الگوریتم کنترل نرخ بیت متغیر ویدئو در سطح گروه تصاویر برای استاندارد فشرده‌سازی H.265

داود فانی، مهدی رضائی* و مریم سرحدی اول

گروه مهندسی مخابرات، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

چکیده

در این مقاله، یک الگوریتم کنترل نرخ بیت در سطح گروه تصاویر (GOP) برای استاندارد ویدئویی جدید H.265 جهت کاربردهای با نرخ بیت متغیر با قید بافر ارائه شده است. با توجه به تغییرات ساختاری کدگذار استاندارد H.265 نسبت به استانداردهای قبلی، نیاز به طراحی الگوریتم‌های جدید کنترل نرخ بیت احساس می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی، تغییرات پارامتر چندی‌سازی (QP) برای هر گروه تصاویر نسبت به گروه تصاویر قبلی با توجه به نرخ بیت هدف و وضعیت بافر محاسبه می‌شود. این روش امکان تغییرات کوتاه‌مدت هدفمند در نرخ بیت ویدئوی فشرده‌شده را به‌نحوی فراهم می‌کند تا ویدئوی بازسازی‌شده کیفیت دیداری یکنواخت‌تر و مطلوب‌تری داشته باشد. برخلاف روش‌های متداول، این الگوریتم به‌جای استفاده از مدل‌های نرخ-اعوجاج (R-D)، از یک جدول مراجعه بهره می‌برد که باعث کاهش چشم‌گیر حجم محاسبات شده است. نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهد، نه‌تنها نرخ بیت خروجی مطابق قید بافر به‌طورکامل کنترل می‌شود، بلکه کیفیت ویدئوی خروجی نیز نسبت به حالت بدون کنترل به‌خوبی حفظ می‌شود.

واژگان کلیدی: استاندارد H.265/HEVC، جدول مراجعه (Lookup Table)، فشرده‌سازی ویدئو، کنترل نرخ بیت، نرخ بیت متغیر

A GOP-Level Variable Bit Rate Control Algorithm for H.265 Video Coding Standard

Davoud Fani, Mehdi Rezaei* and Maryam Sarhaddi Avval

Communications Systems Engineering Group, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

Abstract

A rate control algorithm at the group of picture (GOP) level is proposed in this paper for variable bit rate applications of the H.265/HEVC video coding standard with buffer constraint. Due to structural changes in the HEVC compared to the previous standards, new rate control algorithms are needed to be designed. In the proposed algorithm, quantization parameter (QP) of each GOP is obtained by modifying QP of previous GOP according to target bit rate and buffer status. Buffer status and target bit rate are input variables selected to expand a two dimensional lookup table. Output of the lookup table is provided in a way to allow short-term variations in bit rate, in order to reach better and more uniform visual quality of reconstructed video. In addition, a QP cascading technique is used for calculating QP of frames in each GOP that operates

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

like a bit allocation scheme and causes suitable trade-off between quality and compression rate. Unlike conventional methods, proposed scheme uses a lookup table instead of using a rate-distortion model that significantly reduces the computational complexity. Several video sequences with completely different contents were used for experiments. Some short video sequences are concatenated to attain long video sequences which are closer to variable bit rate applications. Lookup table based (LUT) proposed algorithm is implemented on HM reference software and compared with λ-domain rate control algorithm (λ-RC) and constant QP (CQP) case that defined as anchor. In almost the same average bit rate (CQP: 1527.97, LUT: 1520.92, λ-RC: 1529.41), average QP (28.09, 28.18, 29.91) and average peak signal to noise ratio (PSNR) (37.88, 37.87, 37.76) of LUT is closer to CQP than that of λ-RC. Average values of QP standard deviation (1.13, 2.28, 4.27) and PSNR standard deviation (1.37, 2.11, 2.15) of LUT is smaller than λ-RC and closer to CQP. From rate control point of view, minimum buffering delay on average for all video sequences resulted by LUT is the same with that of λ-RC which is one of the best rate controllers proposed for the HEVC (0.94, 0.36, 0.35). Consequently, experimental results show that not only bit rate is perfectly controlled according to buffer constraints, but also the quality of reconstructed video is well maintained.

Keywords: **H.265/HEVC standard, Lookup table, Rate control algorithm, Variable bit rate, Video coding**

۱-مقدمه

استاندارد جدید کدگذاری ویدئویی با بازدهی بالا با حفظ کیفیت ویدئوی فشرده‌شده در سطح مطلوب، افزایش فشرده‌سازی را تا حد ۵۰٪ نسبت به استاندارد قبلی در پی داشته و توسعه آن حاصل تلاش مشترک صنعت و جامعه دانشگاهی است که منجر به طرحی منسجم شده است [1] و [2].

این استاندارد با نام‌های *H.265*، *HEVC*[1] و *MPEG-H Part 2* شناخته‌شده و از استانداردهای در حال توسعهٔ فشرده‌سازی ویدئو و جایگزینی برای *H.264/AVC* است. گستره عملکرد استاندارد H.265 تفکیک‌پذیری‌هایی از ۲۴۰ × ۳۲۰ تا ۴۳۲۰ × ۸۱۹۲ پیکسل (تصاویر با وضوح بسیار بالا) را در برمی‌گیرد.

استاندارد H.265 برای دست‌یابی به اهداف چندگانه ازجمله فشرده‌سازی با کارایی بالاتر نسبت به استاندارد پیشین، یک‌پارچه‌سازی سامانه انتقال، مقاوم‌سازی رشته‌بیت فشرده‌شده در برابر خطای کانال و به‌ویژه توانایی انجام پردازش موازی طراحی شده است. لایه کدگذار ویدئویی H.265، همان روش ترکیبی یا هیبریدی استفاده‌شده در همه استانداردهای فشرده‌سازی ویدئویی را از استاندارد H.261 تاکنون به کار می‌گیرد.

عنصر جدیدی به‌تنهایی در ساختار استاندارد H.265 باعث افزایش بهره‌وری در فشرده‌سازی نمی‌شود. این افزایش کارایی، بیشتر به‌دلیل مجموعهٔ بزرگی از اصلاحات کوچک در ساختار استاندارد است که درنهایت بهره قابل‌توجهی را سبب می‌شود [3]. این استاندارد از ساختارهای بهبودیافتهٔ پیش‌بینی و کدگذاری موجود در استانداردهای قبلی بهره می‌برد. یکی از تفاوت‌های برجسته در این استاندارد ساختار تقسیم‌بندی بلوک انعطاف‌پذیر با نام ساختار درختی با قابلیت انشعاب چهارگانه[2] است. این ساختار قابلیت ایجاد و عملکرد با ابعاد مختلف بلوک‌های کدگذاری، پیش‌بینی و تبدیل را ممکن می‌سازد. از دیگر تغییرات اعمال‌شده در ساختار این استاندارد می‌توان به نسخه اصلاح‌شده کدگذاری حسابی دودویی سازگار با محتوای ویدئو[3] اشاره کرد [6]-[1].

کنترل نرخ بیت[4] یکی از فناوری‌های نویدبخش در فشرده‌سازی ویدئویی برای برنامه‌های چندرسانه‌ای مختلف است که در کدگذار انجام می‌شود. ازآنجاکه استانداردهای ویدئویی فقط روش کدگشایی را مشخص می‌کنند، الگوریتم‌های کنترل نرخ بیت خارج از حیطه استاندارد بوده و با توجه به نوع کاربرد، امکان طراحی الگوریتم‌های متنوع توسط کاربران وجود دارد. این فنّاوری درحالی‌که میزان فشرده‌سازی و کیفیت ویدئویی بالا را دنبال می‌کند، یک رشته بیت با نرخ بیت کنترل‌شده را در خروجی فشرده‌ساز برای برآوردن محدودیت‌های انتقال نظیر پهنای باند، تأخیر و بافر ایجاد می‌کند. با پیشرفت استانداردهای فشرده‌سازی ویدئویی، این زمینه نیز به‌طور گسترده همراه با هر استاندارد مورد مطالعه قرارگرفته است.

