) مشاهده می‌شود، الگوریتم پیشنهادی علاوه‌بر افزایش کیفیت عینی قاب‌های ویدئویی بازسازی‌شده، سبب افزایش کیفیت ذهنی آنها نیز شده است.

با استفاده از مؤلفه روشنایی هر قاب از دنباله‌های آزمون انجام شد. دنباله‌های ویدئویی در فرمت ۴:۲:۰ کدگذاری شده و اندازه هر ماکروبلوک برای مؤلفه روشنایی در هر قاب ۱۶×۱۶ پیکسل در نظر گرفته شد. جهت محاسبه بردارهای حرکت از الگوریتم تطبیق بلاک^۱ (بارجاتیبا، ۲۰۰۴) با جستجوی کامل^۲ و پارامتر جستجوی $p=7$ استفاده شد. خطا در قاب‌های ویدئو برای مؤلفه روشنایی به‌طور تصادفی و با نرخ‌های اتلاف ماکروبلوک برابر با ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ در هر قاب ایجاد شد.

جهت ارزیابی، الگوریتم پیشنهادی با روش‌های انطباق مرزی جهتی (DBM)، الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک (BMA)، الگوریتم انطباق مرزی زمانی جهتی (DTBMA) و الگوریتم انطباق مرز خارجی (OBMA) مقایسه شد. برای افزایش دقت نتایج، پیاده‌سازی برای هر روش بیست مرتبه تکرار و از میانگین نتایج حاصل، به‌عنوان نتیجه نهایی استفاده شد. مقادیر متوسط PSNR^۳ روشنایی برای سی قاب از دنباله‌های CIF و هشتاد قاب از دنباله‌های QCIF در جدول (۱) آمده است. در این جدول علاوه‌بر مقایسه روش‌های ذکرشده، مقادیر PSNR برای دنباله‌های آسیب‌دیده (Damaged Video) و دنباله‌های بدون خطای دریافتی (Error Free) نیز آمده است.

مطابق با جدول (۱)، الگوریتم پیشنهادی متوسط PSNR بیش‌تری را در هر دو وضوح CIF و QCIF نسبت به روش‌های BMA، DBM، DTBMA و OBMA به‌دست آورده است. از نتایج دنباله‌های با وضوح CIF جدول (۱) مشاهده می‌شود، که الگوریتم پیشنهادی، متوسط PSNR را نسبت به روش‌های BMA، DBM، DTBMA و OBMA به‌ترتیب تا حد ۱/۶۹۸۳، ۱/۷۴۴۶، ۱/۵۱۹۱ و ۱/۳۱۵۷ دسی‌بل^۴ افزایش داده است. همچنین از نتایج دنباله‌های با وضوح QCIF در جدول (۱) مشاهده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی، متوسط PSNR را نسبت به روش‌های BMA، DBM، DTBMA و OBMA به‌ترتیب تا حد ۱/۸۷۷۷، ۱/۷۹۴۲، ۱/۴۴۸۶ و ۱/۳۰۵۵ دسی‌بل افزایش داده است. نزدیکی نتایج به‌دست آمده از الگوریتم پیشنهادی و مقادیر PSNR دنباله‌های بدون خطای دریافتی در جدول (۱)، نشان‌دهنده افزایش دقت قابل قبول الگوریتم پیشنهادی در

