روش سریع تعیین حالت پیش‌بینی درون‌قابی و اندازهٔ واحد کدگذاری در HEVC

سمانه پارسایی[۱]، حسین خانجانی[۲]، مرتضی خادمی درح[۳*]، عباس ابراهیمی مقدم[۴]، هادی هادیزاده[۵]
[۱و۲و۳و۴] گروه برق، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
[۵] گروه برق، دانشکده برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی قوچان، قوچان، ایران

چکیده

با گسترش اینترنت و فناوری‌های بی‌سیم، کاربردهای مرتبط با ویدیو بسیار بیشتر از قبل گسترش یافته‌اند؛ اما با توجه به پهنای باند محدود شبکه، ضرورت وجود فناوری فشرده‌سازی ویدیو با بهره بالا همچنان احساس می‌شود .درهمین اواخر استاندارد فشرده‌سازی ویدیویی جدیدی موسوم به «کدگذاری پربازده ویدیو »معرفی شده‌است که بهرهٔ فشرده‌سازی را نسبت به استاندارد قبلی موسوم به «فشرده‌سازی پیشرفتهٔ ویدیو»، دوبرابر و در عین حال، سطح کیفیت ویدیو را حفظ می‌کند. در استاندارد HEVC به‌منظور بهبود بهرهٔ کدگذاری، ۳۵حالت پیش‌بینی درون‌قابی تعریف شده‌است. بهترین حالت پیش‌بینی درون‌قابی از بین این حالت‌ها با استفاده از فرآیندی موسوم به «بهینه‌سازی نرخ بیت- اعوجاج» (RDO) انتخاب می‌شود. هدف این پژوهش، ارایهٔ روشی برای کاهش تعداد حالت-های پیش‌بینی درون قابی کدگذار HEVC است، چرا که بررسی همه حالت‌ها در این فرآیند بسیار زمان‌بر است. در این پژوهش روش جدیدی مبتنی بر عملگر سوبل جهت تعیین سریع حالت پیش‌بینی درون‌قابی و همچنین اندازه واحد کدگذاری در HEVC پیشنهاد شده‌است. زمان کدگذاری نسبت به نرم‌افزار مرجع HEVC (HM) با استفاده از روش پیشنهادی سریع، به‌طور متوسط ۵۶٪ و با استفاده از روش پیشنهادی دقیق، به‌طور متوسط ۲۹٪ کاهش یافته و در هر دو روش افت کیفیت ویدیوی نهایی قابل چشم‌پوشی است.

واژگان کلیدی: کدگذاری ویدیو، کدگذاری پربازده ویدیو (HEVC)، بهینه‌سازی نرخ – اعوجاج (RDO)، پیش‌بینی درون‌قابی، سوبل.

Fast CU Size and Intra Mode Decision Algorithm for HEVC Standard

Samaneh Parsaee[1], MSc. Student; Hossein Khanjani[2], PhD. Student; Morteza Khademi Doroh[3*], Professor; Abbas Ebrahimi Moghadam[4], Assistant Professor; Hadi Hadizadeh[5], Assistant Professor
[1,2,3,4] Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran,
[5] Department of Electrical and Computer Engineering,
Quchan University of Technology, Iran

Abstract

With the expansion of the Internet and wireless technologies, video-related applications have been expanded much more than ever. But since network bandwidth is limited, better high-gain video compression methods remain essential. Recently, the new video compression standard called "High Efficiency Video Coding" (HEVC) has been introduced, which doubles the compression compared to the previous standard called "Advanced Video Coding", while preserving video quality at the same time. In HEVC standard, 35 intra prediction modes have been defined to improve the efficiency of encoding algorithm. The best intra prediction mode is chosen using a process called "Rate Distortion Optimization". The purpose of this study is to propose a method to reduce the number of intra

* نویسندهٔ عهده‌دار مکاتبات
* Corresponding author

• تاریخ ارسال مقاله: ۱۳۹۸/۲/۲۸ • تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱/۲۳ • تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۱۰/۲۴ • نوع مطالعه: پژوهشی

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

prediction modes in RDO process, since it is a very time consuming process. A new method based on Sobel operator is proposed for fast determination of intra prediction mode as well as coding unit size in HEVC. Although Sobel operator is an essential part of our algorithm, other features were extracted from coding control part of HEVC algorithm to excel the speed of coding process, since the main purpose of fast coding algorithm should be to reduce complexity while producing a bit-stream, which preserves the quality of decoded video. These features are parent CU mode, modes with lower cost functions and modes that are determined to be most probable via pervious researches. Parent CU mode is intra angle of coding unit that contains the current CU and since HEVC uses quad-tree algorithm to calculate the best mode, it is available at the time of calculating the best mode for current CU. Modes with lower cost functions are modes that have the least cost function value that are calculated by HM via a fast algorithm and modes that are determined to be the most probable via pervious researches are DC and horizontal and vertical modes. Two algorithms are proposed to enhance coding speed. The first one is fast algorithm which considers a few CTU coding depth, given that some conditions are fulfilled. These conditions are equalities or non-equalities in which the variables are costs of the aforementioned modes. The second algorithm considers all CTU depths in coding process, but it incorporates only one intra mode in RDO process, given that some conditions are fulfilled. The Sobel operator acts as a verifier, in other words if the Sobel operator agrees with all or some of the intra angles that are mentioned above, the RDO process is considered to be over and the verified angle will be chosen for CU to be coded with. Coding time compared to HEVC reference software (HM) using the proposed fast method is reduced by an average of 56% and by using the proposed precise method is reduced by an average of 29%. In the proposed precise method, final video quality degradation is negligible.

Keywords: Video Coding, High Efficiency Video Coding (HEVC), Rate- distortion Optimization (RDO), Intra Prediction, Sobel.

۱- مقدمه

رشد فزایندهٔ تکنولوژی‌های مخابراتی، ضرورت فشرده‌سازی داده را بیش از پیش نمایان می‌کند. روش‌های جدید فشرده‌سازی، امکان ذخیره یا ارسال حجم زیادی از داده برای نمایش تصاویر و ویدیوهای دیجیتال را بدون افت کیفیت محسوس ایجاد می‌کنند. در حال حاضر استانداردی موسوم به «کدگذاری پربازده ویدیو(HEVC)، جدیدترین استاندارد در زمینه فشرده‌سازی ویدیو است که کار مشترک دو سازمان استانداردسازی به نام‌های ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) و ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG) است[۱].

در این استاندارد، نسبت به استانداردهای پیشین، از روش‌های کارآمدتری برای فشرده‌سازی استفاده می‌شود که همین امر سبب افزایش چشم‌گیر پیچیدگی‌های محاسباتی در این استاندارد شده‌است. یکی از این روش‌ها، استفاده از ساختار درختی در واحدهای کدگذاری (CU) است. به‌منظور انجام عملیات پیش‌بینی، هر واحد کدگذاری به واحدهای پیش‌بینی (PU) تقسیم می‌شود. تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی درون‌قابی یا برون‌قابی در سطح واحد پیش‌بینی انجام می‌شود. در نرم‌افزار مرجع HEVC[۳] ، تصاویر به واحدهایی به نام قطعه[1] تقسیم شده و این واحدها به دنباله‌ای از واحدهای درخت کدگذاری (CTU)تقسیم می‌شوند که اندازه آنها حداکثر ۶۴×۶۴ است. هر واحد کدگذاری می‌تواند به چهار زیرواحد مربعی تقسیم شود. هر کدام از این زیرواحدها می‌توانند اندازه‌های ۸×۸ تا ۶۴×۶۴ را داشته باشند. وجود این تنوع در تقسیم‌بندی تصویر، پیچیدگی‌های محاسباتی الگوریتم کدگذار HEVC را به‌شدت بالا می‌برد.

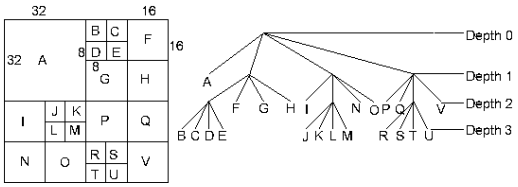
شکل (۱) ساختار درختی واحدهای کدگذاری و جهت‌های پیش‌بینی درون‌قابی را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱ قسمت (ب) نشان داده شده، دراین استاندارد، ۳۵ حالت برای پیش‌بینی درون‌قابی طراحی شده‌است. هرچند افزایش تعداد حالات، باعث بهبود عملکرد پیش‌بینی می‌شود، اما از سوی دیگر، منجر به افزایش محاسبات در فرآیند بهینه‌سازی نرخ بیت-اعوجاج نیز می‌شود. به این منظور در استاندارد HEVC، کدگذار باید میزان اعوجاج و همچنین نرخ بیت را برای همه ۳۵ حالت ممکن پیش‌بینی درون‌قابی و همه اندازه‌های ممکن برای واحد پیش‌بینی و واحد کدگذاری محاسبه کند. پس از محاسبه میزان اعوجاج و نرخ بیت، طبق رابطه (۱) مقدار تابع هزینه برای هر حالت پیش‌بینی به دست می‌آید:

$$J = R + \lambda D . \qquad (۱)$$

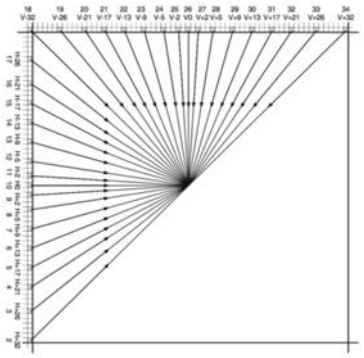
[1] Slice

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]



(الف)



(ب)

(شکل-۱) (الف) ساختار درختی تعریف‌شده در استاندارد HEVC، (ب) جهت‌های زاویه‌ای تعریف‌شده برای پیش‌بینی درون‌قابی در استاندارد HEVC

Fig.1. a) Quad-Tree structure in HEVC, b) Intra angles in HEVC

که در این رابطه، D مقدار عددی محاسبه‌شده به‌وسیلهٔ معیار اعوجاج است که با محاسبه میانگین مربعات خطا (MSE) به‌دست می‌آید. . λ، که ضریب لاگرانژ نامیده می‌شود، یک مقدار غیر منفی است [۱]. R تعداد بیت‌های مورد نیاز برای ارسال پارامترهای کدگذاری مانند ضرایب تبدیل و اندازهٔ واحدهای کدگذاری است. پس از به‌دست‌آوردن مقدار تابع هزینه برای هر حالت پیش‌بینی، حالتی که کمترین هزینه را داشته باشد به عنوان حالت بهینه انتخاب می‌شود.

