

بهبود کیفیت ویدیو دریافتی با استفاده از کدگذار کانال محلی و به کارگیری تخمین گر موجک، شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک

حسن فرسی^{۱*}، سوسن بهمدی^۲

۱- استاد، ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه بیرجند

(دریافت: ۹۶/۰۴/۲۰، پذیرش: ۹۶/۱۰/۲۸)

چکیده

در سال‌های اخیر، برنامه‌های مبتنی بر ویدئو در حال افزایش بوده است. لذا محققان در تلاش‌اند که تکنیک‌های کدپنگ ویدئو را مؤثرتر و کارآمدتر سازند. بنابراین روش‌های متعددی به منظور بهبود کیفیت ویدئو در برابر خطای کانال، پیشنهاد شده است. در این مقاله نیز، هدف افزایش کیفیت ویدئو در گیرنده است. اساس روش پیشنهادی بدین صورت است که در یک نرخ ارسال ثابت، نرخ کدگذار کانال را افزایش داده و با استفاده از آن میزان مقابله در برابر خطای کانال افزایش پیدا می‌کند. افزایش نرخ کدگذار کانال با افزایش نرخ فشرده‌سازی و کاهش داده‌های منبع، صورت می‌پذیرد. از آنجایی که بلوک تخمینگر حرکت به درستی قادر به مینیمم کردن واریانس اطلاعات فریم نیست؛ در این مقاله تخمینگر ثانویه‌ای پیشنهاد شده است که این بلوک بر روی اطلاعات اعمال و منجر به افزایش نرخ فشرده‌سازی منبع می‌شود. به منظور پیشنهاد تخمینگر ثانویه، از ترکیب تبدیل موجک و شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک (GA) استفاده می‌شود. این تخمین گر ثانویه به طور قابل توجهی، واریانس اطلاعات فریم را کاهش می‌دهد، از این رو، به بیت کمتری برای ارسال اطلاعات نیاز است. بنابراین، در این روش می‌توان بدون افزایش داده‌های ارسال برای هر فریم، نرخ کدگذار کانال را افزایش داد و فریم‌های ویدئویی را در برابر خطای کانال مقاوم‌تر ساخت. به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، نرخ‌های متفاوت کدگذار منبع با چندین SNR مختلف کانال آزمایش و نتایج با دیگر روش‌های موجود مقایسه شده است.

کلیدواژه‌ها: کدینگ ویدیو، تبدیل موجک، شبکه عصبی، الگوریتم ژنتیک، کدگذار کانال محلی

Video Quality Improvement Using Local Channel Encoder and Mixed Predictor by Wavelet, Neural Network and Genetic Algorithm

H. Farsi*, S. Behmadi

University of Birjand

(Received: 11/07/2017; Accepted: 18/01/2018)

Abstract

In recent years, video-based applications have increased. Therefore, researchers are trying to make video coding techniques more effective and efficient. So, several methods are proposed to improve the quality of video against the channel error. The aim of this article is increasing video quality at the receiver. Basis of the proposed method is as follows; in a fixed rate, channel coding rate increases and using it to increase channel error robustness. Channel encoder rate increases with increasing compression rate and decreasing source data. Since the motion estimator block is unable to minimize the variance of the information frames correctly; in this paper, the secondary estimator is proposed which is applied to the information and it causes to increase source compression rate. So the combination of wavelet and neural network with genetic algorithm are used in this secondary estimator. The secondary estimator significantly reduces the information frames variance. Thus, fewer bits are needed to send information. So in this method, channel encoder rate increases without increasing transmitted data for each frame and video frames could be more robustness against to channel error. To evaluate the proposed method, we have tested different source coding rates with several SNRs and compared the results by other methods.

Keywords: Video Coding, Wavelet Transform, Neural Network, Genetic Algorithm, Local Channel Encoder

* Corresponding Author E-mail: hfarsi@birjand.ac.ir

۱. مقدمه

بهبود می‌بخشد. در این مقاله، بیشینه نسبت سیگنال به نویز (PSNR)^۳ و نرخ خطا (BER)^۴ دو اندازه‌ای هستند که برای نمایش کیفیت بازسازی ویدئو استفاده می‌شوند. این مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است:

در بخش ۲، کدینگ فریم‌های ویدئویی برای دو فریم I & P با استفاده از MPEG-4, Part 2^۵ ارائه می‌گردد. در بخش ۳، کدینگ کانال به اختصار بیان می‌شود. در بخش ۴، ترکیب تبدیل موجک و شبکه عصبی را با الگوریتم ژنتیک نشان داده می‌شود. و در بخش ۵، ابتدا روش پیشنهادی معرفی شده و سپس مرحله به مرحله توضیح داده می‌شود. و در نهایت، عملکرد روش پیشنهادی مورد ارزیابی قرار گرفته و با روش جدیدی در این حوزه، مقایسه می‌شود.

۲. کدگذاری فریم‌های ویدئویی

در این بخش به کدگذاری فریم‌های ویدئویی با استفاده از فشرده‌سازی MPEG پرداخته می‌شود. MPEG ویدئویی متشکل از سه تصویر (فریم) است: (I-frame)، (P-frame) و (B-frame). این تصاویر یا فریم‌ها در گروهی از تصاویر به نام GOP^۶ سازمان‌دهی می‌شوند. شکل ۱ نوعی از ساختار GOP را نشان می‌دهد. I-frame به عنوان تصویر مستقل در نظر گرفته می‌شود، و نیز به صورت فریم مرجع استفاده می‌گردد. P-frame مستقل نیستند و توسط روش پیش‌گویانه رو به جلو کدگذاری می‌شود. B-frame این فریم با استفاده از پیشگویی فریم‌های I&P قبلی و فریم‌های I&P بعدی کدگذاری می‌شود. اما در این تحقیق تنها از دو فریم I&P استفاده می‌شود، زیرا استفاده از B-frame منجر به ایجاد تأخیری در سیستم می‌گردد.

۲-۱. مروری بر روش کدگذاری MPEG-4

در این مقاله، از MPEG-4 part 2 استفاده شده است. در بخش زیرین مراحل کدگذار و کدگشا را توضیح داده شده است.

مرتب‌سازی مجدد^۷: پس از کوانتیزاسیون ضرایب DCT، به علت دارا بودن تعداد زیادی ضرایب صفر (0)، ضرایب به دست آمده به فرم زیگزاگ مرتب می‌شوند. بنابراین، مقادیر با توجه به فرکانس‌هایی که دارند گروه‌بندی می‌شوند.

بسته‌بندی داده‌ها^۸: خطا به وجود آمده در انتقال داده‌ها موجب از بین رفتن سنکرون سازی (هماهنگ‌سازی) بین فریم‌های ویدئویی انتقال یافته شده، می‌شود. برای مقابله با این مشکل، یک مکانیزم هماهنگ‌سازی نیاز است. روشی برای ایجاد این