^۱Block Matching Algorithm

^۲Exhaustive search

^۳Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

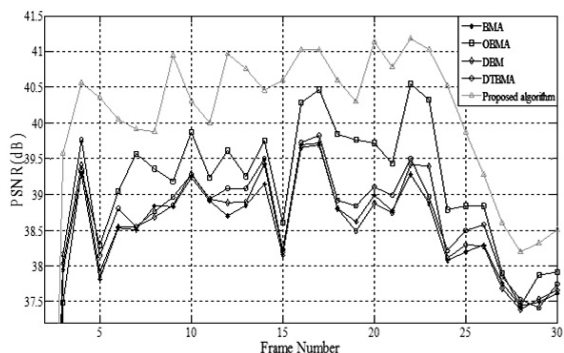
^۴dB

(جدول - ۱): نتایج متوسط PSNR (dB) برای دنباله‌های ویدئویی مختلف

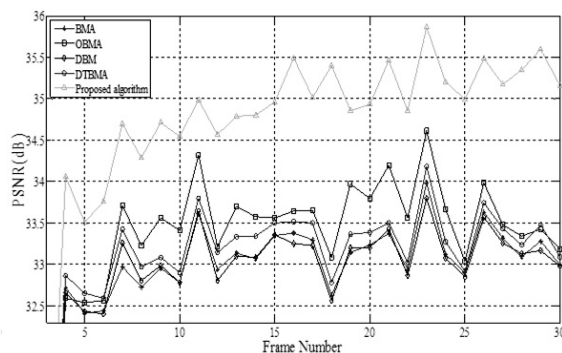
وضوح ویدئو	دنباله ویدئو	روش	متوسط PSNR به ازای نرخ اتلاف ماکرو بلاک		
			٪۵	٪۱۰	٪۲۰
CIF	Bus	Damaged Video	۲۰/۱۸۳۹	۱۷/۰۷۵۲	۱۳/۸۸۷۷
		Error Free	۴۰/۵۱۷۸	۳۷/۸۹۶۷	۳۴/۷۴۰۲
		BMA	۳۸/۴۱۵۵	۳۵/۶۱۴۷	۳۲/۲۸۹۲
		DBM	۳۸/۳۵۸۵	۳۵/۵۶۸۴	۳۲/۲۶۶۳
		DTBMA	۳۸/۷۲۰۳	۳۵/۸۰۵۶	۳۲/۴۴۵۳
		OBMA	۳۹/۱۱۴۰	۳۶/۰۹۰۳	۳۲/۶۴۸۷
		Proposed Method	۴۰/۰۵۳۶	۳۷/۳۱۳۰	۳۳/۹۶۴۴
	Mother-daughter	Damaged Video	۱۸/۹۱۹۵	۱۶/۰۶۲۶	۱۳/۲۳۸۶
		Error Free	۴۴/۵۳۸۲	۴۲/۰۶۵۱	۳۹/۳۴۲۱
		BMA	۴۳/۱۵۲۲	۴۰/۶۰۳۷	۳۷/۶۲۲۳
		DBM	۴۳/۲۴۷۹	۴۰/۶۶۰۴	۳۷/۶۶۴۲
		DTBMA	۴۳/۳۱۸۶	۴۰/۷۶۲۵	۳۷/۷۷۶۸
		OBMA	۴۳/۶۶۰۳	۴۱/۱۲۲۹	۳۸/۱۲۳۴
		Proposed Method	۴۴/۳۱۲۴	۴۱/۸۷۸۷	۳۹/۱۱۸۹
	Foreman	Damaged Video	۱۸/۲۵۸۲	۱۵/۲۲۲۲	۱۲/۱۹۶۲
		Error Free	۴۲/۹۶۹۳	۴۰/۴۴۴۳	۳۷/۴۸۵۰
		BMA	۴۱/۱۲۹۹	۳۸/۶۴۱۷	۳۵/۵۳۴۰
		DBM	۴۱/۲۸۹۴	۳۸/۸۱۸۲	۳۵/۶۸۶۹
		DTBMA	۴۱/۵۱۰۱	۳۹/۰۰۷۰	۳۵/۸۶۸۴
		OBMA	۴۱/۸۸۰۹	۳۹/۳۲۱۴	۳۵/۹۴۶۰
		Proposed Method	۴۲/۲۶۴۲	۳۹/۶۶۲۷	۳۶/۵۸۱۹
QCIF	Walk	Damaged Video	۲۰/۹۸۴۲	۱۶/۶۰۹۱	۱۳/۴۳۹۷
		Error Free	۵۰/۸۳۴۴	۴۵/۷۷۷۳	۴۱/۱۴۵۲
		BMA	۴۹/۱۱۲۸	۴۳/۶۹۷۱	۳۸/۷۲۳۵
		DBM	۴۹/۰۷۸۸	۴۳/۷۲۵۸	۳۸/۷۴۹۴
		DTBMA	۴۹/۱۹۸۲	۴۳/۸۹۴۸	۳۸/۹۰۵۸
		OBMA	۴۹/۳۴۸۲	۴۴/۰۶۴۹	۳۹/۰۴۸۹
		Proposed Method	۵۰/۳۱۲۲	۴۵/۲۳۴۵	۴۰/۳۵۴۴
	Mother-daughter	Damaged Video	۲۰/۳۸۶۸	۱۶/۷۵۱۷	۱۳/۶۳۶۳
		Error Free	۶۲/۱۸۵۴	۵۶/۱۸۳۶	۵۱/۹۵۴۱
		BMA	۶۰/۲۶۸۹	۵۴/۹۶۰۱	۵۰/۴۲۳۶
		DBM	۶۰/۳۵۲۴	۵۴/۹۶۲۱	۵۰/۴۵۹۵
		DTBMA	۶۰/۷۵۵۰	۵۵/۲۵۷۰	۵۰/۷۶۱۰
		OBMA	۶۰/۹۴۱۷	۵۵/۵۰۷۳	۵۰/۹۶۶۶
		Proposed Method	۶۲/۱۴۶۶	۵۶/۰۴۵۹	۵۱/۷۲۵۳
	Bridge-close	Damaged Video	۱۹/۴۷۰۶	۱۵/۶۱۱۵	۱۲/۳۸۴۶
		Error Free	۴۹/۹۸۷۱	۴۷/۰۵۱۰	۴۳/۴۶۳۴
		BMA	۴۹/۳۵۷۹	۴۶/۳۷۶۷	۴۲/۵۰۶۷
		DBM	۴۹/۳۱۷۰	۴۶/۳۵۰۷	۴۲/۴۵۵۷
		DTBMA	۴۹/۴۰۸۰	۴۶/۳۸۹۸	۴۲/۵۷۷۲
		OBMA	۴۹/۴۳۰۸	۴۶/۶۶۴۱	۴۲/۷۹۴۹
		Proposed Method	۴۹/۹۸۰۷	۴۷/۰۴۰۱	۴۳/۳۵۳۵

