

مقاوم‌سازی بردار حرکت در برابر خطای کانال

جهت بهبود کیفیت ویدئوی دریافتی

پوریا اعتضادی‌فر و حسن فرسی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر - دانشگاه بیرجند - بیرجند - ایران

چکیده

با توجه به پیشرفت فناوری در دهه‌های اخیر، ارسال و دریافت ویدئو از طریق کانال‌های مخابراتی بی‌سیم با استقبال گسترده‌ای روبه‌رو شده است. بدین منظور روش‌های بسیاری جهت بالابردن کیفیت ویدئویی ارسالی ارائه شده‌اند. یکی از مواردی که کیفیت فایل‌های ویدئویی را کاهش می‌دهد، وجود خطا در مقادیر بردارهای حرکت است. در صورت ایجاد خطا در مقادیر بردارهای حرکت، تصاویر ایجادشده مقداری نسبت به حالت قبلی خود جابه‌جا می‌شوند و کیفیت فریم دریافتی را به صورت قابل توجهی پایین می‌آورند. در این مقاله به منظور مقابله با این مشکل و همچنین بالابردن PSNR، از افزایش نرخ کدگذاری کانال در یک نرخ ارسال ثابت استفاده می‌شود. در روش پیشنهادی، ابتدا با استفاده از پنجره ای با اندازه 8×8 جستجو در فریم مورد نظر شروع می‌شود. پس از اتمام جستجو بلوک‌هایی که در همسایگی یکدیگرند و دارای مقدار حرکت صفر (بدون حرکت) هستند با یکدیگر ترکیب می‌شوند و این امر منجر به ساخته شدن بلوکی با ابعاد بزرگ‌تر می‌شود. همچنین بلوک‌هایی که دارای مقدار حرکت برابر بوده‌اند نیز با یکدیگر ترکیب و به دو روش مختلف به گیرنده ارسال می‌شوند. آزمایش‌های انجام‌شده نشان می‌دهند که روش پیشنهادی بدون افزایش حجم اطلاعات ارسالی برای هر فریم، توانسته است فریم‌های ویدئویی را نسبت به خطاهای کانال مقاوم‌تر سازد. در انتها نتایج به دست آمده با چندین نرخ ارسال برای منبع و چندین SNR برای کانال با نتایج به دست آمده از روش‌های متداول مقایسه شده است. پس از مقایسه روش پیشنهادی با روش‌های متداول، این نتیجه به دست آمد که با مقاوم‌سازی بردارهای حرکت، با استفاده از افزایش نرخ کدگذاری در بردارهای همسایه دارای مقدار یکسان، می‌توان کیفیت فریم‌های ویدئویی دریافت‌شده را در حد قابل قبولی افزایش داد.

واژگان کلیدی: ترکیب بلوک‌ها - کدگذاری فریم‌های ویدئویی - نرخ بیت متغیر - کدگذاری کانال.

۱- مقدمه

رشد روزافزون استفاده از مخابرات بی‌سیم و تمایل به استفاده از دستاوردهای مخابرات مدرن برای ارسال داده‌های چندرسانه ای^۱ بی‌درنگ همچون ویدئو، ضرورت تحقیق و مطالعه در این زمینه را نمایان می‌کند. روش‌های مختلف کدگذاری ویدئو برای رسیدن به نرخ بیت پایین‌تر و در عین حال با کاهش کیفیت اندک مطرح شده‌اند (Flierl, 2004). در مخابرات بی‌سیم و سیار خطای ذاتی محیط‌های بی‌سیم منجر به کاهش کیفیت ویدئوی دریافتی در گیرنده می‌شود.

تاکنون روش‌های بسیاری برای کاهش و حذف خطای ناشی از ارسال ویدئو در محیط‌های بی‌سیم ارائه شده است (Moreira, 2006). یکی از کارآمدترین این روش‌ها کدگذاری کانال است که برای تشخیص و تصحیح خطا به کار گرفته می‌شود. در سال‌های اخیر، روش‌های متنوعی در رابطه ترکیب توأم کدگذاری منبع و کانال^۲ معرفی شده است. روش‌های متداولی برای کدگذاری هم‌زمان منبع و کانال وجود دارد که به‌طور عمومی براساس تخمین کانال صورت می‌پذیرند (Bystrom, 2000; Cheung, 2000; Kondi, 2002; Zhai, 2006). روش به کار گرفته شده در این مقاله با

² Joint Source and Channel Coding (JSCC)

¹ Multimedia

۲- نحوه کدگذاری فریم‌های ویدئویی

در این بخش ابتدا به‌صورت خلاصه به معرفی گروه تصاویر^۵ می‌پردازیم و در مرحله بعد نحوه کد و کدگذاری کردن فریم‌های ویدئویی با استفاده از MPEG-4 را توضیح می‌دهیم.

در استاندارد MPEG، سه نوع تصویر معرفی که به‌اختصار با I و P و B نشان داده می‌شوند. از ترکیب این تصاویر با هم گروه تصاویر ساخته می‌شود. نمونه‌ای از ساختار گروه تصاویر در شکل (۱) نشان داده شده است.

به تصویری که با استفاده از اطلاعات موجود در خود آن تصویر کد می‌شوند، تصویر I گفته می‌شود. بنابراین برای فشرده‌سازی این تصاویر از روش‌های فشرده‌سازی مثل JPEG استفاده می‌شود (Salomon, 2004). به تصویری که با استفاده از نزدیک‌ترین تصاویر P و با I قبلی تخمین زده می‌شوند، تصویر P گفته می‌شود؛ در این نوع کدگذاری از جبران‌ساز حرکت نیز استفاده می‌شود. به تصویری که با استفاده از تصاویر P و یا I قبلی و بعدی که به‌عنوان مرجع هستند تخمین زده می‌شوند، تصویر B گفته می‌شود. در این نوع کدگذاری نیز از جبران‌ساز حرکت استفاده می‌شود. فقط از گروه تصاویر دو نوع فریم تصویر I و تصویر P را انتخاب کرده‌ایم. علت انتخاب این تصاویر آن است که در تصویر B به‌دلیل اینکه تخمین با استفاده از فریم‌های قبل و بعد صورت می‌پذیرد، سامانه باید تا زمانی که فریم بعد وارد ذخیره شود منتظر بماند تا بتواند با استفاده از آن تخمین انجام دهد. بنابراین سامانه دچار تأخیر می‌شود. از این‌رو از تصویر B در این نوع کدگذاری استفاده نمی‌شود.

۲-۱- مروری بر روش کدکردن MPEG-4

در این مقاله از MPEG-4 part 2 استفاده شده است. ساختار کدگذاری و کدگذاری کردن I و P به‌ترتیب در شکل‌های (۲ و ۳) نشان داده شده است. در ادامه به توضیح برخی از عملیات استفاده شده در کدگذار و کدگشا نشان داده شده در شکل‌های مذکور (البته به غیر از قسمت کدکننده کانال) پرداخته می‌شود.

۲-۱-۱- مرتب‌سازی مجدد^۶

بعد از چندی کردن ضرایب DCT، با توجه به زیاد بودن مقادیر صفر، ضرایب به‌صورت زیگزاگ کنار یکدیگر قرار داده

روش‌های اشاره‌شده در مراجع (Bystrom, 2000; Cheung, 2000; Kondi, 2002; Zhai, 2006) متفاوت است. اساس این روش به‌منظور مقاوم‌سازی نواحی که عیناً در دو فریم تکرار می‌شوند، می‌باشد (البته این نواحی باید تعداد پیکسلی بیشتر از حداقل تعداد پیکسل تعیین‌شده به‌عنوان حد آستانه داشته باشند). این نواحی می‌توانند در دو فریم در یک محل ثابت قرار گرفته باشند یا اینکه در دو فریم نسبت به یکدیگر دارای حرکت باشند. با انجام این نوع کدگذاری با توجه به توضیحات بخش ۵، می‌توانیم فریم‌های ویدئویی ارسالی را نسبت به کانال، مقاوم‌تر سازیم. یکی از مشکلات روش‌های به‌کار گرفته‌شده در (Bystrom, 2000; Cheung, 2000; Kondi, 2002; Zhai, 2006) این است که باید اطلاعات کانال در دسترس باشد و بسته به اعوجاج کانال نرخ کدگذاری منبع و کانال را تغییر دهد؛ اما روش پیشنهادی وابسته به تغییرات کانال نبوده و قادر است بر روی هر کدگذاری منبعی به‌صورت مستقل عمل کرده و کیفیت تصاویر دریافتی در گیرنده را افزایش دهد. در ادامه ابتدا به معرفی چند پارامتر استفاده‌شده در مقاله می‌پردازیم و در قسمت بعد به توضیح پیکره‌بندی مقاله اشاره‌ای خواهیم داشت. در این مقاله اساس سنجش کیفیت فریم‌های دریافتی بر حسب بیشینه نسبت توان سیگنال به توان نوفه یا PSNR^۱ و همچنین نرخ خطای بیت یا BER^۲ است که میزان خطای ایجادشده توسط کانال بر روی اطلاعات را بیان می‌کند. این مقاله به‌صورت زیر ساماندهی شده است:

در بخش ۲، ابتدا روش کدکردن فریم‌های ویدئویی با استفاده از MPEG-4 part 2 برای دو فریم تصویر I^۳ و تصویر P^۴ را معرفی و در بخش ۳، کدگذاری کانالی را که در این مقاله استفاده شده است بررسی می‌کنیم. در بخش ۴، روش پیشنهادی را مطرح کرده و به‌صورت کامل به توضیح آن می‌پردازیم؛ سپس در بخش ۵، به ارزیابی روش پیشنهادی و مقایسه داده‌های خروجی با روش به‌کار گرفته شده در مراجع (Dissanayake, 2012; Farooq Sabir, 2009; Elangovan, 2008) که (که روش‌های جدیدی هستند) می‌پردازیم.

¹ Peak Signal to Noise Ratio

² Bit Error Rate

³ Intra-picture

⁴ Predicted-Picture

⁵ Group Of Pictures (GOP)

⁶ Reorder

۴-۱-۲- بلوک تخمین گر حرکت

بلوک تخمین گر حرکت براساس معیار محاسبه کمترین میانگین مربعات خطای تطبیق بین دو فریم متوالی کار می کند که نحوه کار آن براساس پیاده سازی معادلات ۱ و ۲ می باشد.

$$MSE(d_x, d_y) = \frac{1}{M_1 N_1} \sum_{(m,n) \in W} (b[m, n, k] - b[m - d_x, n - d_y, k - 1])^2 \quad (1)$$

$$(d_x, d_y) = \arg \min_{(d_x, d_y)} MSE(d_x, d_y) \quad (2)$$

در معادله ۱ آرگمان سوم متغیر b شامل (k) و $(k-1)$ پیکسل های دو فریم پشت سرهم را فراخوانی می کند و دو متغیر m و n مکان یک پیکسل را در فضای دوبعدی هر فریم نشان می دهد. متغیر W نشان دهنده پنجره ای است که باید در آن بازه جستجو صورت گیرد و بردار تخمین حرکت با جستجو در این بازه به دست می آید؛ که در این مقاله $W=15$ در نظر گرفته شده است. این بدان معناست که پنجره ای با اندازه 16×16 برای جستجو انتخاب می شود و طول پنجره تخمین 8×8 است. همچنین M_1 و N_1 اندازه پنجره جستجو را نشان می دهند که در اینجا هر دو برابر با ۱۶ است. به عبارت دیگر، در بازه پنجره جستجو دو فریم متوالی را با یکدیگر مقایسه می نماید و کمترین مقدار به عنوان یکی از اعضای ماتریس تخمین حرکت ذخیره می شود. در مرحله بعد پس از تخمین کامل فریم مورد نظر و ساخته شدن ماتریس تخمین حرکت، مقدار تخمین زده شده از فریم قبلی کم می شود. در انتها مقدار به دست آمده به بلوک DCT اعمال می شود. پس از عبور از بلوک DCT مقدار به دست آمده با ۶۴ سطح چندی شده و در انتها بلوک های DCT را جهت ارسال به کانال با استفاده از روش هافمن کد می کند همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده است ابتدا عمل معکوس چندی سازی صورت می پذیرد و پس از آن عکس تبدیل DCT از اطلاعات چندی شده معکوس گرفته می شود و در مرحله آخر با استفاده از ماتریس تخمین حرکت، فریم دریافتی را با فریم قبلی جمع کرده و به این ترتیب فریم دریافتی را بازیابی می کند.

