



دانشگاه کاشان
University of Kashan

مجله محاسبات نرم
SOFT COMPUTING JOURNAL
تارنمای مجله: scj.kashanu.ac.ir



یک روش تطبیق پذیر نهان نگاری داده در ویدئوهای فشرده شده با استاندارد HEVC^۱

زهرا بهرامی اصل^۱، دانشجوی دکتری، محمدرضا رمضان پور^{۲*}، دانشیار، ریحانه خورسند^۳، استادیار

^۱ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران.

^۲ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد مبارکه، دانشگاه آزاد اسلامی، مبارکه، اصفهان، ایران.

^۳ گروه مهندسی کامپیوتر، واحد دولت آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، اصفهان، ایران.

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت ۰۶ مهر ماه ۱۳۹۹

پذیرش ۱۶ شهریور ماه ۱۴۰۰

کلمات کلیدی:

نهان نگاری ویدئو

بردار حرکت

استاندارد HEVC

نهان نگاری داده‌ها

پیشگویی بین قابی

نهان نگاری داده در ویدئو یکی از موضوعات تحقیقاتی مهم در فناوری‌های رمزنگاری داده‌ها است که به عنوان یک ابزار ضروری مطرح است، زیرا نه تنها امنیت مورد نیاز انتقال پیام‌های مخفی روز به روز سخت تر می‌شود بلکه این امنیت در مورد فایل‌های ویدئویی بیشتر مورد توجه قرار می‌گیرد. این تحقیق بر اساس استاندارد HEVC است که آخرین استاندارد فشرده سازی ویدئو تا کنون است و می‌تواند برای نهان نگاری داده‌ها استفاده شود. در این مقاله روشی جدید جهت نهان نگاری داده در ویدئوهای فشرده شده با استاندارد HEVC ارائه شده است. در روش پیشنهادی از بردارهای حرکت بلوک‌های پیشگویی بین قابی جهت نهان نگاری داده مخفی استفاده شده است. مجموعه‌ای از بردارهای حرکت یک بلوک کد کننده به صورت تصادفی انتخاب می‌شوند و تنها یکی از بردارهای حرکت آن مجموعه افزایش یا کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها با روش پیشنهادی بیانگر این است که بعد از نهان نگاری داده‌ها، کیفیت ویدئو به میزان بسیار کم و نامحسوسی کاهش یافته در حالی که میانگین ظرفیت جاسازی افزایش یافته است.

© ۱۴۰۰ - مجله محاسبات نرم، کلیه حقوق محفوظ است.

۱. مقدمه

استفاده از ویدئوها جهت حمل رشته مخفی می‌باشد [۲]. ویدئوها به طور معمول جهت کاهش حجم فشرده می‌شوند و سپس ذخیره یا ارسال می‌گردند. با توجه به فشرده سازی ویدئوها، می‌توان اطلاعات مخفی را قبل یا بعد از فشرده سازی به ویدئو اضافه کرد [۳]. در صورتی که قبل از فشرده سازی، اطلاعات مخفی در ویدئو جاسازی شود ممکن است داده‌ها در هنگام فشرده سازی از بین بروند. روش دیگر جاسازی داده‌ها در حین فشرده سازی و یا بعد از فشرده سازی است که مشکل روش قبل را ندارد. ویدئوها در حال حاضر برای کاهش حجم معمولاً با استاندارد HEVC^۱ که آخرین استاندارد فشرده سازی

در سال‌های اخیر، نهان نگاری داده مورد توجه محققان و پژوهشگران قرار گرفته است به طوری که تعداد زیادی از روش‌ها جهت حفاظت از حق تکثیر، کنترل دسترسی، ارسال پیام از طریق شبکه‌های بین‌المللی، سیستم‌های پزشکی و شناسایی تصاویر پیشنهاد شده‌اند که از نهان نگاری در آن استفاده کرده‌اند [۱]. یکی از ابزارهای که جهت نهان نگاری پیشنهاد می‌گردد

* نوع مقاله: پژوهشی

نویسنده مسئول

پست(های) الکترونیک: z.bahrami327@gmail.com (بهرامی اصل)

ramezanpour@mau.ac.ir (رمضان پور)

r.khorsand@iauda.ac.ir (خورسند)

¹ High Efficiency Video Coding

ویدئو است فشرده می‌شوند که در سال ۲۰۱۳ معرفی شد [۴].

ارائه خواهد شد.

۲. استاندارد فشرده‌سازی HEVC

استاندارد HEVC، جدیدترین استاندارد فشرده‌سازی ویدئو است که در سال ۲۰۱۰ میلادی گروه JCT-VC^۱ طی یک فراخوان عمومی برای استاندارد سازی روش‌های نوین فشرده‌سازی ویدئو، این پروژه را شروع کردند [۶]. طی اصلاحاتی که در نشست‌های مختلف روی پیشنهادها رسیده انجام گردید در سال ۲۰۱۳ آخرین پیش‌نویس و همچنین مدل آزمایشی آن با نام HM انتشار یافت. با اعمال بهترین و کارآمدترین الگوریتم‌های موجود، میزان فشرده‌سازی ویدئو، حدود ۵۰٪ بیشتر از استانداردهای قبلی مانند H.264/AVC به دست آمد که گام بزرگی به شمار می‌رفت [۷]. شکل (۱) نمودار کد کردن و فرآیند فشرده‌سازی فریم‌ها در استاندارد ویدئوی HEVC را نشان می‌دهد. رمزگذار، یک بلوک را پیشگویی می‌کند و آن را از بلوک اصلی تفریق می‌کند تا بلوک مانده به دست آید؛ سپس بر روی بلوک مانده عمل تبدیل و چندی شدن^۲ انجام می‌شود. به طور موازی عمل عکس چندی شدن و عکس تبدیل بر روی نتیجه، زده می‌شود تا ماتریس مانده بازسازی شود. به ماتریس مانده‌ی بازسازی شده، بلوک پیشگویی اضافه می‌شود تا بلوک اصلی بازسازی گردد و این بلوک جهت پیشگویی‌های بعدی ذخیره می‌شود. در استاندارد HEVC هر تصویر به بلوک‌های 64×64 پیکسل به نام CTU^3 تقسیم می‌شود، سپس این CTU ها به واحدهایی به نام واحد کد کننده CU^4 در یک ساختار بازگشتی درخت چهارتایی^۵ شکسته می‌شود، به طوری که CTU به عنوان ریشه‌ی این درخت شناخته می‌شود. هر واحد کد کننده شامل یک بلوک لوما و دو بلوک کروما است و اندازه‌ی آن می‌تواند به صورت $2^n \times 2^n$ باشد که n یک عدد صحیح از مقدار ۳ تا ۶ است [۸].

به همین منظور در این مقاله به بررسی روش‌های نهم‌نگاری داده در ویدئو پرداخته می‌شود که با استاندارد HEVC فشرده شده‌اند. روش پیشنهادی نیز از ویژگی‌های استاندارد HEVC استفاده می‌نماید تا رشته داده مخفی را در ویدئوهای فشرده شده در استاندارد HEVC نهم‌نگاری نماید. کارهای مختلفی در زمینه‌ی نهم‌نگاری داده در استاندارد HEVC انجام گرفته است.