کدینگ کانال که در مخابرات دیجیتال استفاده می‌شود، تکنولوژی است که از انتقال یا ارسال اطلاعات مراقبت می‌نماید تا با کمترین میزان خطا یا بدون خطا در گیرنده دریافت شود. روش‌های مختلف کدینگ که می‌تواند بکار گرفته شود، توسط رقم‌های دودویی (بیت) اضافی در انتقال، قابل دست یافتن است. هنگام رمزگشایی در پایان دریافت، اطلاعات منتقل شده می‌تواند برای خطایی که ممکن است در اطلاعات وجود داشته باشد، مورد بررسی قرار گیرد و در بسیاری از موارد اطلاعات اصلاح شوند. به علت وجود حتمی خطا در هر نوع از کانال‌های مخابراتی، کدگذار کانال^۱ توسعه پیدا کرد. امواج رادیویی، سیگنال‌های الکتریکی و حتی امواج نور بیش از کانال‌های فیبر نوری، به‌طور متوسط مقداری خطا دارند. با وجود چنین مشکل رایج در ارتباطات، نظریه‌های متعددی به منظور نحوه برخورد با این مشکل، تحت شاخه‌ای از ریاضیات کاربردی توسعه یافته است مثل ترکیب توأم کدینگ منبع و کانال^۲ (JSCC). همچنین در روشی به افزایش نرخ کدینگ کانال در یک نرخ ثابت ارسالی پرداخته شده است که این کار با بهبود میزان فشرده‌سازی با استفاده از حافظه‌دار کردن عملیات کدگذاری هافمن صورت پذیرفته است. در روشی دیگر با جستجو و ادغام بردارهای حرکت، بین دو فریم پشت سرهم، داده ارسالی برای بردارهای حرکت را کاهش داده و از طرف دیگر، میزان ظرفیت جدید به وجود آمده را برای افزایش مقاومت این بردارهای حرکت در مقابل نویز کانال به کار گرفته است. یکی از کاربردهای روش‌های تطبیق کانال و منبع، برای ارسال و دریافت اطلاعات ویدئویی در پهپادها، وسایل گشت زنی ویدئویی و همچنین ماهواره‌های جاسوسی تصویربرداری می‌توان اشاره نمود که با استفاده از این روش‌ها می‌توانند به بهبود کیفیت داده‌های دریافتی در ایستگاه گیرنده منجر گردد و در مقابل نویز، اعوجاج و اختلال مقاوم گردد.

در این مقاله، روش جدیدی از ترکیب توأم کدینگ منبع و کانال (JSCC) ارائه می‌شود که نرخ کدینگ کانال را افزایش می‌دهد، در حالی که نرخ انتقال کل همچنان ثابت می‌ماند. در حقیقت با افزایش نرخ کدینگ کانال، فریم‌های ویدئویی در برابر نویز مقاوم‌تر می‌شوند. یکی از مهم‌ترین مشکلات JSCC، برای اصلاح نرخ کدینگ کانال و منبع به اطلاعات کانال، نیاز است. درحالی‌که در این روش پیشنهادی، برای اصلاح نرخ کدینگ کانال و منبع به اطلاعات کانال نیازی نیست. به عبارت دیگر، روش پیشنهادی بر روی هر نرخ کدینگ منبع اعمال می‌شود و به‌طور کاملاً مستقل کیفیت بازسازی فریم‌های ویدئویی را در گیرنده

^۳ Peak Signal to Noise Rate

^۴ Bit Error Rate

^۵ ISO/IEC 14496-2

^۶ Group Of Pictures

^۷ Reorder

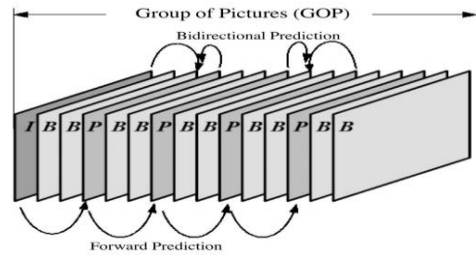
^۸ Data Packetization

^۱ Channel Coding

^۲ Joint Source And Channel Coding (JSCC)

همانگ سازی استفاده از بسته بندی داده ها است. بنابراین برای سنکرون سازی، تعدادی نشانه^۱ در هر بسته قرار می گیرد. کدگذار، هر فریم را به بسته هایی تقسیم می نماید و نشانه های مربوطه را برای سنکرون سازی در ابتدای هر بسته قرار می دهد. این عملکرد موجب سنکرون سازی بین فریم های ویدئویی می شود و از خطای تجمعی جلوگیری می نماید.

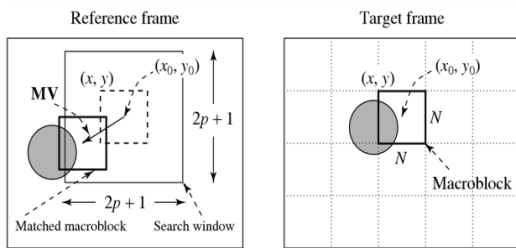
پس از تخمین فریم به طور کامل و ساخت ماتریس تخمین حرکت، مقادیر تخمین از فریم قبلی کم می شود. در مرحله بعد، بر روی مقادیر به دست آمده تبدیل DCT را اعمال شده و با ۶۴ سطح کوانتیزه می شوند. نهایتاً، بلوک های DCT به روش کدگذاری با طول متغیر VLC برای ارسال، کد می شوند. گیرنده، داده های دریافتی در ابتدا با کمک بلوک VLC کدگشایی و سپس دی کوانتیزه می گردند.



شکل ۱. گروهی از تصاویر (GOP) در MPEG ویدئویی

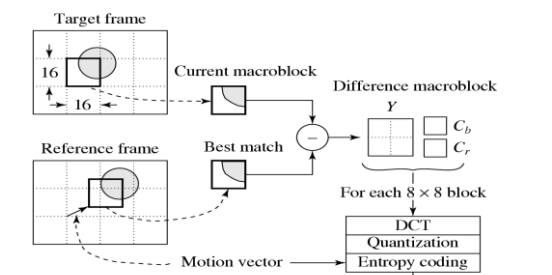
اطلاعات دی کوانتیزه شده از بلوک IDCT عبور داده می شود. و در نهایت با استفاده از ماتریس تخمین حرکت، فریم ورودی با فریم قبلی جمع شده و بدین ترتیب فریم ارسال شده بازسازی می شود. شکل های (۳-۴) به ترتیب نحوه کدگذاری دو فریم I و P را نشان می دهد.

قسمت بندی داده ها^۲: در این روش بسته داده ها به دو قسمت تقسیم می شوند. در واقع داده های با ارزش بیشتر (ضرایب DC ماتریس DCT، اطلاعاتی در مورد مدل کدگذار و بردار حرکت) از داده ها با ارزش پایین تر (ضرایب AC ماتریس DCT و خطاهای باقیمانده) جدا می شود. برای انتقال I-frame، ناحیه اول شامل اطلاعات کدگذار منبع و ضرایب DC می شود و ناحیه دوم شامل داده با ارزش کمتر مثل ضرایب AC است. برای انتقال P-frame، ناحیه اول شامل اطلاعات کدگذار منبع و بردار حرکت است در حالی که ناحیه دوم داده های DCT (ضرایب AC و DC) را شامل می شود.



شکل ۲. انطباق حرکتی [۱۳]

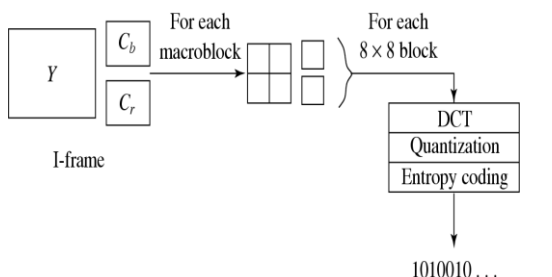
بلوک تخمین گر حرکت (MC)^۳: اساس الگوریتم تخمین گر حرکت، محاسبه کمترین میانگین مربعات خطای تطبیق بین دو فریم متوالی است که بر اساس معادلات زیر عمل می نماید:



شکل ۳. کدگذاری I-Frame [۳]

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

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



شکل ۴. کدگذاری P-Frame [۳]

در معادله (۱)، پارامتر b، پیکسل های دو فریم پشت سرهم k و k-1 را فراخوانی می نماید و دو متغیر m و n موقعیت پیکسل ها را در فضای دوبعدی هر فریم نشان می دهد. متغیر w، نشان دهنده پنجره جستجوگر است و بردار تخمین حرکت با جستجو کردن در این محدوده به دست می آید. در این مقاله

¹ Marker
² Data Partitioning
³ Motion Compensation Block

با توجه به این که α^i ها ریشه‌های $b(X)$ هستند در این صورت:

$$b(\alpha^i) = b_0 + b_1\alpha^i + \dots + b_{n-1}(\alpha^i)^{n-1} \quad (۴)$$

در این مقاله از کدگذار Reed-solomon برای کدگذار کانال استفاده شده است. دلیل استفاده از این نوع کدینگ ویژگی غیر باینری بودن آن است. بنابراین، اطلاعات هر بلوک بدون این که به باینری تبدیل شود، می‌تواند به‌طور کامل کد شود. از این رو سرعت کدگذاری فریم‌های ویدئویی افزایش می‌یابد. اگر $c(x)$ پیام کد شده انتقال یافته باشد و $r(x)$ نیز پیام نویزی دریافتی باشد. از این رو:

$$r(X) = r_0 + r_1X + \dots + r_{n-1}X^{n-1} \quad (۵)$$

همچنین، چندجمله‌ای خطا $e(x)$ و رابطه آن با پیام ارسالی و دریافتی به‌صورت زیر داده شده است:

$$\begin{aligned} e(X) &= e_0 + e_1X + \dots + e_{n-1}X^{n-1} \\ r(X) &= c(X) + e(X) \end{aligned} \quad (۶)$$

معادله (۶) را نیز می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

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

این نوع کدگذاری توانایی تشخیص و تصحیح خطا را دارد.