با توجه به تعداد زیاد حالات پیش‌بینی درون‌قابی در این استاندارد، سه حالت با بیشترین احتمال (MPMs) به‌منظورکدگذاری ساده‌تر حالت پیش‌بینی درون‌قابی لحاظ شده‌است که این سه حالت با توجه به حالت پیش‌بینی بهینهٔ واحدهای کدگذاری مجاور چپ و بالا به‌دست می‌آیند [۱]. اگر حالت انتخاب‌شده برای پیش‌بینی درون‌قابی، یکی از این سه حالت باشد، برای کدگذاری تنها لازم است، شاخص حالت انتخابی در این مجموعه سه‌تایی ارسال شود، اما اگر حالت انتخابی در این مجموعه نباشد، از آن‌جا که احتمال وقوع بقیه حالات به‌طورتقریبی یکسان است، می‌توان حالت انتخاب‌شده را که یکی از ۳۲ حالت باقی‌مانده است، با یک کد با طول ثابت پنج بیت ارسال کرد.

در سال‌های اخیر، روش‌های سریع مختلفی برای کاهش پیچیدگی محاسباتی بخش پیش‌بینی درون‌قابی در استاندارد HEVCپیشنهاد شده‌است [۷-۳۴]. این پژوهش ها را به‌طور کلی به سه دسته می‌توان تقسیم کرد:

الف- روش‌های تعیین سریع حالت پیش‌بینی درون‌قابی:

در این دسته از پژوهش‌ها [۵, ۷-۱۶] سعی شده‌است تا مطابق نرم‌افزار مرجع، تعداد حالت‌هایی که در فرآیند بهینه‌سازی نرخ بیت ـ اعوجاج مورد بررسی قرار می‌گیرند، کاهش یابد تا از این طریق موجب افزایش سرعت وکاهش پیچیدگی محاسباتی الگوریتم HEVC شود، اما درضمن آن، بهره کدگذاری[1] نیز نباید کاهش قابل ملاحظه‌ای داشته باشد.ریکی از نخستین پیشنهادها برای افزایش سرعت کدگذار در استاندارد HEVC، که مورد قبولJCT-VC نیز قرار گرفت، محاسبه تابع هزینه بر اساس تبدیل هادامارد و انتخاب N حالت پیش‌بینی با کمترین توابع هزینه از بین ۳۵ حالت پیش‌بینی درون‌قابی است. [۱۱] که این فرآیند "فرآیند تعیین حالت درشت" (RMD) نامیده شده‌است. پس از انتخاب Nحالت پیش‌بینی درون‌قابی از این طریق، فرآیند بهینه‌سازی نرخ بیت-اعوجاج فقط بر روی همین N حالت انجام می‌شود تا حالت پیش‌بینی بهینه به‌دست‌آید. اندازهٔNوابسته به اندازهٔ واحد کدگذاری است. در [۱۵] مقدارN بهینه برای هر اندازه از واحد کدگذاری پیشنهاد شده که این مقدار برای واحدهای با اندازه‌های ۴×۴ و ۸×۸ مساوی ۸ و برای واحدهای کدگذاری با اندازه‌های ۱۶×۱۶، ۳۲×۳۲ و ۶۴×۶۴ مساوی ۳ است. در [۱۶] از اطلاعات لبه و تجزیه و تحلیل نمودار هیستوگرام گرادیان‌های به‌دست‌آمده برای هر حالت پیش‌بینی در واحد کدگذاری جاری به‌منظور کاهش تعداد حالات پیش‌بینی درون‌قابی استفاده شده‌است. برای یافتن اطلاعات لبه از عملگرهای تشخیص لبه مانند عملگرCanny[۱۰] و عملگر سوبل [۵]نیز استفاده شده‌است. همچنین از این موضوع که حالت پیش‌بینی واحدهای کدگذاری مجاور، می‌توانند مشابه هم باشند، استفاده شده‌است. در یک تصویر، یک شیء با جهت ثابت عموماً چندین واحد کدگذاری را شامل می‌شود؛ درنتیجه حالت پیش‌بینی درون‌قابی برای تمام این واحدها یکسان خواهد بود. در[۵] از

[1]Coding efficiency

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

داده‌های مربوط به جهت تعیین‌شده در واحدهای کدگذاری مجاور برای سرعت بخشیدن به فرآیند کدگذاری استفاده شده‌است. در [۳۷] با درنظرگرفتن خصوصیات آماری ریت و اعوجاج و درنظرگرفتن تابع توزیع مناسب برای حالات مختلف پیش‌بینی درون‌قابی، مودهای با احتمال کم از پروسه RDO حذف شد.

ب- روش‌های تعیین سریع اندازهٔ بهینهٔ واحد کدگذاری: در این دسته از پژوهش‌ها [۱۷-۲۸] از اطلاعات کدگذاری از جمله تابع هزینه و ویژگی‌های بافت واحدهای مجاور، برای تسریع در فرآیند انتخاب حالت پیش‌بینی درون‌قابی واحد کدگذاری جاری استفاده می‌شود؛ به این ترتیب که بر اساس این اطلاعات، تصمیم گرفته می‌شود که آیا لازم است عمق‌های پایین‌تر از عمق جاری نیز مورد بررسی قرار گیرند یا خیر. برای مثال، اگر در حال حاضر عمق دو در حال بررسی باشد و این نتیجه حاصل شود که بررسی عمق سه لازم نیست، برای واحدهای قرار گرفته در عمق سه، فرآیند یافتن حالت پیش‌بینی بهینهٔ درون‌قابی حذف شده و از این طریق، حجم محاسبات به طرز چشم‌گیری کاهش می‌یابد. در[۲۸] از تابع هزینه‌ای با پیچیدگی پایین برای کاهش عمق‌های مورد بررسی استفاده شده که نتیجه آن کاهش حدود عمق مورد بررسی در فرآیند بهینه‌سازی نرخ بیت-اعوجاج است. در [۳۸] با در نظر گرفتن بهترین مود و اعوجاج عمق‌های میانی بلوک‌های کدشده، بهترین عمق تقسیم بندی بلوک‌ها تعیین شده‌است. همچنین می‌توان از داده‌های مربوط به اندازهٔ نهایی تعیین‌شده برای واحدهای کدگذاری در بلوک‌های کدشده مجاور استفاده کرد. در نتیجه با استفاده از این روش ممکن است، این نتیجه حاصل شود که بررسی واحدهای پیش‌بینی کوچک در بلوک جاری، مورد نیاز نیست.

ج- روش‌های ترکیبی: در این دسته از پژوهش‌ها[۲۹-۳۴] از ترکیب روش‌های تعیین سریع حالت پیش‌بینی و اندازهٔ واحد کدگذاری استفاده می‌شود. در [۲۹] فرآیند بهینه‌سازی نرخ بیت - اعوجاج برای تعیین حالت پیش‌بینی درون‌قابی بهینه روی حالات پیش‌بینی به دست آمده از فرآیند تعیین حالت درشت و همچنین حالت پیش‌بینی درون‌قابی واحد پیش‌بینی عمق قبلی انجام می‌شود. همچنین برای تعیین اندازه واحد کدگذاری، اگر حالت پیش‌بینی واحد پیش‌بینی جاری و واحد پیش‌بینی عمق قبلی یکسان باشد، واحد جاری تقسیم نمی‌شود. در[۳۱] بر اساس مقدار تابع هزینهٔ محاسبه‌شده برای واحدهای کدگذاری مجاور، یک مقدار آستانه تعریف شده و مقدار تابع هزینه برای هر حالت پیش‌بینی در واحد جاری با این مقدار مقایسه می‌شود. اگر تابع هزینه واحد جاری کمتر از مقدار آستانه باشد، حالت پیش‌بینی مربوطه به عنوان حالت پیش‌بینی درون‌قابی بهینه انتخاب می‌شود. در غیر این صورت، تابع هزینه برای حالت پیش‌بینی بعدی محاسبه و دوباره با مقدار آستانه مقایسه می‌شود. با استفاده از این روش‌ها زمان کدگذاری بسیار کاهش یافته و در عین حال، بهره فشرده‌سازی کاهش قابل ملاحظه‌ای ندارد.