می شوند. با این کار مقادیر مربوط به فرکانس ها گروه بندی می شوند (Richardson, 2003). نحوه چیدمان زیگزاگ در شکل (۴) نشان داده شده است.

۲-۱-۲- بسته بندی داده ها^۱

وجود خطا در هنگام ارسال داده ها، باعث از بین رفتن همزمانی بین فریم های ارسالی می شود. برای چیره شدن به این مشکل نیاز به سازوکار همزمان ساز مجدد است. یکی از راه های همزمان سازی فریم های ارسالی، استفاده از ارسال داده ها به صورت بسته بندی^۲ است. به این منظور در هر بسته تعدادی نشانه^۳ برای همزمان سازی قرار داده می شود. کدکننده هر فریم را به بسته هایی تقسیم می کند و نشانه های مربوط به همزمانی را در ابتدای هر بسته قرار می دهد. کدکننده و کدگشا هنگام رسیدن به نشانه های قرار داده شده در اول هر بسته، عملیات همزمان سازی را دوباره انجام می دهند. به این ترتیب باعث می شوند همزمان سازی بین فریم ها از بین نرود و از ایجاد خطای جمع شوندگی^۴ جلوگیری شود (Shi, 1999).

۳-۱-۲- قسمت بندی داده ها^۵

در این مدل داده های بسته بندی شده به دو ناحیه تقسیم می شوند. ایده اصلی این مدل، جداسازی داده ها با ارزش بیشتر (ضرایب DC ماتریس DCT، اطلاعات روش کدگشایی بردارهای حرکت) از داده ها با ارزش پایین تر (ضرایب AC ماتریس DCT و خطاهای باقیمانده) است. برای ارسال تصویر I، اولین ناحیه، شامل اطلاعات روش کدگشایی منبع و همچنین ضرایب DC است؛ اما ناحیه دوم که داده های با ارزش پایین تر را دارد، شامل ضرایب AC است. برای ارسال تصویر P اولین ناحیه شامل اطلاعات روش کدگشایی منبع و همچنین بردارهای حرکت است، در حالی که ناحیه دوم شامل اطلاعات DCT (بافت، ضرایب DC و AC) است. برای همزمان سازی در قسمت بندی داده ها نیز از نشانه گذاری استفاده می شود، که این نشانه گذاری یکتاست. شکل (۵) نحوه ساختار بسته بندی برای MPEG-4 را نشان می دهد.

¹ Packetization

² Packetize

³ Marker

⁴ Additive-error

⁵ Data Partitioning

۳- کدگذاری کانال

در این مقاله از کدکننده Reed-solomon برای کدگذاری کانال استفاده شده است. این کد، طبقه‌ای از کدهای BCH دوره‌ای (Shannon, 1998; Carlson, 1986)، خطی و غیر دودویی که توسط میدان GF(q) ساخته می‌شوند، می‌باشد (Shannon, 1948). دلیل استفاده از این نوع کدگذاری، غیر دودویی بودن آن است. بدین صورت که اطلاعات هر بلوک را می‌توان بدون اینکه بلوک مورد نظر را به مبنای دودویی تبدیل کند، به‌طور مستقیم کد نماید و بدین صورت سرعت کدگذاری فریم‌های ویدئویی بالاتر می‌رود. در این روش با فرض اینکه پیغام کدشده $C(X)$ ارسال گردیده و پیام نوفه‌ای $r(X)$ در گیرنده دریافت می‌شود، داریم:

$$r(X) = r_0 + r_1X + \dots + r_{n-1}X^{n-1} \quad (3)$$

همچنین چندجمله‌ای خطا $e(X)$ و رابطه آن با پیام آرسالی و دریافتی در معادله ۴ آورده شده است.

$$e(X) = e_0 + e_1X + \dots + e_{n-1}X^{n-1} \quad (4)$$

$$r(X) = C(X) + e(X)$$

بنابراین با توجه به اینکه α^i ها ریشه‌های $C(X)$ می‌باشند ($C(\alpha^i) = 0$) و همچنین با توجه به معادله ۴ می‌توان نشان داد که:

$$r(\alpha^i) = C(\alpha^i) + e(\alpha^i) = e(\alpha^i)$$

در این نوع کدگذاری برای پیدا کردن خطا علاوه بر محل خطا باید مقدار خطا نیز محاسبه شود. با توجه به مقدار متغیر t و همچنین رابطه $\beta_i = \alpha^{it}$ می‌توان با استفاده از معادله ۵ محل و مقدار خطا را بدست آورد. این نوع کدگذاری قادر است هر الگوی خطا با طول t یا کمتر را تصحیح نماید.

$$S_1 = r(\alpha) = e(\alpha) = e_1\beta_1 + e_2\beta_2 + \dots + e_t\beta_t \quad (5)$$

$$S_1 = r(\alpha^2) = e(\alpha^2) = e_1\beta_1^2 + e_2\beta_2^2 + \dots + e_t\beta_t^2$$

⋮

$$S_{2t} = r(\alpha^{2t}) = e(\alpha^{2t}) = e_1\beta_1^{2t} + e_2\beta_2^{2t} + \dots + e_t\beta_t^{2t}$$

در ساده‌ترین حالت، در این کدگذاری با فرض $t=1$ مقدار و محل خطا با استفاده از معادله ۶ محاسبه می‌شود.

$$\alpha^{j1} = \frac{S_2}{S_1} \Rightarrow \text{Error Place} \quad (6)$$

$$e_{j1} = \frac{S_1^2}{S_2} \Rightarrow \text{Error Value}$$

رابطه نرخ کدکننده کانال در معادله ۷ نشان داده شده است، که واحد آن بیت بر ثانیه است.

$$R_c = \frac{k}{n} \quad (7)$$

در رابطه ۷، k تعداد بیت‌های مربوط به اطلاعات فریم و بردارهای حرکتی که قرار است کد شوند، n نیز طول رشته ساخته شده برای ارسال است که شامل پیام اصلی و اطلاعات اضافه شده توسط کدگذار کانال است. انکدر با مؤلفه‌های بالا قادر است به میزان $\frac{n-k}{2}$ خطا را تشخیص و تصحیح کند. بنابراین هر چه میزان $n-k$ (تعداد بیت‌های توازن) بیشتر باشد، تعداد بیش‌تری از بیت‌های پیام را می‌توان تصحیح کرد.

۴- خطا در بردار حرکت

پس از بررسی تعداد زیادی از فایل‌های ویدئویی که از کانال مخابراتی عبور کرده بودند، به این نتیجه رسیدیم که الگوریتم کدکننده ویدئو نظیر MPEG-4، H.264 (Fleirl, 2004) و الگوریتم جدید ارائه شده توسط آقای فاروق در مرجع (Farooq Sabir, 2009)، در قسمت تخمین حرکت دچار ضعف است؛ زیرا الگوریتم‌های معرفی شده هیچ تلاشی جهت مقاوم‌سازی بردار حرکت نکرده‌اند. و بدین دلیل می‌توان این امر را به‌عنوان یک نقص و ضعف سامانه‌های معرفی شده تلقی کرد. همچنین از جهتی دیگر علت این ضعف را به این صورت می‌توان توضیح داد که هنگامی فریم‌ها از کانال مخابراتی عبور می‌کنند، تعدادی از بردارهای حرکت مربوط به بلوک‌های داخلی هر فریم دارای خطا می‌شوند و در گیرنده، قسمتی از تصویر با استفاده از بردار حرکت اشتباه بازسازی می‌شود. این امر باعث می‌شود قسمتی از تصویر، اطلاعاتش را به‌طور کامل از دست بدهد و دیداری چنین می‌نمایند که قسمتی از تصویر به محل دیگری منتقل شده است و یا این که اطلاعات در برخی از نواحی به کلی از دست رفته است. برای مثال، همان‌طور که در شکل (۶) نشان داده شده تصویر Foreman (Xinb, 2007) پس از دریافت از کانال مخابراتی با خطا 10^{-3} BER= دارای نواحی زیادی است که به‌طور کامل از بین

شده است. البته در این مرحله نواحی ای که تنها شامل یک بلوک‌اند نیز حذف می‌شوند. لازم به ذکر است که منظور از حذف کردن نواحی، این است که دیگر آن ناحیه به صورت روش پیشنهادی کد نمی‌شود بلکه به صورت روش‌های استاندارد کدگذاری مانند MPEG-4 کد می‌شود.

در مرحله بعد تنها نواحی توسط الگوریتم پیشنهادی کد می‌شوند که تعداد بلوک‌های ترکیب‌شده در آن نواحی از ۴ بلوک بیشتر باشد (این سطح آستانه به صورت تجربی محاسبه شده است).

در شکل (۱۲) به منظور نشان دادن نواحی ای که قرار است حذف شوند، داخل آنها با چندین رنگ پر شده است (البته هدف از شکل (۱۲) تنها نشان دادن حوزه‌هایی است که از ادامه الگوریتم حذف می‌شوند). شکل (۱۳) تصویر نهایی پس از انجام عملیات حذف نواحی با تعداد بلوک کمتر از چهار را نشان می‌دهد؛ سپس برای ارسال بردار حرکت نواحی ساخته شده بدین صورت عمل می‌شود که نرخ جدید کدگذاری کانال را با توجه به تعداد بلوک قرار گرفته شده در هر ناحیه محاسبه می‌شود و برای هر ناحیه تنها یک بردار حرکت با نرخ کدگذاری متناسب با تعداد بیت‌هایی اضافی به دست آمده از بردارهای حرکت بلوک‌های موجود در هر ناحیه ارسال می‌شود؛ که این نرخ کدگذاری کانال حداقل چهار برابر نرخ کدگذاری کانال در کدکننده‌های استاندارد می‌باشد؛ زیرا در کوچک‌ترین حوضه، حداقل چهار بلوک وجود دارد. که به ازای ارسال چهار بردار حرکت برای تمامی بلوک‌ها تنها یک بردار حرکت ارسال می‌شود.