تاکنون تعدادی کنترل‌کنندهٔ نرخ بیت برای استاندارد جدید H.265 ارائه‌شده که اجازهٔ فشرده‌سازی محتویات ویدئویی در یک نرخ بیت هدف معین را می‌دهد [19]-[7]. الگوریتم‌های متداول کنترل نرخ بیت سه مرحله دارند. ابتدا

[1] High Efficiency Video Coding

[2] Quad-Tree Structure
[3] Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding (CABAC)
[4] Rate Control (RC)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

بر اساس نرخ بیت هدف و سایر قیدهای عملی نظیر شرایط بافر انتقال، با توجه به سطح کنترل مورد نظر تعداد بیت مشخصی به هریک از اجزای ویدئو (مثل گروه تصاویر، تصویر و واحد درخت فشرده‌سازی[1]) اختصاص داده می‌شود. کنترل می‌تواند در سطح هر یک از اجزای مذکور باشد. در مرحله بعد با استفاده از یک مدل نرخ اعوجاج که ارتباط بین تعداد بیت مورد نیاز و مقدار QP را بیان می‌کند، مقدار بهینه QP مورد نیاز در سطح کنترل محاسبه می‌شود. مدل نرخ اعوجاج می‌تواند به‌صورت تحلیلی یا تجربی به‌دست آید. در مرحله آخر بعد از فشرده‌سازی جزء مورد نظر و مشخص‌شدن تعداد بیت واقعی مصرف‌شده پارامترهای مدل به‌روزرسانی می‌شود.

با توجه به تفاوت‌های موجود بین استانداردهای مختلف، مدل‌های نرخ اعوجاج متفاوت و همچنین الگوریتم‌های کنترل نرخ بیت مختلف برای هر استاندارد ارائه شده است. به‌عنوان مثال، آقای *ما* و همکاران یک مدل نرخ اعوجاج تجربی برای H.265 در [7] ارائه کردند که در آن روابطی جداگانه بین نرخ بیت و QP و بین اعوجاج و QP ارائه داده‌اند. یک کنترل‌کنندهٔ نرخ بیت توسط آقای *چوی* و همکاران برای H.265 در [8] پیشنهاد شد که در نسخه ۶ نرم‌افزار مرجع استاندارد پیاده‌سازی شد. در این کنترل‌کننده از یک مدل یک‌پارچه که نشان‌دهندهٔ رابطه بین QP و نرخ بیت بر مبنای پیکسل است، استفاده شده است. با توجه به طراحی مدل بر اساس پیکسل، قابلیت انعطاف آن بالا بوده و قابل استفاده در سطوح مختلف کنترلی است. آقای *لی* و همکاران الگوریتم دیگری را در [9] ارائه کرده که کنترل نرخ بیت را در سطح فریم انجام می‌دهد. در این الگوریتم بیت‌هایی که صرف فشرده‌سازی بافت تصویر می‌شود و همچنین بیت‌هایی که به بافت تصویر مربوط نمی‌شوند، به‌طور جداگانه مدل شده‌اند. آقای *سئو* و همکاران الگوریتم دیگری برای کنترل نرخ بیت در سطح فریم ارائه کردند که در آن سعی کردند ضمن جلوگیری از سرریز[2] و پاریز[3] بافر ثبات کیفیت ویدئوی کدشده را حفظ کنند. مدل نرخ-اعوجاج آن‌ها با فرض تابع چگالی احتمال لاپلاس روی ضرایب تبدیل به‌دست آمده است [10]. با فرض توزیع لاپلاس روی ضرایب تبدیل، آقای *سی* و همکاران در [11]، یک کنترل‌کننده نرخ بیت در سطح واحد درخت فشرده‌سازی پیشنهاد کردند. با توجه به ساختار فشرده‌سازی سلسله‌مراتبی در H.265، آن‌ها در کار دیگری یک روش اختصاص بیت برای استفاده در سطح واحد درخت فشرده‌سازی ارائه دادند [12]. آن‌ها همچنین با استفاده از یک مدل نرخ-اعوجاج دیگر، الگوریتمی برای کنترل نرخ بیت در سطح فریم به همراه روش ویژه‌ای برای کاهش تغییرات کیفیت پیشنهاد کردند [13]. آقای *وانگ* و همکاران با درنظرگرفتن تعداد ضرایب صفر تبدیل که آن را ρ نامیدند، یک مدل نرخ-اعوجاج در حوزه ρ تعریف کرده و بر مبنای آن الگوریتمی برای کنترل نرخ بیت در سطح گروه تصاویر طراحی کردند [14]. درجایی دیگر آن‌ها با استفاده از یک مدل نرخ اعوجاج درجه دوم با پارامتر میانگین قدر مطلق سیگنال اختلاف[4] جهت نمایش میزان پیچیدگی اطلاعات باقی‌مانده تبدیل و با درنظرگرفتن ساختار ارجاع سلسله‌مراتبی در گروه تصاویر الگوریتمی برای کنترل نرخ بیت در سطح فریم پیشنهاد کردند [15]. در [16] نیز آن‌ها با درنظرگرفتن ساختار سلسله‌مراتبی ارجاع و با استفاده از یک مدل درجه دوم در حوزه ρ، الگوریتمی برای کنترل دقیق نرخ بیت برای کاربردهای با تأخیر خیلی کم ارائه کردند. در پژوهش دیگری، آقای *لی* و همکاران با انجام آزمایش‌هایی توانستند یک حوزه جدید برای طراحی‌های کنترل‌کننده نرخ بیت پیداکرده و مسئله قدیمی مرغ و تخم‌مرغ را که بین بهینه‌سازی نرخ اعوجاج و کنترل‌کنندهٔ نرخ بیت وجود داشت، حل کند [17][5]. آن‌ها یک رابطه محکم بین نرخ بیت و ضریب لاگرانژ λ مورد استفاده در بهینه‌سازی نرخ اعوجاج پیداکرده و سپس یک الگوریتم کنترل نرخ بیت در حوزهٔ λ بر مبنای مدلی که نشان‌دهندهٔ رابطه λ و نرخ بیت است، پیشنهاد کردند. ازآنجایی‌که عملکرد این ساختار نسبت به الگوریتم [8] در شرایط مطلوب‌تری قرار دارد، این روش در نسخه ۹/۱ نرم‌افزار مرجع استاندارد جایگزین الگوریتم قبلی شد. در [18] آقای *یانگ* و همکاران عملکرد تخصیص بیت موجود در الگوریتم [17] را برای رسیدن به نوسانات کمتر در نرخ بیت ارتقا دادند؛ بنابراین، الگوریتم آن‌ها برای کاربردهای با نرخ بیت ثابت و تأخیر کم مناسب است.

در طراحی کنترل‌کننده حوزه λ که به‌عنوان الگوریتم کنترل نرخ بیت در نرم‌افزار مرجع استاندارد پذیرفته‌شده، قید مهم بافر و پارامترهای بافر کد بردار مرجع فرضی[6] به‌اندازه کافی در تحلیل‌ها مورد توجه قرار نگرفته است.

[1] Coding Tree Unit (CTU)
[2] Overflow
[3] Underflow
[4] Mean Absolut Difference (MAD)
[5] λ-domain Rate Control algorithm (λ-RC)
[6] Hypothetical Reference Decoder

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

برآورده‌شدن قید بافر کد بردار مرجع فرضی، انتقال و کدبرداری دنباله ویدئویی را بدون بروز هیچ سرریز و یا پاریزی در بافر سمت فرستنده یا گیرنده تضمین می‌کند. لازم به ذکر است که سرریز و پاریز بافر به معنی اتلاف داده‌ها و خطا و یا اتلاف پهنای باند انتقال است. آقای *رودریگز* و همکاران الگوریتمی پیشنهاد کرده‌اند که در آن قید بافر به‌خوبی لحاظ شده است [19]. از این گذشته، آن‌ها یک روش جدید برای اعمال سلسله‌مراتبی QP به لایه‌های زمانی مختلف را برای کارایی بالاتر فشرده‌ساز در نظر گرفته‌اند. بااین‌حال این الگوریتم نیز برای کاربردهای با نرخ بیت ثابت ارائه‌شده و به‌طور کارآمد از فضای خالی بافر برای رسیدن به کیفیت بالاتر در ویدئوی کدشده بهره نمی‌برد.