در این مقاله به جز اپراتور سوبل از RMD، MPM و همچنین مد مربوط به CU والد CU در حال کدشدن نیز استفاده شده‌است. همچنین جهت افزایش سرعت الگوریتم اندازهٔ CUها برای ورود به چرخهٔ RDO محدود شده‌است. با توجه به این موضوع که حالتهای تعیین‌شده از طریق RMD از احتمال بالایی برای انتخاب به‌وسیلهٔ چرخهٔ RDO دارند و حالت‌های MPM درصورتی‌که به‌وسیلهٔ چرخهٔ RDO انتخاب شوند تعداد بیت‌های ارسالی را کاهش می‌دهند؛ درصورتی‌که اپراتور سوبل در یک CU جهتی را بر دیگر جهت ها مقدم بداند، این جهت با جهاتی که در چرخهٔ RMD یا MPM به دست آمده‌اند مقایسه شده و بنا به الگوریتم های ارائه‌شده در بخش ۲ یا از بررسی RDO برای عمق‌های پایین‌تر صرف نظر می‌کنیم و یا همین جهت در عمق فعلی را به‌عنوان بهترین انتخاب در نظر می‌گیریم.

هدف از انجام این پژوهش، یافتن روشی برای تعیین سریع اندازهٔ بهینهٔ واحد کدگذاری و همچنین یافتن حالت پیش‌بینی درون‌قابی به‌منظور کاهش پیچیدگی کدگذار در بخش پیش‌بینی درون‌قابی در استاندارد HEVC است. طرح و سازمان کلی این مقاله به این شرح است: در بخش ۲ روش پیشنهادی ارایه می‌شود و در بخش ۳ نتایج شبیه ازی مورد بررسی قرار می گیرد. بخش ۴ نیز شامل نتیجه‌گیری است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

۲ -روش پیشنهادی

۲-۱- روش پیشنهادی جهت تعیین سریع حالت پیش‌بینی درون‌قابی

هدف از آشکارسازی لبه در تصاویر، مشخص‌کردن نقاطی از تصویر است که در آن‌ها روشنایی تصویر به‌طور ناگهانی تغییر می‌کند. عمل‌گرهای زیادی در حوزه فناوری آشکارسازی لبه به کار می‌روند که یکی از آن‌ها عملگر سوبل است. این عملگر می‌تواند هم اندازه و هم جهت بردار گرادیان را در هر نقطه از تصویر به دست دهد. بنابراین می‌توان با به‌کارگیری از این ویژگی عملگر سوبل، از محاسبهٔ تابع هزینهٔ برخی از حالات پیش‌بینی درون‌قابی صرف‌نظر کرده و از این طریق، زمان کدگذاری را نسبت به نرم‌افزار مرجع بسیار کاهش داد. عملگر سوبل از دو ماتریس ۳×۳ استفاده می‌کند که در دو جهت افقی و عمودی با تصویر کانوالو می‌شود و نتیجه آن تقریبی از تغییرات روشنایی در دو جهت افقی و عمودی است. این ماتریس‌ها به شکل زیر هستند [۴]:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * PU. \qquad (2)$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} * PU.$$

که در این رابطه PU واحد پیش‌بینی است که یک بلوک مربعی است. G_x گرادیان به‌دست‌آمده در جهت افقی و G_y گرادیان به‌دست‌آمده در جهت عمودی است. برای سادگی در محاسبات و سرعت بیشتر، می‌توان از تقریب‌های زیر برای محاسبه دامنه و زاویه گرادیان استفاده کرد:

$$G = |G_x| + |G_y| \qquad (3)$$

$$\theta = \tan^{-1}\frac{G_y}{G_x} \qquad (4)$$

در مرحله بلوک پیش‌بینی، بر اساس اطلاعات گرادیان، می‌توان نزدیک‌ترین حالت پیش‌بینی درون‌قابی به جهت گرادیان را مشخص کرد. این حالت با مقایسه $\tan^{-1}\frac{G_y}{G_x}$ و حدود تخمین‌زده‌شده که بر اساس زوایای تعیین‌شده برای حالت‌های پیش‌بینی درون‌قابی در استاندارد HEVC محاسبه شده‌اند، به دست می‌آید. حدود بالا و پایین برای هر حالت پیش‌بینی درون‌قابی در جدول (۱) آمده است.

در روش پیشنهادی، با اعمال عملگر سوبل، مقدار G در رابطهٔ (۳) برای هر پیکسل محاسبه می‌شود. اگر این دامنه از آستانه‌ای که در روش پیشنهادی عدد ۱۰ در نظر گرفته شده، بیشتر باشد، زاویهٔ گرادیان در محل پیکسل مربوطه هم محاسبه می‌شود. سپس بر اساس مقدار زاویهٔ گرادیان به‌دست‌آمده و با مراجعه به جدول (۱)، حالت پیش‌بینی دورن‌قابی مربوطه استخراج می‌شود. فراوانی پیکسل‌هایی که حالت پیش‌بینی یکسانی دارند و همچنین مجموع دامنهٔ گرادیان این پیکسل‌ها محاسبه شده و بر اساس آن سه حالت پیش‌بینی که بیشترین فراوانی و بزرگترین مجموع دامنهٔ گرادیان را داشته باشند، به‌عنوان سه حالت پیش‌بینی درون‌قابی سوبل در نظر گرفته می‌شوند. در نهایت مجموعهٔ حالت‌های پیش‌بینی درون‌قابی به این ترتیب شکل می‌گیرد:

(جدول-۱) حدود بالا و پایین G_y/G_x برای حالت‌های پیش‌بینی درون‌قابی تعریف‌شده در HEVC [۵]

Table.1. Upper and lower limits of G_y/G_x for HEVC intra prediction in [5]

Mode	Low Limit	High Limit	Mode	Low Limit	High Limit
2	-1.15928	-1	18	0.86261	1.15928
3	-1.53711	-1.15928	19	0.65057	0.86261
4	-1.98666	-1.53711	20	0.50336	0.65057
5	-2.59240	-1.98666	21	0.38574	0.50336
6	-3.61354	-2.59240	22	0.27674	0.38574
7	-5.76314	-3.61354	23	0.17352	0.27674
8	-11.61240	-5.76314	24	0.08611	0.17352
9	-40.73548	-11.61240	25	0.02455	0.02455
10	-∞	-40.73548	26	-0.02455	0.02455
10	40.37548	-∞	27	-0.08611	-0.02455
11	11.61240	40.37548	28	-0.17352	-0.08611
12	5.76314	11.61240	29	-0.27674	-0.17352
13	3.61354	5.76314	30	-0.38574	-0.27674
14	2.59240	3.61354	31	-0.50336	-0.38574
15	1.98666	2.59240	32	-0.65057	-0.50336
16	1.53711	1.98666	33	-0.86261	-0.65057
17	1.15928	1.53711	34	-1	-0.86261

۱ـ نخستین حالت پیش‌بینی به دست آمده از فرآیند تعیین حالت درشت

۲ـ حالت‌های پیش‌بینی به‌دست‌آمده از عملگر سوبل

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

۳- حالت والد۱ (اگر یک واحد کدگذاری به زیرواحدهای کدگذاری تقسیم شود، حالت پیش‌بینی این واحد برای هرکدام از زیرواحدها، حالت والد است)

۴ـ دومین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت

۵ـ سومین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت

۶ـ سه حالت با بیشترین احتمال

در پژوهش حاضر، دو روش پیشنهاد شده‌است. روش اول، روشی است که عملکرد آن از لحاظ BD2-Rate و BD-PSNR، به نرم‌افزار مرجع بسیار نزدیک است. به همین دلیل این روش را "روش دقیق" می‌نامیم. در روش دوم، زمان کدگذاری نسبت به نرم‌افزار مرجع (HM) کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد، اما مقادیر BD-Rate و BD-PSNR نسبت به نرم‌افزار مرجع به‌ترتیب مقداری افزایش در نرخ بیت و کاهش در بیشینه سیگنال به نویز را نشان می‌دهند. این روش را "روش سریع" می‌نامیم.

در دو روش پیشنهادی، فرآیندی برای به‌روزرسانی مجموعهٔ حالت‌های پیش‌بینی ، به کار رفته است که این فرآیند در دو روش دقیق و سریع متفاوت است.

در روش سریع طبق نمودار گردش کار در شکل ۲، به‌روزرسانی مجموعهٔ حالات پیش‌بینی به این ترتیب انجام می‌شود: در شرط اول، تشابه اولین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت و سه حالت پیش‌بینی سوبل را بررسی می‌کنیم. اگر اولین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت و یکی از حالت‌های سوبل مشابه هم باشند، اولین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت به‌عنوان حالت برگزیده انتخاب و از بررسی عمق‌های پایین‌تر نیز صرف‌نظر می‌شود که همین امر سبب افزایش قابل توجه سرعت کدگذاری می‌شود. اما اگر شرط اول برقرار نباشد، یعنی اولین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت و یکی از سه حالت پیش‌بینی سوبل، تشابهٔ با هم نداشته باشند، شرط دوم بررسی می‌شود. به این صورت که تساوی اولین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت،حالت والد و سه حالت پیش‌بینی با بیشترین احتمال بررسی می‌شود. اگر این حالت‌های پیش‌بینی با هم برابر باشند، اولین حالت پیش‌بینی به‌دست‌آمده از فرآیند تعیین حالت درشت، به‌عنوان حالت پیش‌بینی برگزیده انتخاب می‌شود. اما اگر این سه حالت پیش‌بینی نیز مساوی نباشند، مجموعهٔ حالت‌های پیش‌بینی ، طبق ترتیبی که در ابتدا گفته شد، به‌غیر از سه حالت پیش‌بینی سوبل، تشکیل شده و فرآیند بهینه‌سازی نرخ بیت ـ اعوجاج انجام می‌شود تا حالت پیش‌بینی بهینه به‌دست‌آید.