(جدول-۲): مقایسه متوسط زمان (msec) بازسازی هر ماکرو بلاک برای متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک ۱۰٪ در هر قاب

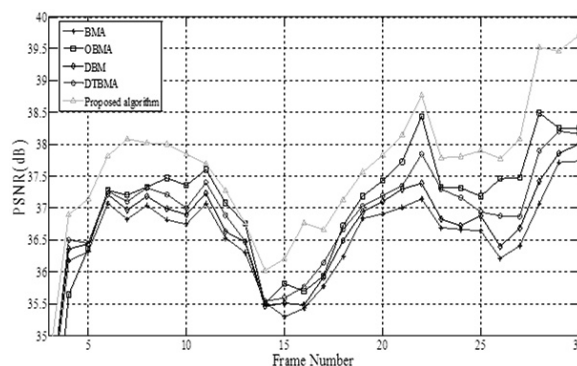
وضوح ویدئو	دنباله ویدئو	روش‌های اختفای خطا				
		BMA	DBM	DTBMA	OBMA	Proposed Method
CIF	Bus	۲/۵۲۳۳	۳/۰۹۳۰	۳/۱۲۷۵	۲/۵۲۷۹	۳/۱۵۹۳
	Mother-daughter	۲/۵۳۳۲	۳/۰۹۶۸	۳/۱۳۲۳	۲/۵۳۱۷	۳/۲۱۱۷
	Foreman	۲/۶۰۹۱	۳/۱۲۲۷	۳/۱۵۹۲	۲/۵۹۲۲	۳/۱۸۰۶
QCIF	Walk	۴/۸۲۳۹	۵/۳۶۵۱	۵/۴۵۲۹	۴/۷۸۶۱	۵/۲۶۱۹
	Mother-daughter	۵/۳۰۳۵	۵/۸۶۱۵	۵/۸۳۱۶	۵/۳۰۴۲	۵/۷۱۴۴
	Bridge-close	۵/۱۵۹۷	۵/۶۰۱۹	۵/۶۳۹۶	۵/۱۷۲۲	۵/۵۴۴۸