پس از ناحیه‌بندی با استفاده از الگوریتم معرفی شده، قسمت‌هایی که شامل این نواحی نشده‌اند با استفاده از روش‌های معمول مانند MPEG-4 کد شده و ارسال می‌شوند. برای نشان دادن مقاوم‌تر شدن فریم‌ها نسبت به خطای کانال، تعداد بیت اختصاص داده شده برای هر بردار حرکت را بدین صورت در نظر می‌گیریم که تعداد شش بیت (سه بیت برای مقدار حرکت هر بردار در جهت محور افقی و عمودی بین صفر تا هفت) برای ارسال اندازه و جهت بردارهای حرکت استفاده می‌شود و همچنین تعداد ده بیت برای کدگذاری کانال بردارهای حرکت استفاده می‌شود که در مجموع شانزده بیت برای ارسال بردارهای حرکت استفاده می‌شود. بنابراین در حالت کلی اگر تعداد تمام بلوک‌های موجود در هر فریم برابر با M باشد، تعداد بیت‌های مورد نیاز برای ارسال بردارهای حرکت برابر با $16 \times M$ می‌شود. حال اگر تعداد نواحی ساخته شده را در روش پیشنهادی که دارای

رفته است؛ که برخی از این قسمت‌ها به عنوان نمونه در شکل (۷) نشان داده شده است.

با توجه به مشکل الگوریتم‌های کدگذاری ویدئو به هنگام از دست رفتن اطلاعات بردار حرکت، الگوریتم پیشنهادی به صورت زیر نقص روش‌های موجود را برطرف می‌سازد.

۵- الگوریتم پیشنهادی

۵-۱- کدکننده الگوریتم پیشنهادی

نمودار الگوریتم پیشنهادی در شکل (۸) نشان داده شده است.

الگوریتم پیشنهادی به این صورت عمل می‌کند که ابتدا با استفاده از روش توضیح داده شده در بخش ۲، ۱، ۴، عملیات تخمین حرکت صورت می‌پذیرد. در مرحله بعد، جستجوی ثانویه انجام و در ادامه به توضیح آن پرداخته می‌شود.

۵-۱-۱- جستجوی ثانویه

در این مرحله تمام بلوک‌های مجاور هم که دارای بردار حرکت برابر (شامل بردارهای صفر که مربوط به قسمت‌هایی است که حرکتی در دو فریم متوالی نداشته‌اند یا بردارهای غیر صفر هستند) می‌باشند در یک ناحیه قرار می‌گیرند. به عنوان مثال، همان‌طور که در شکل (۹) نشان داده شده است، ابتدا بردارهای حرکت برای یک فریم با توجه به فریم قبلی رسم شده است. قسمت‌هایی از تصویر که دارای بردارهای حرکت با اندازه برابرند، به صورت نمادین در شکل (۱۰) نشان داده شده‌اند. در این مقاله، از این پس، به هریک از این قسمت‌ها که شامل تعدادی بلوک با بردارهای یکسانند ناحیه گفته می‌شود. در مرحله بعد، از داخل این نواحی، آنهایی که دارای ساختار مربعی یا مستطیلی‌اند استخراج می‌شوند. دلیل این امر آن است که برای ارسال مشخصات حوزه‌ها، تنها طول و عرض هر حوزه ارسال می‌شود. بنابراین برای مشخص کردن شکل حوزه نیاز به اطلاعات بیشتری نیست. اما اگر حوزه‌ها دارای اشکال مختلفی باشد، نیاز است تا اطلاعات زیادی برای ارسال ساختار هر حوزه ارسال شود که انجام این کار باعث کاهش بازدهی روش پیشنهادی می‌شود. بنابراین از حوزه‌های ساخته شده تنها بر روی آنهایی ادامه کار صورت می‌پذیرد که ساختار مستطیل یا مربعی داشته باشند. در شکل (۱۱) قسمت‌هایی که ساختار مربعی یا مستطیلی دارند، نشان داده

L_i بلوک باشند؛ برابر با N_i در نظر بگیریم، تعداد بیت‌های لازم برای ارسال بردار حرکت هر یک از این نواحی، N_b برابر است با:

$$N_b = \frac{16 * \sum_{i=1}^j L_i N_i}{\sum_{i=1}^j N_i} \quad (8)$$

از N_b تعداد پانزده بیت کم می‌شود (شش بیت برای ارسال اندازه و جهت بردار حرکت و نه بیت برای ارسال ساختار هر ناحیه).

به منظور بررسی عملکرد بازدهی روش پیشنهادی، بدترین حالت (زمانی رخ می‌دهد که نواحی ساخته شده فقط دارای چهار بلوک باشند؛ زیرا در این صورت کمترین بیت را می‌توان با استفاده از الگوریتم پیشنهادی به دست آورد) را بررسی می‌کنیم. بنابراین با استفاده از معادله ۸ و با توجه به اینکه تعداد نواحی ساخته شده ۷ ناحیه و همچنین در هر ناحیه تعداد چهار بلوک وجود دارد، داریم:

$$B_{sav} = \frac{16 * \sum_{i=1}^j L_i N_i}{\sum_{i=1}^j N_i} \xrightarrow{L_i=4} \frac{16 * 4 * \sum_{i=1}^j N_i}{\sum_{i=1}^j N_i} = 64 \text{bits} \quad (9)$$

در معادله ۹ منظور از B_{sav} تعداد کل بیت‌های به دست آمده برای ارسال یک بردار حرکت است که از این مقدار همان‌طور که گفته شد پانزده بیت کم می‌شود. بنابراین در کل تعداد ۴۹ بیت برای کدکننده کانال برای هر فریم استفاده می‌شود. با استفاده از معادله ۷ نرخ کدکننده کانال برای روش پیشنهادی و نرخ کدکننده کانال برای بردارهای حرکت در روش‌های معمول ویدئوی کدگذار نظیر MPEG-4 و همچنین نسبت آنها به ترتیب زیر محاسبه می‌شود:

$$\begin{aligned} R'_c &= \frac{4}{49} = 0.0816 \\ R_c &= \frac{4}{12} = 0.333 \\ \frac{R'_c}{R_c} &= \frac{0.0816}{0.333} = 0.245 \end{aligned} \quad (10)$$

در معادله ۱۰ منظور از R'_c نرخ بیت جدید کدکننده کانال با استفاده از روش پیشنهادی و R_c نرخ

بیت کدکننده کانال برای روش‌های یکسان کدگذاری مانند MPEG-4 است. همان‌طور که در معادله ۱۰ نشان داده شده است، در بدترین حالت نرخ کدکننده کانال در روش پیشنهادی ۰/۲۴۵ برابر حالتی است که از روش‌های استاندارد MPEG-4 استفاده شود. این بدان معناست که تعداد بیتی که توسط گیرنده تصحیح می‌شود، برابر با نسبت عکس نرخ کدکننده کانال است؛ که این مقدار ۴/۰۸۱ برابر حالت کدکننده به روش‌های معمول است. البته باید به این نکته اشاره کرد که این افزایش نرخ کدگذاری کانال فقط بر روی بردارهای حرکت نواحی انتخاب شده اعمال می‌شود. بنابراین مشاهده می‌شود که روش پیشنهادی با افزایش نرخ کدگذاری کانال برای برخی از بردارهای حرکت در یک نرخ ارسال ثابت قادر است تصاویر را در مقابل خطای کانال مقاوم‌تر سازد. برای ارسال داده‌ها، قسمت‌هایی که با هم‌دیگر ترکیب شده‌اند در Header با استفاده از یک بیت از بقیه بلوک‌ها جدا می‌شوند و علاوه بر این اندازه قسمت‌های ترکیب شده نیز بر حسب تعداد بلوک ترکیب شده در راستای افقی و تعداد بلوک ترکیب شده در راستای عمودی ارسال می‌گردند؛ که در گیرنده با استفاده از این اطلاعات تصویر بازسازی می‌شود که به صورت نمادین در شکل (۱۴) نشان داده شده است.

با توجه به شکل (۱۴) تعداد نه بیت از بیت‌های به دست آمده با استفاده از معادله ۸ کم می‌شود. که در توضیحات معادله ۸ نیز بیان شده است.

۵-۲- کدگشای الگوریتم پیشنهادی

نمودار کدگشای روش پیشنهادی در شکل (۱۵) نشان داده شده است. اساس الگوریتم کدگشا شبیه به روش‌های استاندارد شناخته شده مانند MPEG-4 است. با این تفاوت که بلوک‌های کدگشایی شده دارای اندازه برابر 8×8 نیستند. همان‌طور که در نمودار نشان داده شده ابتدا لازم است مشخص شود که داده ورودی مربوط به یکی از نواحی ترکیب شده است یا خیر. این عملیات با استفاده از اولین بیت موجود در Header دریافتی مشخص می‌شود. اگر اولین بیت صفر باشد به این معناست که اطلاعات دریافت شده مربوط به تک‌بلوک با اندازه 8×8 پیکسل است؛ ولی اگر یک باشد به این معناست که اطلاعات دریافت شده مربوط به ناحیه‌ای شامل چندین بلوک است. در قسمت بعد با استفاده از تعداد بلوک‌های موجود در ناحیه دریافت شده، نرخ کدگشای کانال

اندازه فریم‌ها برابر با 352×288 برای فرمت CIF است. همچنین نرخ ارسال فریم برابر با ۲۵ فریم در ثانیه است.

این شبیه‌سازی را برای سه نرخ ارسال منبع پیاده‌سازی کرده‌ایم و با توجه به اینکه تعداد فریم‌های ارسالی ثابت است (نرخ کدکننده منبع ثابت است)، هرچه نرخ ارسال بالاتر باشد، در نتیجه نرخ کدکننده کانال بالاتر رفته و فریم‌های ویدئویی در مقابل نوفه مقاوم‌تر می‌شوند. نرخ کدکننده کانال برای پنج فایل ویدئویی با نرخ‌های ارسال مختلف در جدول (۱) نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول (۱) نشان داده شده است، برای افزایش نرخ ارسال میزان بیت‌های استفاده‌شده برای کدکننده کانال را افزایش داده‌ایم که افزایش این میزان باعث افزایش مقدار انرژی فریم‌های دریافتی در گیرنده می‌شود.

پس از پیاده‌سازی روش پیشنهادی، نتایج به‌دست آمده را با نتایج به‌دست آمده از روش‌های دیسایانایکی، فاروق و الانگوان مقایسه کرده‌ایم. به‌عنوان مثال برای نشان دادن بهبود فریم‌های دریافتی در گیرنده، دهمین فریم از ویدئو فورمن را که با استفاده از فریم قبل کد شده است، برای مقایسه با روش فاروق به‌ازای دو مقدار خطا در شکل‌های (۱۶، ۱۷) نشان داده‌ایم (در شکل (۱۷) قسمت‌های دارای اعوجاج مشخص شده‌اند). شکل‌های (۲۰، ۱۹، ۱۸) میزان PSNR به‌دست آمده ناشی از به‌کارگیری روش پیشنهادی در مقایسه با روش دیسایانایکی برای تمامی فایل‌های ویدئویی اخبار، فورمن (با فرمت CIF) و فوتبال با نرخ ارسال‌های ۱۴۴، ۶۴، ۲۵۶ کیلوبیت برثانیه نشان می‌دهد. همچنین شکل‌های (۲۳، ۲۲، ۲۱) میزان PSNR به‌دست آمده ناشی از به‌کارگیری روش پیشنهادی در مقایسه با روش فاروق برای تمام ۱۲۳ فریم فورمن با فرمت CIF نشان می‌دهد. تنها تفاوت شکل‌های ۲۳، ۲۲، ۲۱ در نرخ تولید منبع است. به این معنا که هر چه نرخ کدکننده منبع بیشتر شود، فریم‌ها نسبت به اعوجاج و نوفه کانال قوی‌تر می‌شوند. همچنین در شکل‌های (۲۶، ۲۵، ۲۴) میزان PSNR برای تمام ۱۰۵ فریم گردش پیاده محاسبه شده است و به همراه نتایج به‌دست آمده از روش فاروق رسم شده است. تنها تفاوت شکل‌های (۲۶، ۲۵، ۲۴) در نرخ تولید منبع است و هر چه نرخ کدکننده منبع بیشتر شود، فریم‌ها نسبت به اعوجاج و نوفه کانال قوی‌تر می‌شوند. در ادامه تمامی فریم‌های فورمن دارای فرمت QCIF با روش فاروق برای سه نرخ ارسال ۳۸۴ Kbps، ۷۶۸ Kbps و ۲ Mbps در شکل‌های (۲۷، ۲۸ و ۲۹) مقایسه شده‌اند. باید به این

برای بردار حرکت آن ناحیه محاسبه و به بلوک تخمین حرکت نیز گزارش داده می‌شود که این بردار مربوط به چه تعداد از بلوک‌هاست، سپس با روش توضیح داده‌شده در بخش ۲،۱،۴ فریم دریافتی بازیابی می‌شود.