نرخ بیت ثابت برای کاربردهایی با تأخیر کم‌نظیر ویدئو تلفن و ویدئوکنفرانس مناسب است. همچنین نرخ بیت ثابت مستلزم تغییرات شدید در مقدار QP است که این کار موجب تغییرات شدید کیفیت در تصاویر ویدئویی و درنتیجه کاهش کیفیت دیداری ویدئو می‌شود. در بیش‌تر کاربردهای انتقال ویدئو مثل پخش تلویزیونی که جریان اطلاعات ویدئویی یک‌طرفه است، امکان تأخیر بیشتر در سامانه ضمن استفادهٔ بیشینه از پهنای باند وجود دارد که این به معنی امکان افزایش اندازه بافر و افزایش تأخیر ناشی از انباشت اولیهٔ بافر است. افزایش اندازه بافر امکان افزایش نوسان در نرخ بیت و درنتیجه امکان کاهش نوسان در مقدار QP را فراهم می‌کند. کاهش نوسان مقدار QP به‌منزلهٔ کاهش نوسان در کیفیت و درنتیجه افزایش کیفیت دیداری ویدئو است [20].

تمام الگوریتم‌هایی که در بالا بررسی شده‌اند در دستهٔ کاربردهای با نرخ بیت ثابت طبقه‌بندی می‌شوند. حتی الگوریتم‌هایی که با قید بافر طراحی‌شده‌اند با توجه به نحوهٔ استفاده از مدل نرخ-اعوجاج که در آن‌ها تنها نرخ بیت هدف به‌عنوان مرجع اصلی کنترل‌کننده مورد استفاده قرارگرفته است، کاهش نوسانات کیفیت موردتوجه قرار نمی‌گیرد. هرچند امکان استفاده از نرخ بیت متغیر کنترل‌شده در بسیاری از کاربردهای استاندار جدید H.265 وجود دارد، ولی تاکنون الگوریتمی مختص این کاربردها یافت نشده است. گرچه برای استاندار قبلی H.264/AVC الگوریتم‌هایی مخصوص کاربردهای با نرخ بیت متغیر ارائه شده است. به‌عنوان‌مثال آقای *رضائی* و همکاران با استفاده از یک کنترل‌کنندهٔ نیمهٔ فازی، الگوریتمی مختص کاربردهای با نرخ بیت متغیر برای استاندار H.264/AVC ارائه دادند [20].

الگوریتم پیشنهادی[1] در این مقاله با الهام از الگوریتم ارائه‌شده در [20]، ویژه کاربردهای با نرخ بیت متغیر است. روش پیشنهادی با رویکردی جدید از ساختار الگوریتم‌های متداول پیروی نکرده و بدون نیاز به هیچ‌گونه مدل نرخ-اعوجاج، تنها از یک جدول مراجعه استفاده می‌کند که در مقایسه با الگوریتم‌های قبلی حجم محاسبات بسیار کمتری دارد. این الگوریتم با کنترل نرخ بیت در سطح گروه تصاویر، ضمن برآورده‌ساختن قید بافر، استفادهٔ بیشینه را از فضای بافر برای کمینه‌کردن نوسانات QP و درنتیجه افزایش کیفیت دیداری ویدئو فشرده‌شده می‌کند. لازم به ذکر است، هر چه سطح کنترل پایین‌تر باشد، نرخ بیت به مقدار ثابت نزدیک‌تر و بالعکس هر چه سطح کنترل مثل الگوریتم پیشنهادی بالا می‌رود، تغییرات نرخ بیت بیشتر می‌شود. در الگوریتم پیشنهادی به‌جای محاسبه مستقل QP برای گروه تصاویر، مقدار تغییرات آن نسبت به QP استفاده‌شده در گروه تصاویر قبلی محاسبه می‌شود؛ ضمن آنکه سعی بر آن است این تغییرات کمینه شود. شایان ذکر است که ویدئوی فشرده‌شده با QP ثابت[2] یا بدون کنترل دارای برترین کیفیت دیداری نسبی است. برخلاف الگوریتم‌های قبلی که در آن‌ها مرجع اصلی کنترل‌کننده تنها نرخ بیت هدف است، در الگوریتم پیشنهادی مرجع اصلی در هرلحظه مقدار QP قبلی است که هم نماینده نرخ بیت و هم نماینده کیفیت است. به همین دلیل است که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند هم نرخ بیت و هم کیفیت را به‌طور هم‌زمان کنترل کند.

ادامه این مقاله بدین شرح سازمان یافته است: جزئیات الگوریتم پیشنهادی در بخش دوم ارائه می‌شود. نتایج حاصل از پیاده‌سازی الگوریتم پیشنهادی در بخش سوم آمده است. مقاله در بخش چهارم جمع‌بندی و نتیجه‌گیری می‌شود.

۲-الگوریتم پیشنهادی

در این مقاله یک کنترل‌کننده نرخ بیت در سطح گروه تصاویر پیشنهاد می‌شود. در این الگوریتم ابتدا برای هر گروه از تصاویر یک دنباله ویدئویی، یک QP بر مبنای اندازه بافر، میزان حجم اشغال‌شده بافر، تعداد بیت هدف برای یک گروه تصاویر و تعداد بیت ناشی از کدکردن گروه تصاویر قبلی محاسبه می‌شود، سپس مطابق یک‌روال معمول، با توجه به

[1] Lookup Table based proposed algorithm (LUT)
[2] Constant QP (CQP)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

نوع و محل قرارگرفتن تصویر یا فریم در لایه‌های زمانی مختلف، میزان آفست مشخصی به آن اضافه می‌شود که موجب افزایش کیفیت متوسط ویدئو می‌شود. جزئیات بیشتر الگوریتم در ادامه آمده است.

۲-۱-کنترل نرخ بیت در سطح گروه تصاویر

در طراحی الگوریتم پیشنهادی از الگوریتم قبلی ارائه‌شده برای استاندارد H.264/AVC در [20] الهام گرفته شده است. در اینجا از روابط فازی صرف‌نظر شده و به‌جای کنترل‌کننده فازی از یک کنترل‌کننده با جدول مراجعه به‌عنوان عنصر اصلی در عملیات کنترل استفاده می‌کنیم. الگوریتم پیشهادی بر خلاف مرجع [20]، در سطح گروه تصاویر و بدون استفاده از کنترل‌کنندهٔ جداگانه‌ای برای کیفیت طراحی‌شده و تنها برای کاربردهای با نرخ بیت متغیر بهینه شده است. برای محاسبه QP، کنترل‌کننده از دو ورودی استفاده می‌کند که این ورودی‌ها مقادیر هنجارسازی‌شدهٔ نرخ بیت گروه تصاویر قبلی و حجم اشغال‌شده بافر مجازی هستند. شکل (۱)، نمودارجعبه‌ای سامانه کنترل نرخ بیت پیشنهادی را نشان می‌دهد.

در این طبقه نمودارجعبه‌ای، کنترل‌کننده و بافر مجازی قسمت‌های اساسی سامانه کنترلی هستند. کنترل‌کننده تلاش می‌کند که نرخ بیت رشته‌کدشده را ضمن محدودکردن تغییرات غیرضروری QP کنترل کند. در همین راستا کنترل‌کننده، نرخ بیت را برای یک گروه تصاویر کنترل می‌کند و اعمال کنترل بر روی QP تک‌تک فریم‌ها به‌طور جداگانه صورت نمی‌گیرد. مقدار بیت هدف برای هر گروه تصاویر با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$T_G = \frac{R \times N_G}{F} \qquad (۱)$$

که در آن، T_G مقدار بیت هدف برای هر گروه تصاویر، N_G بیانگر تعداد فریم‌ها در یک گروه تصاویر، R نشان‌دهندهٔ نرخ بیت هدف برای رشتهٔ بیت یا پهنای باند کانال در دسترس و F تعیین‌کننده نرخ فریم است.