در روش دقیق، با توجه به نمودار گردش کار در شکل (۳)، به‌روزرسانی مجموعهٔ حالات پیش‌بینی مشابه روش سریع است با این تفاوت که در روش دقیق پس از بررسی شرط نخست و در صورت برقراری آن، عمق‌های پایین‌تر نیز برای دست‌یابی به حالت پیش‌بینی دقیق‌تر، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

پس از به‌دست‌آوردن مجموعهٔ نهایی حالت‌های پیش‌بینی ، طبق آنچه گفته شد، باید حالت پیش‌بینی بهینه را از بین آنها با محاسبهٔ تابع هزینه هرکدام انتخاب کرد. در روش پیشنهادی یک مقدار آستانه بر اساس توابع هزینه واحدهای مجاور و والد تعریف شده که عبارت است از:

(۵)
$$Tr1 = \frac{RDcost_p + RDcost_l + RDcost_u + RDcost_{l-u} + RDcost_{r-u}}{5}$$

که در این رابطه $RDcost_p$ تابع هزینهٔ والد، $RDcost_l$ تابع هزینه واحد کدگذاری سمت چپ، $RDcost_u$ تابع هزینه واحد کدگذاری بالا، $RDcost_{l-u}$ تابع هزینهٔ واحد کدگذاری قطری چپ و $RDcost_{r-u}$ تابع هزینهٔ واحد کدگذاری قطری راست است.

در روش سریع برای یافتن حالت بهینه از نخستین حالت پیش‌بینی درون‌قابی در این مجموعه، فرآیند آغاز می‌شود؛ به‌این‌ترتیب که تابع هزینه حالت پیش‌بینی درون‌قابی عضو نخست حساب شده و مقدار آن در یک بافر قرار می‌گیرد. اگر مقدار این تابع هزینه کمتر از آستانه تعریف شده در رابطه (۵) باشد،

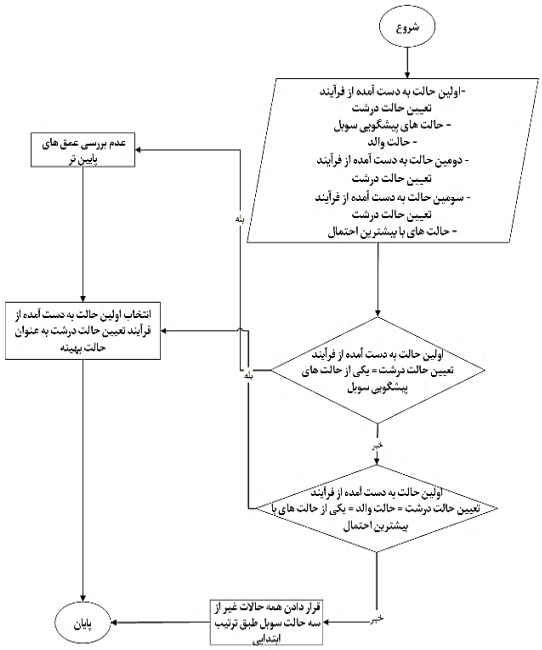
از بررسی عمق‌های پایین‌تر صرف‌نظر می‌کنیم، چرا که هدف از یافتن حالت پیش‌بینی درون‌قابی درواقع یافتن لبه غالب با دامنه به اندازه کافی بزرگ است؛ سپس بر اساس این حالت پیش‌بینی درون‌قابی به‌دست‌آمده، تقسیم‌بندی واحدهای تبدیل آغاز می‌شود؛ اما اگر تابع هزینه حالت پیش‌بینی درون‌قابی نخست از آستانه تعریف‌شده با رابطه (۵) کمتر نباشد، به سراغ حالت پیش‌بینی درون‌قابی دوم در مجموعه حالت‌های پیش‌بینی رفته و دوباره تابع هزینه برای آن محاسبه می‌شود.

اگر این مقدار از تابع هزینه حالت پیش‌بینی درون‌قابی عضو نخست، کمتر باشد، تابع هزینه حالت

[1]Parent mode
[2]Bjiontegaard Delta

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

پیش‌بینی درون‌قابی عضو دوم مجموعه در بافر قرار می‌گیرد و به همین ترتیب تمام حالت‌های پیش‌بینی درون‌قابی بررسی می‌شود تا درنهایت یکی از آنها به عنوان حالت پیش‌بینی بهینه انتخاب شود.



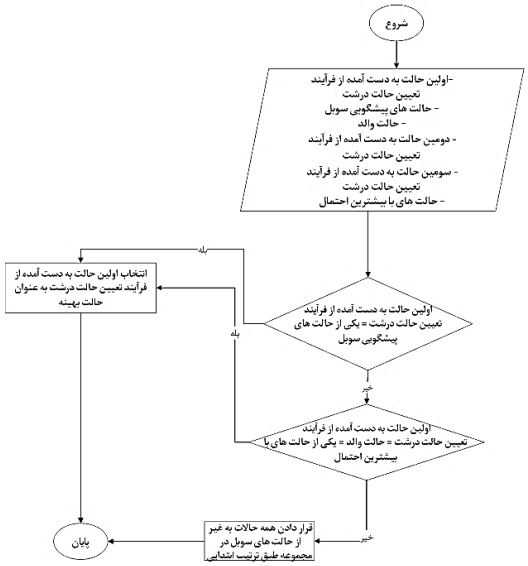
(شکل- ۲) نمودار گردش کار نحوه انتخاب مجموعه حالات پیش‌بینی درون‌قابی در روش پیشنهادی سریع

Fig.2. Flowchart of best Intra angle selection for proposed fast algorithm

برای یافتن حالت پیش‌بینی درون‌قابی در روش دقیق، مقدار آستانه را طبق رابطهٔ (۶)، نصف مقدار آستانهٔ تعریف‌شده در رابطهٔ (۵) در نظر می‌گیریم:

$$Tr2 = Tr1/2 \,. \qquad (۶)$$

از نخستین حالت پیش‌بینی درون‌قابی در مجموعه، فرآیند آغاز می‌شود؛ به‌این‌ترتیب که تابع هزینهٔ حالت پیش‌بینی درون‌قابی عضو نخست حساب شده و مقدار آن در یک بافر قرار می‌گیرد. اگر مقدار این تابع هزینه کمتر ازآستانهٔ تعریف‌شده با رابطه (۶) باشد، همین حالت به عنوان حالت پیش‌بینی بهینه انتخاب، سپس بر اساس این حالت پیش‌بینی درون‌قابی به‌دست‌آمده، تقسیم‌بندی واحدهای تبدیل آغاز می‌شود؛ اما اگر تابع هزینه حالت پیش‌بینی درون‌قابی نخست از آستانه تعریف‌شده با رابطه (۶) کمتر نباشد، به سراغ حالت پیش‌بینی درون‌قابی دوم در مجموعه حالت‌های پیش‌بینی رفته و دوباره تابع هزینه را برای آن حساب می‌کنیم. اگر این مقدار از تابع هزینه حالت پیش‌بینی درون‌قابی عضو اول، کمتر باشد، تابع هزینه حالت پیش‌بینی درون‌قابی عضو دوم مجموعه در بافر قرار می‌گیرد و به همین ترتیب تمام حالت‌های پیش‌بینی درون‌قابی بررسی می‌شود تا در نهایت یکی از آنها به عنوان حالت پیش‌بینی بهینه انتخاب شود.



(شکل-۳) نمودار گردش کار نحوه به‌روزرسانی مجموعه حالات پیش‌بینی درون‌قابی در روش پیشنهادی دقیق

Fig.3. Flowchart of best Intra angle selection for proposed accurate algorithm

۲-۲- روش پیشنهادی جهت تعیین سریع حدود عمق واحد کدگذاری

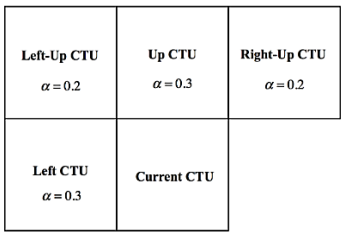
در نرم‌افزار مرجع HEVC(HM)، که برای شبیه‌سازی این استاندارد طراحی شده‌است، به‌طور پیش‌فرض، اندازهٔ واحد کدگذاری مساوی ۶۴ و بازهٔ عمق واحد کدگذاری نیز بازهٔ صفر تا سه در نظر گرفته می‌شود. در کد نرم‌افزار مرجع، عمق تحت بررسی واحد کدگذاری جهت یافتن عمق بهینه برای تمام قاب‌های موجود در یک ویدیو، بازهٔ یکسانی در نظرگرفته می‌شود. انتظار می‌رود که عمق‌های کوچک‌تر برای واحدهای کدگذاری قرارگرفته در مناطق هموار تصویر و عمق‌های بزرگ‌تر برای واحدهای کدگذاری با بافت پیچیده انتخاب شوند. آن‌چه درعمل مشاهده می‌شود این است که در پیش‌بینی درون‌قابی، احتمال وقوع عمق صفر در مناطق هموار تصویر بیشتر است. از سوی دیگر، عمق صفر در نواحی با بافت پیچیده به‌ندرت بهینه‌گی نرخ بیت-اعوجاج را تضمین می‌کند. این نتایج نشان می‌دهد که بازهٔ عمق واحد کدگذاری را می‌توان با

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

استفاده از ویژگی‌های ساختاری واحد کدگذاری مربوطه تعیین کرد. در تصاویر طبیعی، واحدهای کدگذاری مجاور به‌طورعمومی ساختار مشابهٔ دارند. در نتیجه، عمق بهینهٔ واحد جاری می‌تواند به عمق بهینهٔ واحدهای مجاور آن بسیار نزدیک باشد. بر اساس آن‌چه گفته شد و همچنین نتایج به‌دست‌آمده از آزمایش بر روی ویدیوهای مختلف، می‌توان برای پیش‌بینی عمق بهینه از رابطه (۷) استفاده کرد:

$$\mathrm{Depth}_{\mathrm{pre}} = \sum_{i=0}^{N-1} w_i \alpha_i \qquad (۷)$$

که در این رابطه، N تعداد واحدهای درخت کدگذاری (CTU) مجاور و مساوی ۴ است. w_i عمق بیشینهٔ هر یک از چهار واحد کدگذاری همسایه بلوک جاری است و α_i ضریبی است که به هرکدام از واحدهای همسایه اختصاص یافته است. مقادیر این ضرایب در شکل (۴) مشخص شده‌است. از آنجا که عمق پیش‌بینی‌شده ($Depth_{pre}$) باید مقداری بین صفر تا سه داشته باشد، ضرایب α_i باید کوچک‌تر از یک بوده و مجموع این ضرایب مساوی یک باشد. بر اساس مقدار به‌دست‌آمده از رابطهٔ (۷)، هر CTU در یک دسته، مطابق جدول (۲)، قرار می‌گیرد.