(ب)



(الف)



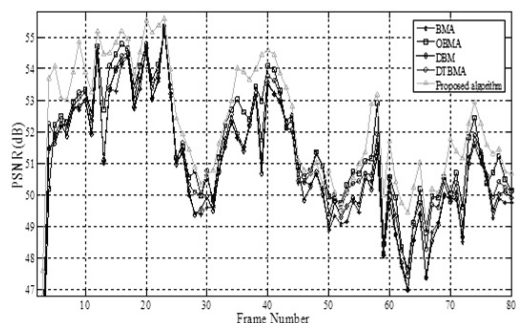
(ج)

(شکل-۴): مقادیر PSNR برای قاب‌های دنباله‌های آزمون با وضوح CIF.

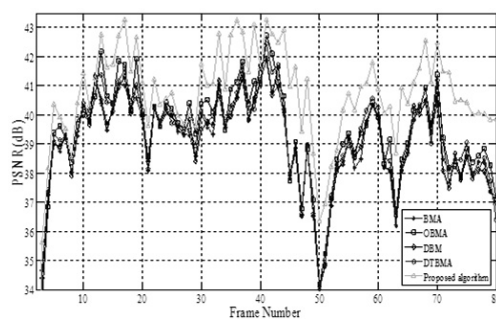
الف: Bus، ب: Mother-daughter، ج: Foreman (متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک‌ها ۲۰٪ است).

خواهد بود تا از حداکثر اطلاعات موجود در مرزها جهت تطبیق بهترین ماکرو بلاک نامزد بهره‌مند شود. در نتیجه، معیار انطباق مرزی ترکیبی، سبب می‌شود که الگوریتم پیشنهادی حتی از کوچک‌ترین شباهت‌های ماکرو بلاک‌های نامزد در تخمین بردار حرکت آسیب‌دیده استفاده کند. بنابراین (مطابق با نتایج جدول (۱)) بردارهای حرکت تخمین‌زده‌شده توسط الگوریتم پیشنهادی تا حد زیادی به بردارهای حرکت اصلی شبیه خواهند بود.

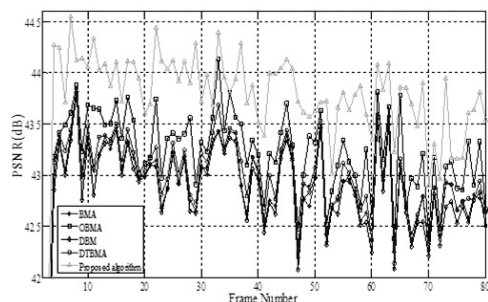
الگوریتم پیشنهادی با استفاده از معیار انطباق مرزی ترکیبی، قادر است تا به صورت هم‌زمان از افزونگی‌های زمانی و مکانی موجود در قاب‌های متوالی استفاده کند. این معیار سبب می‌شود تا برای هر پیکسل از هر مرز ماکرو بلاک‌های نامزد، بهترین تطبیق مرزی صورت گیرد. همچنین، الگوریتم پیشنهادی با استفاده از این معیار قادر خواهد بود تا برای هر مرز از هر ماکرو بلاک نامزد به دفعات مورد نیاز از معیار انطباق مرزی کلاسیک و معیار انطباق مرز خارجی استفاده کند؛ در این صورت، هر مرز از ماکرو بلاک آسیب‌دیده قادر