نرخ کدینگ کانال به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$R_c = \frac{k}{n} \quad (۷)$$

در معادله (۷)، k تعداد بیت‌های کد شده مربوط به اطلاعات فریم (اطلاعات اصلی) است، n نیز تعداد بیت‌هایی است که شامل اطلاعات فریم و اطلاعات اضافه شده توسط کدینگ کانال است. کدگذار کانال توانایی این را دارد که $\frac{n-k}{2}$ خطا را آشکار و تصحیح نماید.

کدینگ کانال استفاده شده دارای مقادیر $n=255$ و $k=223$ است و میدان این کانال نیز $2^8=256$ است. $(RS(255,223))$

۴. ترکیب تبدیل موجک و شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک

تبدیل موجک و شبکه عصبی (WNN)^۳ برای تخمین منحنی‌ها، توسط توابع غیرخطی بجای توابع تخمینگر عمومی، استفاده می‌شوند. این تبدیل در دو حوزه فرکانسی و زمانی متمرکز شده

کدگذاری با طول متغیر (VLC^۱): کدگذاری با طول متغیر، آخرین گام قبل از ارسال اطلاعات است. این نوع کدگذاری در تلاش است تا نرخ ارسال را کاهش دهد. VLC به دو روش مختلف اجرا می‌شود:

روش نخست، به‌علت وجود تعداد زیادی مقادیر 1، که پس از کوانتیزاسیون ماتریس DCT به‌وجود می‌آید، عمل می‌نماید. لذا برای ارسال آن‌ها از بیت کمتری استفاده می‌شود. مثلاً برای ارسال عدد ۱، سه بیت نسبت داده می‌شود که به‌صورت 111 می‌باشد. این کد با استفاده از جدول مخصوص در استاندارد MPEG تعیین شده است [۱۷]. روش دوم در کدگذاری VLC، استفاده از این واقعیت که تعداد صفرهای ماتریس DCT کوانتیزه شده بالاست. پس از مرتب کردن المان‌های ماتریس DCT به فرم زیگزاگ، به المانی که پس از صفر می‌آید توجه می‌شود، اگر این المان نیز صفر باشد، مقدار المان بعدی را چک می‌کند. این مرحله تا هنگامی ادامه دارد که به یک المان غیر صفر یا به انتهای ماتریس DCT برسد. پس از تعیین تعداد صفرهای بین دو المان غیر صفر، با استفاده از جدولی از استاندارد MPEG، مجموعه‌ای از کدهای باینری برای ارسال داده‌ها تعیین می‌گردد [۱۷].

۳. مروری بر نحوه کدینگ کانال

$C_b(n,k)$ روی میدان $GF(q)$ معرفی می‌شود، که شبه فضایی از بعد k و فضای برداری V_n که شامل بردارهای n مؤلفه‌ای است. برای هر دو عدد مثبت v و t یک کد q -ary با طول کد $n=q^v-1$ وجود دارد که قادر است الگوهای خطا با طول t یا کمتر را تصحیح کند. برای ساختن این کد به حداقل $2vt$ مؤلفه بررسی توازن^۲ نیاز است. اگر α یک مؤلفه اول از میدان $GF(q^v)$ باشد چند جمله‌ای BCH q -ary قادر است تصحیح کند هر الگوی خطایی را با طول t یا کمتر از مینیمم درجه چند جمله‌ای با ضرایب $GF(q)$ که دارای ریشه‌های $\alpha, \alpha^2, \dots, \alpha^{2^t}$ است. یک حالت خاص از کدهای BCH q -ary که مقدار $v=1$ را می‌گیرد Reed-Solomon code نامیده می‌شود.

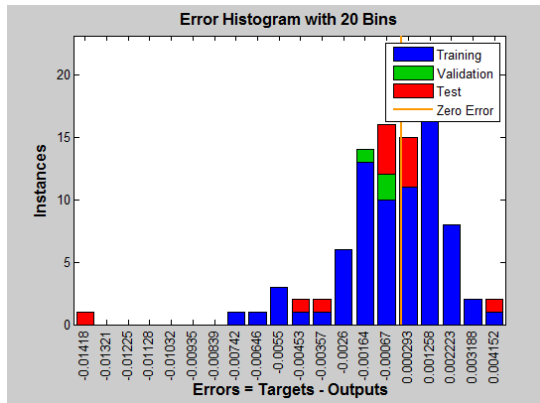
یک کد RS می‌تواند معادل یک چند جمله‌ای $b(X)$ روی $GF(X)$ تعریف شود که $\deg\{b(X)\} \leq n-1$ و دارای ریشه‌هایی از توان‌های α است. بنابراین، $b(X) \in C_{RS}$ اگر و تنها اگر:

$$\begin{aligned} b(X) & \\ &= b_0 + b_1X + \dots + b_{n-1}X^{n-1} \in B_{RS} \end{aligned} \quad (۳)$$

^۱ Variable Length Coding

^۲ Parity Check

^۳ Wavelet Transform And Neural Networks



شکل ۵. معیار Validation در شبکه عصبی

(۱) برخی از مدل‌های خطی مهم شامل: میانگین متحرک (MA)^{۱۳} و میانگین متحرک خودهمبسته یکپارچه (ARIMA)^{۱۴}.
 (۲) برخی از مدل‌های غیرخطی شامل: شبکه عصبی (NN) و سیستم‌های فازی. (۳) ترکیبی از مدل‌های خطی و غیرخطی در این مقاله، از ترکیب تخمین گر موجک و شبکه عصبی با الگوریتم ژنتیک، برای داشتن تخمین بهتری از یک سیگنال خاص، استفاده شده است. در بخش زیرین، برای توصیف روش تخمین، تبدیل موجک و الگوریتم ژنتیک به طور خلاصه بیان گردیده است و در نهایت تخمین استفاده شده در این مقاله توضیح داده می‌شود.

۴-۱. تبدیل موجک در شبکه عصبی

در تئوری تبدیل موجک، موجک‌ها به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\Psi = \left\{ \Psi_i = \left| a_i \right|^{-\frac{1}{2}} \psi \left(\frac{x-b_i}{a_i} \right); a_i, b_i \in \mathbb{R}^n, i \in Z \right\}$$

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

$$a_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}),$$

$$b_i = (b_{i1}, b_{i2}, \dots, b_{in}),$$
(۸)

همان طور که از معادله (۸) پیداست، تبدیل‌های پایه موجک، مجموعه‌ای از توابعی هستند که با استفاده از تابع واحد $\Psi(x)$ و عملگرهای تأخیر و شیفت، ساخته می‌شوند و این مجموعه تابع‌ها در دو حوزه زمان و فرکانس متمرکز شده‌اند. $\Psi(x)$ موجک مادر نامیده می‌شود و پارامترهای a_i و b_i به ترتیب پارامترهای مقیاس و انتقال هستند. متغیر x ، ورودی تبدیل موجک و شبکه عصبی (WNN) است. فرم استاندارد WNN به شکل زیر است:

$$f(x) = \sum_{i=1}^M \omega_i \Psi_i(x) = \sum_{i=1}^M \omega_i \left| a_i \right|^{-\frac{1}{2}} \psi \left(\frac{x-b_i}{a_i} \right) \quad (9)$$

است و این روش برای حل مشکلات تخمین توابع غیرخطی توسعه پیدا کرده است.