(شکل-۴) محل قرارگیری واحدهای مجاور واحد جاری و ضریب اختصاص‌یافته به هرکدام از آن‌ها

Fig.4. Position of neighboring CTUs and their related weights

(جدول-۲) نحوه دسته‌بندی واحدهای کدگذاری بر اساس مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۶)

Table.2. CU classification based on (6)

$Depth_{pre}$	Category
$Depth_{pre} \leq ۰/۵$	I
$۰/۵ < Depth_{pre} \leq ۱/۵$	II
$۱/۵ < Depth_{pre} \leq ۲/۵$	III
$۲/۵ < Depth_{pre} \leq ۳$	IV

با توجه به نتایج آزمایش‌هایی که بر روی نه ویدیو با تفکیک‌پذیری‌های متفاوت انجام‌شده می‌توان چنین نتیجه گرفت که:

- برای واحدهای قرارگرفته در گروه I، بیشینهٔ عمق مورد بررسی مساوی یک قرار داده‌شود.
- برای واحدهای قرارگرفته در گروه II، بیشینهٔ عمق مورد بررسی مساوی دو قرار داده‌شود.
- برای واحدهای قرارگرفته در گروه III، از انجام فرآیند پیش‌بینی درون‌قابی در عمق صفر صرف‌نظر شود.
- برای واحدهای قرار گرفته در گروه IV، از انجام فرآیند پیش‌بینی درون‌قابی در عمق صفر و یک صرف‌نظرشود.

در روش سریع به‌منظور افزایش هرچه بیشتر سرعت، اگر واریانس CTU کمتر از هزار و نوع CTU دو، سه یا چهار باشد، نوع CTU را یکی کمتر در نظر می‌گیریم. چون اگر واریانس CTU از آستانه، که در اینجا هزار در نظر گرفته شده، کمتر باشد، بدین معنی است که این CTU پیچیدگی بالایی ندارد؛ بنابراین می‌توان این CTU را در دسته پایین‌تری قرار داد. برای مثال، اگر عمق پیش‌بینی‌شده برای یکCTU بین ۲/۵ و ۳ بوده و واریانس آن هم کمتر از هزار باشد، این CTU را در دسته سه قرار می‌دهیم.

در روش دقیق اگر اختلاف دو حالت پیش‌بینی نخست به‌دست‌آمده از عملگر سوبل در یک CTU، از یک بیشتر نباشد و نوع CTU بزگتر از یک و کوچک‌تر از پنج باشد و واریانس CTU کمتر از ۹۷ باشد، CTU نوع یک در نظر گرفته می‌شود؛ اما اگر یکی از این سه شرط برقرار نباشد و اختلاف دو حالت پیش‌بینی نخست به‌دست‌آمده از عملگر سوبل بیشتر از یک باشد و نوع CTU بزگتر از یک و کوچک‌تر از پنج باشد و واریانس CTU بیشتر از ۹۲۰ باشد، CTU مطابق الگوی پیش‌فرض نرم‌افزار مرجع کد می‌شود. باز هم اگر این شروط برقرار نباشند و اختلاف دو حالت پیش‌بینی نخست به‌دست‌آمده از عملگر سوبل، یکی بیشتر نباشد و CTU نوع چهار و واریانس آن کمتر از پانصد باشد، نوع CTU یکی کمتر از مقدار به‌دست‌آمده از رابطه (۷) در نظر گرفته می‌شود. اگر هیچ‌کدام از شروط بالا برقرار نباشد، نوع CTU همان است که از رابطه (۷) به‌دست آمده است.مقادیر عددی آستانه‌ها به صورت تجربی به دست آمده است.

۳-نتایج شبیه‌سازی

ارزیابی روش پیشنهادشده جهت تسریع در فرآیند پیش‌بینی درون‌قابی در استاندارد HEVC که در بخش ۲ معرفی شد، با پیاده‌سازی روش یادشده تحت نسخه ۱۶/۱۵ نرم‌افزار مرجعHEVC، که HM16.15 نامیده می‌شود، و تنظیمات encoder_intra_main انجام شده‌است.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

(جدول-۳) نتایج شبیه‌سازی برای نه ویدیوی مورد آزمایش با استفاده از روش پیشنهادی دقیق

Table.3. Proposed accurate algorithm simulation Results of 9 videos

Class	Video Sequence	ΔT (%)	BD-PSNR (dB)	BD-BR (%)
A	Traffic (2560x1600)	-42.17	-0.079	2.88
B	Kimono (1920x1080)	-37.56	-0.085	2.12
B	BasketballDrive (1920×1080)	-38.27	-0.078	2.78
C	BQMall (832×480)	-32.47	-0.155	2.93
D	BasketballPass (416×240)	-23.9	-0.130	2.24
D	BQSquare (416×240)	-25.68	-0.193	2.26
D	BlowingBubbles (416×240)	-27.73	-0.132	2.05
D	RaceHorses (416×240)	-23.78	-0.098	1.69
E	FourPeople (1280x720)	-37.12	-0.087	2.84
Average		**-32.07**	**-0.113**	**2.41**

(جدول-۴) نتایج شبیه‌سازی برای نه ویدیوی مورد آزمایش با استفاده از روش FCUSM

Table.4. FCUSM simulation Results of 9 videos

Class	Video Sequence	ΔT (%)	BD-PSNR (dB)	BD-BR (%)
A	Traffic (2560x1600)	-43.24	-0.097	3.15
B	Kimono (1920x1080)	-37.28	-0.091	2.718
B	BasketballDrive (1920×1080)	-40.23	-0.076	2.678
C	BQMall (832×480)	-40.56	-0.1932	3.65
D	BasketballPass (416×240)	-38.15	-0.1904	3.28
D	BQSquare (416×240)	-38.65	-0.2713	3.65
D	BlowingBubbles (416×240)	-38.5	-0.2174	3.4
D	RaceHorses (416×240)	-39.05	-0.1661	2.87
E	FourPeople (1280x720)	-42.87	-0.12	2.985
Average		**-39.82**	**-0.1584**	**3.15**

این نرم‌افزار مرجع توسط تیم همکاری مشترک کدگذاری ویدیو (JCT-VC)طراحی شده‌است و هدف اصلی از طراحی آن، ارزیابی ایده‌های جدید در مورد این استاندارد تحت یک برنامه واحد است.

برای ارزیابی روش یادشده ، از ۹ ویدیوی استاندارد با تفکیک‌پذیری‌های متفاوت استفاده شده‌است. برای بررسی عملکرد روش پیشنهادی، این روش با روش FCUSMD [۳۰] مقایسه شده‌است. نتایج شبیه‌سازی روش پیشنهادی دقیق و سریع و همچنین روش FCUSMD به‌ترتیب در جداول ۳، ۴ و ۵ آورده شده‌است. روش پیشنهادی با پارامترهای چندی سازی ۲۲، ۲۷، ۳۲ و۳۷ مورد ارزیابی قرار گرفته است.

به‌منظور ارزیابی بهره کدگذاری از معیارهای BD-PSNR و BD-Rate [۳۶] استفاده شده و برای ارزیابی میزان پیچیدگی محاسباتی، مدت زمان کدگذاری مورد توجه بوده است. معیارهای BD-BR (%) و BD-PSNR (dB) برای بیان متوسط اختلاف PSNR و نرخ بیت و(%) DT برای بیان میزان تغییر در زمان کدگذاری دو روش استفاده می‌شوند.

همان‌طور که در جدول (۳) دیده می‌شود، با استفاده از روش دقیق، زمان مورد نیاز برای فشرده‌سازی به طور متوسط حدود ۳۲٪ کاهش یافته است. این میزان کاهش در روش FCUSMD، با توجه به جدول (۴)، حدود ۳۹٪ است.

