

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

سید مجتبی مروتی‌زاده و حسین قانع‌ی‌خندان
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 پیشنهاد شده 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 به‌روزرسانی شده 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؛ سبیلیجیانی 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 افزونگی‌های مکانی بین پیکسل‌های تصویر برای بازسازی ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده بهره می‌برند. شیوه‌های اختفای خطای زمانی از افزونگی‌های زمانی بین قاب‌های متوالی برای تخمین بردارهای حرکت^۲ 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 یا 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 ۴×۴ 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 ۴×۴ 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 (گاؤ 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 یخدان و خادمی، ۱۳۹۰) و CNN^۸ (قانع‌ی یخدان، 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 به دست 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 به دست 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 (تایپانیچ 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 (تایپانیچ 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. به همین دلیل، این روش‌ها در تخمین اطلاعات

² Directional Boundary Matching (DBM)

³ Directional Temporal Boundary Matching Algorithm (DTBMA)

¹ Outer Boundary Matching Algorithm (OBMA)

نماینده قاب مرجع، $MV(v_i, v_j)$ نشان‌دهنده بردار حرکت نامزد و S تعداد پیکسل‌های موجود در هر مرز است. مرزهای خارجی ماکروبلوک آسیب‌دیده و مرزهای داخلی ماکروبلوک نامزد در شکل (۱) نشان داده شده است.

۲-۲- معیار انطباق مرز خارجی^۳ (OBMC)

این معیار نیز مشابه با معیار استفاده‌شده در الگوریتم انطباق مرز خارجی است. این معیار، از قید همواری زمانی و مکانی مرزهای ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌کند. تابع OBMC برای هر مرز ماکروبلوک آسیب‌دیده به صورت بردارهای $1 \times S$ با روابط (۵) تا (۸) تعریف می‌شود.

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

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

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

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

این معیار در مواجهه با لبه‌های اریب در مرزهای ماکروبلوک آسیب‌دیده به خوبی عمل می‌کند؛ ولی در صورتی که قاب‌های متوالی همبستگی زمانی کمی داشته باشند، کارایی این معیار کاهش می‌یابد. مرزهای خارجی ماکروبلوک آسیب‌دیده و ماکروبلوک نامزد در شکل (۲) نشان داده شده است.

۳- الگوریتم اختفای خطای پیشنهادی

به‌منظور تمرکز روی موضوع اختفای خطا، در این مقاله فرض شده که موقعیت ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده در قاب‌های ویدئو مشخص است. در (وانگ و ژو، ۱۹۹۸)، برخی از روش‌های مؤثر برای آشکارسازی خطا در سامانه‌های

بخش دوم، معیارهای انطباق مرزی استفاده‌شده در الگوریتم پیشنهادی ارائه می‌شود. در بخش سوم، الگوریتم پیشنهادی تشریح شده است. نتایج تجربی حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم در بخش چهارم و به‌دنبال آن نتیجه‌گیری در بخش پنجم خواهد آمد.

۲- معیارهای انطباق مرزی

معیارهای انطباق مرزی^۱ با استفاده از همبستگی‌های موجود بین پیکسل‌های یک قاب ویدئو و یا با استفاده از همبستگی زمانی بین قاب‌های متوالی، سعی در تخمین صحیح بردارهای حرکت آسیب‌دیده در قاب کنونی را دارند. با توجه به این‌که در الگوریتم پیشنهادی از معیارهای انطباق مرزی استفاده شده است، در ادامه دو معیار مشهور انطباق مرزی کلاسیک و انطباق مرز خارجی به‌اختصار شرح داده می‌شوند.

۲-۱- معیار انطباق مرزی کلاسیک^۲ (CBMC)

این معیار، مشابه معیار استفاده‌شده در الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک است. این الگوریتم بر این فرض که پیکسل‌های تصویر در تصویر آسیب‌دیده همبستگی مکانی بالایی دارند، استوار است. تابع CBMC برای هر مرز ماکروبلوک آسیب‌دیده به صورت بردارهای $1 \times S$ با روابط (۱) تا (۴) تعریف می‌شود.