(ب)

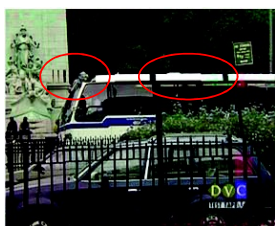


(الف)



(ج)

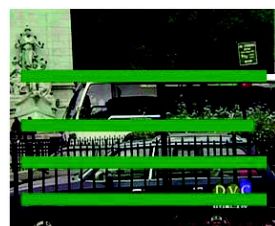
(شکل - ۵): مقادیر PSNR برای قاب‌های دنباله‌های آزمون با وضوح QCIF، الف: Walk، ب: Mother-daughter، ج: Bridge-close (متوسط نرخ اتلاف ۲۰٪ است).



(د)



(ج)



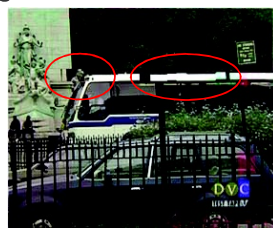
(ب)



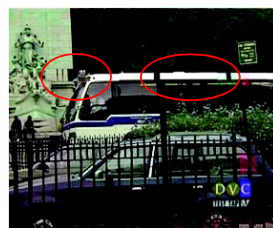
(الف)



(ز)

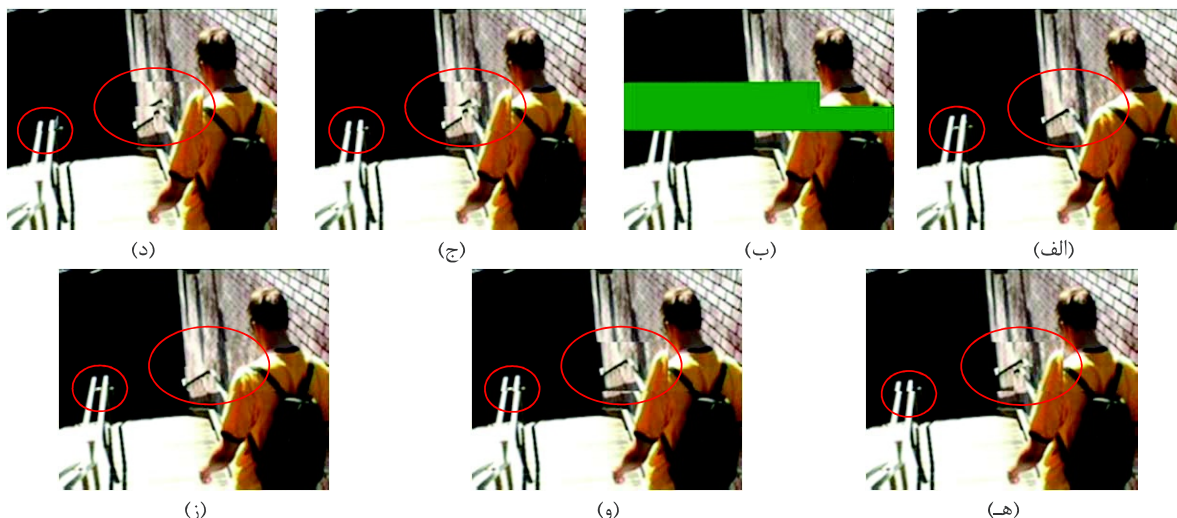


(و)



(هـ)