از آنجایی که استاندارد HEVC جهت فشرده‌سازی از تبدیل DCT استفاده می‌نماید [۵]، اکثر روش‌های ارائه شده از بلوک‌های تبدیل جهت مخفی سازی اطلاعات استفاده می‌نمایند در حالی که روش پیشنهادی از بردارهای حرکت جهت حمل اطلاعات در فرآیند جاسازی داده استفاده می‌نماید تا بخشی از رشته داده را در مجموعه‌ای از بردارهای حرکت مخفی نماید. به منظور جاسازی L بیت از داده‌های مخفی، تنها یکی از بردارهای حرکت کاهش یا افزایش خواهد یافت. علاوه بر این، از یک کلید برای جاسازی و استخراج پیام مخفی استفاده می‌شود و تنها با استفاده از N تا از کوچک‌ترین بلوک‌های پیشگویی به عنوان میزبان، کار جاسازی انجام می‌شود که N تعداد بلوک‌های پیشگویی است. همچنین، با استفاده از ویژگی‌های محتوای HEVC و قابلیت جاسازی داده در فرآیند فشرده‌سازی جریان‌های ویدئوی HEVC، احتمال حمله امنیتی به حداقل می‌رسد. در مقایسه با روش‌های دیگر، روش پیشنهادی می‌تواند بعد از جاسازی داده‌ها در ویدئوهای HEVC کارایی بالاتری با حفظ کیفیت و امنیت از خود نشان دهد.

ادامه‌ی بخش‌های این مقاله به شرح زیر است: در بخش ۲، دانش پیش زمینه شامل مروری بر استاندارد HEVC و پیشگویی بین قابی تا حدی که بقیه‌ی قسمت‌ها قابل فهم باشند شرح داده می‌شود. مروری بر کارهای گذشته در بخش ۳ انجام می‌شود. در بخش ۴ مراحل نهم‌نگاری داده با روش پیشنهادی بیان می‌شود. بازیابی اطلاعات جاسازی شده در بخش ۵ تشریح می‌گردد. در بخش ۶ به معرفی پارامترهای اندازه‌گیری و تحلیل نتایج و مقایسه‌ی روش پیشنهادی با روش‌های اخیر که در این زمینه ارائه شده، پرداخته می‌شود. در نهایت، نتیجه‌گیری در بخش ۷

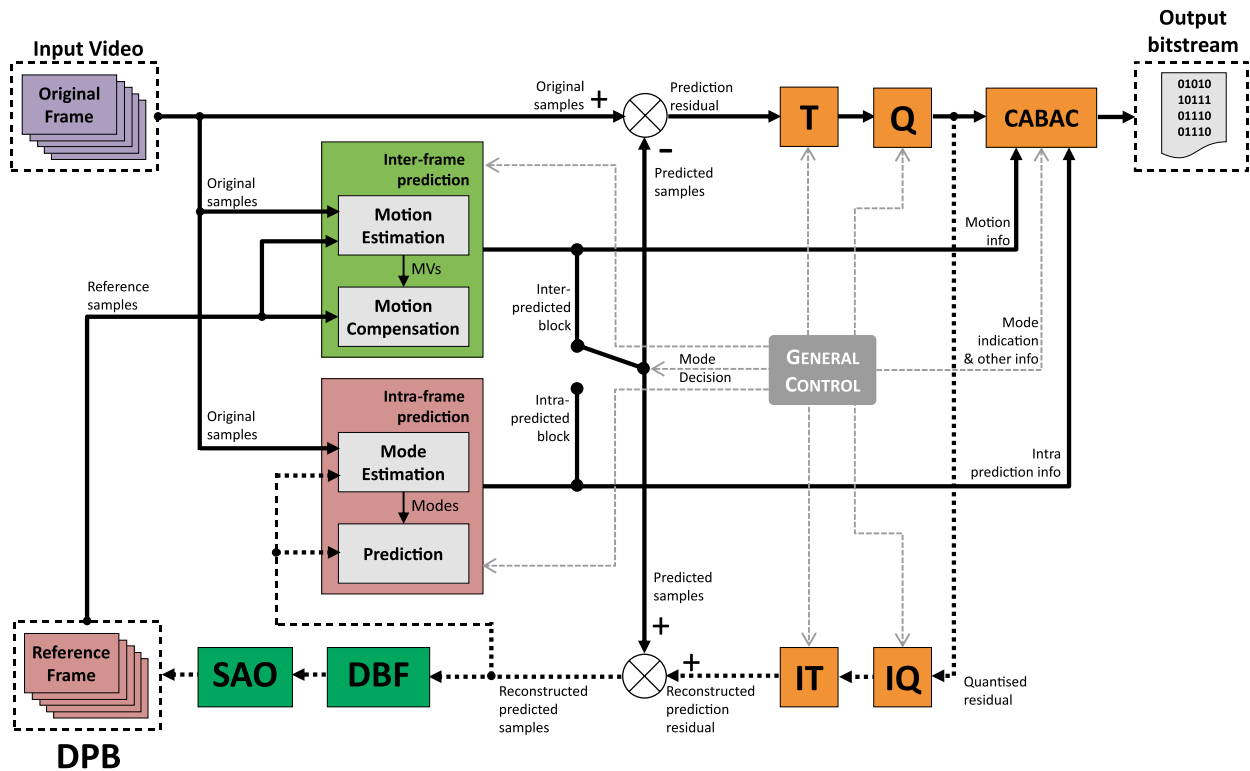
¹ Joint Collaborative Team on Video Coding

² Quantisation

³ Coding Tree Unit (CTU)

⁴ Coding Unit (CU)

⁵ Quad-tree-recursive



شکل (۱): نمودار کد کردن و فرآیند فشرده‌سازی فریم‌ها در استاندارد ویدئوی HEVC [۹].

کننده تفاوت میان آن‌ها را نیز محاسبه می‌کند. به این مقادیر خطای پیشگویی گفته می‌شود و باید برای رمزگشا به همراه سایر قسمت‌های داده، برای بازسازی فریم ارسال شود. در واقع، در حالت پیشگویی بین قابی، تفاضل یک بلوک را نسبت به بلوک‌های هم مکان در فریم‌های دیگری که قبلاً کدگذاری و بازسازی شده‌اند پیشگویی کرده و ذخیره یا ارسال می‌کنند. پس هر بلوک پیشگویی دارای یک بردار حرکت است که میزان جابه‌جایی آن بلوک را نسبت به فریم قبلی نشان می‌دهد؛ که شامل دو مقدار γ و x است که x میزان اختلاف حرکت در جهت محوری و γ میزان اختلاف حرکت در جهت عمودی را نشان می‌دهد. در شکل (۲) بردار d میزان جابه‌جایی یک بلوک نسبت به فریم قبلی را نشان می‌دهد. به همراه بردار حرکت ماتریس جبران نیز ارسال می‌گردد که میزان اختلاف بلوک جاری را به بلوک انطباق شده نشان می‌دهد.

از آنجایی که فرآیند جستجوی بردار حرکت هزینه‌ی محاسباتی بالایی دارد، دو حالت خاص، پرش^۱ و ادغام^۲ معرفی شده‌اند تا

در پیشگویی بین قابی استاندارد HEVC برای حذف افزونگی زمانی، از فناوری تخمین حرکت و جبران استفاده شده است. برای تخمین حرکت در استاندارد HEVC ابتدا تصویر به بلوک‌های پیشگویی شکسته می‌شود، سپس به دنبال بهترین مکان این بلوک در یک محدوده‌ی خاص از فریم قبلی می‌گردد و بهترین جایی که این بلوک با فریم قبلی مطابقت کند را یافته و میزان این تغییر حرکت را با بردار حرکت نمایش می‌دهد.