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

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

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

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

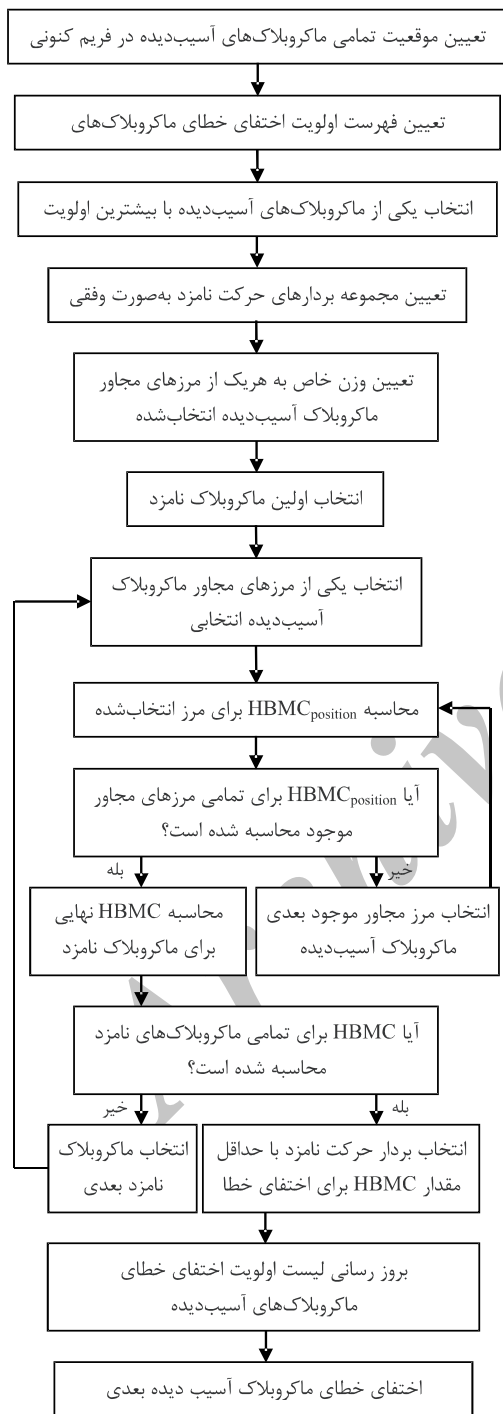
در این روابط، (i, j) مختصات پیکسل چپ-بالا در ماکروبلوک آسیب‌دیده، $f_{cur}(i, j)$ نماینده قاب کنونی، $f_{ref}(i, j)$

³ Outer Boundary Matching Criterion (OBMC)

¹ Boundary Matching Criteria

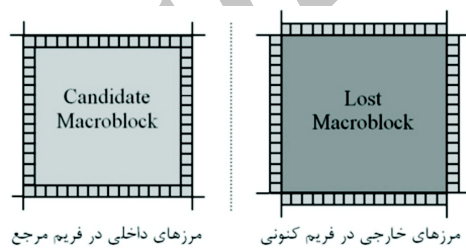
² Classic Boundary Matching Criterion (CBMC)

می‌شود؛ سپس، بردار حرکت نامزدی که سبب کوچک‌ترین مقدار تابع اعوجاج تطبیق ترکیبی شرح داده شده در زیربخش ۲-۳ شود، برای اختفای خطا، انتخاب شده و فهرست اولویت اختفای خطا به‌روزرسانی می‌شود.

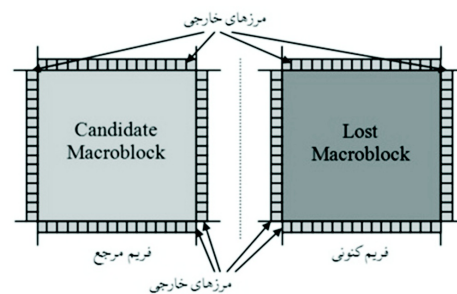


(شکل-۳): روندنمای الگوریتم اختفای خطای پیشنهادی

کدبندی تصویر و ویدئو بررسی شده است. طبق روندنمای الگوریتم پیشنهادی که در شکل (۳) نشان داده شده است، پس از به‌دست آوردن مختصات ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده در قاب کنونی، فهرست اولویت اختفای خطای ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده تعیین می‌شود. چگونگی تعیین این فهرست، در زیربخش ۱-۳ تشریح شده است؛ سپس، یکی از ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده با بیشترین اولویت انتخاب شده و بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های بالا، پایین، چپ و راست ماکروبلوک آسیب‌دیده و نیز بردار حرکت متناظر بردار حرکت آسیب‌دیده انتخابی، از قاب قبلی استخراج می‌شوند. جهت بالا بردن دقت روش پیشنهادی، هریک از بردارهای حرکت نامزد در صورتی که آسیب‌دیده باشند، از مجموعه بردارهای حرکت حذف می‌شوند.