دو مشکل عمده در طراحی فرایند WNN به شکل زیر وجود دارد: اول، ساختار WNN، دوم، الگوریتم یادگیری برای آموزش شبکه عصبی. این مشکلات برای تعیین ساختار WNN بهینه و تابع موجک، حل می‌شوند.

خروجی شبکه عصبی (NN)^۱ با جمع کردن وزن‌های توابع پایه، به دست می‌آید که این تابع پایه به طور عادی عبارتند از: توابع پایه شعاعی گوسی^۲، توابع پایه B-spline^۳، توابع پایه موجک^۴ و برخی از توابع پایه فازی - عصبی^۵. الگوریتم ژنتیک (GA)، یک الگوریتم جستجوگری در علم کامپیوتر است که برای پیدا کردن راه‌حل تقریبی برای بهینه‌سازی و جستجو مشکلات، به کار گرفته شده است. الگوریتم ژنتیک نوع خاصی از الگوریتم‌های در حال توسعه است که از تکنیک‌های زیست‌شناسی مثل: وراثت و جهش، استفاده می‌کند.

معیار صحت^۶ در آموزش شبکه عصبی، در روش پیشنهادی این مقاله (در شکل ۶) نشان داده شده است. اساس الگوریتم ژنتیک بر پایه حل مشکلات با استفاده از بهینه کردن تابع برازندگی^۷، است. در الگوریتم ژنتیک، فرآیند جستجو به صورت تصادفی است و با استفاده از عملیات جهش^۸ و برش^۹، نسل جدیدی از کروموزوم‌ها را مطابق با نسل قبلی که همان پدر و مادر هستند، خلق می‌کند.

اساس الگوریتم ژنتیک بر پایه حل مشکلات با استفاده از بهینه کردن تابع برازندگی^{۱۰}، است. در الگوریتم ژنتیک، فرآیند جستجو به صورت تصادفی است و با استفاده از عملیات جهش^{۱۱} و برش^{۱۲}، نسل جدیدی از کروموزوم‌ها را مطابق با نسل قبلی که همان پدر و مادر هستند، خلق می‌کند.

در طی خلق نسل جدید، احتمال دخالت کروموزوم‌های نسل قبلی در بهینه کردن تابع برازندگی، در مقایسه با دیگر کروموزوم‌ها، بیشتر است. تخمین سری‌های زمانی یک پژوهش مهم و یک حوزه کاربردی است. برخی از این تخمین‌گرها، در سه مدل طبقه‌بندی شده است:

¹ Neural Networks

² Gaussian Radial Basis Functions

³ B-Spline Basis Functions

⁴ Wavelet Basis Functions

⁵ Neuro-Fuzzy Basis Functions

⁶ Validation

⁷ Fitness Function

⁸ Mutation

⁹ Crossover

¹⁰ Fitness Function

¹¹ Mutation

¹² Crossover

¹³ Moving Average

¹⁴ Autoregressive Integrated Moving Average

زیادی در درون یابی برای فضا با بعد زیاد را، ایجاد می کند.

۳-۴. الگوریتم تخمین گر پیشنهادی

در تخمین گر پیشنهادی، تابع پایه نرون های لایه پنهان شبکه عصبی به صورت زیر داده شده است:

$$\psi(x) = -x \exp\left(-\frac{x^2}{2}\right) \quad (12)$$

این تابع، تابع پایه موجک است که در شکل (۷) نشان داده شده است. باید توجه کرد که تابع انتقالی که در معادله (۱۲) آمده است، با استفاده از روش Leave-One-Out پس از آزمایش بر روی چندین سیگنال به دست آمده از فریم های نامشابه، انتخاب شده است. پایه تخمین پیشنهادی به صورت زیر است:

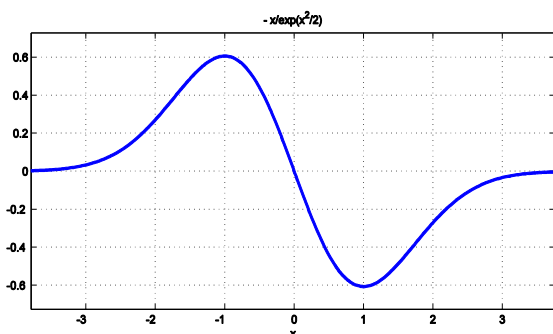
گام اول: پس از اعمال ورودی و خروجی به شبکه عصبی، وزن ها با استفاده از الگوریتم ژنتیک بهینه می شوند بنابراین، خطای بین داده های خروجی و داده های هدف کمینه می شود.

گام دوم: اگر تعداد تکرار الگوریتم کمتر از ۱۰۰ مرتبه باشد و نرخ خطا کمتر از 10^{-8} نباشد، سپس عملیات به مرحله قبل یعنی مرحله اول منتقل خواهد شد. در غیر این صورت مرحله سوم اجرا خواهد شد.

گام سوم: اگر تعداد تکرار الگوریتم برابر با ۱۰۰ مرتبه باشد، وزن ها برای شبکه انتخاب می شوند تا کمترین خطا را در ۱۰۰ تکرار از الگوریتم فراهم سازند. سپس در این مرحله، وزن های شبکه تعیین می شوند. همچنین نرخ خطا با استفاده از معادله (۱۳) قابل محاسبه است:

$$MSE = \frac{1}{Q} \sum_{k=1}^Q (y_1^i - y_2^i)^2 \quad (13)$$

در معادله (۱۳)، y_1^i و y_2^i به ترتیب مقادیر خروجی و هدف را نشان می دهند.



شکل ۷. تابع پایه موجک تعریف شده در معادله (۱۲)

Ψ_i ، آمین تابع فعال سازی را در لایه پنهان نشان می دهد و ω_i ، آمین وزن را نشان می دهد که لایه پنهان را به لایه خروجی متصل می نماید.

برای استفاده از ظرفیت تابع پایه موجک، نوعی از WNN پیشنهاد شده است و در معادله (۱۰) بیان شده است. ساختار WNN پیشنهادی در شکل (۶) نشان داده شده است. همچنین معادله (۱۰) خروجی شبکه عصبی با استفاده از تبدیل موجک را نشان می دهد:

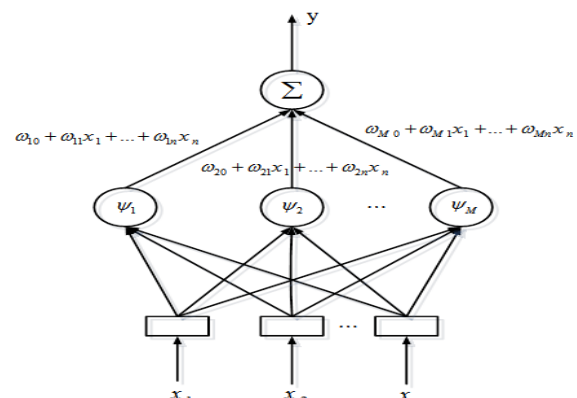
$$y = \sum_{i=1}^M (\omega_{i0} + \omega_{i1}x_1 + \dots + \omega_{in}x_n) \Psi_i(x) \\ = \sum_{i=1}^M (\omega_{i0} + \omega_{i1}x_1 + \dots + \omega_{in}x_n) a_i \sqrt{\frac{1}{2}} \psi\left(\frac{x-b_i}{a_i}\right) \quad (10)$$

$$x = [x_1, x_2, \dots, x_n]$$

مطابق با معادله (۱۰)، مشاهده می شود که وزن های شبکه عصبی، ترکیب خطی را از چندین وزن به جای یک وزن واحد، دارند. معادله (۱۱) ترکیب خطی از چندین وزن را نشان می دهد:

$$v_i = \omega_{i0} + \omega_{i1}x_1 + \dots + \omega_{in}x_n \quad (11)$$

در شبکه عصبی ساخته شده، وزن ها به جای ω_i ، شامل v_i می شوند که در شکل (۶) نشان داده شده است.