(جدول-۵) نتایج شبیه‌سازی برای نه ویدیوی مورد آزمایش بااستفاده از روش پیشنهادی سریع

Table.5. Proposed fast algorithm simulation Results of 9 videos

Class	Video Sequence	ΔT (%)	BD-PSNR (dB)	BD-BR (%)
A	Traffic (2560x1600)	-79.45	-0.7356	28.21
B	Kimono (1920x1080)	-68.29	-0.9472	21.28
B	BasketballDrive (1920×1080)	-74.89	-0.6412	24.86
C	BQMall (832×480)	-65.2	-1.1955	26.29
D	BasketballPass (416×240)	-48	-0.9572	17.53
D	BQSquare (416×240)	-50.85	-1.3401	18.96
D	BlowingBubbles (416×240)	-49.35	-0.7850	12.9
D	RaceHorses (416×240)	-48.57	-3.8249	20.11
E	FourPeople (1280x720)	-70.12	-1.0751	27.44
Average		**0.6163**	**-1.27**	**22.28**

بیشترین میزان زمان کاهش‌یافته با استفاده از روش دقیق، در ویدیوی Traffic رخ داده است. این امر شباهت بیشتر مود حاصل‌شده از اعمال اپراتور سوبل و مودهای حالت درشت و حالت بیشترین احتمال را برای ویدئوی با وضوح بالای Traffic نشان میدهد. برای درک میزان متوسط افت PSNR در روش دقیق و روش FCUSMD نسبت به HM، مقادیر BD-PSNR و برای درک میزان متوسط افزایش نرخ بیت، مقادیر BD-BR محاسبه شده‌اند. همانطور که در جدول (۳) مشاهده می‌شود، در روش دقیق نسبت به HM، نسبت بیشینه سیگنال به نوفه به طور متوسط ۰/۱۱۳ دسی بل افت و نرخ بیت به‌طور متوسط ۲/۴۱٪ افزایش داشته است. افت بسیار کم در سیگنال به نوفه نشان‌دهنده انتخاب‌شدن

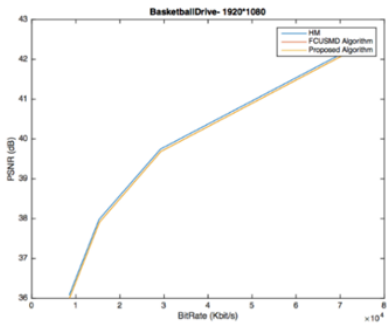
[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

بیشتر مودهایی است که در HM نسخه ۱۶/۱۵ نیز انتخاب شده‌است. با توجه به جدول (۵)، در روش FCUSMD نسبت به HM، نسبت بیشینه سیگنال به نویز به‌طور متوسط ۰/۱۵۸ دسی بل افت و نرخ بیت به‌طور متوسط ٪۳/۱۵افزایش داشته است. از مقایسه جداول ۳ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت که از نظر معیار زمان صرف‌شده برای فشرده‌سازی، روش پیشنهادی دقیق نسبت به روش FCUSMD اندکی ضعیف‌تر عمل می‌کند.مقایسهٔ مقادیر BD-PSNR و BD-Rate نشان می‌دهد که در روش پیشنهادی دقیق، افت کیفیت نسبت به HM در مقایسه با روش FCUSMD کمتر است؛ یا به عبارت دیگر، کیفیت ویدیوی فشرده و کدگشایی‌شده با روش پیشنهادی دقیق نسبت به ویدیوی فشرده و کدگشایی‌شده با روش FCUSMD بالاتر است. اگر میزان افزایش نرخ بیت نسبت به نرم‌افزار مرجع نیز مورد توجه قرار گیرد، مشاهده می‌شود که در روش پیشنهادی دقیق، نرخ بیت نسبت به HM تنها ٪۳۲/۲ افزایش داشته است؛ درحالی‌که این میزان افزایش در روشFCUSMD، ٪۳/۲۵ است. پس از این لحاظ نیز روش دقیق نسبت به روش FCUSMD برتری دارد.

شکل (۵) اطلاعات جزئی‌تری را از روش پیشنهادی دقیق در مقایسه با نرم‌افزار مرجع و روش FCUSMD در پارامترهای چندی‌سازی ۲۲، ۲۷، ۳۲ و ۳۷ برای دو ویدیوی "BasketballDrive (1920*1080)" و "BQMall (832*480)" نشان می‌دهد. در شکل‌های ۵-الف و ۵-ج می‌توان مشاهده کرد که روش پیشنهادی دقیق در نرخ بیت‌های مختلف عملکردی مشابه با نرم‌افزار مرجع و اندکی بهتر از روش FCUSMD داشته و در عین حال، همان‌طور که در شکل‌های ۵-ب و۵-د دیده می‌شود، زمان کدگذاری نیز در این روش نسبت به نرم‌افزار مرجع کاهش قابل ملاحظه‌ای دارد.

همان‌طور که در جدول (۴) دیده می‌شود، با استفاده از روش سریع، زمان مورد نیاز برای فشرده‌سازی به طور متوسط حدود ٪۶۲ کاهش یافته است. این میزان کاهش در روش FCUSMD، با توجه به جدول ۵، حدود ٪۳۹ است. بیشترین میزان زمان کاهش‌یافته با استفاده از روش سریع، در ویدیوی Traffic رخ داده است که این میزان مساوی ٪۷۷/۸۹ است. برای درک میزان متوسط افت PSNRدر روش سریع و روش FCUSMD نسبت به HM، مقادیر BD - PSNR و برای درک میزان متوسط افزایش نرخ بیت، مقادیر BD-BR محاسبه شده‌اند. همانطور که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، در روش سریع نسبت به HM، نسبت بیشینه سیگنال به نویز به طور متوسط ۱/۲۷ دسی بل (dB)افت و نرخ بیت به طور متوسط ٪۲۲ افزایش داشته است. با توجه به جدول ۵، در روش FCUSMD نسبت به HM، نسبت بیشینه سیگنال به نویز به طور متوسط ۰/۱۵۸ دسی بل(dB) افت و نرخ بیت به طور متوسط ٪۳/۱۵ افزایش داشته است. از مقایسه دو جدول ۴ و ۵ می‌توان نتیجه گرفت که از نظر معیار زمان صرف‌شده برای فشرده‌سازی، روش پیشنهادی سریع نسبت به روش FCUSMD بسیار بهتر عمل می‌کند؛چرا که با توجه به جدول (۴) با به‌کارگیری روش پیشنهادی، سرعت کدگذاری نسبت به HM به طور متوسط به بیش از دو برابر افزایش یافته است؛ درحالیکه زمان کدگذاری در روش FCUSMD در مقایسه با HMتنها ٪۳۹ کاهش یافته است. در نتیجه روش پیشنهادی سریع نسبت به روش FCUSMD از لحاظ سرعت کدگذاری عملکرد بسیار بهتری دارد؛ اما اگر معیار BD-PSNR لحاظ شود، مشاهده می‌شود که میزان متوسط کاهش PSNRدر روش پیشنهادی نسبت به HM، ۱/۲۷ دسی بل و این میزان در روش FCUSMD ۰/۱۵۸ دسی بل است؛ بنابراین با مد نظر قرار دادن این دو معیار، روش پیشنهادی سریع در مقایسه با روش FCUSMD عملکرد ضعیف‌تری دارد.

شکل (۶) اطلاعات جزئی‌تری را از روش پیشنهادی سریع در مقایسه با نرم‌افزار مرجع و روش FCUSMD در پارامترهای چندی‌سازی ۲۲، ۲۷، ۳۲ و ۳۷ برای دو ویدیوی "BasketballDrive (1920×1080)"و "BQMall (832×480)" نشان می‌دهد. در شکل‌های ۶-الف و ۶-ج که به‌ترتیب منحنی RD و منحنی‌های زمان کاهش‌یافته نسبت به نرم‌افزار مرجع، برای ویدیوی BasketballDrive را نشان می‌دهند، می‌توان مشاهده کرد که عملکرد روش پیشنهادی سریع اندکی از نرم‌افزار مرجع و روش FCUSMD در نرخ بیت‌های مختلف پایین‌تر است؛ اما از طرف دیگر با مشاهده شکل‌های ۵-ب و ۵-د کاهش بسیار زیاد زمان کدگذاری نسبت به دو روش دیگر قابل ملاحظه است.



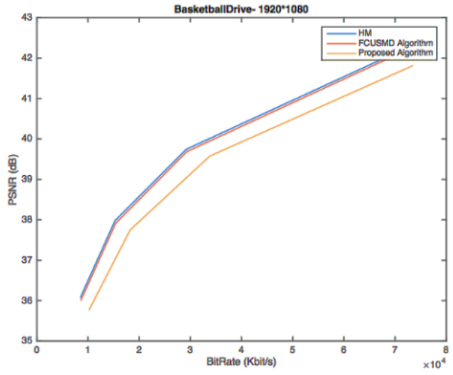
الف) منحنی RDبرای ویدیوی BasketballDrive

a) RD curve of BasketballDrive video

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]
[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

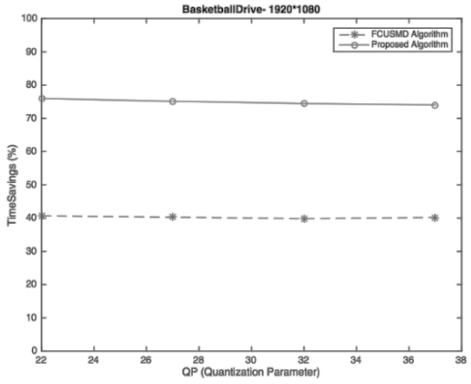
۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، روشی سریع برای انجام پیش‌بینی درون‌قابی در استاندارد HEVC به‌منظور کاهش پیچیدگی‌های محاسباتی این استاندارد، پیشنهاد شد. این روش شامل دو بخش بود؛ در بخش اول، با روشی که در بخش ۲ توضیح داده شد، عمق بهینه واحد کدگذاری مورد بررسی تعیین می‌شد و در بخش دوم، با استفاده از اصل تشابه بلوک‌های مجاور و با استفاده از عملگر سوبل حالت پیش‌بینی درون‌قابی بهینه برای هر واحد کدگذاری به‌دست‌می‌آمد. برای ارزیابی روش پیشنهادی، این روش روی نرم‌افزار مرجع پیاده‌سازی شد. نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی روی ویدیوهایی با تفکیک‌پذیری‌های متفاوت نشان داد که روش پیشنهادی نسبت به نرم‌افزار مرجع بسیار سریع‌تر است. البته باید این نکته را نیز در نظر داشت که این روش در کنار سرعت بالا، افت کیفیت قابل ملاحظه‌ای به همراه ندارد. همچنین با مقایسه این روش با روش‌های پیشنهادی دیگر، مشاهده می‌شود که نسبت به آن روش‌ها نیز سرعت بالاتری دارد.