جهت فشرده‌سازی ابتدا هر فریم به بلوک‌های غیر همپوشان به نام CTU تقسیم می‌شوند و به جای فشرده‌سازی مقادیر پیکسل‌های اولیه‌ی هر بلوک، کدکننده تلاش می‌کند تا بلوکی شبیه به آن را در فریم مرجع پیدا کند [۱۰]. این پردازش توسط الگوریتم انطباق بلوک انجام می‌گیرد. در صورتی که فریم مورد نظر پیدا شود، می‌توان آن را با استفاده از برداری به نام بردار حرکت که به محل بلوک منطبق شده در فریم مرجع اشاره دارد، فشرده‌سازی کرد. در بیشتر موارد کدکننده موفق به یافتن بلوک منطبق می‌شود؛ ولی به دلیل همبستگی موجود میان فریم‌ها، معمولاً بلوک پیدا شده، دقیقاً منطبق نیست؛ به همین دلیل کد

^۱ Skip

^۲ Merge

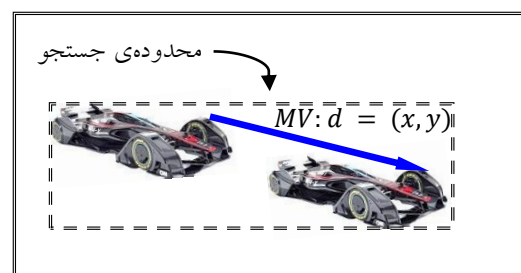
پیشگویی ارائه داده‌اند. روش پیشنهادی آنها شامل دو مرحله هست. در مرحله اول مدهای تقسیم شدن بلوک پیشگویی را دسته بندی کرده و با توجه به رشته‌ای که می‌خواهد جاسازی گردد مد تقسیم شدن بلوک پیشگویی انتخاب شده و فرایند فشرده‌سازی انجام می‌شود. Liu و همکاران [۱۵] نیز از مدهای پیشگویی درون قابی جهت نهان‌نگاری داده به گونه‌ای استفاده می‌نمایند تا کمترین اعوجاج به وجود آید. آنها در روش پیشنهادی‌شان ابتدا بلوک پیشگویی را انتخاب می‌نمایند که در پیشگویی بلوک‌های دیگر تاثیری نداشته باشند سپس از مد پیشگویی درون قابی آن بلوک جهت نهان‌نگاری داده استفاده می‌نمایند.

نهان‌نگاری مبتنی بر اصلاح ضرائب تبدیل DCT/DST جهت فشرده‌سازی ویدئوها با استاندارد HEVC استفاده می‌گردد نیز یکی از موضوعاتی است که توجه محققان را به خود جلب کرده است. Konyar و همکاران [۱۶] از اصلاح ضرائب DCT جهت نهان‌نگاری داده در استاندارد HEVC استفاده کرده است. آنها برای جلوگیری از اعوجاج تصویر، بلوک‌های پیشگویی را به ۵ دسته مختلف تقسیم کرده و بسته به نوع بلوک پیشگویی، ضرائب DCT مختلفی را اصلاح می‌نمایند. Long و همکاران [۱۷] نیز از ضرائب تبدیل DCT بلوک باقیمانده که از اختلاف تصویر اصلی و پیشگویی به دست می‌آید جهت نهان‌نگاری رشته بیت مخفی استفاده کرده‌اند. آنها از ضرائب غیر صفر ماتریس تبدیل استفاده کرده‌اند تا نهان‌نگاری را انجام دهند. همچنین برای افزایش امنیت ابتدا ویدئو و پیام مخفی رمز شده سپس داده‌های رمز شده را در ضرائب غیر صفر جاسازی نموده‌اند. Chang و همکاران [۱۸] نیز در روشی مشابه با مرجع [۱۶] استفاده نموده است با این تفاوت که ضرائب تبدیل DST را اصلاح نموده تا بتواند داده‌های مخفی را در بلوک‌های ۴×۴ جاسازی نماید.

علاوه بر استفاده از ضرائب تبدیل DCT و مدهای پیشگویی درون قابی جهت نهان‌نگاری داده در ویدئوهای فشرده‌سازی شده HEVC، استفاده از بردار حرکت پیشگویی بین قابی نیز یک روش رایج دیگری است. Li و همکاران [۱۹] از بردار حرکت

محاسبات را کاهش دهند. حالت پرش زمانی اتفاق می‌افتد که بردار حرکت (0,0) بوده و همچنین تمام ضرائب ماتریس جبران نیز صفر باشند، در این حالت، مد آن بلوک، پرش در نظر گرفته می‌شود [۱۱]. حالت ادغام حالتی است که بردار حرکت بلوک با بردار حرکت یکی از بلوک‌های همسایه یکسان باشد که در این حالت نیز مد آن بلوک ادغام در نظر گرفته می‌شود. در بخش بعد مروری بر روش‌های اخیر نهان‌نگاری داده انجام خواهد شد.

فریم جاری



شکل (۲): بردار حرکت، میزان جابه‌جایی بلوک جاری را نسبت فریم قبلی نشان می‌دهد [۱۰].

۳. کارهای مرتبط

یکی از روش‌های رایج نهان‌نگاری داده با استفاده از ویدئوهای فشرده‌سازی شده HEVC، استفاده از مدهای پیشگویی درون قابی است. Wang و همکاران [۱۲] از مدهای پیشگویی درون-قابی در استاندارد HEVC استفاده نموده‌اند تا داده‌های مخفی را در ویدئوها جاسازی نمایند. آنها ابتدا احتمال توزیع مدهای پیشگویی بلوک‌های ۴×۴ را بررسی کرده و بر اساس آن داده‌های مخفی را در مد پیشگویی درون قابی بلوک‌های مختلف جاسازی نموده‌اند. صابری و همکاران [۱۳] نیز یک روش نهان-نگاری مبتنی بر مدهای پیشگویی درون قابی در استاندارد HEVC پیشنهاد داده‌اند. آنها ابتدا تعدادی از مدهای پیشگویی کوچکترین بلوک‌ها را به عنوان مجموعه بردار حمل کننده انتخاب کرده و با توجه به رشته مخفی یکی از مدهای پیشگویی در آن مجموعه اصلاح می‌کنند. Yang و همکاران [۱۴] یک روش چند سطحی جهت نهان‌نگاری داده در ویدئوهای فشرده‌سازی شده HEVC مبتنی بر مدهای تقسیم شدن بلوک

حرکت جهت نهان‌نگاری داده استفاده شده است با این تفاوت که از یک الگوریتم نهان‌نگاری داده جدید جهت افزایش ظرفیت جاسازی و کاهش کیفیت ویدئو بازسازی شده استفاده شده است.

۴. روش پیشنهادی

در پیشگویی بین قابی، هر بلوک پیشگویی دارای یک بردار حرکت است که میزان جابجایی آن بلوک را نسبت به بلوک هم مکان در فریم مرجع نشان می‌دهد. در روش پیشنهادی از این بردارهای حرکت به عنوان حمل‌کننده اطلاعات مخفی استفاده می‌شود. برای افزایش امنیت در روش پیشنهادی تنها بخشی از بلوک‌ها انتخاب شده و از بردارهای حرکت آن‌ها به عنوان حمل‌کننده اطلاعات مخفی استفاده می‌شود. همچنین در روش پیشنهادی از طرح پیشنهاد شده توسط Kim [۲۶]، جهت مخفی سازی اطلاعات در بردارهای حرکت استفاده می‌شود. دلیل انتخاب این الگوریتم، ساده بودن نسبت به سایر الگوریتم‌ها است. جزئیات روش پیشنهادی در ادامه بیان خواهد شد.