شکل ۶. معماری شبکه عصبی استفاده شده در این مقاله با استفاده از تبدیل موجک

۲-۴. ترکیب شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک برای آموزش شبکه عصبی استفاده شده است. انگیزه انتخاب الگوریتم ژنتیک برای آموزش شبکه عصبی به دو دلیل است، (۱) مدل های خطی محلی در برخی از سیستم های عصبی - فازی مورد مطالعه قرار بگیرند و اجرای مناسبی را از خود نشان دهند، (۲) استفاده از الگوریتم های جستجوگر صرفه جویی

۵. الگوریتم پیشنهادی

از سیگنال خروجی تخمین گر ثانویه در مقایسه با مقادیر حاصل از بلوک تخمین گر حرکت، پایین تر هستند. بنابراین، خصوصیات سیگنال خروجی حاصل از تخمین گر ثانویه بیشتر شبیه نویز تصادفی است. همچنین شکل (۹) خروجی به دست آمده از بلوک تخمین گر حرکت (سیگنال بالایی) و تخمین گر ثانویه (سیگنال پایینی) را نشان می دهد. مشاهده می شود که خروجی حاصل از تخمین گر ثانویه واریانس کمتری دارد. در مرحله بعدی، کدگذار کانال محلی، مجدداً رشته بیت ها را کد می نماید. نرخ این کد کننده از معادله زیر حاصل می شود:

$$R_c' = \frac{B_{T1} - B_{T2}'}{B_{T1}} \quad (14)$$

B_{T1} و B_{T2}' به ترتیب تعداد بیت های تولید شده توسط بلوک VLC برای کدگذاری سیگنال با استفاده از بلوک تخمین گر حرکت و تخمین گر ثانویه را نشان می دهد. بنابراین، نرخ کدینگ کانال افزایش می یابد و اطلاعات فریم در برابر نویز و خطاهای کانال مقاوم تر می شود.

۵-۱. الگوریتم کدگذار پیشنهادی

نمودار چرخشی الگوریتم کدگذار پیشنهادی با استفاده از شکل (۱۰) نشان داده شده است. الگوریتم پیشنهادی با جزئیات بیشتر در قسمت زیر توضیح داده می شود:

گام اول: پس از عبور دادن سیگنال از بلوک تخمین حرکت و کم کردن مقادیر تخمین خورده از سیگنال اصلی، اطلاعات سیگنال کوانتیزه می شود. سیگنال کوانتیزه شده از بلوک VLC عبور داده شده و سپس تا زمانی که داده های یک فریم کاملاً داخل بافر وارد شوند، آن ها در یک بافر قرار می گیرند. بنابراین، تعداد بیت ها، B_{T1} محاسبه می شود.

گام دوم: سیگنال به دست آمده که از کم کردن سیگنال تخمین خورده (حاصل از بلوک تخمین گر حرکت) از سیگنال اصلی است دی کوانتیزه شده و پس از اجرای بلوک IDCT بر روی داده های فریم، تمام داده های فریم بافر می شوند. در این مرحله که شبیه مرحله یک است، تا زمانی که اطلاعات مربوط به یک فریم کاملاً در داخل بافر قرار بگیرند، این اطلاعات در بافر ذخیره می شود. سپس، تخمین گر ثانویه اطلاعات مربوط به یک فریم را تخمین می زند و مقادیر تخمین خورده از سیگنال ذخیره شده در بافر، کم می شود.

بلوک تخمین حرکت در استاندارد MPEG-4 در تلاش است تا همبستگی بین مقادیر پیکسل های دو فریم پشت سرهم را از بین ببرد، اما این همبستگی نمی تواند به طور کامل از بین برود. زیرا زمانی همبستگی از بین می رود که خصوصیات سیگنال به دست آمده شبیه همان نویز کاذب باشد در حالی که خروجی سیگنال بلوک تخمین حرکت هنوز شامل همبستگی است که در شکل (۸) مشاهده می شود.

بنابراین، تخمین گر ثانویه برای از بین بردن همبستگی باقیمانده، پس از تفاضل بین دو فریم پشت سرهم از یکدیگر با استفاده از بلوک تخمین گر حرکت، استفاده می شود. این بدان معناست که خروجی سیگنال تخمین گر ثانویه نسبت به خروجی سیگنال تخمین گر حرکت، واریانس کمتری دارد.

بنابراین، استفاده از تخمین گر ثانویه و کم کردن مقادیر تخمین خورده از سیگنال خروجی بلوک تخمین گر حرکت، موجب می شود که همبستگی به طور قابل توجهی کاهش یابد. تخمین گر ثانویه استفاده شده در این مقاله، در قسمت زیر با جزئیات شرح داده شده است:

فرض کنید $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]$ ورودی و $Y=[y_1, y_2, \dots, y_n]$ خروجی این تخمین گر باشند. در این مقاله، ورودی این مدل از تخمین x_{m-4} و y_{m-1} و خروجی آن y_m انتخاب شده باشد. اگر شبکه عصبی m گره در لایه پنهان، n ورودی و d خروجی را شامل شود از این رو تعداد کل پارامترها برای نمایش شبکه عصبی $(n+1) \times m \times d$ است. در الگوریتم پیشنهادی، تعداد ورودی ها برابر ۲ و تعداد خروجی ها برابر ۱ است، بنابراین، تعداد وزن های شبکه عصبی برابر $3 \times m$ است. همچنین، در این مقاله، تعداد نرون ها در لایه پنهان برابر ۲۰ فرض شده است. لذا تعداد وزن ها در طی مرحله آموزش برابر ۶۰ است.

پس از به دست آوردن تفاضل دو فریم پشت سرهم، تخمین گر ثانویه بر روی تفاضل سیگنال اعمال می شود و مقادیر تخمین زده از سیگنال تفاضلی کم می شود. بنابراین، سیگنال به دست آمده واریانس کمتری دارد و تعداد بیت کمتری برای ارسال سیگنال نیاز دارد. و لذا اطلاعات فریم با تعداد بیت کمتری کد می شوند. شکل (۸) مقادیر تابع همبستگی را برای دو سیگنال تخمین زده با استفاده از تخمین گر ثانویه و بلوک تخمین گر حرکت، نشان می دهد. مشاهده می شود که مقادیر تابع همبستگی

۲-۵. الگوریتم کدگشای پیشنهادی

نمودار چرخشی کدگشای پیشنهادی در شکل (۱۱) نمایش داده شده است. طرز کار الگوریتم پیشنهادی در قسمت زیر با جزئیات آمده است:

گام اول: پس از دریافت اطلاعات به صورت یک رشته بیت و عبور دادن آن از کدگشا کانال جهانی، نرخ کدگذار کانال ثانویه و وزن های شبکه عصبی از رشته بیت کدگشایی شده محاسبه می شود. سپس کدگشا کانال ثانویه با استفاده از نرخ محاسبه شده، اطلاعات را کدگشایی می نماید.

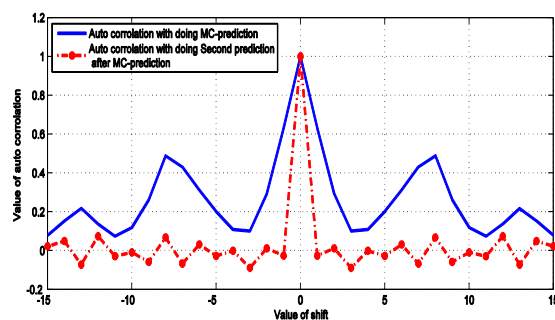
گام دوم: اطلاعات دریافتی در یک بافر قرار داده می شود، و تا زمانی که داده های مربوطه به یک فریم، کاملاً در بافر وارد شوند، بافرینگ اجرا می شود. تخمینگر ثانویه با استفاده از ساختاری شبیه به همان ساختاری که در فرستنده استفاده می شود، داده ها را تخمین می زند و سپس اطلاعات به دست آمده با داده های ذخیره شده در بافر، جمع می شود.