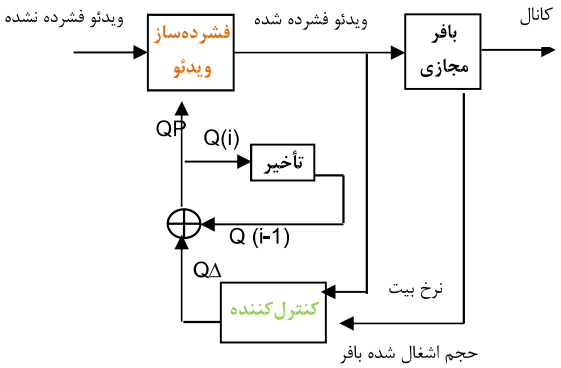
۲-۲-بافر مجازی

بلوک بافر مجازی در نمودار شکل (۱)، فرآیند بافرکردن کدگشا را در سمت گیرندهٔ یک کانال با پهنای باند ثابت مدل می‌کند که مدل آن تقریبی از مدل‌های مرجع معرفی‌شده در استانداردهای مختلف فشرده‌سازی ویدئو است. در این الگوریتم فرض بر این است که قبل از شروع کدگشایی، ۰/۶ حجم بافر مجازی حین انباشت اولیه بافر پرشده است و این وضعیت، نقطه مرجع کنترل‌کننده حین کار نیز محسوب می‌شود. در این مدل بعد از کدگذاری هر تصویر، حجم اشغال‌شده بافر با استفاده از رابطه زیر به‌روز رسانی می‌شود.

$$O_B(i) = O_B(i-1) - B(i-1) + \frac{R}{F} \qquad (۲)$$

که در آن $O_B(i)$ میزان حجم اشغال‌شده بافر مجازی را بعد از کدکردن تصویر iام و $B(i)$ تعداد بیت‌هایی که به‌وسیله تصویر کدشده iام مصرف‌شده را نشان می‌دهند. ذکر این نکته ضروری است که بافر مجازی در سمت گیرنده به‌صورت مدل بافر فرستنده شبیه‌سازی می‌شود؛ بنابراین در فاصله زمانی بین هر دو فریم، مقدار ثابتی از بیت از طریق کانال به بافر منتقل می‌شود. اندازه بافر مجازی، یکی از پارامترهای اصلی است که توسط کاربر تعریف می‌شود و به تأخیر مجاز در هر کاربرد بستگی دارد.

کنترل‌کننده، پیشنهادی در طول مدت‌زمان عملکرد، حجم اشغال‌شده بافر مجازی را به‌طرف محدوده‌ای حول ۶۰٪ اندازه بافر هدایت می‌کند.



(شکل-۱): نمودارجعبه‌ای کنترل‌کننده پیشنهادی نرخ بیت ویدئو
(Figure-1): Block diagram of the proposed video rate control algorithm

۲-۳-کنترل‌کننده

رویکرد جدید کنترل نرخ بیت در این مقاله، محاسبه تغییرات QP به‌جای خود QP است. بر همین اساس مدل نرخ-اعوجاج واقعی دارای هرگونه تابع غیرخطی و پیچیده‌ای که باشد، نوسانات نرخ بیت می‌تواند به‌صورت یک تابع ساده‌تر از نوسانات QP حول نقطه کار در نظر گرفته شود. به‌این‌ترتیب در روش پیشنهادی نیازی به استفاده از یک مدل نرخ-اعوجاج خاص و دقیق نیست. در این سناریو پیچیدگی کدگذاری گروه تصاویر قبلی به‌عنوان تخمینی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

برای گروه تصاویر فعلی در نظر گرفته می‌شود و با توجه به شرایط بافر در صورت نیاز به اصلاح نرخ بیت، میزان اصلاح QP از یک جدول مراجعه به‌دست می‌آید. به‌عبارتی اگر شرایط بافر اجازه دهد، حتی اگر نرخ بیت موجود با نرخ بیت هدف فاصله داشته باشد از اصلاح و تغییرات QP خودداری می‌شود. بر همین اساس، جدول مراجعه به‌نحوی طراحی‌شده است که تا جای ممکن تغییرات QP و درنتیجه تغییرات کیفیت کمینه شود.

استفاده از جدول مراجعه با انعطاف‌پذیری بالا امکان تشدید و یا تضعیف کنترل را با توجه به شرایط بافر و نرخ بیت موجود به‌صورت دلخواه و غیرخطی فراهم می‌کند. به‌طوری‌که در شرایط بحرانی که احتمال سرریز و یا پاریز بافر بیشتر می‌شود، کنترل شدیدتر و به‌عبارتی میزان اصلاح QP بیشتر شده و در شرایط غیر بحرانی اصلاح QP کاهش‌یافته و تاحدممکن صفر می‌شود. کنترل‌کننده دو کمیت ورودی دارد که یکی حجم اشغال‌شده بافر هنجارسازی‌شده به‌اندازه بافر و دیگری نرخ بیت فعلی هنجارسازی‌شده به نرخ بیت هدف برای یک گروه تصاویر است.

پس از پایان فرایند فشرده‌سازی برای هر گروه تصاویر، ورودی‌های کنترل‌کننده از روابط زیر به‌دست می‌آیند:

$$x_1 = \frac{O_B}{S_B} \qquad (۳)$$

$$x_2 = \frac{B_G}{T_G} \qquad (۴)$$

که در آن x_1 و x_2 ورودی‌های سامانه کنترلی هستند. B_G میزان بیت مصرفی برای گروه تصاویر قبلی، S_B اندازه بافر و O_B حجم اشغال‌شده بافر پس از کدکردن گروه تصاویر قبلی را نشان می‌دهند. خروجی‌های کنترل‌کننده به‌ازای بازه‌های مختلف دو ورودی، در جدول (۱) که همان جدول مراجعه است، خلاصه شده‌اند. جدول نشان داده‌شده، یک جدول مرجع دوبعدی است که طول و عرض آن مطابق ورودی‌های کنترل‌کننده گسترش پیداکرده است. مقادیر داخل جدول خروجی کنترل‌کننده را برحسب محدوده‌هایی از ورودی‌ها تعریف می‌کنند. به ترتیب تعداد ۱۰ و ۷ بازه برای دو ورودی x_1 و x_2 در نظر گرفته‌شده و جدول مراجعه بر اساس تجارب به‌دست‌آمده از تحقیقات پیشین در [20] و همچنین انجام آزمایش‌های بسیار بر روی انواع ویدئو با رزولوشن و محتوای متفاوت برای رسیدن به کنترل‌کننده‌ای با بهترین عملکرد ازنقطه‌نظر نرخ-اعوجاج و برآورده کردن قیدهای بافر طراحی‌شده است. مرز بازه‌های دو ورودی x_1 و x_2 که در جدول (۱) به ترتیب با حروف بزرگ A تا K و حروف کوچک a تا h نام‌گذاری شده‌اند، در جداول (۲- الف) و (۲- ب)، تعیین می‌شوند. به‌عنوان‌مثال، وقتی حجم اشغال‌شده بافر نزدیک به نقطه مرجع ٪۶۰ و نرخ بیت هم نزدیک به هدف است، به‌ازای مقادیر به‌دست‌آمده برای دو ورودی x_1 و x_2 خروجی کنترل‌کننده برابر با صفر خواهد بود. مفهوم این عملکرد ثابت ماندن مقدار QP نسبت به مرحله قبل است. درجایی که نرخ بیت افزایش می‌یابد بافر گیرنده به پاریز نزدیک می‌شود، خروجی کنترل‌کننده افزایش می‌یابد و بالعکس وقتی نرخ بیت کاهش پیدا می‌کند و بافر هم به سرریز نزدیک شود خروجی کنترل‌کننده کاهش می‌یابد. برای آنکه فرآیند کنترل بتواند با کاربردهای مختلف از جهت میزان تأخیر مجاز و همچنین از نوع محتوای ویدئو تطبیق پیدا کند خروجی کنترل‌کننده که از جدول مراجعه به دست می‌آید با استفاده از رابطه زیر تعدیل می‌شود:

$$\Delta Q = G \times \frac{R}{S_B} \times f(x_1, x_2) \qquad (۵)$$

(جدول-۱): مقادیر خروجی کنترل‌کننده

(Table-1): Output values of the Controller

x_2 \ x_1	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
h											
g	8	7	7	6	5	4	3	2	1	0	
f	7	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	
e	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	
d	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	
c	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	
b	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	
a	3	2	1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6	