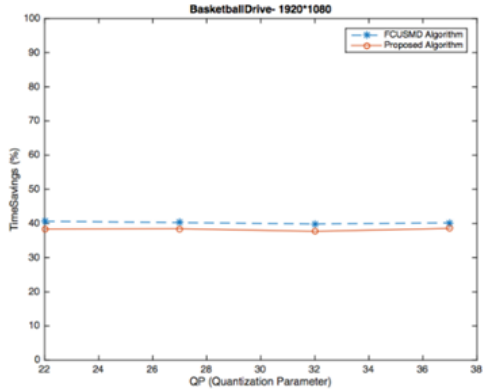
الف) منحنی RDبرای ویدیوی BasketballDrive

a)RD curve of BasketballDrive video



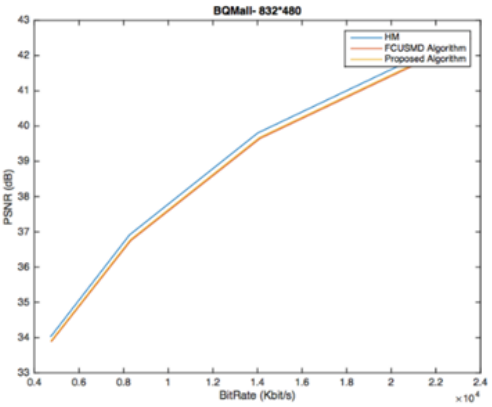
ب) منحنی‌های زمان کاهش‌یافته نسبت به نرم‌افزار مرجع برای ویدیوی BasketballDrive

b) Coding time comparison with HM16.15 for BasketballDrive video



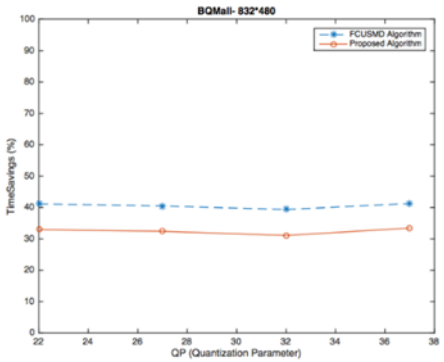
ب) منحنی‌های زمان کاهش‌یافته نسبت به نرم‌افزار مرجع برای ویدیوی BasketballDrive

b) Coding time comparison with HM16.15 for BasketballDrive video



ج) منحنی RD برای ویدیوی BQMall

c) RD curve of BasketballDrive video



د)منحنی‌های زمان کاهش یافته نسبت به نرم‌افزار مرجع در ویدیوی BQMall

d) Coding time comparison with HM16.15 for BQMall video

(شکل-۵) نتایج شبیه‌سازی با روش پیشنهادی دقیق در دو ویدیوی "BasketballDrive" (1920×1080) و "BQMall" (832×416) تحت پارامترهای چندی‌سازی مختلف (۲۲، ۲۷، ۳۲ و ۳۷)

Fig.5. Simulation Results of proposed accurate algorithm for "BasketballDrive" (1920×1080) and "BQMall" (832×416) videos with Qp = 22, 27, 32, 37

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

[5] M. Jamali, S. Coulombe, and F. Caron, "Fast HEVC intra mode decision based on edge detection and SATD costs classification," in *Data Compression Conference (DCC), 2015*, 2015, pp. 43-52: IEEE.

[6] G. J. Sullivan, J. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding (HEVC) standard," *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, 2012.

[7] H. Brahmasury Jain and K. Rao, "Fast intra mode decision in high efficiency video coding," *Polibits*, no. 50, pp. 5-12, 2014.

[8] Q. Hu, Z. Shi, X. Zhang, and Z. Gao, "Fast HEVC intra mode decision based on logistic regression classification," in *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2016 IEEE International Symposium on*, 2016, pp. 1-4: IEEE.

[9] W. Liao, D. Yang, and Z. Chen, "A fast mode decision algorithm for HEVC intra prediction," in *Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2016*, 2016, pp. 1-4: IEEE.

[10] D. B. Patel, D. M. Chauhan, and K. C. Pathak, "Edges based intra-prediction in High Efficiency Video Coding (HEVC) standard," in *Engineering and Technology (ICETECH), 2016 IEEE International Conference on*, 2016, pp. 995-1000: IEEE.

[11] Y. Piao, J. Min, and J. Chen, "Encoder improvement of unified intra prediction, joint collaborative team on video coding (JCT-VC) of ITU-TSG16 WP3 and ISO," IEC JTC1/SC29/WG11, documentJCTVC-C2072010.

[12] R. Tian, Y. Zhang, R. Fan, and G. Wang, "Adaptive Fast Mode Decision for HEVC Intra Coding," in *Digital Image Computing: Techniques and Applications (DICTA), 2016 International Conference on*, 2016, pp. 1-6: IEEE.

[13] W. Xiang, C. Cai, Z. Wang, H. Zeng, and J. Chen, "Fast intra mode decision for HEVC," in *Signal-Image Technology and Internet-Based Systems (SITIS), 2014 Tenth International Conference on*, 2014, pp. 283-288: IEEE.

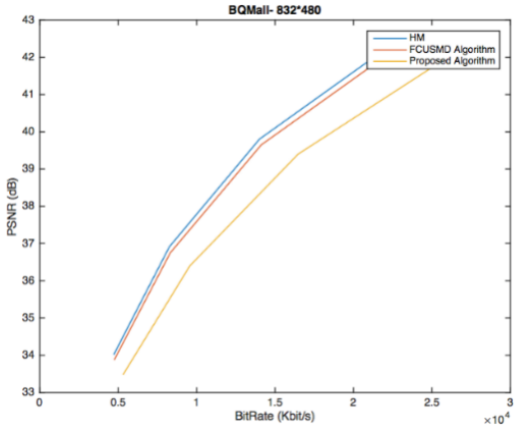
[14] M. Zhang, C. Zhao, and J. Xu, "An adaptive fast intra mode decision in HEVC," in *Image Processing (ICIP), 2012 19th IEEE International Conference on*, 2012, pp. 221-224: IEEE.

[15] L. Zhao, L. Zhang, S. Ma, and D. Zhao, "Fast mode decision algorithm for intraprediction in HEVC," in *Visual Communications and Image Processing (VCIP), 2011 IEEE*, 2011, pp. 1-4: IEEE.

[16] O. C. Cristina, U. R. Mihnea, and P. Ionut, "HEVC intra partitioning and mode decision using histograms of oriented gradients," in *Electronicsand Telecommunications (ISETC), 2016 12th IEEE International Symposium on*, 2016, pp. 277-280: IEEE.

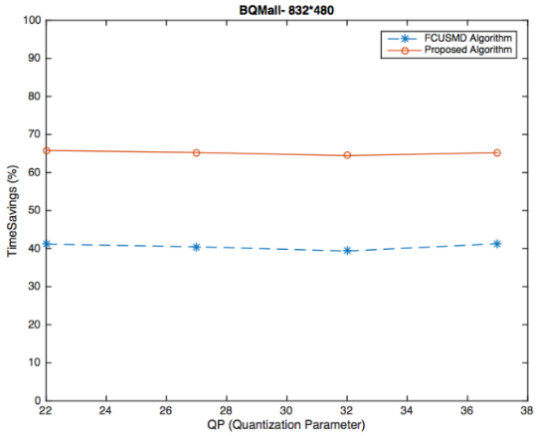
[17] J. M. Ha, J. H. Bae, and M. H. Sunwoo, "Texture-based fast CU size decision algorithm for HEVC intra coding," in *Circuits and Systems (APCCAS), 2016 IEEE Asia Pacific Conference on*, 2016, pp. 702-705: IEEE.

[18] A. Heindel and A. Kaup, "Fast intra mode decision in HEVC using early distortion estimation," in *Signal and Information Processing (ChinaSIP), 2015 IEEE*



ج) منحنی RDبرای ویدیوی BQMall

c) RD curve of BasketballDrive video



د) منحنی‌های زمان کاهش‌یافته نسبت به نرم‌افزار مرجع در ویدیوی BQMall

d) Coding time comparison with HM16.15 for BQMall video

(شکل-۶) نتایج شبیه‌سازی با روش پیشنهادی سریع برای دو ویدیوی "BasketballDrive" (1920×1080) و "BQMall" (832×416) تحت پارامترهای چندی‌سازی مختلف (22, 27, 32, 37)

Fig.6. Simulation Results of proposed fast algorithm for "BasketballDrive" (1920×1080) and "BQMall" (832×416) videos with Qp = 22, 27, 32, 37

5-Refrence ۵- مراجع

[1] M. Wien, *High efficiency video coding: Coding tools and specification*. Springer, 2014.

[2] M. Budagavi, *High Efficiency Video Coding (hevc): Algorithms and Architectures*. Springer, 2016.

[3] G. J. Sullivan, J. R. Ohm, "HEVC software guidelines," *Joint Collaborative Team on Video Coding (JVT-VC) of ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/WG11*, document JCTVC-H1001, 8th Meeting: San Jose, CA, USA, Feb. 2012.