۶- ارزیابی روش پیشنهادی

ابتدا به معرفی چندین پارامتر استفاده‌شده در شبیه‌سازی می‌پردازیم و سپس نتایج به‌دست‌آمده را با نتایج روش‌های دیسایانایکی^۱، فاروق^۲ و الانگوان^۳ که به‌ترتیب در مراجع (Dissanayake, 2012; Farooq Sabir, 2009; Elangovan,) (2008) آورده شده‌اند و از روش‌های جدید در خصوص کدگذاری هم‌زمان منبع و کانال هستند، مقایسه می‌کنیم. کانال استفاده‌شده در این مقاله کانال دودویی متقارن^۴ است که خطای به‌وجود آمده در این کانال شامل نوفه سفید گوسی^۵، فیدینگ با تابع چگالی احتمال رابلی^۶ است. در این مقاله از پنج قطعه ویدئو با نام‌های فورمن^۷، گردش پیاده^۸، اخبار^۹، سوزی^{۱۰} (Xinb, 2007) و فوتبال^{۱۱} (Ziegler, 2013) استفاده شده است. به‌عنوان مثال ویژگی دو نمونه از فایل‌های ویدئویی را شرح می‌دهیم. برای دیدن ویژگی فایل‌های دیگر می‌توان به مرجع معرفی‌شده مراجعه کرد. تعداد فریم‌های ویدئویی Foreman برابر با ۱۲۳ فریم است که از این تعداد سه فریم به‌صورت تصویر I کد می‌شوند و ۱۲۰ فریم دیگر به سه قسمت چهارتایی که به‌صورت تصویر P کد و سپس ارسال می‌شوند. البته باید به این نکته اشاره کرد که هر کدام از سه فریمی که به‌صورت تصویر I کد شده‌اند در ابتدای هر قسمت چهار فریمی که با تصویر P کد شده‌اند، ارسال می‌شوند. اندازه فریم‌ها برابر با 352×288 برای فرمت CIF و 176×144 برای فرمت QCIF است. همچنین نرخ ارسال فریم برابر با سی فریم در ثانیه است.

تعداد فریم‌های Walk برابر با ۱۰۵ فریم است که از این تعداد پنج فریم تصویر I و صد فریم تصویر P هستند که هر بیست فریم تصویر P بین دو فریم تصویر I قرار دارد.

¹ Maheshi B. Dissanayake

² Muhammad Farooq

³ Premkumar Elangovan

⁴ Binary Symmetric Channel (BSC)

⁵ AWGN

⁶ Rayleigh fading PDF (Power Density Function)

⁷ Foreman Secuences

⁸ Walk Secuences

⁹ News Secuences

¹⁰ Suzie Secuences

¹¹ Soccer Secuences

هستند (از لحاظ اندازه و جهت برابر باشند) در یک ناحیه قرار می‌دهیم و سپس به جای ارسال چندین بردار حرکت، یک بردار حرکت به نمایندگی از تمام آنها ارسال می‌شود که نرخ کدگذاری متناسب با تعداد بیت‌های اضافی به دست آمده از بردارهای حرکت بلوک‌های موجود در هر ناحیه است. بنابراین اعوجاج‌هایی را که به دلیل خطا در بردارهای حرکت پدید می‌آیند با این روش به حداقل رسانده‌ایم. نتایج آزمایش‌های انجام گرفته نشان می‌دهد که روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های جدید قادر است PSNR و در نتیجه کیفیت بالاتری را برای فریم‌های ویدئوی دریافتی فراهم کند.

مراجع

Bystrom M. and Modestino J. W., "Combined source-channel coding schemes for video transmission over an additive white Gaussian noise channel," IEEE J. Sel. Areas Communication., vol. 18, no. 6, pp. 880-890, Jun. 2000.

Carlson B., Communication Systems. An Introduction to Signals and Noise in Electrical Communication, 3rd Edition, McGraw-Hill, New York, 1986.

Cheung G. and Zakhor A., "Bit allocation for joint source/channel coding of scalable video," IEEE Trans. Image Process., vol. 9, no. 3, pp. 340-356, Mar. 2000.

Dissanayake M. B., "A Novel Error Robust Video Coding Concept Using Motion Vectors and Parity Bits", 7th IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), pp. 1 - 6, 2012.

Elangovan P., "Motion Vector Smoothing Algorithm for Robust Wireless Multimedia Communications", 4th IEEE International Conference on Circuits and Systems for Communications (ICCSC), pp. 466-470, 2008.

Farooq Sabir M., Heath R. W. and Cornard Bovik A., "Joint Source-Channel Distortion Modeling for MPEG-4 Video", IEEE Trans. Image Processing., Vol. 18, no. 1, January. 2009.

Flierl M. and Girod B., "Video Coding with Superimposed Motion-Compensated Signals", Kluwer Academic, ISBN 1-4020-7759-9 2004.

Huffman D.A., "A method for the construction of minimum redundancy codes", Proc. IRE, Vol. 40, pp.1098-1101, 1952.

نکته توجه کرد که در روش پیشنهادی هر چه اندازه فریم‌های ویدئویی کوچک‌تر شود، بهبود کیفیت روش پیشنهادی پایین می‌آید. دلیل این امر آن است که در فریم‌های کوچک‌تر فضایی که دارای بردار حرکت یکسان هستند، به دلیل محدود شدن فریم کاهش پیدا می‌کند.

در این گام روش پیشنهادی را با روش الیگوان برای دو فایل فورمن و سوزی با نرخ ارسال ۱۲۸ کیلوبیت بر ثانیه مقایسه کرده‌ایم، که نتیجه این مقایسه را در شکل‌های (۳۰ و ۳۱) نشان می‌دهیم. پس از انجام مقایسه بین روش پیشنهادی و چندین روش جدید، به این نتیجه رسیدیم که روش پیشنهادی توانسته است بدون افزایش نرخ بیت‌های انتقالی کیفیت فریم‌های دریافتی را افزایش دهد.

در انتها روش پیشنهادی با روش معروف جستجوی سه مرحله‌ای (TSS)^۱ (Kim, 1998) مقایسه شده است. در این روش نحوه جستجو به صورت نشان داده شده در شکل (۳۲) است. همان‌طور که در شکل (۳۲) نشان داده شده است، ابتدا در ۹ ناحیه اولیه اطراف منطقه مورد نظر که به فاصله چهار پیکسل اطراف پیکسل مرکزی است به جستجوی کم‌ترین تغییر پرداخته می‌شود. در گام دوم، پس از انتخاب کم‌ترین تغییر در یکی از ۹ ناحیه، پنجره‌ای با فاصله دو پیکسل ساخته شده و به بررسی مجدد برای انتخاب کم‌ترین تغییر پرداخته می‌شود. در آخرین مرحله (سومین مرحله)، طول پنجره جستجو به یک پیکسل کاهش پیدا می‌کند و کم‌ترین تغییر به عنوان بهترین محل برای انتخاب بردار حرکت است. این مقایسه در شکل ۳۳ برای تمامی فریم‌های ویدئویی استفان^۲ با فرمت QCIF محاسبه و نشان داده شده است.

۷- نتیجه گیری

یکی از دلایل کیفیت نامطلوب تصاویر ویدئویی دریافتی، ایجاد خطا در بردارهای حرکت دریافت شده است که در روش پیشنهادی به دلیل مقاوم‌سازی نواحی بزرگ‌تر با استفاده از افزایش نرخ کدگذاری کانال برای بردار حرکت مربوط به این نواحی توانسته‌ایم PSNR فریم‌های ویدئویی را در گیرنده افزایش دهیم. به این معنا که فریم‌های دریافتی با روش پیشنهادی کیفیت بالاتری دارند. برای افزایش نرخ کدگذاری کانال بدین صورت عمل کرده‌ایم که بلوک‌هایی را که در همسایگی هم قرار دارند و دارای شیفیت یکسان

¹ Three Step Search (TSS)

² Stefan

تحقیقاتی او پردازش سیگنال‌های دیجیتال، تصویر و ویدئو می‌باشد.
نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

P.etezadifar@birjand.ac.ir



حسن فرسی در سال ۱۳۴۸ در شهرستان بیرجند به دنیا آمد. دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در رشته مهندسی برق - مخابرات در دانشگاه صنعتی شریف - تهران به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۷۴

به پایان رسانید. از سال ۱۳۷۱ به مدت یکسال در مرکز تحقیقات مخابرات ایران اشتغال داشت. در سال ۱۳۷۴ به عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند درآمد و مدرک دکترای خود را از دانشگاه Surrey انگلستان در زمینه پردازش سیگنال‌های دیجیتال اخذ کرد. در حال حاضر وی عضو هیئت علمی دانشگاه بیرجند می‌باشد. زمینه کاری او پردازش سیگنال‌های دیجیتال، پردازش صحبت و تصویر می‌باشند.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

Hfarsi@birjand.ac.ir

Kim J. N., Choi T. S., "A Fast Three-Search Algorithm with Minimum Checking Points Using Unimodal Error Surface Assumption" Proc. IEEE, vol. 44, no. 3, pp. 638-648, August 1998.

Kondi L. P., Ishtiaq F., and Katsaggelos A. K., "Joint source-channel coding for motion-compensated DCT-based SNR scalable video," IEEE Trans. Image Process., vol. 11, no. 11, pp. 1043-1052, Sep. 2002.

Moreira J. C. and Farrell P. G., "Essentials of Error-Control Coding", John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
Proakis J. G., Digital Communications, Mcgraw Hill, Hardcover, 1995.

Richardson I. E. G., "H.264 and MPEG-4 Video Compression, Video Coding for Next-generation Multimedia", New York: Wiley, 2003.

Salomon D., "Data Compression", Third Edition, Springer, 2004.

Shannon C. E., "Communications in the presence of noise," Proc. IEEE, vol. 86, no. 2, pp. 447-458, February 1998.

Shannon, C. E., "A mathematical theory of communication," Bell Syst. Tech. J., vol. 27, pp. 379-423, 623-656, July and October 1948.

Shi Y. Q. and Sun H., "Image and Video Compression for Multimedia Engineering, Fundamentals, Algorithms, and Standards", ISBN 0-8493-3491-8, 1999.