(جدول-۲(الف)): مرز بازه‌های عمودی جدول مراجعه

(Table-2(a)): Vertical boundaries of the lookup table

a	b	c	d	e	f	g	h
0.00	0.30	0.60	0.85	1.10	1.30	1.50	1.70

(جدول-۲(ب)): مرز بازه‌های افقی جدول مراجعه

(Table-2(b)): Horizontal boundaries of the lookup table

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
0.00	0.12	0.18	0.26	0.34	0.44	0.54	0.66	0.78	0.90	1.00

در این رابطه G بهره کنترل‌کننده بوده که با توجه به محتوای ویدئو می‌تواند در بازه ۰/۵ تا ۱ تنظیم شود. $f(x_1,x_2)$ خروجی جدول مراجعه است. ΔQ میزان اصلاح QP گروه

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

تصاویر قبلی برای استفاده در گروه تصاویر فعلی است؛ بنابراین QP اصلی برای گروه تصاویر فعلی با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Q_G(i) = Q_G(i-1) + \Delta Q(i) \quad (۶)$$

که در آن $Q_G(i)$ پارامتر چندی‌سازی اصلی محاسبه‌شده برای گروه تصاویر iام است. رابطه (۶) برای هر گروه تصاویر یک‌بار محاسبه شده و برای نخستین گروه تصاویر در هر دنباله ویدئویی $Q_G(i)$ با توجه به محتوای ویدئو و bpp، به‌صورت دستی در محدوده متوسط بین ۲۴ تا ۲۸ تعیین می‌شود. مقدار QP هر یک از تصاویر گروه با دو روش متعارف قابل محاسبه است. در یک روش همه قاب‌های گروه با همان QP گروه فشرده می‌شوند و در روش رایج‌تر، با توجه به اینکه قاب در کدام لایه زمانی قرارگرفته باشد، با اضافه‌کردن یک مقدار ثابت یا آفست به QP اصلی به‌دست می‌آید:

$$Q_L = Q_G(i) + Q_{OL} \quad (۷)$$

که Q_L مقدار QP نهایی برای یک قاب در لایه زمانی Lام و Q_{OL} مقدار آفست مربوط به قاب‌های لایه زمانی Lام است. مقدار Q_{OL} برای لایه‌های زمانی بالاتر که مرجع تصاویر کمتری می‌باشند، افزایش می‌یابد. اگرچه این آفست‌ها موجب تغییرات نامحسوس کیفیت در سطح یک گروه تصاویر می‌شود، ولی باعث افزایش کیفیت متوسط کل ویدئو می‌شود. به‌هرحال امکان درنظرگرفتن آفست صفر برای همه تصاویر گروه نیز وجود دارد.

۳-نتایج پیاده‌سازی

عملکرد الگوریتم ارائه‌شده را به‌عنوان الگوریتمی جدید برای استاندارد H.265 جهت کنترل نرخ بیت ویدئوی فشرده‌شده با نرخ بیت متغیر، با پیاده‌سازی آن بر روی نرم‌افزار مرجع HM-16.1[21] ارزیابی می‌کنیم. برای ارزیابی الگوریتم کنترل نرخ بیت پیشنهادی از جنبه‌های مختلف از چندین دنباله ویدئویی شناخته‌شده به‌شرح جدول (۳) استفاده‌شده است. ازآنجاکه کنترل‌کننده برای نرخ بیت متغیر طراحی‌شده و نسبت به کنترل‌کننده‌های مخصوص نرخ بیت ثابت، امکان نوسانات در نرخ بیت را برای بازه‌های زمانی طولانی‌تر فراهم می‌کند، کارایی الگوریتم پیشنهادی هنگام کدگذاری ویدئوهای طولانی بهتر مشخص می‌شود. به همین دلیل برای ایجاد دنباله‌های ویدئویی طولانی‌تر جهت ارزیابی، از بین ویدئوهای اشاره‌شده در جدول (۳) تعدادی را به‌شرح زیر در دو مجموعه باهم سری کرده‌ایم. دنباله نخست با تعداد ۱۸۰۰ قاب با سری‌کردن و تکرار دنباله‌های Keiba، Race Horses و BQ Square و دنباله دوم با هزار قاب به‌وسیله سری‌کردن دنباله‌های Basketball Drill و Party Scene به‌دست آمده‌اند. عمل فشرده‌سازی ویدئوها با پیکربندی دسترسی تصادفی[1]، درنظرگرفتن هشت قاب در گروه تصاویر و مقدار ۳۲ برای دوره تناوب تکرار قاب نوع I و با نمایه اصلی[2] انجام شده است. سایر پارامترهای فهرست پیکربندی کدگذار در حالت پیش‌فرض انتخاب شده و مقدار ۰/۶۵ برای پارامتر بهره کنترل‌کننده در نظر گرفته شده است. ازآنجاکه یکی از اهداف الگوریتم پیشنهادی، ثابت‌نگه‌داشتن تاحدممکن QP و در نتیجه دست‌یابی به کیفیت دیداری بسیار خوب است، مقایسه عملکرد آن با حالت بدون کنترل یا همان QP ثابت که در مباحث مربوط به کنترل نرخ بیت ویدئو دارای بهترین کیفیت دیداری برای ویدئوی فشرده شده است، منطقی به نظر می‌رسد. از طرفی برای مقایسه عملکرد الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم‌های مدرن ارائه‌شده از جنبهٔ برآورده‌کردن محدودیت‌های بافر و دست‌یابی به نرخ بیت مشخص، الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم [17] که در نرم‌افزار مرجع استاندارد قرار داشته و یکی از بهترین و دقیق‌ترین الگوریتم‌های کنترل نرخ بیت است، مقایسه می‌شود. بنابراین الگوریتم پیشنهادی از دو جنبه اصلی با دو مورد از بهترین الگوریتم‌های موجود مقایسه می‌شود. برای دستیابی به متوسط نرخ بیت یکسان در حالت QP ثابت، الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم [17]، هر دنباله ویدئویی در ابتدا با QP ثابت فشرده‌شده و مقدار نرخ بیت متوسط برای آن به‌دست می‌آید؛ سپس نرخ بیت متوسط به‌دست‌آمده به‌عنوان نرخ بیت هدف در کنترل‌کنندهٔ پیشنهادی و الگوریتم [17] در نظر گرفته می‌شود. نتایج عددی پیاده‌سازی‌ها در جدول (۴) خلاصه‌شده‌اند که در آن الگوریتم پیشنهادی با حالت QP ثابت و الگوریتم ارائه‌شده در [17] از جهات مختلفی مانند مقدار متوسط[3] و انحراف معیار[4] برای QP و معیار سنجش کیفیت PSNR مؤلفهٔ روشنایی، تأخیر انباشت اولیه بافر و نرخ بیت متوسط، مقایسه شده است. با بررسی جدول (۴) مشاهده می‌شود که الگوریتم پیشنهادی

[1] Random Access Configuration
[2] Main Profile
[3] Average (Avg)
[4] Standard Deviation (STD)

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]
[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