۴.۱. نحوه‌ی انتخاب بردار برای جاسازی اطلاعات

در روش پیشنهادی، بلوک پایه، جهت جاسازی اطلاعات، یک CTU است که بلوک پایه استاندارد HEVC برای پیشگویی نیز هست. در مرحله بعد تعداد بلوک‌های پیشگویی در CTU که دارای بردار حرکت می‌باشند شمارش می‌شود. در صورتی که تعداد آن‌ها از N بیشتر باشد آن CTU به عنوان حمل‌کننده انتخاب می‌گردد، در غیر این صورت CTU شرط حمل اطلاعات را نخواهد داشت. به دلیل آنکه بردارهای حرکت بلوک‌های انتخابی جهت حمل اطلاعات تغییراتی خواهند داشت، پس هر چه اندازه‌ی بلوک‌ها کوچک‌تر باشند اعوجاج تصویر کمتر خواهد شد، در نتیجه N تا از بلوک‌های پیشگویی که دارای کوچک‌ترین اندازه است جهت ساخت بردار حمل‌کننده انتخاب خواهند شد. بردار حمل‌کننده با استفاده از N بلوک‌های پیشگویی به صورت $C = (c_1, c_2, \dots, c_{2N})$ ساخته می‌شود که (c_{2i-1}, c_{2i}) بردار حرکت بلوک پیشگویی

پیشگویی بین قابی مبتنی بر اصلاح هیستوگرام دو بعدی جهت نهان‌نگاری داده در ویدئوهای فشرده‌سازی شده H.264/AVC استفاده کرده‌اند. آن‌ها ابتدا کل بردارهای حرکت را به ۱۷ مجموعه تقسیم‌بندی می‌نمایند سپس با توجه به مجموعه‌ای که بردار حرکت متعلق به آن است مقدار بردارهای حرکت بلوک حامل را اصلاح می‌نمایند. نتایج آزمایشات‌شان نشان می‌دهد که ظرفیت جاسازی دو برابر شده است در حالی که کیفیت ویدئوهای حامل حدود ۰.۵٪ کاهش یافته است. Xu [۲۰] یک روش مبتنی بر اختلاف بردارهای حرکت در پیشگویی بین قابی و سپس اصلاح ضرائب DCT جهت نهان‌نگاری داده ارائه داده است. نتایج شبه‌سازی آن نشان می‌دهد که کیفیت ویدئوهای حامل در این روش کاهش کمتری دارند اما از معایب این روش می‌توان به تغییر ساختار رشته بیت حاصل از استاندارد HEVC اشاره کرد. Yang و Li [۲۱] نیز از ترکیب روش EMD [۲۲] و بردارهای حرکت پیشگویی بین قابی در استاندارد HEVC استفاده کرده‌اند. آن‌ها ابتدا بردارهای حرکت مرتبط با وچکترین بلوک‌های پیشگویی در یک CTU را انتخاب کرده و مجموعه بردار حامل را تشکیل می‌دهند. سپس از روش نهان‌نگاری داده EMD روی مجموعه بردار حامل استفاده کرده و تنها یکی از مولفه‌های بردار حرکت در آن مجموعه به میزان یک واحد کاهش یا افزایش می‌یابد. در مقاله دیگری، صابری و همکاران [۲۳] همانند روش فوق از بردار حرکت پیشگویی بین قابی استفاده نموده‌اند ولی با این تفاوت که از الگوریتم نهان‌نگاری پیشنهاد شده توسط فن و همکاران [۲۴] روی مجموعه بردار حامل استفاده کرده و در این حالت نیز تنها یکی از مولفه‌های بردار حرکت در آن مجموعه به میزان یک واحد کاهش یا افزایش می‌یابد. Guo و همکاران [۲۵] نیز از بردارهای حرکت پیشگویی بین قابی در استاندارد HEVC جهت نهان‌نگاری داده استفاده نموده‌اند. آن‌ها ابتدا جهت حرکت کل فریم را به دست آورده سپس با توجه به آن، بردارهای حرکت را به گونه‌ای اصلاح می‌نمایند تا جاسازی داده در آن بردار، جهت حرکت کل فریم را تحت تاثیر قرار ندهد و کمترین میزان اعوجاج حاصل گردد. روش پیشنهادی در این مقاله مشابه با مقالات فوق از بردار

۴.۲. مراحل مخفی‌سازی اطلاعات

در روش پیشنهادی از طرح پیشنهاد شده توسط کیم [۲۶]، جهت نهان‌نگاری داده استفاده می‌شود با این تفاوت که به جای استفاده از پیکسل‌ها از بردارهای حرکت به عنوان حامل داده مخفی استفاده می‌شود. یک گروه از بردارهای حرکت که به عنوان یک بردار (g_1, g_2, \dots, g_n) نمایش داده می‌شود انتخاب می‌شود که بردارهای حرکت به صورت ۲ مولفه‌ی افقی و عمودی به صورت $MV_{xy}(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_n, y_n)$ بازنویسی می‌شود. سپس بردار $M(m_1, m_2, \dots, m_{2n})$ از روی بردار MV_{xy} ساخته می‌شود. یک بردار $T = (T_1, T_2, \dots, T_{2n})$ در یک فضای n بعدی تعریف می‌شود که توسط رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌شود سپس مقدار D با استفاده از (۲) بدست می‌آید. عناصر اول و دوم در جدول (۱) به عنوان یک ورودی به رابطه‌ی D که در آن $n = 2$ و $x = 3$ است، استفاده می‌شود. پارامتر n با بردارهای حرکت در یک گروه خاص؛ زمانی که $n \geq 3$ است باعث کاهش نرخ بیت می‌شود. بنابراین کارایی حداکثری روش پیشنهادی زمانی است که $n = 2$ باشد. یک توازن بین میزان جاسازی و کیفیت تصویر وجود دارد بدین صورت که با افزایش میزان جاسازی کیفیت تصویر کاهش خواهد یافت. پارامتر x در واقع عدد توصیف توازن جاسازی است، زیرا افزایش x باعث افزایش میزان جاسازی و کاهش کیفیت تصویر می‌شود. بنابراین، متناسب با مقدار جاسازی یک تصویر باید انتخاب شود. وقتی $n \geq 2$ و $x = 3$ ، عناصر به صورت $6 \times (n - 1)$ محاسبه می‌شوند که این عناصر از جدول (۱) بدست می‌آیند و وقتی $n \geq 2$ و $x = 3$ ، عناصر به صورت $3 \times (n - 1)$ محاسبه می‌شوند که این عناصر از جدول (۲) بدست خواهند آمد. بردار پایه براساس مقدار x انتخاب می‌شود. عناصر جدول‌ها را می‌توان با بردارهای پایه ساخت، بنابراین می‌توان از طریق ترکیب بردارهای پایه، افزایش یا کاهش کیفیت یک تصویر را تغییر داد. در روش پیشنهادی، با یک نسبت مناسب و با میزان جاسازی بالاتر، کیفیت تصویر قابل قبولی بدست می‌آید.