گام سوم: در این مرحله، داده های ذخیره شده در بافر، به بلوک هایی 8×8 تقسیم می شود و وارد بلوک تخمینگر حرکت می شود.

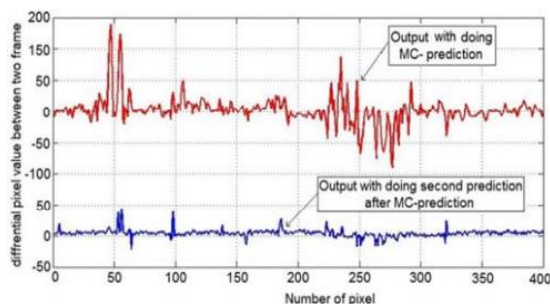
گام چهارم: در بلوک تخمینگر حرکت، پس از جبران حرکت، فریم بازسازی می شود.

۶. ارزیابی روش پیشنهادی

به منظور ارزیابی روش پیشنهادی، در ابتدا چندین پارامتر استفاده شده در شبیه سازی را معرفی کرده و نتایج حاصل از روش پیشنهادی با دو روش جدید که توسط Farooq [۳۰] و Yongkai [۳۱] ارائه شده است، مقایسه می شود. در این مقاله، کانال یک کانال متقارن باینری (BSC) است، خطاهای رخ داده شده در این کانال، نویز گوسی سفید تجمعی (AWGN) و فیدینگ با تابع چگالی احتمال رابلی است. از دو فایل ویدئویی به نامهای Foreman و Walk مشابه با روش Farooq استفاده می شود. همچنین از سه ویدئو Foreman، عمارت و گارد ساحلی برای مقایسه با Yongkai استفاده شده است. تعداد فریم های ویدئو Foreman، برای روش پیشنهادی Farooq، ۱۲۳ است که ۳ فریم از این ۱۲۳ فریم به عنوان I-frame کد شده اند و بقیه فریم ها در سه بخش تقسیم می شوند. هر بخش ۴۰ فریم دارد که به عنوان P-frame کد شده و ارسال می شوند. تعداد فریم های ویدئو Walk، ۱۰۵ است که ۵ تا از این ۱۰۵ تا به عنوان فریم I کد می شوند و بقیه فریم ها به ۵ بخش تقسیم می شوند. هر بخش شامل ۲۰ فریم است که به عنوان فریم P کد می شوند. اندازه فریم برابر



شکل ۸. تابع همبستگی برای دو سیگنال تخمین خورده با استفاده از تخمین گر بلوک حرکت و تخمین گر ثانویه



شکل ۹. سیگنال خروجی به دست آمده از بلوک تخمین گر حرکت (سیگنال بالایی) و سیگنال خروجی به دست آمده از تخمین گر ثانویه (سیگنال پایینی)

گام سوم: سیگنال به دست آمده از تخمین گر ثانویه را به بلوک های 8×8 تقسیم نموده و نیز وزن های شبکه عصبی (60 وزن) به عنوان یک بلوک مستقل کد می شود.

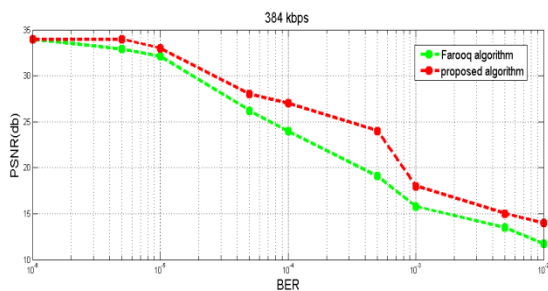
گام چهارم: بلوک 8×8 ، پس از عبور از بلوک DCT و کوانتیزه کردن، وارد بلوک VLC می شود. شبیه به مرحله یک، داده ها در یک بافر ذخیره می گردند و سپس تعداد بیت های B_{T2} محاسبه می شود.

گام پنجم: در این مرحله، نرخ کدگذار کانال با استفاده از معادله (۱۴) محاسبه می شود. بنابراین، بلوک های 8×8 ساخته شده در مرحله ۴، با استفاده از کدگذار کانال محلی، با نرخ کدینگ برابر با R_c' ، کد می شوند. پس از مرتب سازی مجدد و بسته بندی کردن، اطلاعات فریم دوباره با استفاده از کدگذار استاندارد MPEG-4 کد می شود و پس از عبور از بلوک VLC برای گیرنده ارسال می شود. همچنین، R_c' با وزن های شبکه عصبی به دست آمده از مرحله ۴، کد و ارسال می شوند.

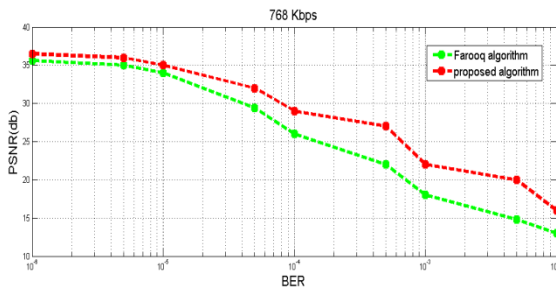
باید توجه کرد که روش پیشنهادی ۳ بافر دارد و به نظر می رسد که تأخیری بین هر دو فریم پشت سرهم وجود دارد. الگوریتم پیشنهادی به شکل موازی عمل می نماید و عملیات بافرینگ هم زمان رخ می دهد. بنابراین، سیستم تنها بر روی یک فریم تأخیر دارد و نه بین دو فریم پشت سرهم.

جدول ۱. نرخ کدگذار کانال R_c و نرخ کدگذار کانال ثانویه R_e برای دو دنباله ویدئویی Walk و Foreman با نرخ‌های انتقال متفاوت

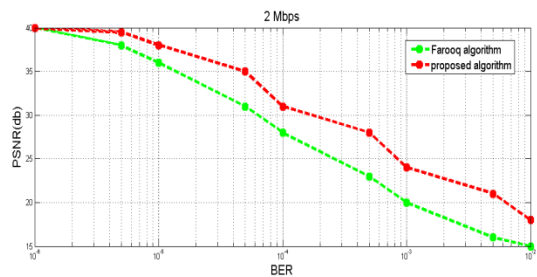
نرخ ارسال منبع	فایل ویدئویی ارسالی	R_c	R_e
۳۸۴Kbps	Foreman	۰/۴۶۶	۰/۸۲۱
۷۶۸Kbps	Foreman	۰/۲	۰/۷۰۳
۲Mbps	Foreman	۰/۰۶۴۵	۰/۴۹۸
۲۵۶Kbps	Walk	۰/۶	۰/۷۸۵
۵۱۲Kbps	Walk	۰/۳۳	۰/۶۹۲
۱/۵Mbps	Walk	۰/۱۲۹	۰/۶۱۰



شکل ۱۲. مقایسه PSNR برای ۱۲۳ فریم از ویدئو Foreman بین روش پیشنهادی و روش Farooq، با نرخ کدینگ منبع برابر با: 384 Kbps



شکل ۱۳. مقایسه PSNR برای ۱۲۳ فریم از ویدئو Foreman بین روش پیشنهادی و روش Farooq، با نرخ کدینگ منبع برابر با: 768 Kbps

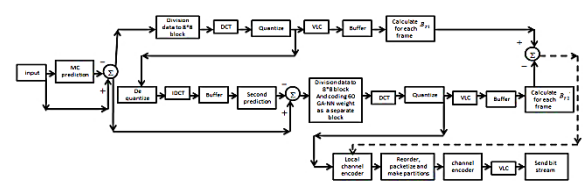


شکل ۱۴. مقایسه PSNR برای ۱۲۳ فریم از ویدئو Foreman بین روش پیشنهادی و روش Farooq، با نرخ کدینگ منبع برابر با: 2 Mbps همچنین شکل‌های (۱۵)، (۱۶) و (۱۷)، PSNR به دست آمده از روش پیشنهادی را در مقایسه با روش Farooq برای ۱۰۵ فریم ویدئویی Walk، نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای نرخ خطای بیت (BER) پایین، برای مثال $BER=10^{-8}$ ،