Xinb G., 2007, http://see.xidian.edu.cn/vips1/database_Video.html

Zhai F., Eisenberg Y., Pappas T., Berry R., and Katsaggelos A., "Rate-distortion optimized hybrid error control for real-time packetized video transmission," IEEE Trans. Image Process., vol. 15, no. 1, pp. 40-53, Jan. 2006.

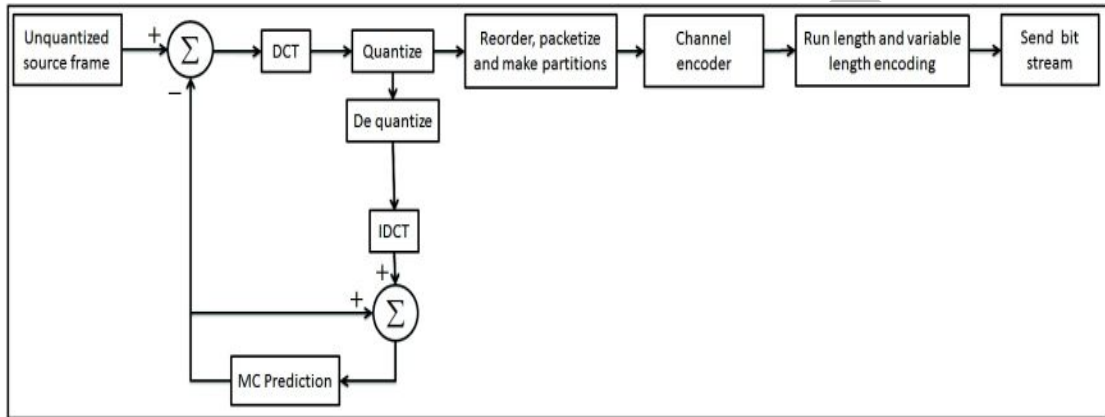
Ziegler G., 2013, Video Test Media [derfs collection]; in <https://media.xiph.org/video/derf/>



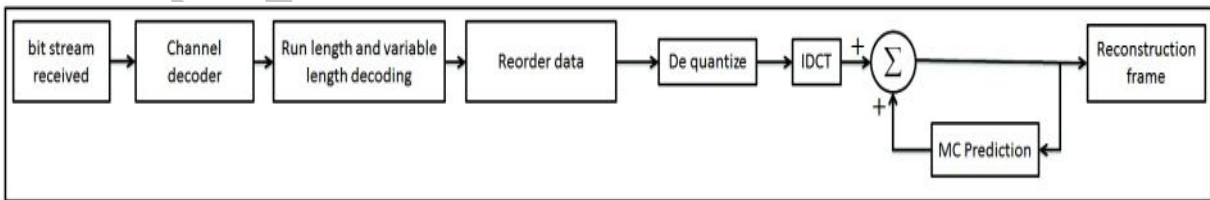
پوریا اعتضادی‌فر در سال ۱۳۶۸ در شهرستان نیشابور به دنیا آمد. دوره کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را در دانشگاه بیرجند در رشته برق - مخابرات به ترتیب در سال‌های ۱۳۹۰ و ۱۳۹۲ به پایان رسانید. او در حال حاضر دانشجوی دکترا مهندسی برق - مخابرات در دانشگاه بیرجند می‌باشد. زمینه

I B B P B B P B B P B B P I
 I P P I P P I P P I P P I P P I
 I I I I I I I I I I I I I I I I I I

(شکل - ۱): نمونه‌ای از ساختار GOP



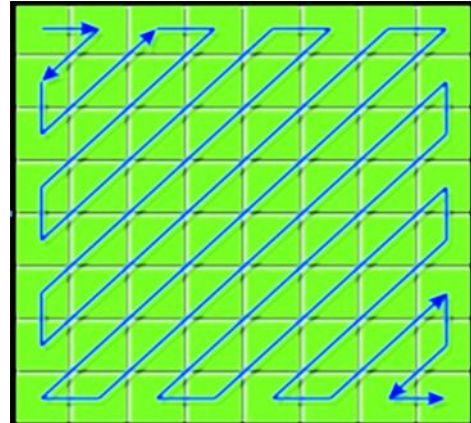
(شکل - ۲): کدکننده MPEG-4 برای تصویر P



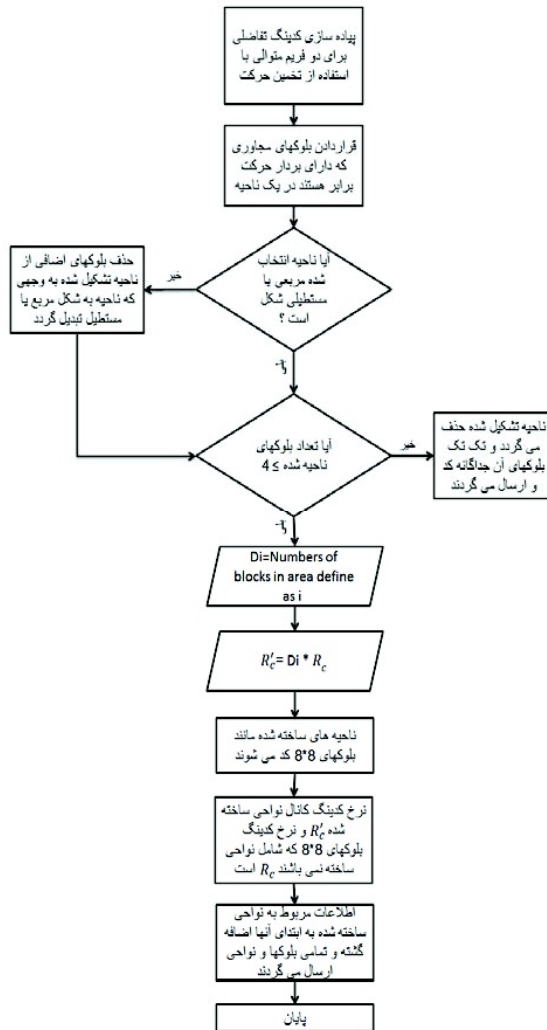
(شکل - ۳): کدگشای MPEG-4 برای تصویر P



(شکل- ۷): مشخص کردن قسمت‌هایی از تصویر نشان داده شده در شکل ۶ که به دلیل خطا در بردارهای حرکت دچار اعوجاج شده است



(شکل- ۴): نحوه انتخاب ضرایب DCT برای چیدن کنار هم در روش زیگززاگ



(شکل- ۸): نمودار الگوریتم پیشنهادی

Resync Marker	Header	Coding Information + DC Data	Marker	AC data
(a)				
Resync Marker	Header	Coding Information + Motion Vectors	Motion Marker	Texture (Residual Error)
(b)				

(شکل- ۵): ساختار بسته بندی برای MPEG-4، فریم (a) فریم I (b) فریم P



(شکل- ۶): تصویر Foreman پس از عبور از کانال مخابراتی با $BER = 10^{-3}$



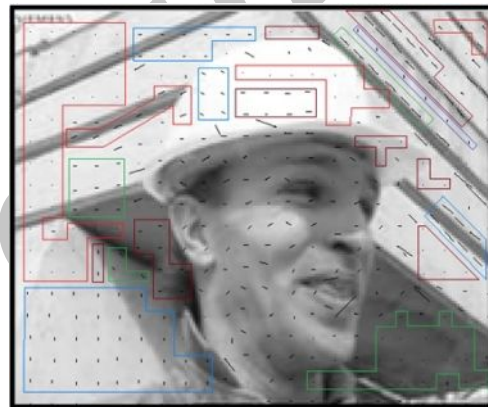
(شکل - ۱۲): مشخص نمودن نواحی که دارای تعداد کمتر از ۴ بلوک هستند



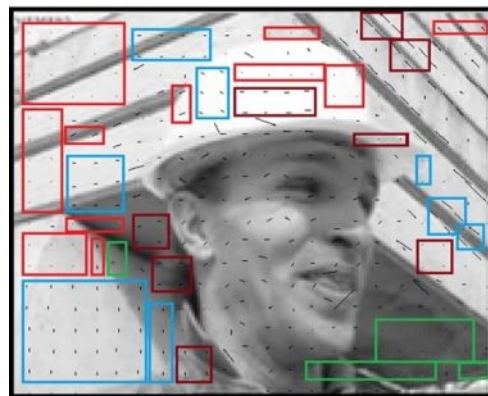
(شکل - ۹): نشان دادن بردارهای حرکت محاسبه شده برای بلوک های ۸×۸ برای تصویر Foreman



(شکل - ۱۳): تصویر نهایی پس از انجام عملیات حذف نواحی با تعداد بلوک کمتر از ۴



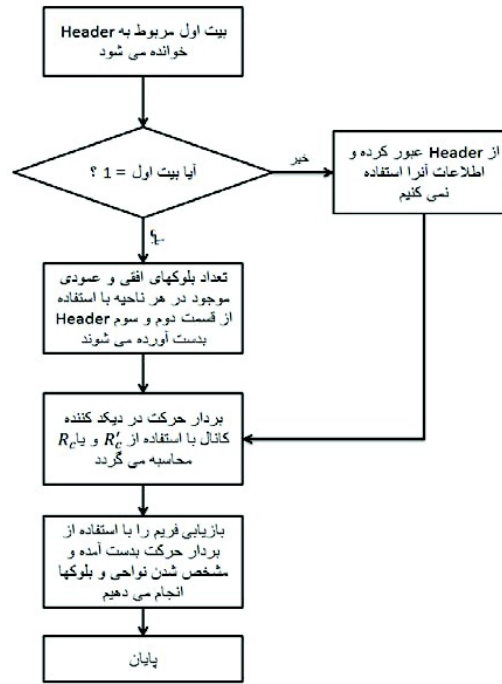
(شکل - ۱۰): مشخص نمودن قسمت هایی از تصویر که دارای بردار حرکت برابر هستند



(شکل - ۱۱): انتخاب قسمت هایی از تصویر که دارای ساختار مربعی یا مستطیلی هستند

4 بیت اختصاص داده شده به منظور نشان دادن تعداد بلوکهای موجود در هر ناحیه در راستای عمودیکه در صورت یک بودن بیت اولیه این اطلاعات خوانده میشوند و گرنه از این قسمت گیرنده از این قسمت عبور میکند	4 بیت اختصاص داده شده به منظور نشان دادن تعداد بلوکهای موجود در هر ناحیه در راستای افقی که در صورت یک بودن بیت اولیه این اطلاعات خوانده میشوند و گرنه از این قسمت گیرنده از این قسمت عبور میکند	یک بیت برای مشخص نمودن اینکه اطلاعات دریاقتی پس از این بسته مربوط به بلوک 8*8 است یا مربوط به یک ناحیه شامل چند بلوک
---	---	--

(شکل - ۱۴): نمایش بیت‌های اضافه شده در Header برای مشخص کردن اطلاعات مربوط به ناحیه ساخته شده

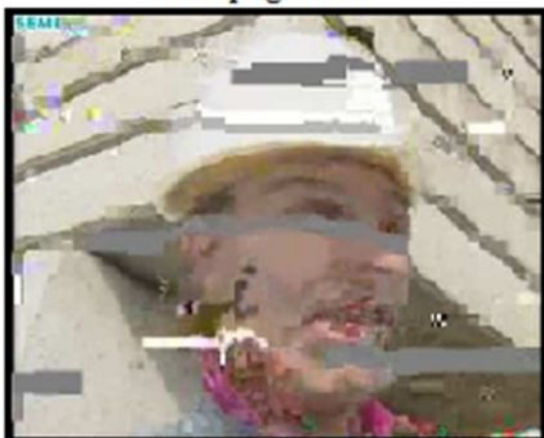


(شکل - ۱۵): نمودار دیکدکننده روش پیشنهادی

(جدول - ۱): نرخ کدگذار کانال برای دو فایل ویدئویی Foreman و Walk با نرخ‌های ارسال مختلف