نام است که c_{2i-1} میزان جابجایی در جهت محور x و c_{2i} میزان جابجایی در جهت محور y است. شکل (۳) مثالی از یک CTU را نشان می‌دهد که به عنوان حمل‌کننده انتخاب شده است. بلوک‌های پیشگویی که در شکل (۳)، با شماره‌های زیرخط نشان داده شده، بلوک‌هایی هستند که بردار حرکت آن‌ها $(0,0)$ است و مد آن‌ها پرش یا ادغام انتخاب شده است، یعنی این بلوک‌ها دارای بردار حرکت نیستند و برای ساخت بردار حمل از آنها استفاده نخواهد شد. با فرض انتخاب $N = 4$ ، باید ۴ بلوک پیشگویی با کوچک‌ترین اندازه که دارای بردار حرکت هستند، جهت ساخت بردار حمل‌کننده انتخاب شوند. بلوک‌های پیشگویی که به عنوان حامل انتخاب شده با اعداد ۳، ۹، ۱۶ و ۲۰ مشخص شده‌اند که در شکل (۳) با رنگ زمینه‌ی بنفش نشان داده شده‌اند. از بردارهای حرکت این ۴ بلوک پیشگویی جهت ساخت بردار حمل‌کننده استفاده خواهد شد. بردار حرکت بلوک پیشگویی i ام با V_i نشان داده می‌شود که هر بردار شامل دو مؤلفه‌ی x و y خواهد بود. x میزان جابجایی در جهت محور افقی و y میزان جابجایی در جهت محور عمودی را نشان می‌دهد.

		3	4
1	2	5	6
			7
		9	10
		11	12
	8		13
			16
			17
			18
			19
		14	15
			20
			21
			22

شکل (۳): تقسیم یک CTU و انتخاب بلوک‌های پیشگویی به عنوان حامل. بلوک‌های پیشگویی که با کادر پر رنگ نشان داده شده‌اند و شماره‌ی آن‌ها زیر خط دار است، از حالت پرش یا ادغام استفاده می‌کنند.

مراحل جاسازی بدین صورت است که ابتدا، CTU واجد شرایط انتخاب می‌شود. سپس، ابعاد فضای N به صورت تصادفی از بین اعداد ۲، ۴، ۸ و ۱۶ انتخاب می‌گردد؛ بردار C از کنار هم قرار گرفتن مولفه‌های افقی و عمودی ساخته می‌شود. مقادیر نگاشت بردار حرکت به فضای N بعدی توسط مقدار T_i با استفاده از رابطه‌ی (۱) محاسبه می‌گردد [۲۶].

مقدار $d = [0100] = 4$ باشند و بردارهای حرکت انتخاب شده در CTU برابر $C = (19, 3)$ است، بنابراین بر اساس رابطه‌ی (۱) مقدار $T = (19, 3)$ خواهد بود. مقدار D به صورت زیر با استفاده از (۲) بدست می‌آید:

$$D = (19 \times 1 + 3 \times 6) \bmod (2^{2+3} - 1) = 6$$

یعنی مقدار عنصر در نقطه‌ی مورد نظر برابر ۶ است. سپس مقدار D و d با استفاده از (۵) مقایسه می‌شود. که در این مثال $d < D$ است، بنابراین مقدار Z با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$Z = (2^{N+X} - 1) - |d - D| = (2^{2+3} - 1) - |4 - 6| = 29$$

با استفاده از جدول (۱) مقادیر اندیس ۲۹ برابر با $(-2, 0)$ است پس، از عنصر اول دو مقدار کم می‌شود و عنصر دوم بدون تغییر باقی می‌ماند یعنی $T' = (17, 3)$ خواهد شد. در نهایت اطلاعات مخفی در بردار حرکت، جاسازی شده و بردار $C' = (17, 34)$ بدست می‌آید. می‌توانید ببیند که درجه اصلاح با استفاده از روش پیشنهادی کوچک است. پس از پنهان کردن اطلاعات با روش پیشنهادی، ویدیوی فشرده HEVC ذخیره شده و منتقل می‌گردد.

$$T_i = \begin{cases} C_i \bmod (2^{N+X} - 1) & C_i \geq 0 \\ (C_i \bmod (2^{N+X} - 1) + 2^{N+X} - 1) \bmod (2^{N+X} - 1) & C_i < 0 \end{cases} \quad (1)$$

سپس مقدار نقطه‌ی g_i در بردار فضایی N بعدی T با استفاده از رابطه‌ی (۲) بدست می‌آید [۲۶].

$$D(g_1, g_2, \dots, g_n) = \left[\sum_{i=1}^n (g_i \cdot \pi_i) \right] \bmod (2^{N+X} - 1) \quad (2)$$

برای هر CTU یک رشته بیت به طول L انتخاب می‌شود تا اطلاعات مخفی در آن CTU جاسازی شود که L از رابطه‌ی (۳) بدست می‌آید:

$$L = \lfloor \log_2(2^{N+X} - 1) \rfloor \quad (3)$$

برای محاسبه‌ی ضرایب جداول، یعنی مقدار π از رابطه‌ی (۴) استفاده می‌شود [۲۶].

$$\begin{aligned} & [\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n] \\ & = \begin{cases} 1, 6, \dots, (n-1) \times 6 & \text{if } (x \geq 3 \text{ and } n \geq 2) \\ 1, 3, \dots, (n-1) \times 3 & \text{if } (1 \leq x \leq 2 \text{ and } n \geq 2) \end{cases} \quad (4) \end{aligned}$$

برای بدست آوردن مقدار عدد مخفی یعنی مقدار Z از رابطه‌ی (۵) استفاده می‌شود [۲۶].

$$Z = \begin{cases} d - D & \text{if } (d \geq D) \\ (2^{N+X} - 1) - |d - D| & \text{if } (d < D \text{ and } n \geq 2) \end{cases} \quad (5)$$

بعد از محاسبه‌ی مقدار Z ، با استفاده از رابطه‌ی (۶) مقدار g'_i محاسبه می‌گردد.

$$g'_i = g_i + \text{value of table} \quad (6)$$

شکل (۴) بلوک دیاگرام روش پیشنهادی را نشان می‌دهد. در ادامه برای فهم بهتر روش پیشنهادی مثالی ارائه می‌شود. برای جاسازی، ابتدا CTU واجد شرایط انتخاب شده؛ سپس مقدار N محاسبه شده و بخشی از اطلاعات مخفی بر اساس N برداشته می‌شود. به عنوان مثال اگر، $x = 3$ و $N = 2$ و اطلاعات مخفی

۵. بازیابی اطلاعات جاسازی شده

برای بازیابی داده نهان‌نگاری شده، ابتدا بررسی می‌شود که CTU شامل داده مخفی هست یا خیر. برای بازیابی نیز عدد تصادفی N مانند قسمت رمزگذار تولید می‌شود. در صورتی که تعداد بلوک‌های پیشگویی داخل یک CTU از N بیشتر باشد آن CTU به عنوان حمل‌کننده انتخاب شده است در غیر این صورت CTU شرط حمل اطلاعات را نداشته است. با توجه به آن تا از کوچک‌ترین بلوک‌های پیشگویی که دارای بردار حرکت است (به جز حالت ادغام و پرش) انتخاب شده تا بردار $C' = (c_1, c_2, \dots, c_{2N})$ را تشکیل دهند، سپس مقدار Z از رابطه‌ی (۵) محاسبه می‌گردد. مقدار دسیمال رشته بیت جاسازی شده را می‌توان به یک عدد باینری به طول L تبدیل کرد. بعد از استخراج تمام اطلاعات جاسازی شده در CTU ها می‌توان با اتصال این رشته‌ها، کل اطلاعات جاسازی شده را بازیابی نمود.