(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) به‌صورت بردار حرکت صفر، بردارهای حرکت همسایه، بردار حرکت میانگین و بردار حرکت میانه بردارهای حرکت همسایه و نیز بردار حرکت ماکروبلوک متناظر با ماکروبلوک آسیب‌دیده از قاب قبلی در نظر گرفته می‌شوند.

الگوریتم پیشنهادی متناسب با دقت هر یک از مرزهای ماکروبلوک‌های مجاور مکانی، به هر یک از آنها وزن خاصی می‌دهد که چگونگی آن در زیربخش ۲-۳ شرح داده

$$HBMC_{position} = \sum (\min \text{ of column } [GBMC_{position}])$$

$$position \in top, bottom, left, right$$

(۱۰)

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

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

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

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

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

(۱۱)

در این رابطه، z تعداد ماکروبلوک‌های نامزد و w ضریب دقت برای هر مرز است. این ضریب، زمانی که ماکروبلوک مجاور به‌طور 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 آسیب‌دیده، برابر صفر است. این وزن‌دهی سبب حذف مرزهای ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده مجاور و اهمیت بیش‌تر دادن به مرزهای با اطلاعات مطمئن‌تر در فرایند تطبیق پیکسل‌های مرزی (به‌صورت فوقی) برای هر ماکروبلوک نامزد می‌شود. در نهایت، بردار حرکت نامزدی که سبب کوچک‌ترین مقدار تابع اعوجاج تطبیق ترکیبی شود، به‌عنوان بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده انتخاب می‌شود.

۴- نتایج پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی

فرمت‌های ویدئویی دیجیتال استاندارد مطابق با کاربردهای مختلف، دارای ویژگی‌های متنوعی در حجم داده، تعداد قاب در ثانیه، نرخ بیت ویدئو و وضوح تصویر هستند. از جمله فرمت‌های متداول ویدئویی دیجیتال، فرمت‌های CIF^۳ و QCIF^۴ هستند که در کاربردهایی از قبیل کنفرانس‌های ویدئویی و تلفن‌های تصویری مورد استفاده قرار می‌گیرند. به‌منظور پیاده‌سازی روش پیشنهادی، از دنباله‌های آزمون "Bus"، "Mother-daughter" و "Foreman" با وضوح CIF (۳۵۲×۲۸۸) پیکسل در هر قاب و "Walk" و "Mother-daughter" (۱۷۶×۱۴۴) QCIF با وضوح پیکسل در هر قاب استفاده شد. همچنین، اختفای خطا تنها

۳-۱- تعیین فهرست اولویت اختفای خطا

همان‌گونه که ذکر شد، الگوریتم پیشنهادی برای ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده موجود در هر قاب، فهرست اولویت اختفای خطایی را تعیین و پس از اختفای خطای هر ماکروبلوک آسیب‌دیده، آن را به‌روزرسانی می‌کند. پس از به‌دست‌آوردن مختصات ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده در قاب کنونی، تعداد ماکروبلوک‌های مجاور مکانی سالم برای هر ماکروبلوک آسیب‌دیده تعیین می‌شود. در این صورت، متناسب با این تعداد، فهرست اولویت اختفای خطای ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده قاب کنونی تعیین می‌شود. در این فهرست، به ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده‌ای که دارای مرزهای صحیح بیشتری باشند، اولویت بالاتری داده می‌شود. با استفاده از این فهرست، در هر مرحله، ماکروبلوک با اولویت بالاتر جهت اختفای خطا انتخاب می‌شود و پس از اختفای خطای هر ماکروبلوک آسیب‌دیده، این فهرست به‌روزرسانی می‌شود. این به‌روزرسانی شامل حذف ماکروبلوک مخفی شده و تعداد همسایگان آن و اضافه کردن یک همسایه به ماکروبلوک‌های مجاور مکانی در صورت آسیب‌دیده بودن آنها می‌شود.

۳-۲- معیار انطباق مرزی ترکیبی^۱ (HBMC)

الگوریتم پیشنهادی، از دو معیار انطباق مرزی شرح داده شده به‌صورت ترکیبی استفاده می‌کند. این معیار سعی دارد تا کوچک‌ترین مقدار تابع تطبیق مرزی را به‌ازای هر پیکسل مرزی ماکروبلوک نامزد، بدون افزایش چشم‌گیر در پیچیدگی محاسباتی به‌دست آورد.