نرخ ارسال منبع	فایل ویدئویی ارسال شده	n	k	R_c
۳۸۴Kbps	Foreman	۱۵	۷	۰/۴۶۶
۷۶۸Kbps	Foreman	۱۵	۳	۰/۲
۲Mbps	Foreman	۳۱	۲	۰/۰۶۴۵
۲۵۶Kbps	Walk	۱۵	۹	۰/۶
۵۱۲Kbps	Walk	۱۵	۵	۰/۳۳
۱.۵Mbps	Walk	۳۱	۴	۰/۱۲۹
۶۴Kbps	News	۳۱	۲۷	۰/۸۷
۱۴۴ Kbps	Foreman	۳۱	۲۱	۰/۶۷۷
۲۵۶ Kbps	Soccer	۱۵	۹	۰/۶
۱۲۸ Kbps	Foreman	۳۱	۲۳	۰/۷۴
۱۲۸ Kbps	Suzie	۳۱	۲۳	۰/۷۴

Farooq algorithm



PSNR= 18.55 dB

Proposed algorithm



PSNR= 22.61 dB

(شکل - ۱۶): مقایسه کیفیت فریم دهم از ویدئو Foreman به ازای خطا کانال $BER=10^{-4}$ با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۵۱۲ Kbps

Farooq algorithm



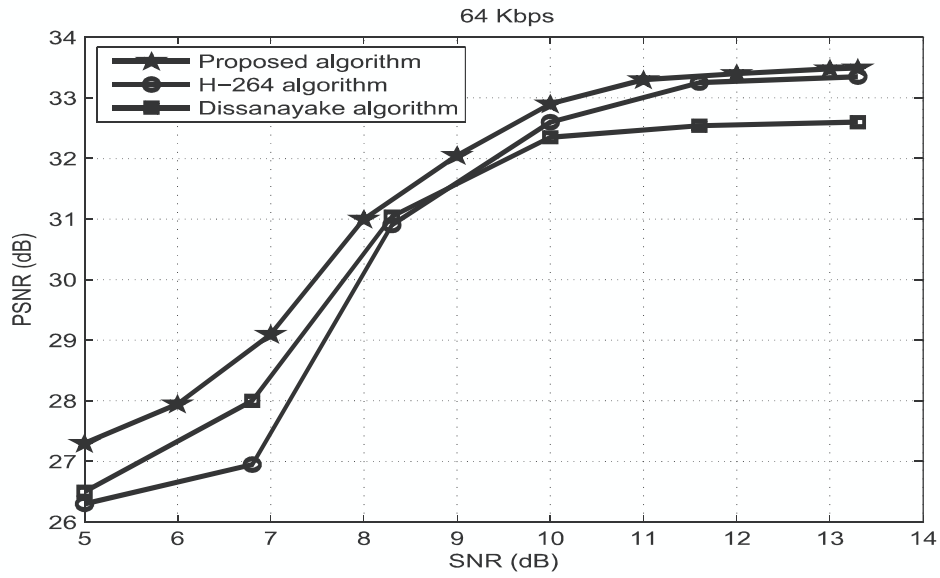
PSNR= 25.75 dB

Proposed algorithm

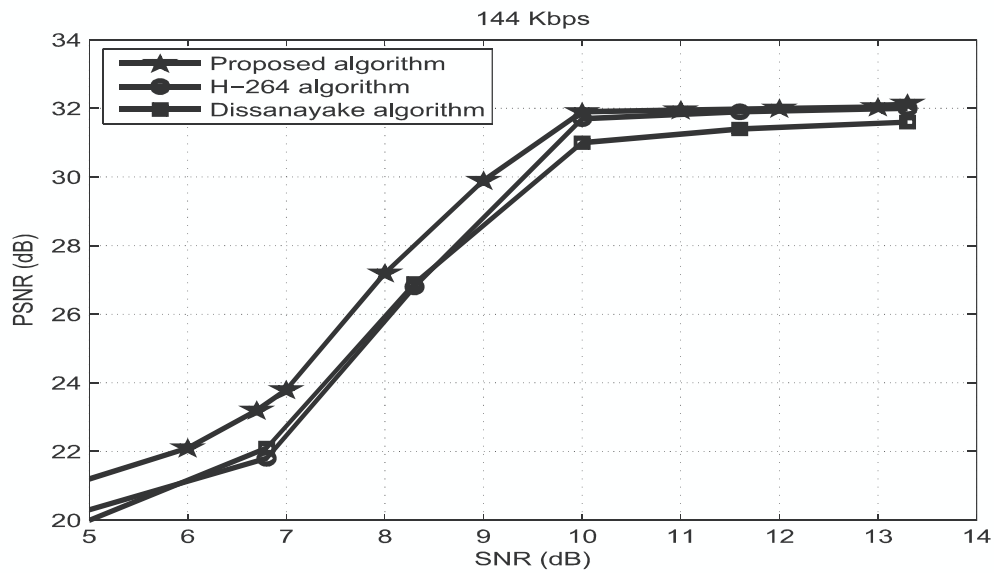


PSNR =27.21 dB

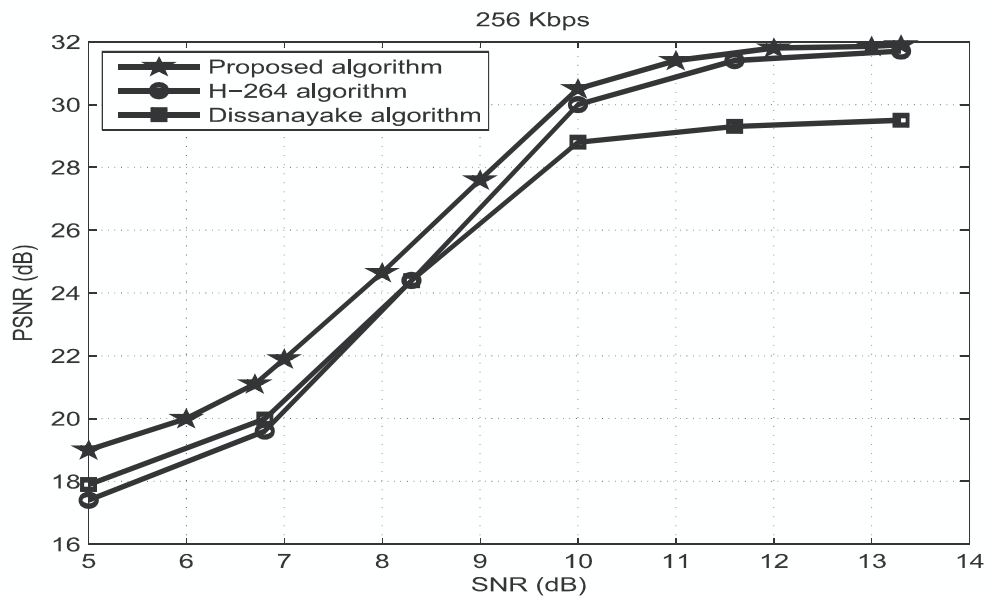
(شکل - ۱۷): مقایسه کیفیت فریم دهم از ویدئو Foreman به ازای خطا کانال $BER=10^{-4}$ با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۵۱۲ Kbps



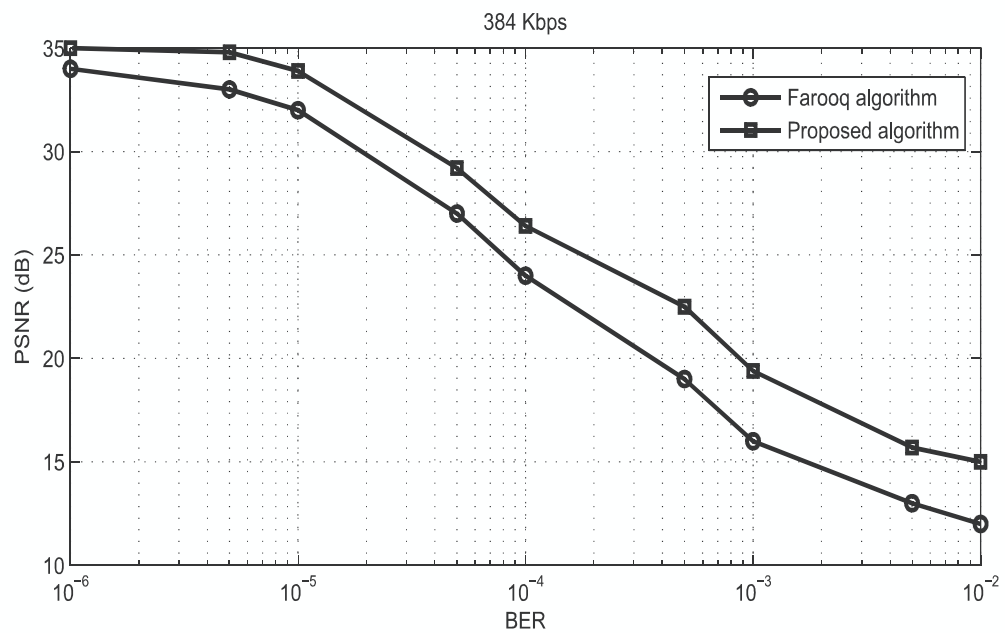
(شکل - ۱۸): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های اخبار بین روش پیشنهادی و الگوریتم دیسایانایاکی با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۶۴ Kbps



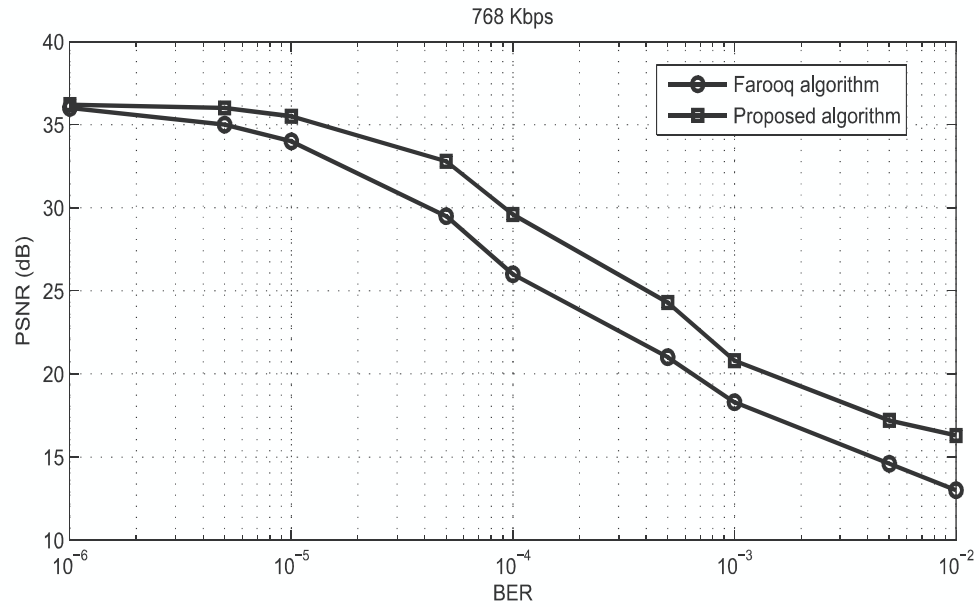
(شکل - ۱۹): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن بین روش پیشنهادی و الگوریتم دیسایانایاکی با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۱۴۴ Kbps