جدول (۱): بردار پایه [۱، ۶] وقتی $n = 2$ و $x = 3$ است [۲۶].

اندیس	عنصر اول (۱)	عنصر دوم (۶)	اندیس	عنصر اول (۱)	عنصر دوم (۶)
۰	۰	۰	۱۶	-۳	-۲
۱	۱	۰	۱۷	-۲	-۲
۲	۲	۰	۱۸	-۱	-۲
۳	۳	۰	۱۹	۰	-۲
۴	-۲	۱	۲۰	۱	-۲
۵	-۱	۱	۲۱	-۲	-۲
۶	۰	۱	۲۲	-۳	-۱
۷	۱	۱	۲۳	-۲	-۱
۸	۲	۱	۲۴	-۱	-۱
۹	۳	۱	۲۵	۰	-۱
۱۰	-۲	۲	۲۶	۱	-۱
۱۱	-۱	۲	۲۷	۲	-۱
۱۲	۰	۲	۲۸	-۳	۰
۱۳	۱	۲	۲۹	-۲	۰
۱۴	۲	۲	۳۰	-۱	۰
۱۵	۳	۲	-	-	-

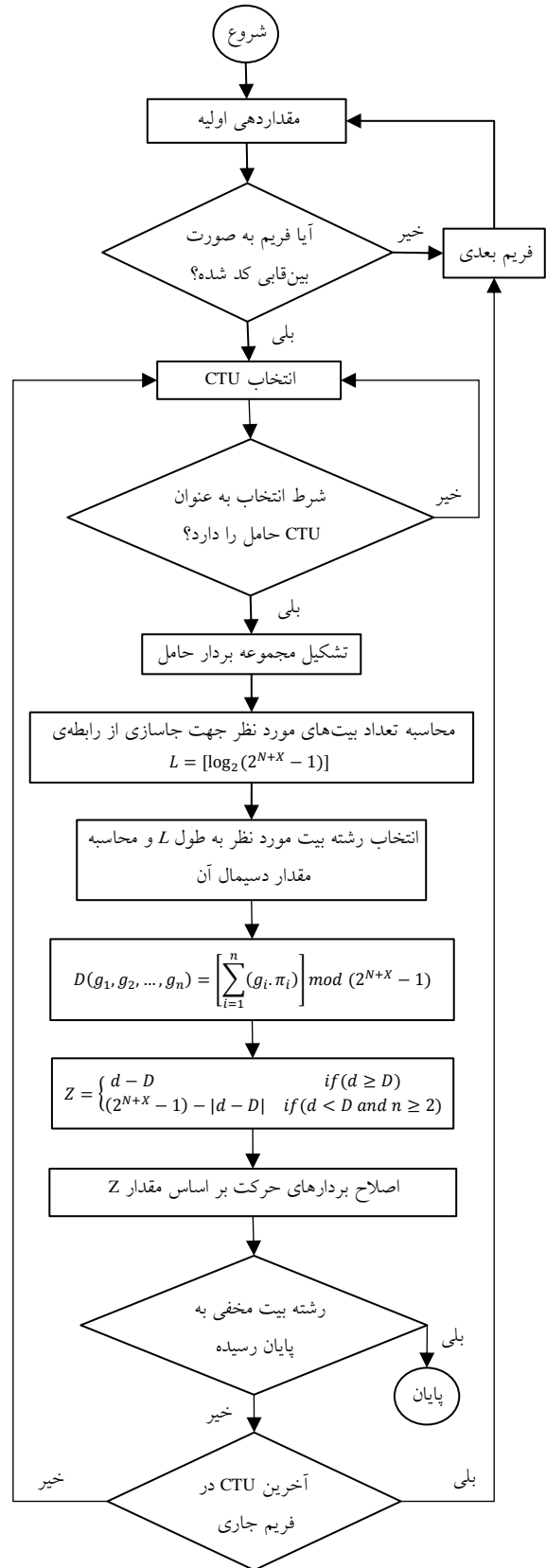
جدول (۲): بردار پایه [۱، ۳] وقتی $n = 2$ و $x = 2$ است [۲۶].

اندیس	عنصر اول (۱)	عنصر دوم (۳)	اندیس	عنصر اول (۱)	عنصر دوم (۳)
۰	۰	۰	۸	-۱	-۲
۱	۱	۰	۹	۰	-۲
۲	-۱	۱	۱۰	-۲	-۱
۳	۰	۱	۱۱	-۱	-۱
۴	۱	۱	۱۲	۰	-۱
۵	۲	۱	۱۳	۱	-۱
۶	۰	۲	۱۴	-۱	۰
۷	۱	۲	-	-	-

۶. پیاده سازی و تحلیل نتایج

در این بخش، روش پیشنهادی با ویدئوهای مختلف ارزیابی می شود. هدف از این کار محاسبه ی کارایی روش پیشنهادی در استاندارد فشرده سازی HEVC است.

تمامی آزمایش ها روی آخرین نسخه ی نرم افزار مرجع HEVC، یعنی HM 16.20 انجام شده است [۲۷]. ساختار رمزگذار



شکل (۴): بلوک دیاگرام روش پیشنهادی

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N (S[i][j] - C[i][j])^2 \quad (10)$$

که در آن i و j مختصات تصویر، M و N ابعاد تصویر و S و C به ترتیب تصاویر پوششی و حامل هستند. هر چه اختلاف بین تصویر اصلی و تصویر پوششی کمتر باشد MSE کاهش یافته و PSNR افزایش می‌یابد، در نتیجه هر چه مقدار PSNR بیشتر باشد، یعنی اعوجاج تصویر کمتر و کیفیت تصویر بهتر است. ارزیابی متوسط تشابه بین تصویر پوششی و تصویر حامل برای کل ویدئو با $MSSIM^2$ نشان داده می‌شود و از رابطه‌ی (۱۱) بدست می‌آید:

$$MSSIM(S, C) = \frac{1}{N} \sum_{K=1}^N SSIM(S_K, C_K) \quad (11)$$

در این رابطه S_K و C_K به ترتیب فریم K ام از ویدئو است و N تعداد کل فریم‌ها است. هر چه این شاخص به یک نزدیک‌تر باشد، شباهت بین دو تصویر بیشتر است.

از آنجایی که در روش پیشنهادی فقط اندازه‌ی یکی از بردارهای حرکت ممکن است کاهش یا افزایش داشته باشد، در نتیجه ممکن است نرخ بیت افزایش یا کاهش یابد. همچنین پیچیدگی زمانی جاسازی و استخراج داده‌های مخفی در روش پیشنهادی خیلی کم است و این بدین معنی است که تأثیر خیلی کمی روی کاربردهای بی‌درنگ می‌گذارد. جاسازی اطلاعات با روش پیشنهادی فرآیندی است که یکی از بردارهای حرکت حداکثر به میزان سه واحد افزایش یا کاهش می‌یابد که حداکثر N بار اجرا می‌شود. N تعداد بلوک‌های پیشگویی برای ساخت بردار حمل کننده می‌باشد.

جدول (۳) میزان افزایش زمان کد کردن ویدئوهای مختلف در حالت جاسازی داده را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود، اختلاف بین زمان کد کردن در استاندارد HEVC در حالت عادی که اطلاعات در آن جاسازی نشده با حالتی که اطلاعات در آن فریم با روش پیشنهاد جاسازی شده خیلی کم است؛ بنابراین تأثیر پیچیدگی زمانی آن ناچیز است و این یعنی روش پیشنهادی دارای کارایی بالایی است در حالی که محاسبات خیلی کمی را به سیستم تحمیل می‌کند.