(شکل - ۶): مقایسه کیفیت بصری برای قاب ۱۹ دنباله آزمون Bus با وضوح CIF و میانگین نرخ اتلاف ۲۰٪، الف: تصویر اصلی، ب: تصویر تخریب شده، ج: تصویر بازسازی شده با BMA، د: تصویر بازسازی شده با DBM، هـ: تصویر بازسازی شده با DTBMA، و: تصویر بازسازی شده با OBMA، ز: تصویر بازسازی شده با الگوریتم پیشنهادی



(شکل - ۷): مقایسه کیفیت بصری برای قاب ۶۱ دنباله آزمون Walk با وضوح QCIF و میانگین نرخ اتلاف ۲۰٪: الف: تصویر اصلی، ب: تصویر تخریب شده، ج: تصویر بازسازی شده با BMA، د: تصویر بازسازی شده با DBM، ه: تصویر بازسازی شده با DTBMA، و: تصویر بازسازی شده با OBMA. ز: تصویر بازسازی شده با الگوریتم پیشنهادی

می‌شود. همچنین با تعیین فهرست اولویت اختفای خطا، ماکروبلک‌های آسیب‌دیده به ترتیب اولویت بازسازی می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که تعداد مرزهای موجود برای ماکروبلک‌های آسیب‌دیده با تعداد مرز کمتر افزایش یافته و بردار حرکت آسیب‌دیده آن‌ها با دقت بالاتری تخمین زده شود. همچنین، الگوریتم پیشنهادی با تعیین وزن برای مرزهای خارجی ماکروبلک‌های آسیب‌دیده سبب افزایش دقت تخمین بردار حرکت و کاهش اثر گسترش خطا در قاب‌های بعدی می‌شود. نتایج تجربی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی بدون افزایش قابل ملاحظه زمان محاسبات، ضمن بهبود کیفیت ویدئوهای بازسازی شده، مقدار متوسط PSNR برای دنباله‌های مختلف آزمون بیش از ۱/۸ dB در مقایسه با روش‌های مرجع افزایش می‌دهد.

۶- مراجع

قانع‌ی یخدان حسین، خادمی مرتضی، ۱۳۹۰، "روشی جدید برای اختفای خطای زمانی برای دنباله‌های ویدئویی با استفاده از شبکه عصبی GRNN"، نوزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، صفحه ۲۷۶۹-۲۷۶۴.

مروستی‌زاده سید مجتبی، قانع‌ی یخدان حسین، کسایی شهره، ۱۳۹۲، "بهبود الگوریتم انطباق مرزی وزن‌دار شده برای اختفای خطای زمانی دنباله‌های ویدئویی"، هشتمین

به‌علت امکان محاسبه ماتریسی تابع اعوجاج مرزی هر مرز ماکروبلک‌های نامزد، پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی (مطابق با نتایج جدول (۲)) افزایش قابل ملاحظه‌ای ندارد که سبب مناسب بودن این الگوریتم برای کاربردهای بی‌درنگ می‌شود. همچنین فهرست اولویت اختفای خطا، امکان اختفای خطای غیر ترتیبی را به الگوریتم پیشنهادی می‌دهد. این فهرست به ماکروبلک‌های آسیب‌دیده با تعداد مرزهای مجاور کمتر (هنگامی که چندین ماکروبلک آسیب‌دیده در مجاورت یکدیگر قرار دارند) اجازه می‌دهد تا تعداد مرزهای خود را افزایش دهند. در این صورت، فرایند انطباق مرزی برای این ماکروبلک‌ها با صحت بالاتری انجام می‌شود. بنابراین، استفاده از فهرست اولویت اختفای خطا برای ماکروبلک‌های آسیب‌دیده و نیز استفاده از وزن خاص در تابع تطبیق اعوجاج ترکیبی آن، سبب افزایش دقت و کاهش اثر گسترش خطا در قاب‌های بعدی می‌شوند.

۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله، یک الگوریتم انطباق مرزی ترکیبی و سریع برای تخمین دقیق‌تر بردارهای حرکت آسیب‌دیده پیشنهاد شد. الگوریتم پیشنهادی، از تابع انطباق مرزی ترکیبی در مقایسه ماکروبلک‌های نامزد استفاده می‌کند. این معیار سبب استفاده هم‌زمان از هر دو معیار انطباق مرزی کلاسیک و خارجی برای هر پیکسل از هر مرز ماکروبلک‌های نامزد

Lai Ch., Hao Ch., and Shen X., 2006, "Temporal error concealment algorithm using fuzzy metric", Int. Conf. Intelligent Computing (ICIC), Vol. 4114, pp. 171-176.

Lam W.M., Reibman A., and Liu R.B., 1993, "Recovery of lost or erroneously received motion vectors", IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 5, pp. 417-420.

Ma M., Gary Chan S.H., and Sun M.T., 2010, "Edge-directed error concealment", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 20, No. 3, pp. 382-395.

Marvasti-Zadeh S.M., Ghanei-Yakhdan H., and Kasaei S., 2013, "Dynamic temporal error concealment for video data in error-prone environments", 8th Iranian Conf. Machine Vision & Image Processing (MVIP), pp. 729-733.

Park J.W., Kim J.W., and Lee S.U., 1997, "DCT coefficients recovery-based error concealment technique and its application to the MPEG-2 bit stream error", IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., Vol. 7, pp. 845-854.

Suh J.W., and Ho Y.S., 1997, "Error concealment based on directional interpolation", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 43, No. 3, pp. 295-302.

Sun Y., Sun S., Jing X., and Zhao L., 2010, "A directional temporal error concealment algorithm for H.264", 2nd IEEE Int. Conf. Network Infrastructure and Digital Content, pp. 275-279.

Thaipanich T., Wu P.H., and Jay Kuo C.C., 2007, "Video error concealment with outer and inner boundary matching algorithms", Proceedings of the SPIE, Vol. 6696, pp. 6696-6707.

Thaipanich T., Wu P.H., and Jay Kuo C.C., 2008, "low-complexity video error concealment for mobile applications using OBMA", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 54, No. 2, pp. 753-761.

Tsiligianni E., Kondi L.P., and Katsaggelos A.K., 2012, "Shape error concealment based on a shape-preserving boundary approximation", IEEE Trans. Image Processing, Vol. 21, No. 8, pp. 3573-3585.

Vazquez M.G., Garcia-Ramirez A.F., and Ramirez-Acosta A.A., 1997, "Image processing for error concealment", 10th Mexican Int. Conf. Artificial Intelligence (MICAI), pp. 133-138.

Wang C.C., Chuang C.Y., Fu K.R., and Lin S.D., 2011, "An integrated temporal error concealment for H.264/AVC based on spatial evaluation criteria", Journal of Visual Communication and Image Representation (JVCIR), Vol. 22, No. 6, pp. 522-528.

Wang Y., and Zhu Q.F., 1998, "Error control and concealment for video communication: A review", IEEE, Vol. 86, No. 5, pp. 974-997.

Xiang Y., Feng L., Xie S., and Zhou Zh., 2011, "An efficient spatio-temporal boundary matching algo-

کنفرانس ماشین بینایی و پردازش تصویر ایران، صفحه ۲۳۰-۲۲۶.

Ai M., and Jiang Q., 2010, "Weighted motion vectors of double candidate blocks based temporal error concealment method for video transmission over wireless network", Int. Conf. Educational and Network Technology (ICENT), pp. 478-481.

Araghi A., AgahianPanahi M., and Kasaei S., 2011, "Error concealment using wide motion vector space for H.264-AVC", 19th Iranian Conf. Electrical Engineering (ICEE), pp. 2898-2930.

Asheri H., Rabiee H.R., Pourdamghani N., and Ghanbari M., 2012, "Multi-directional spatial error concealment using adaptive edge thresholding", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 58, No. 3, pp. 880-885.