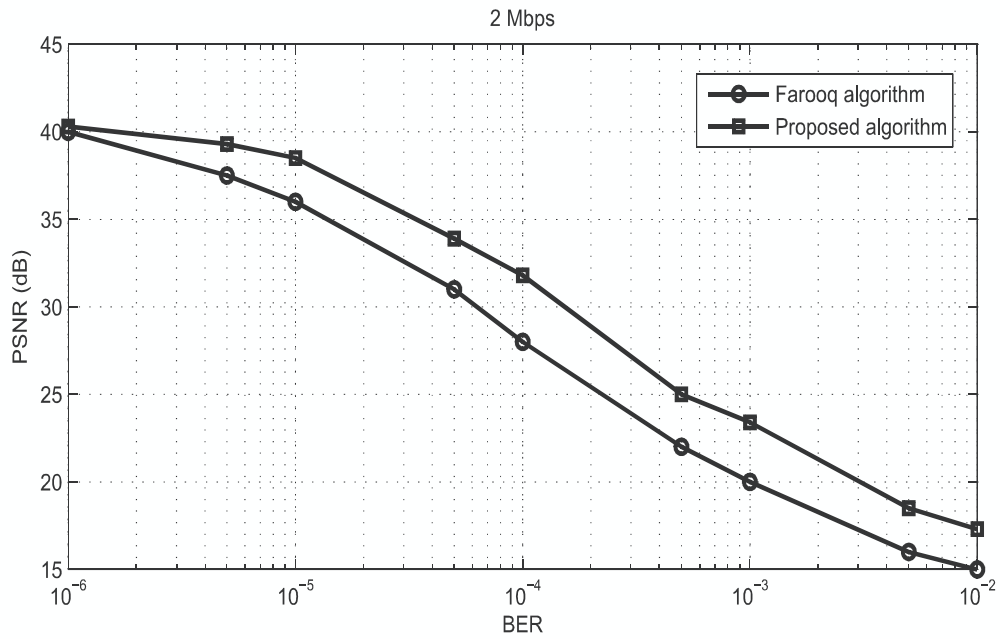
(شکل - ۲۰): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های فوتبال بین روش پیشنهادی و الگوریتم دیسایانایاکی با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۲۵۶ Kbps



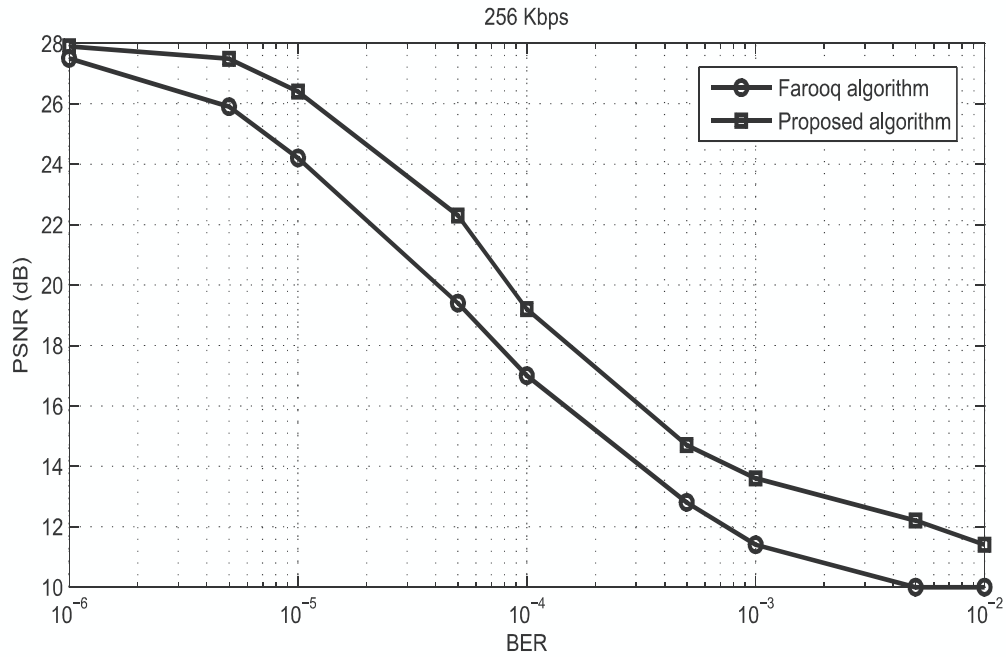
(شکل - ۲۱): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن با فرمت CIF بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۳۸۴ Kbps



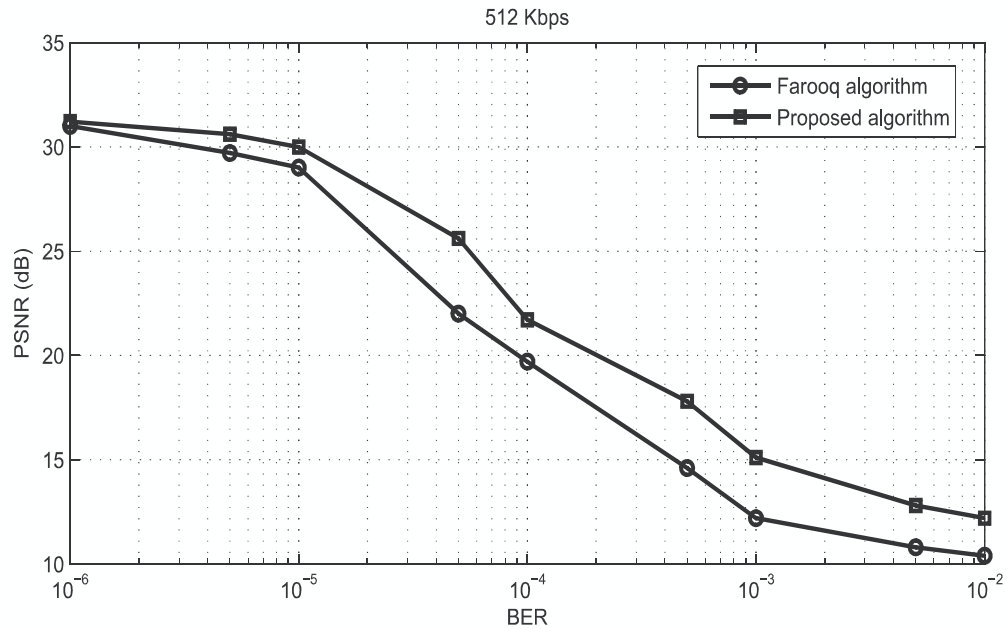
(شکل - ۲۲): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن با فرمت CIF بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۷۶۸ Kbps



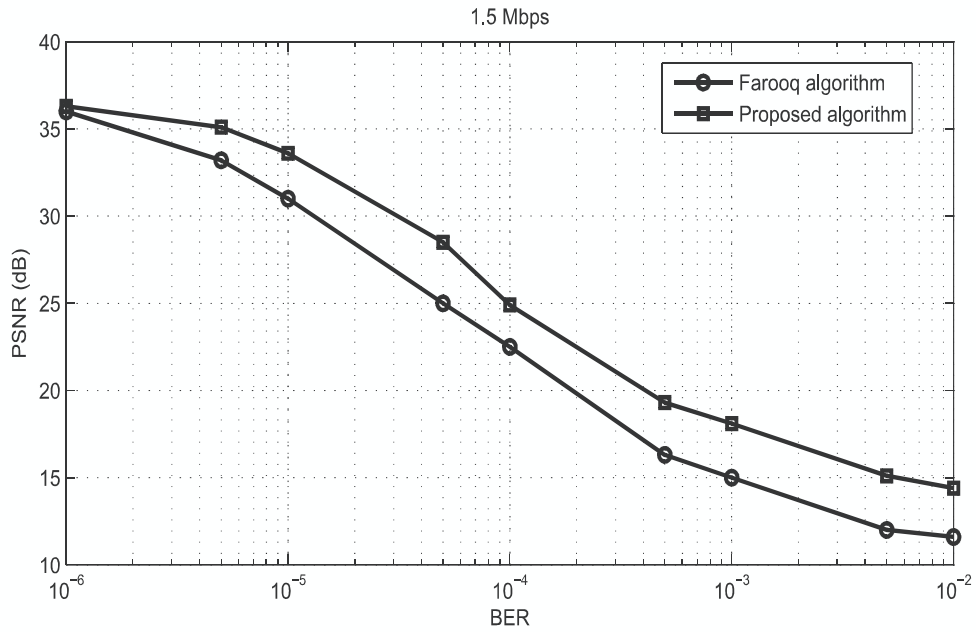
(شکل - ۲۳): مقایسه مقایسه PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن با فرمت CIF بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۲ Mbps



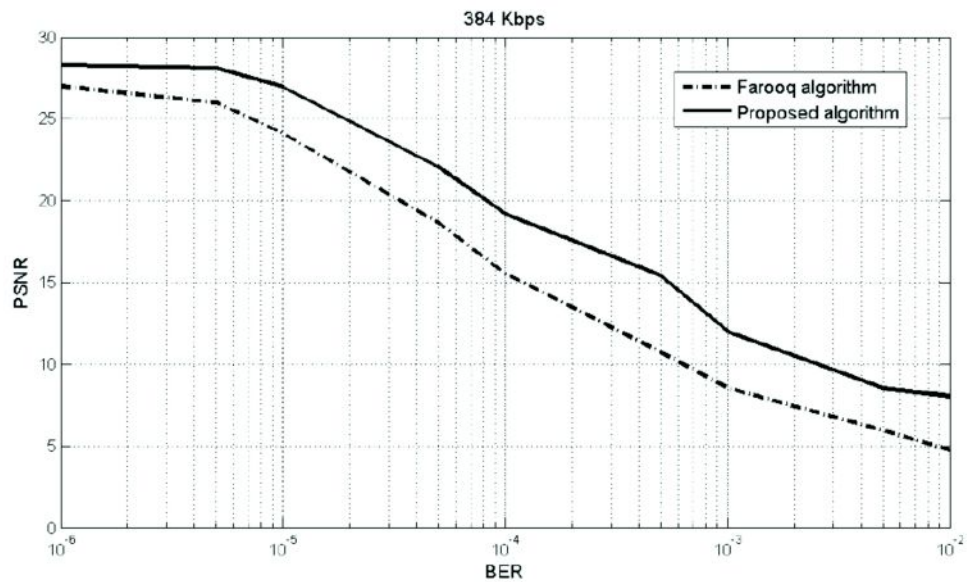
(شکل - ۲۴): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های گردش پیاده بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۲۵۶ Kbps