Encoder-low-delay جهت پیشگویی بین قابی استفاده شده است که تنظیمات آن طبق شرایط مشترک در [۲۸] انجام شده است. برای کد کردن از ۶ ویدئوی مختلف با رزولوشن‌های متفاوت که هر یک دارای بافت‌های متفاوتی می‌باشند استفاده شده است. ۸۰ فریم اول از هر ویدئو برای کد کردن در نظر گرفته شد.

در روش پیشنهادی از پارامترهای ظرفیت جاسازی، نرخ بیت، PSNR و SSIM استفاده شده است که در ادامه، هر یک شرح داده می‌شود:

ظرفیت جاسازی، متوسط بیت‌های جاسازی شده در هر فریم را نشان می‌دهد که از رابطه‌ی (۷) بدست می‌آید [۲۹].

$$R = \frac{r}{N} \quad (7)$$

که در رابطه فوق r تعداد کل بیت‌های جاسازی شده و N تعداد کل فریم‌ها است.

نرخ بیت، پارامتر میزان افزایش یا کاهش نرخ بیت ویدئوی کد شده در استاندارد HEVC در حالتی که حامل اطلاعات مخفی است، نسبت به حالتی که حامل اطلاعات مخفی نیست را نشان می‌دهد. میزان افزایش نرخ بیت از رابطه‌ی (۸) قابل محاسبه است [۳].

$$BRI = \frac{BR - BR'}{BR} \times 100 \quad (8)$$

که در آن BR نرخ بیت کل ویدئو در حالتی که حامل اطلاعات مخفی نیست و BR' نرخ بیت کل ویدئو در حالتی که اطلاعات در ویدئو مخفی شده است می‌باشد.

برای بررسی تأثیر روش پیشنهادی بر کیفیت تصویر حامل اطلاعات مخفی از معیار PSNR استفاده می‌گردد. این معیار برحسب دسی‌بل است و از رابطه‌ی (۹) محاسبه می‌شود:

$$PSNR = 10 \log_2 \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (9)$$

که در آن MSE^۱ مجموع مربعات اختلاف بین تصویر حامل اطلاعات و تصویر پوششی است و از رابطه‌ی (۱۰) بدست می‌آید:

² Middle Structural Similarity

¹ Mean Squared Error

روی ویدئوهای یکسان مقایسه شده است. روش پیشنهادی در برابر سایر روش‌های مورد مقایسه کمترین میزان کاهش PSNR را دارد در حالی که میزان نرخ بیت نیز افزایش چندانی ندارد. نرخ بیت روش پیشنهادی نسبت به مرجع [۲۱] افزایش کمتری داشته که برتری روش پیشنهادی را نشان می‌دهد در حالی که نسبت به مرجع [۲۳] به میزان ۰/۰۴ درصد نرخ بیت افزایش بیشتری داشته است که در برابر کاهش مقدار PSNR مقدار ناچیزی است. به طور کلی نتایج آزمایشات نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به سایر روش‌های مورد مقایسه کارایی بهتری دارد.

جدول (۵): نسبت افزایش نرخ بیت ویدئوهای مختلف

ویدئو	بدون جاسازی اطلاعات (بایت)	با جاسازی اطلاعات (بایت)	BRI (%)	QP
Basketballpass ۴۱۶×۲۴۰	۳۶۷۱۸۰	۳۶۸۶۳۱	۰/۲	۲۲
RaseHorses ۸۳۲×۴۸۰	۷۷۲۸۹۳	۷۸۶۲۵۹	۱/۶	۲۲
PartyScene ۸۳۲×۴۸۰	۳۲۷۶۲۱۸	۳۳۰۰۸۱۲	۰/۴	۲۲
Fourpeople ۱۲۸۰×۷۲۰	۴۵۶۶۸۸۷	۴۵۸۶۲۳۰	۰/۳	۲۲
Kimono ۱۹۲۰×۱۰۸۰	۵۴۵۳۳۵۴	۵۵۳۸۱۸۰	۱/۳	۲۲
Traffic ۲۵۶۰×۱۶۰۰	۹۷۸۹۷۹۹	۹۸۹۳۳۴۶	۱/۳	۲۲

جدول (۶): مقایسه نتایج روش پیشنهادی با سایر کارهای مشابه

روش	PSNR (db)	BRI (%)	MSSIM
Yang & Li [21]	-۰/۴۱	۱/۵۸	NA
صابری و همکاران [۲۳]	-۰/۲۱	۰/۷۶	-۰/۰۰۱۵
روش پیشنهادی	-۰/۰۴	۰/۸	-۰/۰۰۱۵

۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش جدید برای مخفی سازی اطلاعات در ویدئوهایی کد شده با استاندارد HEVC، ارائه شد. در روش پیشنهادی از بردارهای حرکت بلوک‌های پیشگویی بین‌قابلی که برای کد کردن ویدئو در استاندارد HEVC تولید می‌شوند جهت حمل اطلاعات مخفی استفاده شد. مزیت روش پیشنهادی در

جدول (۳): میزان افزایش زمان کد کردن ویدئوهای مختلف در حالت جاسازی داده

افزایش زمان رمزگذاری بر حسب درصد	Basketballpass	RaceHoses	PartyScene	Fourpeople	Kimono	Traffic
مقدار QP	۰/۳۳	۱/۱	۰/۵	۰/۷۸	۰/۶۳	۰/۵

جدول (۴) کیفیت ویدئوها قبل و بعد از جاسازی اطلاعات با روش پیشنهادی را روی ویدئوهای مختلف با رزولوشن و بافت‌های متفاوت نشان می‌دهد. برای اندازه گرفتن کیفیت ویدئوها، یکبار ویدئوها بدون جاسازی داده با استاندارد HEVC فشرده شده و سپس ز حالت فشرده خارج شده و میزان PSNR ویدئو فشرده نشده و ویدئو از حالت فشرده خارج شده را اندازه گرفته شده و گزارش شده است. همچنین همین فرآیند برای زمانی که ویدئو حامل داده مخفی است انجام شده است. نتایج جدول (۴) نشان می‌دهد که نهان‌نگاری داده مخفی در ویدئوهای گزارش شده تاثیر چندانی روی کیفیت آنها نداشته است. در جدول (۵) نسبت افزایش نرخ بیت ویدئوهای مختلف با پارامتر چندی شدن ۲۲ نشان داده شده است.

جدول (۴): مقایسه کیفیت و معیار تشابه ویدئوها قبل و بعد از جاسازی اطلاعات با روش پیشنهادی

ویدئو	QP	بدون جاسازی اطلاعات		با جاسازی اطلاعات	
		MSSIM	PSNR	MSSIM	PSNR
Basketballpass ۴۱۶×۲۴۰	۲۲	۰/۹۶۹۳	۴۳/۵۹	۰/۹۶۷۸	۴۳/۵۵
RaseHorses ۸۳۲×۴۸۰	۲۲	۰/۹۶۴۳	۴۱/۹۵	۰/۹۶۲۹	۴۱/۹۰
PartyScene ۸۳۲×۴۸۰	۲۲	۰/۹۶۵۰	۴۰/۹۵	۰/۹۶۳۵	۴۰/۹۱
Fourpeople ۱۲۸۰×۷۲۰	۲۲	۰/۹۶۷۴	۴۳/۴۶	۰/۹۶۶۰	۴۳/۴۲
Kimono ۱۹۲۰×۱۰۸۰	۲۲	۰/۹۶۱۹	۴۳/۲۶	۰/۹۶۰۱	۴۳/۱۹
Traffic ۲۵۶۰×۱۶۰۰	۲۲	۰/۹۷۳۰	۴۱/۶۸	۰/۹۷۱۱	۴۱/۶۰

همچنین در جدول (۶) روش پیشنهادی با روش‌های مشابه

روش پیشنهادی کمترین تأثیر را روی کارایی فشرده سازی استاندارد HEVC و کاربردهای بی درنگ دارد.