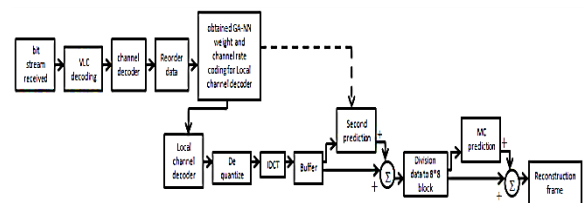
است با 288×352 . همچنین نرخ ارسال فریم، ۲۵ فریم در هر ثانیه است. این شبیه‌سازی برای سه نرخ ارسال منبع اجرا شده است. همچنین برای روش Youkai، فایل ویدئویی Foreman دارای دقت فریمی 352×288 است و عمق هر پیکسل آن ۸ بیت است. همچنین تعداد قاب ارسالی در واحد زمان برابر با ۳۰ قاب است. دو قطعه ویدئویی عمارت و گارد ساحلی نیز دارای ویژگی‌هایی شبیه به Foreman برای این آزمایش می‌باشند با توجه به این‌که تعداد فریم‌های ارسالی ثابت است (نرخ کدگذار منبع ثابت است)، نرخ ارسال بالاتر مربوط به نرخ کدگذار کانال بالاتر است و در نتیجه مقاومت بیشتری را برای فریم‌های ویدئویی در برابر نویز ایجاد می‌کند. نرخ کدگذار کانال، R_c و همچنین نرخ کدگذار کانال ثانویه R_e ، برای دو فایل ویدئویی با نرخ ارسال متفاوت در جدول (۱) نشان داده شده است.

همان‌طور که از جدول (۱) پیداست، به سبب کاهش واریانس داده‌های انتقال یافته، نرخ کدگذار کانال ثانویه افزایش می‌یابد. این بدان معناست که تعداد بیت‌های استفاده شده در کدگذار کانال ثانویه افزایش می‌یابد. بنابراین فریم‌های ارسال شده به‌طور قابل توجهی در برابر خطاهای کانال مقاوم‌تر می‌شوند.

پس از شبیه‌سازی روش پیشنهادی، نتایج به دست آمده با نتایج روش Farooq مقایسه شده است. شکل‌های (۱۲-۱۳) و (۱۴)، PSNR به دست آمده با اعمال روش پیشنهادی در مقایسه با روش Farooq، برای ۱۲۳ فریم ویدئو Foreman را نشان می‌دهد. تنها تفاوت در شکل‌های (۱۲-۱۴) نرخ کدگذار منبع است. این بدان معناست که اگر نرخ کدگذار منبع افزایش یابد در نتیجه انتقال، فریم‌ها در برابر نویز کانال و اغتشاشات، مقاوم‌تر می‌شود.

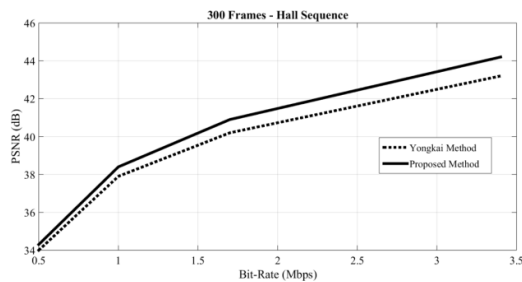


شکل ۱۰. بلوک دیاگرام کد کننده پیشنهادی

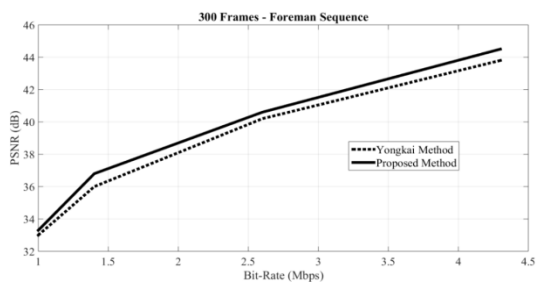


شکل ۱۱. بلوک دیاگرام کدگذار پیشنهادی

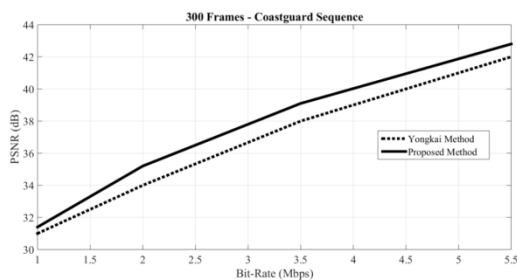
دریافتی نسبت به نرخ ارسال‌های پایین بیشتر بهبود یافته است.



شکل ۱۸. مقایسه PSNR برای ۳۰۰ فریم از ویدئو عمارت بین روش پیشنهادی و روش Yongkai، با نرخ بیت‌های متفاوت



شکل ۱۹. مقایسه PSNR برای ۳۰۰ فریم از ویدئو Foreman بین روش پیشنهادی و روش Yongkai، با نرخ بیت‌های متفاوت

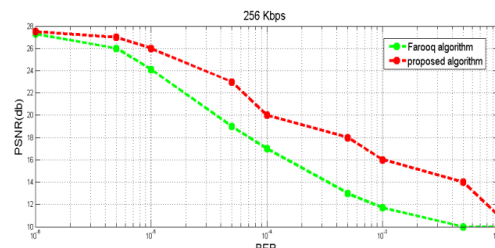


شکل ۲۰. مقایسه PSNR برای ۳۰۰ فریم از ویدئو گارد ساحلی بین روش پیشنهادی و روش Yongkai، با نرخ بیت‌های متفاوت

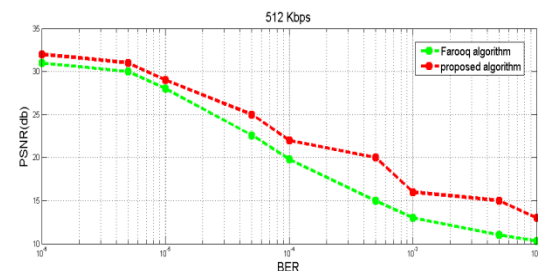
۷. نتیجه‌گیری

در این مقاله، روشی جدید پیشنهاد گردید که در آن فریم‌های ویدئویی پس از ارسال در کانال مخبراتی و دریافت در گیرنده، در مقایسه با دو روش جدید ارائه شده توسط Farooq و Yongkai، دارای کیفیت (PSNR) بالاتری است. اساس کار بدین صورت است که تخمینگر ثانویه استفاده شده در روش پیشنهادی، سبب می‌شود که همبستگی سیگنال خروجی به‌دست‌آمده از بلوک تخمینگر حرکت کاهش پیدا کند که این عمل منجر به کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در واریانس سیگنال ارسالی می‌گردد. بنابراین و با توجه به کاهش واریانس سیگنال تولید شده، تعداد بیت‌های مورد نیاز برای ارسال اطلاعات فریم کاهش می‌یابد. این بدان معناست که در یک نرخ بیت ارسالی ثابت، تعداد بیت‌های اختصاص داده شده برای ارسال اطلاعات فریم ویدئویی کاهش می‌یابد؛ بنابراین، تعدادی بیت به عنوان بیت‌های باقی‌مانده،

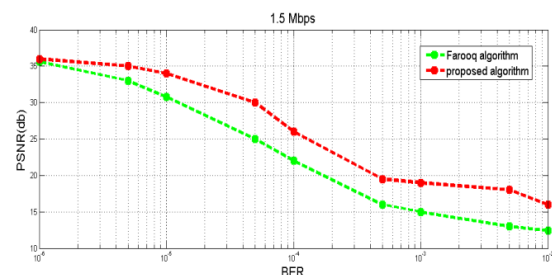
تفاوت نتایج PSNR بین روش پیشنهادی و روش Farooq جزئی است. که این به دلیل داشتن کانال با نویز کمتر است. این در حالی است که اگرچه زمانی BER افزایش یابد (کانال با نویز بیشتر)، PSNR برای روش پیشنهادی به‌طور قابل توجهی نیز افزایش می‌یابد. بنابراین، روش پیشنهادی از طریق جاسازی بیت‌های کدگذار کانال در فریم‌های ارسالی، این توانایی را دارد که بدون افزایش نرخ بیت ارسالی، نرخ کدگذار کانال را افزایش دهد. لذا کیفیت فریم‌های بازسازی شده به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای نیز افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵. مقایسه PSNR برای ۱۰۵ فریم از ویدئو Walk بین روش پیشنهادی و روش Farooq، با نرخ کدینگ منبع برابر با: 256 Kbps