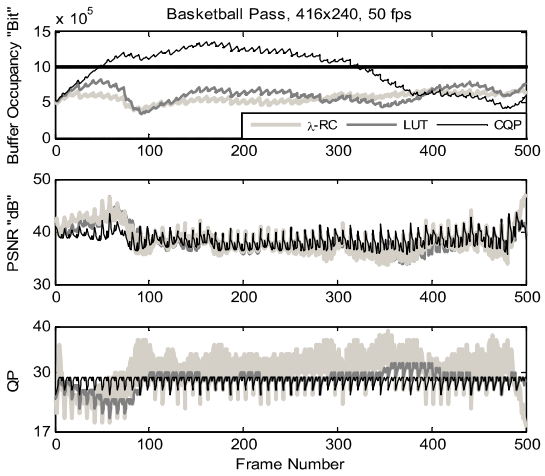
نتایج بسیار مشابه با حالت بدون کنترل از نقطه‌نظر نرخ بیت و کیفیت تولید کرده است؛ ضمن آنکه قید بافر به‌طور کامل بدون هرگونه سرریز یا پاریز برآورده شده است. در مقایسه با حالت QP ثابت، میزان تأخیر متوسط روی همه دنباله‌ها توسط الگوریتم پیشنهادی از ۰/۹۴ ثانیه به ۰/۳۶ ثانیه کاهش یافته است که خود حاکی از کنترل کامل است. از طرفی در مقایسه با الگوریتم [17]، الگوریتم پیشنهادی دارای کیفیت بالاتری از جنبه معیار PSNR بوده و میزان تأخیر متوسط روی همه دنباله‌ها برای الگوریتم پیشنهادی و الگوریتم [17] یکسان است. با توجه به اینکه الگوریتم پیشنهادی برای کاربردهای با نرخ بیت متغیر طراحی شده و الگوریتم [17] برای کاربردهای نرخ بیت ثابت با دقت بسیار بالا ارائه شده است، دقت الگوریتم [17] در رسیدن به نرخ بیت هدف تا حدودی بهتر است که این موضوع دور از انتظار نیست. همان‌گونه که انتظار می‌رود انحراف معیار مقادیر PSNR و QP در الگوریتم پیشنهادی نسبت به حالت QP ثابت تا حدی افزایش داشته است که این موضوع لازمه کنترل است. این در حالی است که انحراف معیار مقادیر PSNR وQP در الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم [17] به‌مراتب کمتر است که نشان‌دهنده دست‌یابی به کیفیت دیداری بالاتر توسط الگوریتم پیشنهادی با رعایت کامل قیدهای بافر است. نمودارهای شکل (۲)، نتایج پیاده‌سازی را برای قاب‌های دنباله *Basketball Pass* به‌عنوان نمونه نشان می‌دهند. همان‌طور که در شکل (۲) مشاهده می‌شود همبستگی شدیدی بین نمودار مربوط به QP، معیار سنجش کیفیت PSNR و همچنین حجم اشغال‌شده بافر در الگوریتم پیشنهادی به‌وضوح دیده می‌شود و این بدان معنی است که منابع در دسترس ازجمله نرخ بیت و فضای در دسترس بافر، مطابق با پیچیدگی فشرده‌سازی محتوای ویدئو تخصیص داده شده است. همچنین سرریز بافر در حالت بدون کنترل یا QP ثابت نیز مشهود است.

کارایی الگوریتم پیشنهادی در کنترل نرخ بیت دنباله‌های طولانی ساخته‌شده (*Concatenated Seq.1*, *Concatenated Seq.2*) در شکل‌های (۳- الف) و (۳- ب) به نمایش گذاشته شده است. ازآنجاکه این دنباله‌ها دارای چند برش صحنه متفاوت هستند، کارایی کنترل‌کننده نرخ بیت در آن‌ها مشهودتر است. نتایج مربوط به حجم اشغال‌شده بافر در هر دو شکل (۳- الف) و (۳- ب) نشان می‌دهند درحالی‌که بافر حالت QP ثابت به‌شدت دچار سرریز و پاریز می‌شود، کنترل‌کننده پیشنهادی ضمن اجازه نوسانات هدف‌دار و همبسته به محتوای بافر، از سرریز و پاریز آن جلوگیری کرده است. در شکل (۳- ب)، وقوع پاریز بافر برای الگوریتم ارائه‌شده در [17] نشان‌دهنده عدم کنترل صحیح و عدم برآورده‌ساختن محدودیت بافر توسط این الگوریتم برای دنباله‌های ویدئویی مختلف است. بنابراین، برتری الگوریتم پیشنهادی نسبت به الگوریتم [17] که از دقیق‌ترین الگوریتم‌های کنترل نرخ بیت ارائه‌شده برای استاندارد H.265 است، نتیجه می‌شود. در اینجا، سرریز بافر به معنی تلفات پهنای باند موجود و پاریز بافر به معنای دورریختن و تلفات داده‌های ویدئویی است. یکی از منحنی‌های پرکاربرد در سنجش کارایی کنترل‌کننده‌های نرخ بیت، منحنی نرخ- اعوجاج است که دو محور افقی و عمودی آن به ترتیب، اندازه متوسط نرخ بیت و متوسط معیار سنجش کیفیت PSNR مؤلفه روشنایی هستند. شکل‌های (۴- الف) و (۴- ب)، منحنی‌های نرخ-اعوجاج الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم ارائه‌شده در [17] و حالت QP ثابت را برای دو دنباله ویدئویی با نام‌های *Flower vase* و *Basketball Pass* نشان می‌دهند. همان‌طور که از نمودارهای پایین مشاهده می‌شود، منحنی نرخ-اعوجاج الگوریتم پیشنهادی بالاتر و در بدترین حالت بر روی منحنی‌های مربوط به الگوریتم [17] و حالت QP ثابت قرار دارد. این نکته نشان‌دهندهٔ کیفیت (با معیار PSNR) برابر و یا بالاتر برای ویدئوی فشرده‌شده با الگوریتم پیشنهادی در قیاس با الگوریتم [17] و حالت QP ثابت، در متوسط نرخ بیت یکسان است. از نقطه‌نظر کیفیت دیداری، ازآنجاکه در الگوریتم پیشنهادی QP دارای تغییرات کمتری نسبت به الگوریتم‌های با نرخ بیت ثابت ازجمله الگوریتم ارائه‌شده در [17] است، بنابراین ویدئوی حاصل، دارای کیفیت یکنواخت‌تر و درنتیجه بالاتری خواهد بود [20].

ازآنجاکه در الگوریتم پیشنهادی هیچ‌گونه مدل نرخ- اعوجاجی به‌طورمستقیم استفاده نشده است، محاسبات معمول در سایر الگوریتم‌ها نظیر محاسبات مربوط به تخمین پیچیدگی کدگذاری، اختصاص بیت، محاسبه مدل و به‌روزرسانی پارامترهای مدل در این الگوریتم وجود ندارد؛ بنابراین الگوریتم پیشنهادی از نقطه‌نظر پیچیدگی محاسباتی بسیار ساده و حتی ساده‌تر از الگوریتم نیمه‌فازی ارائه‌شده برای استاندارد H.264/AVC در [20] است. علت آن نیز حذف چندین بخش محاسباتی نسبت به الگوریتم [20] و تنها استفاده از جدول جستجو و انجام چند مرحله مقایسه برای دست‌یابی به QP مطلوب است.

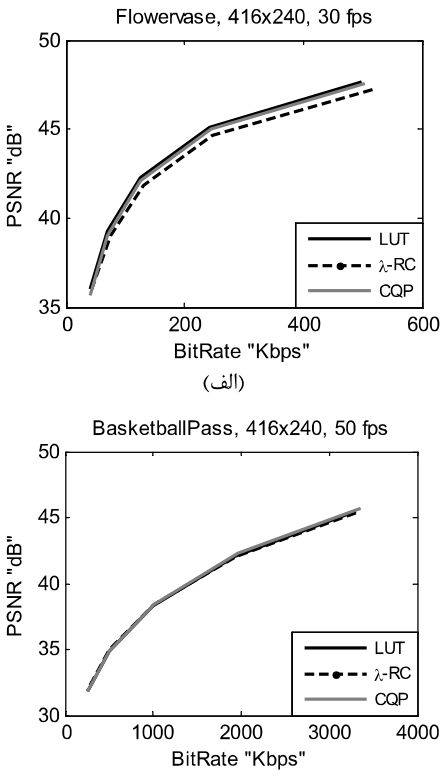
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]



(شکل-۲): نتایج فشرده‌سازی دنباله ویدئویی Basketball Pass با استفاده از الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم [17] و الگوریتم با QP ثابت

(Figure- 2): Compression results of Basketball Pass sequence encoded by proposed algorithm, λ-domain algorithm, and constant QP case



(شکل-۴): منحنی‌های نرخ-اعوجاج دنباله‌های ویدئویی (الف) Flower vase و (ب) Basketball Pass فشرده شده با الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم [۱۷] و حالت QP ثابت با فهرست پیکربندی دسترسی تصادفی

(Figure- 4): R-D curves of (a) Flower vase and (b) Basketball Pass sequences encoded by λ-domain algorithm, constant QP, and proposed algorithm with random access configuration file.