[4] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital image processing," ed: Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2012.

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]

China Summit and International Conference on, 2015, pp. 559-563: IEEE.

[19] J. Hou, D. Li, Z. Li, and X. Jiang, "Fast CU size decision based on texture complexity for HEVC intra coding," in *Mechatronic Sciences, Electric Engineering and Computer (MEC), Proceedings 2013 International Conferenceon*, 2013, pp. 1096-1099: IEEE.

[20] J. Kim, J. Yang, H. Lee, and B. Jeon, "Fast intra mode decision of HEVC based on hierarchical structure," in *Information, Communications and Signal Processing (ICICS) 2011 8th International Conference on*, 2011, pp. 1-4 :IEEE.

[21] T. Mallikarachchi, A. Fernando, and H. K. Arachchi, "Efficient coding unit size selection based on texture analysis for hevc intra prediction," in *Multimedia and Expo (ICME), 2014 IEEE International Conference on*, 2014, pp. 1-6: IEEE.

[22] B .Min and R. C. Cheung, "A fast CU size decision algorithm for the HEVC intra encoder," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 25, no. 5, pp. 892-896, 2015.

[23] M. Radosavljević, G. Georgakarakos, S. Lafond, and D. Vukobratović, "Fast coding unit selection based on local texture characteristics for HEVC intra frame," in *Signal and Information Processing (GlobalSIP), 2015 IEEE Global Conference on*, 2015, pp. 1377-1381: IEEE.

[24] M. Ramezanpour and F. Zargari, "Early termination algorithm for CU size decision in HEVC intra coding," in *Machine Vision and Image Processing (MVIP), 2015 9th Iranian Conference on*, 2015, pp. 45-48: IEEE.

[25] K. Saurty, P. C. Catherine, and K. Soyjaudah, "Terminating CU splitting in HEVC intra prediction using the Hadamard Absolute Difference (HAD) cost," in *SAI Intelligent Systems Conference (IntelliSys), 2015*, 2015, pp. 836-841: IEEE.

[26] L. Shen, Z. Zhang, and Z. Liu, "Effective CU size decision for HEVC intracoding," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 23, no. 10, pp. 4232-4241, 2014.

[27] S. Yan, L. Hong, W. He, and Q. Wang, "Group-based fast mode decision algorithm for intra prediction in HEVC," in *Signal Image Technology and Internet Based Systems (SITIS), 2012 Eighth International Conference on*, 2012, pp. 225-229: IEEE.

[28] H. Sun, D. Zhou, and S. Goto, "A low-complexity HEVC intra prediction algorithm based on level and mode filtering," in *Multimedia and Expo (ICME), 2012 IEEE International Conference on*, 2012, pp. 1085-1090: IEEE.

[29] J. Guo, G. Chen, J. Zheng, and D. Guo, "Gradient based fast CU splitting and mode decision algorithm for HEVC intra prediction," in *Anti-counterfeiting, Security, and Identification (ASID), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 1-5: IEEE.

[30] L. Shen, Z. Zhang, P. An, "Fast CU Size Decision and Mode Decision Algorithm for HEVC Intra Coding". *IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol 59, No. 1, pp. 207-213, Feb. 2013.*

[31] T. Nishikori, T. Nakamura, T. Yoshitome, and K. Mishiba, "A fast CU decision using image variance in HEVC intra coding," in *Industrial Electronics and Applications (ISIEA), 2013 IEEE Symposium on*, 2013, pp. 52-56: IEEE.

[32] X. Shang, G. Wang, T. Fan, and Y. Li, "Fast CU size decision and PU mode decision algorithm in HEVC intra coding," in *Image Processing (ICIP), 2015 IEEE International Conference on*, 2015, pp. 1593-1597: IEEE.

[33] C.-F. Tseng and Y.-T. Lai, "Fast coding unit decision and mode selection for intra-frame coding in high-efficiency video coding," *IET image processing*, vol. 10, no. 3, pp. 215-221, 2016.

[34] Q. Zhang, J. Sun, Y. Duan, and Z. Guo, "A two-stage fast CU size decision method for HEVC intracoding," in *Multimedia Signal Processing (MMSP), 2015 IEEE 17th International Workshop on*, 2015, pp. 1-6: IEEE.

[35] X. Zhou, G. Shi, and W. Zhou, "Perceptual CU Size Decision and Fast Prediction Mode Decision Algorithm for HEVC Intra Coding," in *Multimedia (ISM), 2016 IEEE International Symposium on*, 2016, pp. 375-378: IEEE.

[36] G. Bjontegarrd, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," *VCEG-M33*, 2001.

[37] Jamali, M. and Coulombe, S., 2018. Fast HEVC intra mode decision based on RDO cost prediction. *IEEE Transactions on Broadcasting*, *65*(1), pp.109-122.

[38] Gu, J., Tang, M., Wen, J. and Han, Y., 2017. Adaptive intra candidate selection with early depth decision for fast intra prediction in HEVC. *IEEE Signal Processing Letters*, *25*(2), pp.159-163.



سمانه پارسایی در سال ۱۳۸۸ مقطع کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق مخابرات در دانشگاه فردوسی مشهد به پایان رسانده است. وی مدرک کارشناسی ارشد را نیز در رشته مهندسی برق مخابرات سیستم از دانشگاه فردوسی مشهد اخذ کرده است. پژوهش‌های مورد علاقه ایشان در زمینه فشرده سازی ویدئو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

sa.parsaie@um.ac.ir



حسین خانجانی در سال ۱۳۸۲ مقطع کارشناسی خود را در رشته مهندسی برق مخابرات در دانشگاه فردوسی مشهد به پایان رسانده است. وی مدرک کارشناسی ارشد را در رشته از دانشگاه خوارزمی اخذ کرده است. پژوهش‌های مورد علاقه ایشان در زمینه فشرده سازی ویدئو است.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

khanjani.hossein@mail.um.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]



مرتضی خادمی درح تحصیلات خود را در مقاطع کارشناسی و کارشناسی ارشد مهندسی برق بترتیب در سال‌های ۱۳۶۴ و ۱۳۶۶ در دانشگاه صنعتی اصفهان به پایان رسانده است. نامبرده از سال ۱۳۶۶ الی ۱۳۷۰ به‌عنوان عضو هیأت علمی (مربی) در دانشگاه فردوسی مشهد به کار مشغول بود. پس از آن به دوره دکترای مهندسی برق در دانشگاه ولونگونگ (استرالیا) وارد و در سال ۱۳۷۴ موفق به دریافت درجه دکترا در مهندسی برق از دانشگاه یادشده شد. دکتر خادمی از سال ۱۳۷۴ دوباره در دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد مشغول به فعالیت شد و اینک نیز استاد این دانشکده است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه نامبرده شامل موضوعاتی مانند مخابرات ویدئویی، فشرده‌سازی ویدئو، پردازش تصویر، پردازش سیگنال‌های پزشکی و پنهان‌سازی اطلاعات در ویدئو است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

khademi@um.ac.ir



عباس ابراهیمی‌مقدم مدرک کارشناسی برق گرایش الکترونیک خود را از دانشگاه صنعتی شریف در سال ۱۳۷۰ و در سال ۱۳۷۴ مدرک کارشناسی‌ارشد را از دانشگاه صنعتی خواجه نصیر دریافت کرده است. ایشان مدرک دکترای خود را از دانشگاه McMaster کانادا دریافت کرده‌اند و از سال ۱۳۹۰ به‌عنوان استادیار در دانشگاه فردوسی مشهد فعالیت علمی می‌کند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش گفتار، پردازش تصویر و ویدیو، بینایی ماشین و پردازش سیگنال‌های حیاتی است.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

a.ebrahimi@um.ac.ir



هادی هادی‌زاده مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد برق در گرایش الکترونیک خود را به‌ترتیب از دانشگاه صنعتی شاهرود در سال ۱۳۸۴ و دانشگاه علم و صنعت ایران در سال ۱۳۸۷ دریافت کرده است. وی مدرک دکترای خود را در رشته برق گرایش مخابرات از دانشگاه Simon Fraser کانادا در سال ۱۳۹۲ دریافت کرده و از همان سال به عنوان استادیار در دانشگاه صنعتی قوچان فعالیت می‌کند. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش و فشرده‌سازی تصاویر و ویدیوهای دیجیتال، شبکه‌های مخابراتی، بینایی و آموزش ماشین، بازشناسی الگو و مدل‌سازی دستگاه بینایی مغز انسان است. دکتر هادی‌زاده از سال ۲۰۰۹ تاکنون، موفق به کسب ۲۲ عنوان و افتخار علمی مختلف از دانشگاه‌های داخلی و بین‌المللی شده‌است. ازجمله آنها می توان به کسب عنوان بهترین مقاله درکنفرانس بین‌المللیIEEE-ICME2012 درملبورن استرالیا، اخذ گرنت Microsoft Research و Canon Information Systems Research Australia (CiSRA) و دریافت عنوان بهترین مقاله کنفرانس بین المللی مهندسی برق در دانشگاه تهران اشاره کرد. درسال ۲۰۱۳ نیز به عنوان دبیر اجرایی IEEE Signal Processing Society درحوزه ونکوور کانادا فعالیت کرده‌اند. ایشان تجربه کاری در شرکت‌های بین المللی همچون Dolby Laboratories و Icron Technologies را دارد.

نشانی رایانامهٔ ایشان عبارت است از:

h.hadizadeh@qiet.ac.ir

[Downloaded from jsdp.rcisp.ac.ir on 2026-11-25]

[DOI: 10.61186/jsdp.20.3.183]