شکل ۱۶. مقایسه PSNR برای ۱۰۵ فریم از ویدئو Walk بین روش پیشنهادی و روش Farooq، با نرخ کدینگ منبع برابر با: 512 Kbps



شکل ۱۷. مقایسه PSNR برای ۱۰۵ فریم از ویدئو Walk بین روش پیشنهادی و روش Farooq، با نرخ کدینگ منبع برابر با: 1.5 Mbps

همچنین در آزمایشی دیگر، روش پیشنهادی با روش Yongkai مقایسه گردیده است که نتایج آن در شکل‌های (۲۰-۱۸) نشان داده شده است. تفاوت این آزمایش با آزمایش قبل در این است که این آزمایش در یک نرخ ارسال ثابت بررسی نشده است بلکه در نرخ ارسال‌های متفاوت، مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طور که نشان داده شده است، روش پیشنهادی به‌خوبی توانسته است میان کیفیت ویدئوهای دریافتی را نسبت به روش Yongkai افزایش دهد. باید به این نکته اشاره نمود که در نرخ ارسال‌های بالاتر، میزان بهبود کیفیت ویدئوی

- [12] Flierl, M.; Girod, B. "Video Coding with Superimposed Motion-Compensated Signals"; Kluwer Academic, 2004, 1, 4020-7759.
- [13] MPEG Video Group "MPEG-4 Video Verification Model Version 18.0"; ISO/IEC, 2001.
- [14] Shannon, C. E. "Communications in the Presence of Noise"; Proc. IEEE, 1998, 86, 447-458.
- [15] Carlson, B.; Crilly, B. P. "Communication Systems"; McGraw-Hill Series in Electrical and Computer Engineering, New York, 2001.
- [16] Shannon, C. E. "A Mathematical Theory of Communication"; Mobile Computing and Communications Review. 2001, 5, 3-55.
- [17] Moraud, Q. E. M. "Wavelet Networks"; University of Edinburgh, 2009.
- [18] Wang, T. "A Wavelet Neural Network for the Approximation of Nonlinear Multivariable Function"; Trans. Inst. Electr. Eng. 2000, 185-193.
- [19] Chen, Y. H. "Evolving Wavelet Neural Networks for System Identification"; Proc. Int. Conf. Electrical Engineering 2000, 279-282.
- [20] Kawaji, S.; Chen, Y. H. "Evolving NeuroFuzzy System by Hybrid Soft Computing Approaches for System Identification"; Int. J. Adv. Comput. Intell. 2001, 229-238.
- [21] Chen, Y. H. "Evolving the Basis Function Neural Networks for System Identification"; Int. J. Adv. Comput. Intell. 2001, 229-238.
- [22] Goldberg, D. E. "Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning, Addison-Wesley"; New York, 1989.
- [23] Douglas, J. "Evolution, Sunderland"; Massachusetts: Sinauer Associates, Inc. 2005.
- [24] Chambers, L. "The Practical Handbook of Genetic Algorithms"; Springer, Second Edition, 2001.
- [25] Wei, S. "Adaptive Control Based on Neural Network"; Intechopen, 2009.
- [26] Fischer, B.; Nelles, O.; Isermann, R. "Generalized Predictive Control of a Heat Exchanger Using Fuzzy Model"; IEEE Conf. Industrial Electronics Society, 2000, 241-246.
- [27] Wang, L. "Fuzzy Systems and Knowledge Discovery"; Springer, Second Edition, 2005.
- [28] Ko, H. R. "Leave-One-Out-Training and Leave-One-Out-Testing Hidden Markov Models for a Handwritten Numeral Recognizer: The Implications of a Single Classifier and Multiple Classifications"; IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 2009, 2167-2178.
- [29] Pitarch, J. L. "Local Fuzzy Modelling: Maximising the Basin of Attraction"; IEEE Conf. Fuzzy Systems 2010, 1-7.
- [30] Farooq Sabir, M.; Heath, R. W.; Cornard Bovik, A. "Joint Source-Channel Distortion Modeling for MPEG-4 Video"; IEEE Trans. Image Process. 2009, 18, 25-38.
- [31] Yongkai, H.; Wang, T.; Maunder, R.; Hanzo, L. "Two-Dimensional Iterative Source-Channel Decoding for Distributed Video Coding"; IEEE Communication. 2014, 18, 90-94.
- قابل دسترس می‌باشند که به وسیله کدگذار کانال محلی استفاده شوند. بنابراین آنچه که گفته شد، در روش پیشنهادی، اطلاعات فریم به‌دست‌آمده از تخمین‌گر ثانویه، با استفاده از کدگذار کانال محلی کد می‌شود. این، بدان معنا است که نرخ کدینگ کانال افزایش یافته است (البته بدون افزایش نرخ ارسال داده) و فریم‌های ویدیویی نسبت به خطای کانال مقاوم‌تر می‌شوند. بنابراین، کیفیت فریم‌های ویدیویی بازسازی‌شده در مقایسه با روش‌های دیگر افزایش می‌یابد. به‌طور کلی، روش پیشنهادی با افزایش نرخ کدگذار کانال و مقاوم‌سازی فریم‌های انتقال‌یافته در یک نرخ ثابت ارسال، توانایی آن را دارد که کیفیت فریم‌های ویدیویی بازسازی شده را بهبود بخشد.

۸. مراجع‌ها

- [1] Bystrom, M.; Modestino, J. W. "Combined Source-Channel Coding Schemes for Video Transmission over an Additive White Gaussian Noise Channel"; IEEE J. Sel. Areas Commun. 2000, 18, 880-890.
- [2] Moreira, J. C.; Farrell, P. G. "Essentials of Error-Control Coding"; John Wiley & Sons, Ltd, 2006.
- [3] Kondi, L. P.; Ishtiaq, F.; Katsaggelos, A. K. "Joint Source-Channel Coding for Motion-Compensated DCT-Based SNR Scalable Video"; IEEE Trans. Image Process. 2002, 11, 1043-1052.
- [4] Cheung, G.; Zakhor, A. "Bit Allocation for Joint Source/Channel Coding of Scalable Video"; IEEE Trans. Image Process. 2000, 9, 340-356.
- [5] Etezadifar, P.; Farsi, H.; Naseri, A. "Robustness of Compressed Video in H.264 Against Channel Using Neural Network with Huffman Coding"; J. Adv. Defence Sci. & Technol. 2016, 6, 221-234.
- [6] Etezadifar, P.; Farsi, H. "Robustness of Motion Vector against Channel Error for Improvement of Synthesized Video Quality"; J. Signal and Data Processing 2015, 12, 78-57.
- [7] Almeida, J.; Leite, N. J.; Torres, R. S. "Online Video Summarization on Compressed Domain"; Visual Communication Image Representation 2013, 24, 729-738.
- [8] Zhai, F.; Eisenberg, Y.; Pappas, T.; Berry, R.; Katsaggelos, A. "Rate-Distortion Optimized Hybrid Error Control for Real-Time Packetized Video Transmission"; IEEE Trans. Image Process. 2006, 15, 40-53.
- [9] Richardson, I. E. G. "H.264 and MPEG-4 Video Compression, Video Coding for Next-Generation Multimedia"; New York, Wiley, 2003.
- [10] Shi, Y. Q. "Image and Video Compression for Multimedia Engineering Fundamentals, Algorithms, and Standards"; CRC Press, 2nd, 2008.
- [11] Almedia, J.; Leite, N. J.; Torres, R. S. "Online Video Summarization on Compressed Domain"; J. Vis. Commun. Image 2013, 24, 729-738.