در این معیار، ابتدا هردو بردار اعوجاج تطبیق برای CBMC و OBMC به‌ازای هر مرز ماکروبلوک نامزد محاسبه می‌شوند؛ سپس برای هر یک از این مرزها، ماتریس GBMC^۲ با ابعاد ۲×۸ (شامل بردارهای CBMC و OBMC) به‌صورت رابطه (۹) تشکیل می‌شود؛

$$GBMC_{position} = \begin{bmatrix} CBMC_{position} \\ OBMC_{position} \end{bmatrix}$$

$$position \in top, bottom, left, right$$

(۹)

سپس، مقدار اعوجاج مرزی ترکیبی (HBMC) برای هر یک از مرزهای ماکروبلوک نامزد به‌صورت رابطه (۱۰) به‌دست می‌آید.

^۳Common Intermediate Format (CIF)

^۴Quarter CIF (QCIF)

^۱Hybrid 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 ماکرو بلاک برای دنباله‌های آزمون CIF و QCIF در نرخ اتلاف ماکرو بلاک ۱۰٪ در هر قاب، در جدول (۲) آمده است. همچنین، در شکل‌های (۴) و (۵) مقادیر متوسط PSNR به ترتیب برای دنباله‌های آزمون CIF و QCIF به ازای هر قاب نشان داده شده است.

نتایج تجربی به دست آمده از شکل (۴) نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی مقدار PSNR را در برخی از قاب‌های دنباله‌های آزمون CIF، به ترتیب 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 به ترتیب حدود ۶/۵۸، ۶/۶۰، 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 تخریب شده آن با نرخ متوسط اتلاف ۲۰٪ برای ماکرو بلاک‌ها را نشان می‌دهد. قاب‌های بازسازی شده با روش‌های BMA، DBM، DTBMA، OBMA و الگوریتم پیشنهادی به ترتیب 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 تخریب شده آن با نرخ متوسط اتلاف ۲۰٪ برای ماکرو بلاک‌ها را نشان می‌دهد. قاب‌های بازسازی شده با روش‌های BMA، DBM، DTBMA، OBMA و الگوریتم پیشنهادی به ترتیب 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 علاوه بر افزایش کیفیت عینی قاب‌های ویدئویی بازسازی شده، 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 ماکرو بلاک 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 ماکرو بلاک 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 علاوه بر مقایسه روش‌های ذکر شده، 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 به ترتیب 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 به ترتیب 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

¹Block Matching Algorithm

²Exhaustive search

³Peak Signal to Noise Ratio (PSNR)

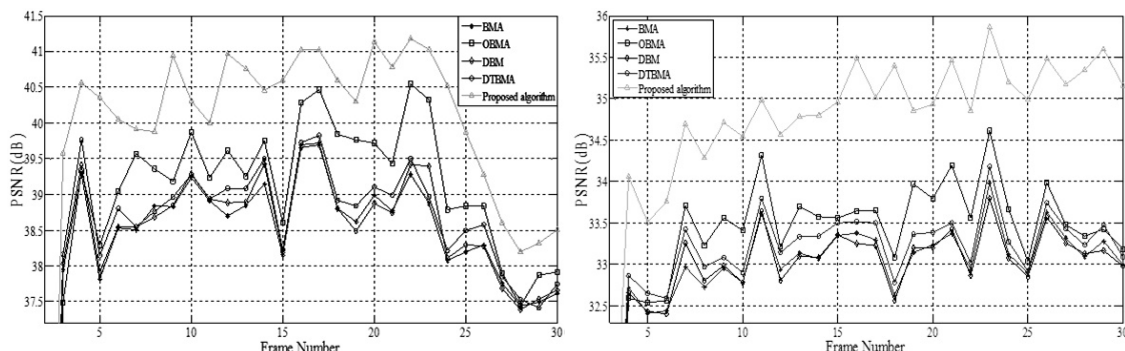
⁴dB

(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	۴۰/۰۶۰۳۷	۳۷/۶۲۲۳
		DBM	۴۳/۲۴۷۹	۴۰/۰۶۶۰۴	۳۷/۶۶۴۲
		DTBMA	۴۳/۳۱۸۶	۴۰/۰۷۶۲۵	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