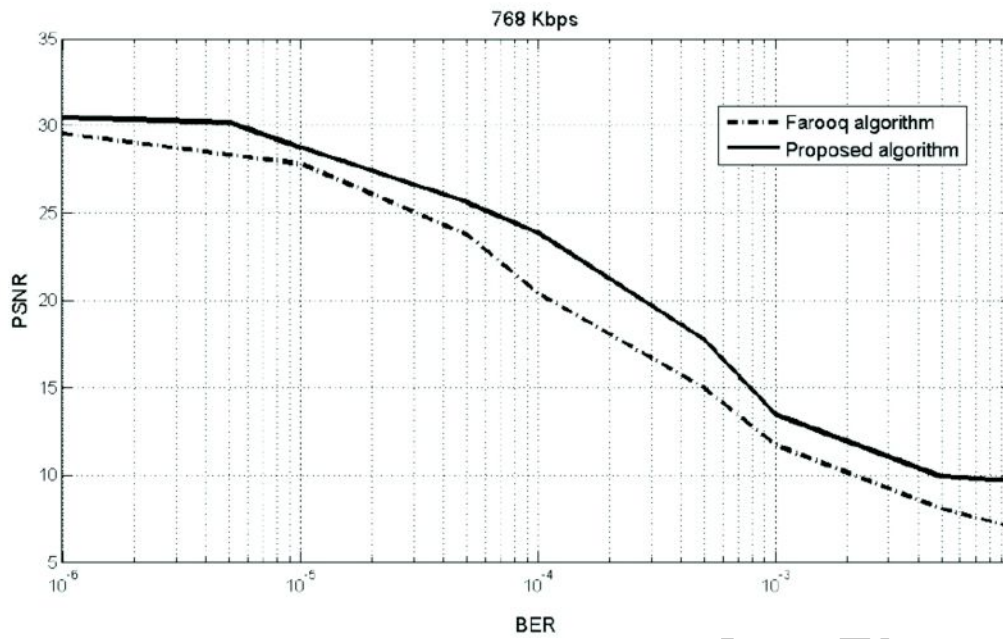
(شکل - ۲۵): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های گردش پیاده بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۵۱۲ Kbps



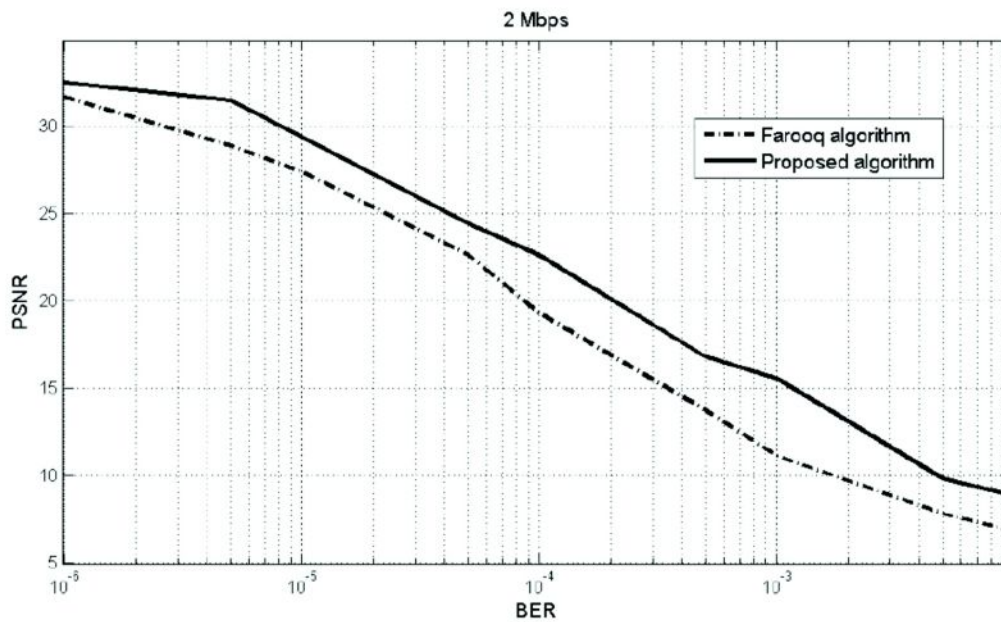
(شکل - ۲۶): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های گردش پیاده بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۱.۵ Mbps



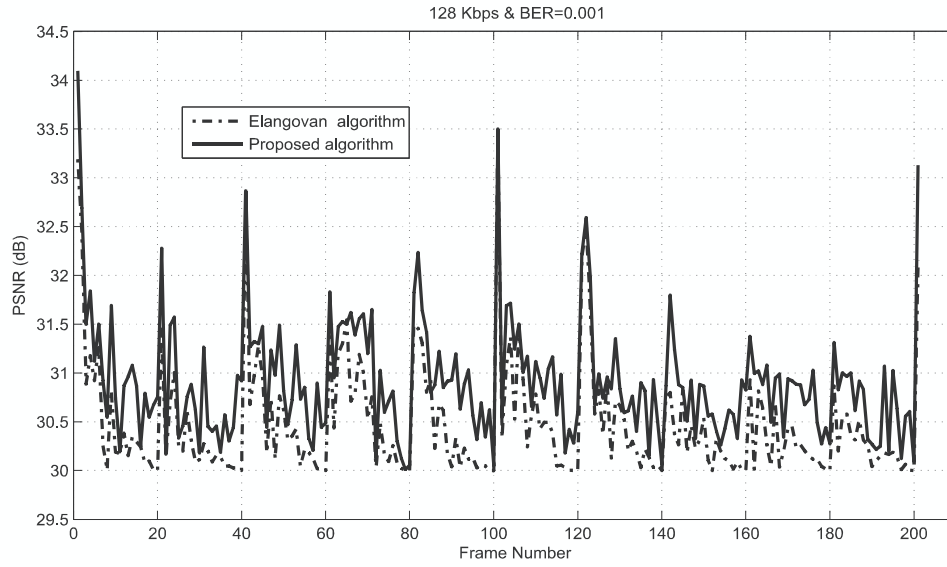
(شکل - ۲۷): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن با فرمت QCIF بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۳۸۴ Kbps



(شکل - ۲۸): مقایسه میانگین PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن با فرمت QCIF بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۷۶۸ Kbps

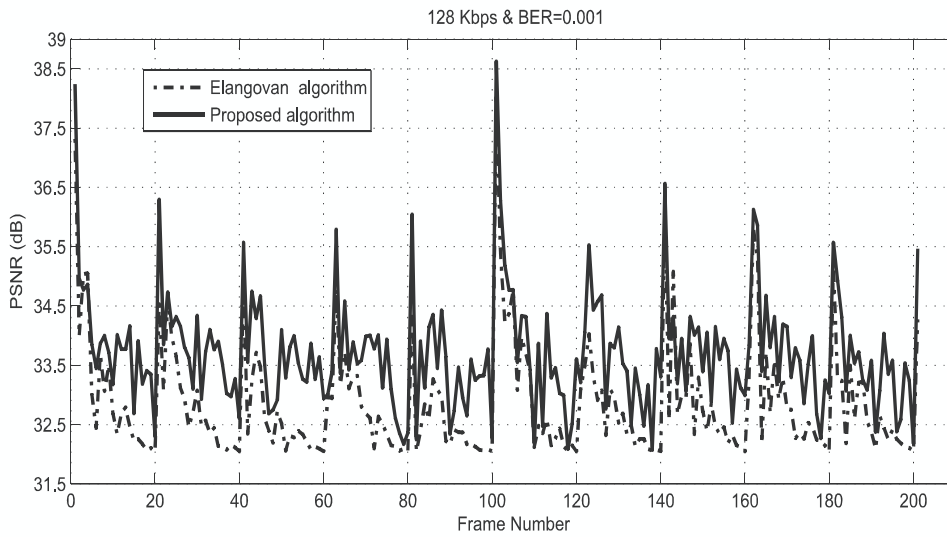


(شکل - ۲۹): مقایسه مقایسه PSNR برای تمامی فریم‌های فورمن با فرمت QCIF بین روش پیشنهادی و الگوریتم فاروق با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۲ Mbps



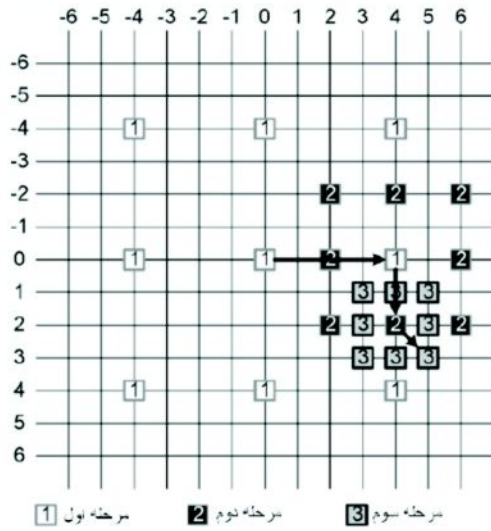
(شکل - ۳۰): مقایسه PSNR برای تمامی فریم‌های گردش فورمن روش پیشنهادی و الگوریتم الانگوان با نرخ تولید کدکننده منبع با

مقدار ۱۲۸ Kbps

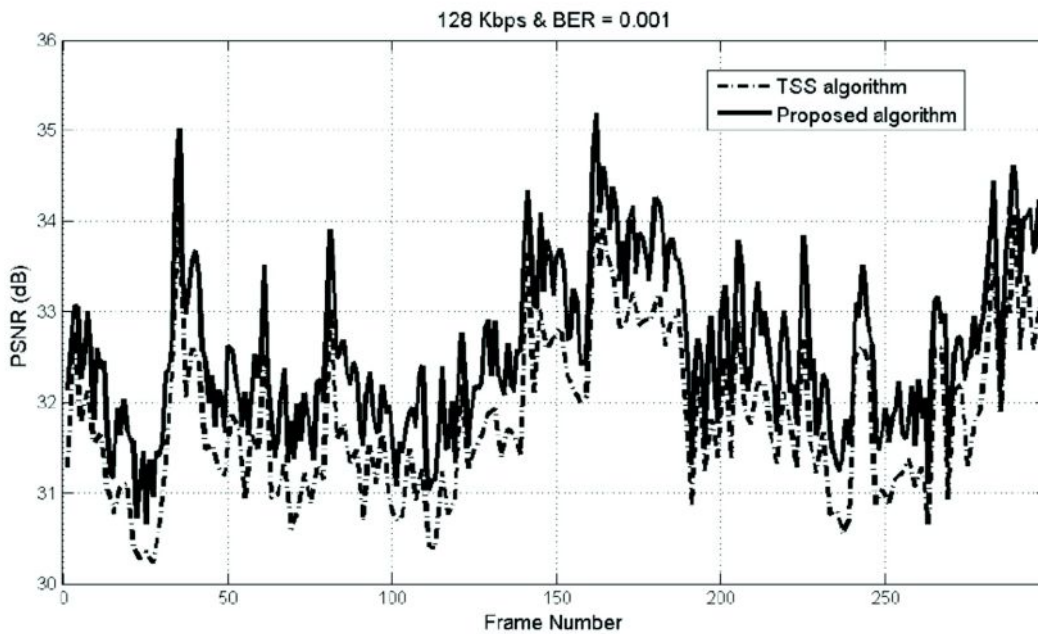


(شکل - ۳۱): مقایسه PSNR برای تمامی فریم‌های گردش سوزی روش پیشنهادی و الگوریتم الانگوان با نرخ تولید کدکننده منبع با

مقدار ۱۲۸ Kbps



(شکل-۳۲): نمایش الگو جستجو و نحوه پردازش بردار حرکت در الگوریتم جستجو ۳ مرحله‌ای



(شکل-۳۳): مقایسه PSNR برای تمامی فریم‌های استفان روش پیشنهادی و الگوریتم جستجو ۳ مرحله‌ای با نرخ تولید کدکننده منبع با مقدار ۱۲۸ Kbps