Barjatya A., 2004, "Block matching algorithms for motion estimation", Final Project Paper, DIP 6620, pp. 1-6.

Chen X., Chung Y., and Bae C., 2008, "Dynamic multi-mode switching error concealment algorithm for H.264/AVC video applications", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 54, No. 1, pp. 683-695.

Chien J., Li G., and Chen M., 2010, "Effective error concealment algorithm of whole frame loss for H.264 video coding standard by recursive motion vector refinement", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 56, No. 3, pp. 1689-1698.

Gao Z., and Lie W., 2004, "Video error concealment by using kalman-filtering technique", IEEE Int. Symp. Circuits and Systems, pp. 69-72.

Ghanbari M., and Seferidis V., 1993, "Cell-loss concealment in ATM video codecs", IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 3, No.3, pp. 238-247.

Ghanei-Yakhdan H., 2013, "A novel dynamic temporal error concealment technique for video sequences using a competitive neural network", 1st Iranian Conf. Pattern Recognition and Image Analysis, pp. 843-847.

Haskell P., and Messerschmitt D., 1992, "Resynchronization of motion compensated video affected by ATM cell loss", IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 3, pp. 545-548.

Huang Y.L., and Lien H.Y., 2006, "Temporal error concealment for MPEG-4 coded video using a self-organizing map", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 52, No. 3, pp. 676-681.

Kim M., Lee H., and Sull S., 2008, "Spatial error concealment for H.264 using sequential directional interpolation", IEEE Trans. Consumer Electronics, Vol. 54, No. 4, pp. 1811-1818.

Kolkeri V.S., 2009, "Error concealment techniques in H.264/AVC for video transmission over wireless networks", M.Sc. Thesis, University of Texas.

مخابرات دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه یزد است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان، پردازش تصاویر ثابت و متحرک (ویدئو)، کدبندی مقاوم داده‌های ویدئویی، اختفای خطای داده‌های تصویری و واترمارکینگ تصاویر دیجیتال است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:

hghaneiy@yazd.ac.ir

ithm for video error concealment", Multimedia Tools and Applications Journal, Vol. 52, No. 1, pp. 91-103.

Xuefeng Zh., and Xiuchang Zh., 2010, "A novel temporal error concealment method based on fuzzy reasoning for H.264", Journal of Electronics (China), Vol. 27, No. 2, pp. 197-205.

Zheng J., and Chau L.P., 2004, "A temporal error concealment algorithm for H.264 using Lagrange interpolation", Int. Symp. Circuits and Systems (ISCAS), Vol. 2, pp. 133-136.

سید مجتبی مروسستی‌زاده



مدارک کاردانی و کارشناسی خود را به ترتیب در رشته الکترونیک و مهندسی تکنولوژی الکترونیک از دانشکده فنی امام علی (ع) یزد و دانشگاه علم و هنر هر دو با احراز

فارغ التحصیل رتبه نخست در سال‌های ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ اخذ کرد. ایشان در سال ۱۳۹۲ مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق مخابرات (سیستم) از دانشگاه یزد اخذ کرده و هم‌اکنون دانشجوی دکترای رشته مهندسی برق مخابرات (سیستم) در دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه یزد هستند. همچنین، ایشان در سال ۱۳۹۳ به‌عنوان دانشجوی پژوهش‌گر نمونه دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه یزد برگزیده شدند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش ویدئو، پردازش تصویر، اختفای خطای داده‌های ویدئویی، بینایی ماشین و مخابرات چندرسانه‌ای است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:

mojtaba.marvasti@stu.yazd.ac.ir

حسین قانعی یخدان‌مدارک



کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در رشته مهندسی برق الکترونیک و مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشکده صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

دریافت کردند. ایشان در سال ۱۳۸۸ دکترای خود را در رشته مهندسی برق مخابرات (سیستم) در دانشگاه فردوسی مشهد به اتمام رساندند. وی در حال حاضر استادیار گروه