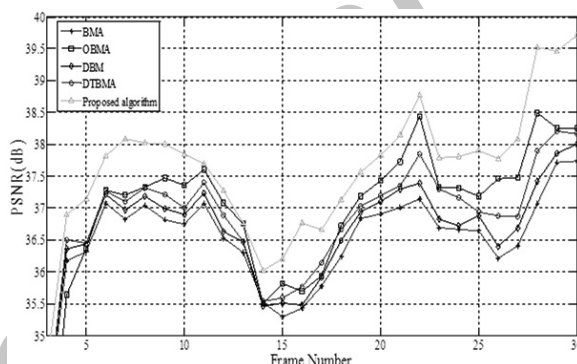
(جدول-۲): مقایسه متوسط زمان (msec) بازسازی هر ماکرو بلاک برای متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک ۱۰٪ در هر قاب

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)

(ف)



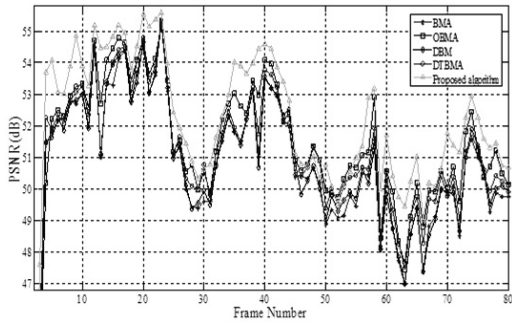
(ج)

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

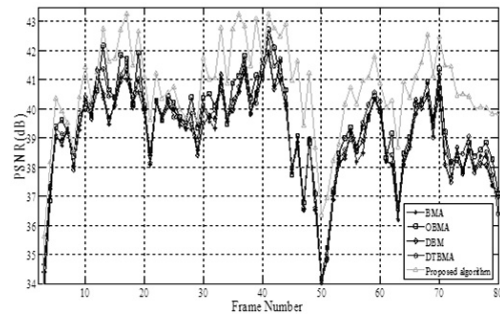
الف: Bus، ب: Mother-daughter، ج: Foreman (متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک‌ها ۲۰٪ است).

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 تخمین‌زده شده توسط الگوریتم پیشنهادی تا حد زیادی به بردارهای حرکت اصلی شبیه خواهند بود.

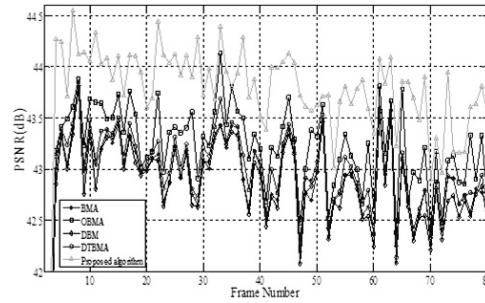
الگوریتم پیشنهادی با استفاده از معیار انطباق مرزی ترکیبی، قادر است تا به صورت هم‌زمان از افزونگی‌های زمانی و مکانی موجود در قاب‌های متوالی استفاده کند. این معیار سبب می‌شود تا برای هر پیکسل از هر مرز ماکرو بلاک‌های نامزد، بهترین تطبیق مرزی صورت گیرد. همچنین، الگوریتم پیشنهادی با استفاده از این معیار 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 ماکرو بلاک‌ها ۲۰٪ است.



(د)

(ب)

(ب)

(الف)



(ز)

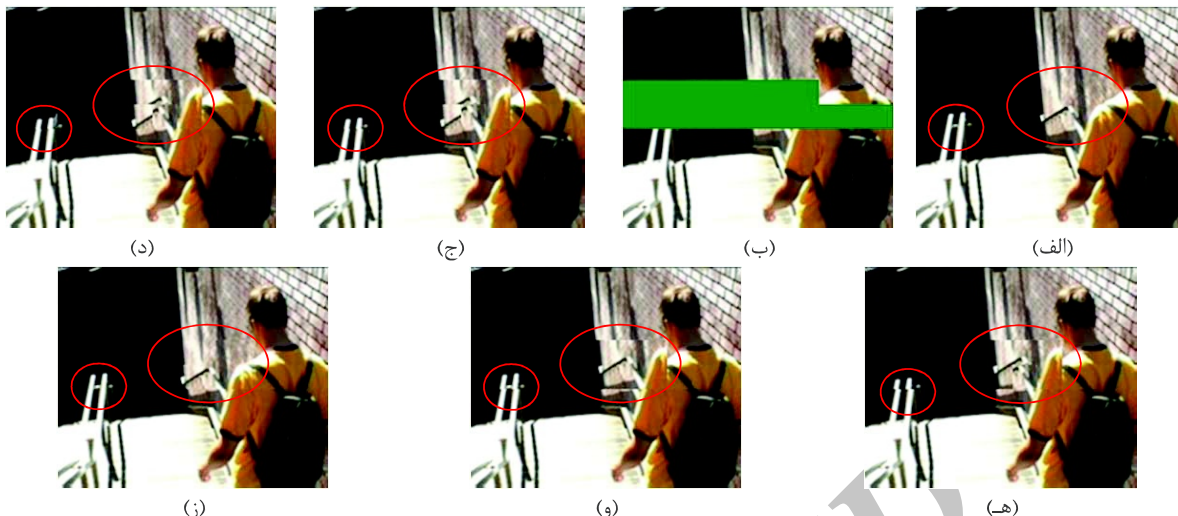


(و)