(جدول-۳): مشخصات دنباله‌های ویدئویی به‌کارگرفته‌شده جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم پیشنهادی

(Table- 3): Properties of video sequences used for evaluating performance of the proposed algorithm

ردیف	نام دنباله	ابعاد	نرخ فریم	تعداد فریم
1	Basketball Drill	832×480	50	500
2	Party Scene	832×480	50	500
3	BQ Square	416×240	60	600
4	Basketball Pass	416×240	50	500
5	Blowing Bubbles	416×240	50	500
6	Race Horses	416×240	30	300
7	Keiba	416×240	30	300
8	Flower Vase	416×240	30	300

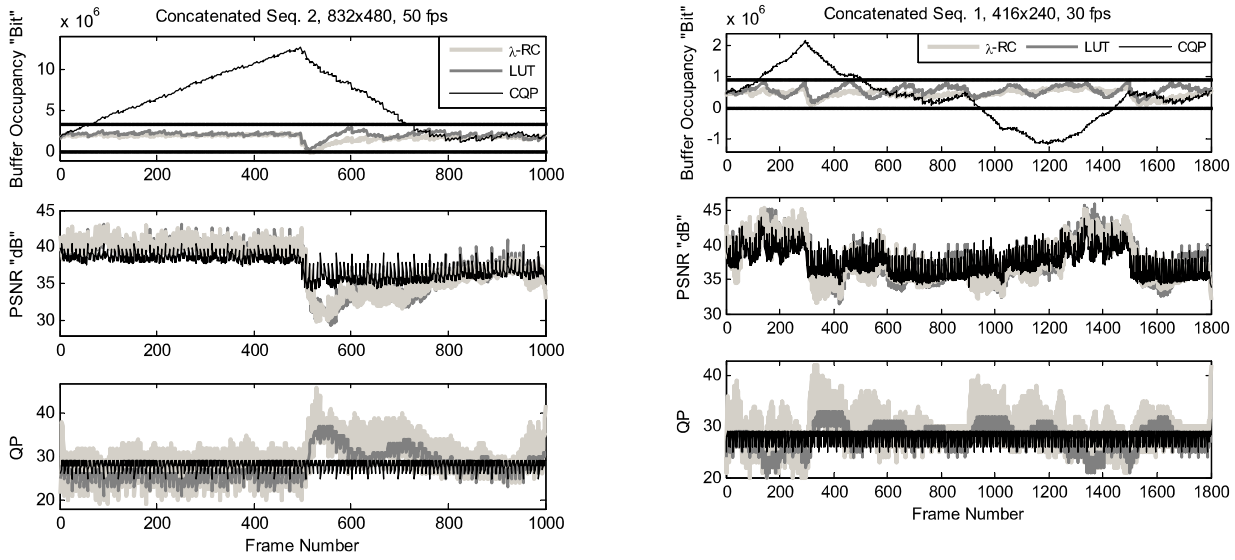
(جدول-۴): مقایسه نتایج پیاده‌سازی با کنترل‌کننده نرخ بیت پیشنهادی، الگوریتم [17] و حالت QP ثابت در نرم‌افزار HM

(Table- 4): Performance comparison of the proposed rate control algorithm, λ-domain rate control algorithm, and constant QP all implemented on HM reference software

SEQ.	RCA	QP		PSNR "dB"		Delay "s"	Avg BitRate "Kbps"
		Avg	STD	Avg	STD		
Basketball Drill	CQP	28.09	1.13	38.62	0.68	0.18	2330.7
	LUT	28.26	1.44	38.60	0.89	0.20	2305.4
	λ-RC	30.65	3.89	38.50	0.91	0.14	2331.8
Party Scene	CQP	28.09	1.13	36.15	1.05	0.72	4454.4
	LUT	28.14	2.30	36.12	1.96	0.28	4448.6
	λ-RC	30.03	4.08	35.97	1.69	0.23	4455.7
Basketball Pass	CQP	28.09	1.13	38.40	1.50	0.56	1008.5
	LUT	28.19	2.24	38.33	2.29	0.29	990.2
	λ-RC	30.20	4.48	38.40	2.62	0.20	1006.5
Blowing Bubble	CQP	28.09	1.13	36.23	0.92	0.45	1077.3
	LUT	28.17	2.25	36.20	1.69	0.32	1086.2
	λ-RC	29.57	4.76	36.01	2.05	0.19	1085.1
BQ Square	CQP	28.09	1.12	36.03	1.90	0.35	1022.2
	LUT	28.22	1.44	35.97	1.25	0.20	1013.5
	λ-RC	29.44	2.65	35.90	1.17	0.23	1022.4
Flower vase	CQP	28.09	1.13	42.13	1.32	0.97	126.4
	LUT	28.18	3.32	42.29	2.82	0.55	125.8
	λ-RC	28.29	5.12	41.83	2.44	0.90	130.6
Keiba	CQP	28.09	1.13	39.34	1.46	0.50	454.8
	LUT	28.39	2.53	39.12	2.39	0.39	445.2
	λ-RC	30.49	4.83	39.14	2.41	0.31	455.5
Race Horses	CQP	28.09	1.13	37.19	1.42	0.44	778.2
	LUT	28.26	1.63	37.08	1.75	0.31	765.7
	λ-RC	30.51	3.97	37.11	2.03	0.30	778.8
Concat. Seq.1	CQP	28.09	1.12	37.41	2.01	3.22	621.2
	LUT	28.11	2.45	37.41	2.95	0.68	620.1
	λ-RC	29.81	4.17	37.40	2.98	0.61	621.4
Concat. Seq.2	CQP	28.09	1.13	37.37	1.52	2.03	3406.0
	LUT	27.88	3.22	37.53	3.19	0.47	3408.5
	λ-RC	30.09	4.73	37.35	3.16	0.43	3406.3

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]



(الف)

(شکل-۳): نمودارهای نوسانات بافر، PSNR و QP برای دنباله‌های ویدئویی (الف) سری‌شده ۱ و (ب) سری‌شده ۲، در حالت اجرای الگوریتم [17]، QP ثابت و الگوریتم پیشنهادی با اندازه بافر یکسان با نرخ بیت هدف

(Figure-3): QP, PSNR, and buffer occupancy graphs for (a) Concatenated 1 and (b) Concatenated 2 sequences encoded by λ-domain algorithm, constant QP, and proposed algorithm with buffer size equal to target bit rate

۴-نتیجه‌گیری

در این مقاله یک الگوریتم کنترل نرخ بیت بر اساس جدول مراجعه برای استاندارد جدید H.265 به‌منظور استفاده در کاربردهای با نرخ بیت متغیر و قید بافر معرفی شد. الگوریتم پیشنهادی روی نرم‌افزار مرجع استاندارد، پیاده‌سازی شده و برای برآورد کارایی آن چندین دنباله ویدئویی با الگوریتم پیشنهادی، الگوریتم حوزهٔ λ و همچنین با حالت بدون کنترل، کدگذاری و نتایج حاصل از سه روش با هم مقایسه شدند. نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهد الگوریتم پیشنهادی با حجم محاسبات بسیار کمتر از الگوریتم‌های متعارف، ضمن برآورده‌ساختن کامل قید بافر و کنترل کامل نرخ بیت، کیفیت ویدئوی فشرده‌شده را به‌خوبی حفظ می‌کند. الگوریتم پیشنهادی قابل تطبیق برای کاربردهای مختلف از جهت تأخیر مجاز است.

اگرچه تاکنون تعدادی الگوریتم برای استاندارد H.265 پیشنهادشده است، اما همه آن‌ها برای نرخ بیت ثابت بهینه‌شده‌اند و نمی‌توانند از مزایای نرخ بیت متغیر که کاربردهای بیشتری نیز دارد استفاده کنند. درحالی‌که الگوریتم پیشنهادی برای کاربردهای با نرخ بیت متغیر بهینه‌شده است.