تعارض منافع: نویسندگان اعلام می کنند که هیچ تعارض منافعی ندارند.

این است که حداکثر یکی از بردارهای حرکت در یک CTU کاهش یا افزایش می یابد که تأثیر کمی روی کیفیت تصاویر حامل می گذارد. نتایج آزمایش ها نشان می دهد که روش پیشنهادی دارای نرخ جاسازی خوبی است، در حالی که نرخ بیت افزایش چندانی نداشته و حتی ممکن است نرخ بیت کاهش نیز داشته باشد. مقایسه با کارهای اخیر نشان می دهد که

مراجع

- [۱] شاه بهرامی ا.، هویدا ف.، «ارزیابی کارایی تشخیص جعل کپی-انتقال تصاویر مبتنی بر بلاک بندی»، مجله محاسبات نرم، جلد ۷، شماره ۱، ص ۶۲-۷۹، ۱۳۹۷.
- [2] Mstafa R. J., Elleithy K. M., and Abdelfattah E., "Video steganography techniques: Taxonomy, challenges, and future directions," in 2017 IEEE Long Island Systems, Applications and Technology Conference (LISAT), pp. 1-6, IEEE, 2017.
- [3] Yang Y., Li Z., Xie W., and Zhang Z., "High capacity and multilevel information hiding algorithm based on pu partition modes for HEVC videos ", *Multimedia Tools and Applications*, pp. 1-24, 2018.
- [4] Xu C., Ping X., and Zhang T., "Steganography in compressed video stream," in *Innovative Computing, Information and Control*, 2006. ICICIC'06, 1:269-272, IEEE, 2006.
- [5] Jia-Ji W., Rangding W., Wei L., Dawen X., and Meiling H., "An information hiding algorithm for HEVC based on intra prediction mode and block code," *Sensors & Transducers*, 177(8):230-237, 2014.
- [۶] ذوقی م.، اسماعیلی م.، «تشخیص پویای پلاک خودرو مبتنی بر مورفولوژی برای تصاویر رنگی و مادون قرمز»، *مجله محاسبات نرم*، جلد ۶، شماره ۱، ص ۸۸-۹۹، ۱۳۹۶.
- [7] Xu Z., Min B., and Cheung R. C. C., "A fast inter CU decision algorithm for HEVC," *Signal Processing: Image Communication*, 60:211-223, 2018.
- [8] Lee D. and Jeong J., "Fast CU size decision algorithm using machine learning for HEVC intra coding," *Signal Processing: Image Communication*, 62:33-41, 2018.
- [9] Correa G., Assuncao P., Agostini L., and da Silva Cruz L. A., *Complexity-aware high efficiency video coding*. Springer, 2016.
- [10] Sarwer M. G., Po L.-M., and Jonathan Wu Q. M., "Fast sum of absolute transformed difference based 4x4 intra-mode decision of H.264/AVC video coding standard," *Signal Processing: Image Communication*, 23(8):571-580, 2008.
- [11] Park S.-h., "A sub-pixel motion estimation skipping method for fast HEVC encoding," *ICT Express*, 5(2):136-140, 2018.
- [12] Wang J., Jia X., Kang X., and Shi Y.Q., "A cover selection HEVC video steganography based on intra prediction mode". *IEEE Access*, 7:119393-119402, 2019.
- [13] Saberi Y., Ramezanzpour M., and Khorsand R., "An efficient data hiding method using the intra prediction modes in HEVC", *Multimedia Tools and Applications*, 79(43):33279-33302, 2020.
- [14] Yang Y., Li Z., Xie W., and Zhang Z., "High capacity and multilevel information hiding algorithm based on PU partition modes for HEVC videos", *Multimedia Tools and Applications*, 78(7):8423-8446, 2019.
- [15] Liu Y., Liu S., Zhao H., and Liu S., "A new data hiding method for H. 265/HEVC video streams without intra-frame distortion drift", *Multimedia Tools and Applications*, 78(6):6459-648, 2019.
- [16] Konyar M.Z., Akbulut O., and Öztürk S., "Matrix encoding-based high-capacity and high-fidelity reversible data hiding in HEVC." *Signal, Image and Video Processing*, pp.1-9, 2020.
- [17] Long M., Peng F., and Li H.-y., "Separable reversible data hiding and encryption for HEVC video," *Journal of Real-Time Image Processing*, 14(1):171-182, 2018.
- [18] Chang P. C., Chung K. L., Chen J. J., Lin C. H.,

- and Lin T. J., "An error propagation free data hiding algorithm in hevc intra-coded frames," in Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA), 2013 Asia-Pacific, 2014.
- [19] Li D., Zhang Y., Li X., Niu K., Yang X., Sun Y., "Two-dimensional histogram modification based reversible data hiding using motion vector for H. 264", *Multimedia Tools and Applications*, 78(7): 8167-8181, 2019.
- [20] Xu D., "Commutative Encryption and data hiding in HEVC Video Compression.", *IEEE Access*, 7:66028-66041, 2019.
- [21] Yang J., and Li S., "An efficient information hiding method based on motion vector space encoding for HEVC", *Multimedia Tools and Applications*, 77(10): 11979-12001, 2018.
- [22] Zhang X. and Wang S., "Efficient steganographic embedding by exploiting modification direction," *IEEE Communications Letters*, 10(11):781-783, 2006.
- [23] Saberi Y., Ramezanpour M., and Khorsand R., "Information Hiding Based on Matrix Embedding and Motion Vector in the HEVC Standard". *Journal of Advanced Signal Processing*, 3(2):213-225, 2019.
- [24] Fan L., Tiegang G., Qunting Y., and Yanjun C., "An extended matrix encoding algorithm for steganography of high embedding efficiency", *Computers & Electrical Engineering*, 37(6):973-981, 2011.
- [25] Guo M., Sun T., Jiang X., Dong Y., and Xu K., "A Motion Vector-Based Steganographic Algorithm for HEVC with MTB Mapping Strategy", In *International Workshop on Digital Watermarking* (pp. 293-306). Springer, Cham, 2019.
- [26] Kim C., "Data hiding by an improved exploiting modification direction," *Multimedia Tools and Applications*, 69(3):569-584, 2014.
- [27] HEVC J.-V., (2018), High Efficiency Video Coding (HEVC) [Online]. Available: <https://hevc.hhi.fraunhofer.de/trac/hevc/browser/tags/HM-16.20>.
- [28] Bossen F., "Common test conditions and software reference configurations," *JCTVC-L1100*, vol. 12, 2013.

[۲۹] ویسی ه.، قایدشرف ح.، ابراهیمی م.، «بهبود کارایی الگوریتم‌های یادگیری ماشین در تشخیص بیماری‌های