(ه)

(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، ه: 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 تخریب‌شده، ج: تصویر بازسازی‌شده با BMA، د: تصویر بازسازی‌شده با DBM، ه: تصویر بازسازی‌شده با DTBMA، و: تصویر بازسازی‌شده با OBMA، ز: تصویر بازسازی‌شده با الگوریتم پیشنهادی

می‌شود. همچنین با تعیین فهرست اولویت اختفای خطا، ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده به ترتیب اولویت بازسازی می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که تعداد مرزهای موجود برای ماکروبلوک‌های 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 ماکروبلوک‌های 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 ملاحظه‌ی زمان محاسبات، ضمن بهبود کیفیت ویدئوهای بازسازی‌شده، 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 ماکروبلوک‌های نامزد، پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی (مطابق با نتایج جدول (۲)) افزایش قابل ملاحظه‌ای ندارد که سبب مناسب‌بودن این الگوریتم برای کاربردهای بی‌درنگ می‌شود. همچنین فهرست اولویت اختفای خطا، امکان اختفای خطای غیر ترتیبی را به الگوریتم پیشنهادی می‌دهد. این فهرست به ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده با تعداد مرزهای مجاور کمتر (هنگامی که چندین ماکروبلوک آسیب‌دیده در مجاورت یکدیگر قرار دارند) اجازه می‌دهد تا تعداد مرزهای خود را افزایش دهند. در این صورت، فرایند انطباق مرزی برای این ماکروبلوک‌ها با صحت بالاتری انجام می‌شود. بنابراین، استفاده از فهرست اولویت اختفای خطا برای ماکروبلوک‌های 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 ماکروبلوک‌های نامزد استفاده می‌کند. این معیار سبب استفاده هم‌زمان از هر دو معیار انطباق مرزی کلاسیک و خارجی برای هر پیکسل از هر مرز ماکروبلوک‌های 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 algorithm", 23-26.
- 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 مهندسى برق و کامپیوتر دانشگاه یزد است. زمینه‌هاى پژوهشى مورد علاقه ایشان، پردازش تصاویر ثابت و متحرک (ویدئو)، کدبندى مقاوم داده‌هاى ویدئویى، اختفای خطای داده‌هاى تصویرى 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 (IS-CAS), Vol. 2, pp. 133-136.

سید مجتبی مروسى زاده



مدارک کاردانی و کارشناسى خود را به ترتیب در رشته الکترونیک و مهندسى تکنولوژى الکترونیک از دانشکده فنى امام على (ع) یزد و دانشگاه علم و هنر هر دو با احراز

فارغ التحصیل رتبه نخست در سال‌هاى ۱۳۸۶ و ۱۳۸۹ اخذ کرد. ایشان در سال ۱۳۹۲ مدرک کارشناسى ارشد خود را در رشته مهندسى برق مخابرات (سیستم) از دانشگاه یزد اخذ کرده و هم‌اکنون دانشجوی دکترای رشته مهندسى برق مخابرات (سیستم) در دانشکده مهندسى برق و کامپیوتر دانشگاه یزد هستند. همچنین، ایشان در سال ۱۳۹۳ به‌عنوان دانشجوی پژوهش‌گر نمونه دانشکده برق و کامپیوتر دانشگاه یزد برگزیده شدند. زمینه‌هاى پژوهشى مورد علاقه ایشان پردازش ویدئو، پردازش تصویر، اختفای خطای داده‌هاى ویدئویى، بینایى ماشین و مخابرات چندرسانه‌اى است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:

mojtaba.marvasti@stu.yazd.ac.ir

حسین قانعى یخدان مدارک



کارشناسى و کارشناسى ارشد خود را به ترتیب در رشته مهندسى برق الکترونیک و مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتى اصفهان و دانشکده صنعتى خواجه نصیرالدین طوسى

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