۵-مراجع 5-Refrences

[1] V. Sze, M. Budagavi, and G. J. Sullivan, *High Efficiency Video Coding* (*HEVC*). Springer Cham Heidelberg, London, 2014.

[2] ITU-T, Series H: Audiovisual and Multimedia Systems, 2015.

[3] K. Ugur, K. Andersson, A. Fuldseth, G. Bjontegaard, L. P. Endresen, J. Lainema, A. Hallapuro, J. Ridge, D. Rusanovskyy, C. Zhang, A. Norkin, C. Priddle, T. Rusert, J. Samuelsson, R. Sjoberg, and Z. Wu, "High Performance, Low Complexity Video Coding and the Emerging HEVC Standard," *IEEE transactions on Circuits and Systems For Video Technology*, vol. 20, no. 12, pp.1688-1697, 2010.

[4] M. T. Pourazad, C. Doutre, M. Azimi, and P. Nasiopoulos, "HEVC: The new gold standard for video compression: how does HEVC compare with H.264/AVC?," *IEEE CE Magazine*, vol. 1, no. 3, pp. 36-46, 2012.

[5] K. Kim, K. McCam, K. Sugimoto, B. Bross, and W. J. Han, *HM-9: High Efficiency Video Coding (HEVC) Test Model 9 Encoder Description*, document Rec. JCTVC-K1002-v1, 11th Meeting: Shanghai, 2012.

[6] G. Sullivan, J. R. Ohm, J. H. Woo, and T. Wiegand, "Overview of the High-Efficiency Video Coding (HEVC) Standard, " *IEEE*

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

transactions on Circuits and Systems For Video Technology, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, 2012.

[7] S. Ma, J. Si, and S. Wang, "A study on the rate distortion modeling for high efficiency video coding," *in Proc. IEEE ICIP*, Orlando, FL, 2012, pp. 181–184.

[8] H. Choi, J. Yoo, J. Nam, D. Sim, and I. V. Bajic, "Pixel-wise unified rate-quantization model for multi-level rate control," *Selected Topics in Signal Processing, IEEE Journal of,* vol. 7, no. 6, pp. 1112-1123, 2013.

[9] B. Lee, M. G. Kim, and T. Q. Nguyen, "A frame-level rate control scheme based on texture and non-texture rate models for High Efficiency Video Coding," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on,* vol. 24, no. 3, pp. 465-479, 2014.

[10] Ch. W. Seo, J. H. Moon, and J. K. Han, "Rate control for consistent objective quality in high efficiency video coding," *Image Processing, IEEE Transactions on,* vol. 22, no. 6, pp. 2442-2454, 2013.

[11] J. Si, S. Ma, S. Wang, and W. Gao, "Laplace distribution based CTU level rate control for HEVC," in *Visual Communications and Image Processing* (*VCIP*), Kuching , 2013, pp. 1-6.

[12] J. Si, S. Ma, and W. Gao, "Efficient bit allocation and CTU level rate control for High Efficiency Video Coding," in *Picture Coding Symposium* (*PCS*), *2013*, San Jose, CA, 2013, pp. 89-92.

[13] J. Si, S. Ma, X. Zhang, W. Gao, "Adaptive Rate control for High Efficiency video Coding, " *in Proc. SPIE Conference on Visual Communicat-ions and Image Processing*, San Diego, CA, 2012, pp. 1-6.

[14] Sh. Wang, S. Ma, Sh. Wang, D. Zhao, and W. Gao, "Rate-GOP Based Rate Control for High Efficiency Video Coding," *IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing*, vol. 7, no. 6, pp. 1101 – 1111, 2013.

[15] Sh. Wang, S. Ma, L. Zhang, Sh. Wang, D. Zhao, and W. Gao, "Multilayer based rate control algorithm for HEVC, " *in Proc. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS)*, Beijing, 2013, pp. 41-44.

[16] Sh. Wang, S. Ma, S. Wang, D. Zhao, and W. Gao, "Quadratic ρ-domain based rate control algorithm for HEVC," in *Acoustics, Speech and Signal Processing* (*ICASSP*), *2013 IEEE International Conference on*, Vancouver, BC, 2013, pp. 1695-1699.

[17] B. Li, H. Li, L. Li, and Zhang J. Zhang, "λ Domain Rate Control Algorithm for High Efficiency Video Coding," *IEEE transactions on Image Processing*, vol. 23, no. 9, pp. 3841-3854,2014.

[18] Zh. Yang, L. Song, Z. Luo, and X. Wang, "Low delay rate control for HEVC," in *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting* (*BMSB*), *2014 IEEE International Symposium on*, Beijing, 2014, pp. 1-5.

[19] S. Rodriguez S, and Th. Schierl, "A rate control algorithm for HEVC with hierarchical GOP structures," *in Proc. IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, Vancouver, BC, 2013, pp. 1719-1723.

[20] M. Rezaei, M. M. Hannuksela, and M. Gabbouj, "Semi-fuzzy rate controller for variable bit rate video," *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on,* vol. 18, no. 5, pp. 633-645, 2008.

[21] JCT-VC of ISO/IEC MPEG and ITU-T VCEG, "*HM Reference Software 16.1*" [Online], Available: https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn HEVCSoftware/tags/HM-16.1.



داود فانی مدرک کاردانی خود را در رشته الکترونیک از دانشکده فنی شهید باهنر شیراز با رتبه دوم و مدرک کارشناسی خود را در رشته مهندسی تکنولوژی الکترونیک از دانشگاه حکیم سبزواری به‌ترتیب در سال‌های ۱۳۸۷ و ۱۳۹۰ اخذ کردند. ایشان همچنین کارشناسی ارشد خود را با رتبه نخست در رشته مهندسی برق-مخابرات دانشگاه سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۴ به پایان رسانده و هم‌اکنون در مقطع دکترای تخصصی مهندسی برق-مخابرات به‌صورت پذیرش بدون آزمون (استعداد درخشان) مشغول به تحصیل و پژوهش هستند. ایشان در سال ۱۳۹۵ به‌عنوان پژوهش‌گر برتر و دانشجوی نمونه دانشگاه سیستان و بلوچستان برگزیده شده و همچنین مفتخر به کسب عنوان دانشجوی نمونه کشوری سال ۱۳۹۵ شده‌اند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مخابرات و پردازش سیگنال‌های چندرسانه‌ای است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:

davoud_fani@elec.iust.ac.ir

[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]



مهدی رضائی مدارک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی الکترونیک به‌ترتیب از دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران) و دانشگاه تربیت مدرس تهران در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۷۵ دریافت کردند. ایشان همچنین دکترای خود را در سال ۱۳۸۷ در رشته پردازش سیگنال در دانشگاه صنعتی تامپر فنلاند به اتمام رساندند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان مخابرات و پردازش سیگنال‌های چندرسانه‌ای است. ایشان چندین مقاله در زمینه‌های بیان شده به چاپ رسانده‌اند. در طول دورهٔ تحصیل در مقطع دکتری، ایشان همکاری نزدیکی با مرکز پژوهشی شرکت نوکیا داشته و چندین اختراع به ثبت رسانده‌اند. ایشان همچنین در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۶ برنده جایزه پژوهش‌گر برتر سال کشور فنلاند از بنیاد نوکیا شده‌اند. ایشان از سال ۱۳۸۷ به‌عنوان معاون آموزشی و تحصیلات تکمیلی و همچنین معاون پژوهشی دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سیستان و بلوچستان و همچنین به‌عنوان مدیر امور آموزشی دانشگاه سیستان و بلوچستان فعالیت کرده و در حال حاضر دانشیار گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه سیستان و بلوچستان هستند.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:
mehdi.rezaei@ece.usb.ac.ir



مریم سرحدی اول مدرک کارشناسی خود را در رشتهٔ مهندسی برق-الکترونیک از دانشگاه آزاد اسلامی واحد زاهدان و مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشتهٔ مخابرات سیستم از دانشگاه سیستان و بلوچستان در سال ۱۳۹۲ دریافت کردند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصاویر ثابت و ویدئویی است.

نشانی رایانامه ایشان عبارتست از:
sarhaddim@gmail.com

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-06]

[DOI: 10.18869/acadpub.jsdp.14.1.99]