

روشی جدید برای اختفای خطا در فریم‌های ویدئو با

استفاده از شبکه عصبی RBF

حسین قانعی یخدان

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه یزد، یزد، ایران

چکیده

ارسال ویدئوی فشرده شده در کانال‌های مستعد خطا ممکن است سبب اتلاف در بسته‌های ویدئو شود که این می‌تواند کیفیت تصویر را کاهش دهد. اختفای خطا، یک ره‌یافت مؤثر جهت کاهش اتلاف ناشی از اطلاعات از دست رفته است. شیوه‌های اختفای خطای زمانی متداول، همیشه در مواقعی که شیء ویدئو دارای حرکات غیرعادی باشد، کارایی خود را از دست می‌دهند. در این مقاله، به منظور غلبه بر این مشکل، یک ره‌یافت اختفای خطای زمانی کارآمد جهت پنهان‌سازی خطای ماکرو بلاک برای سامانه‌های کدگذار ویدئو پیشنهاد می‌شود. روش پیشنهادی از یک شبکه عصبی RBF برای تخمین بردارهای حرکت ماکرو بلاک‌های آسیب دیده استفاده می‌کند. تخمین‌زن RBF فقط برای نواحی ویدئو با حرکات سریع استفاده می‌شود، که این پیچیدگی محاسبات را کاهش می‌دهد. به دلیل ظرفیت بزرگ شبکه‌های عصبی در تجسم و تفسیر مجموعه‌های داده با ابعاد بالا، روش پیشنهادی می‌تواند بردارهای حرکت آسیب دیده در نواحی با حرکت سریع را به درستی تخمین بزند. نتایج تجربی نشان می‌دهد که شیوه پیشنهادی، کیفیت ذهنی و عینی فریم‌های بازسازی شده را ارتقا می‌دهد؛ به طوری که میانگین بیشینه نسبت سیگنال به نوفه برای دنباله‌های مورد آزمایش در بعضی از فریم‌ها حدود ۱/۵ dB نسبت به روش BMA افزایش می‌یابد.

واژگان کلیدی: اختفای خطای زمانی، شبکه عصبی RBF، تخمین بردار حرکت، جبران‌سازی حرکت.

۱- مقدمه

علی‌رغم به کارگیری ابزارهای مقاوم‌سازی خطا در محیط‌های مستعد خطا، هنوز هم امکان رخ دادن خطا در داده‌های ارسالی وجود دارد. به منظور کاهش اثر خطا روی ویدئوی بازسازی شده، روش‌هایی مبتنی بر اختفای خطا در کدگشا ارائه شده است. ساده‌ترین این روش‌ها، جانشین‌سازی زمانی (TR^1) (Haskell and Messerschmitt, 1992) است که در آن تمام بردارهای حرکت آسیب دیده با صفر جایگزین شوند. عیب این روش این است که، برای دنباله‌های ویدئو با حرکات کم و آهسته پاسخ نسبتاً خوبی می‌دهد، اما در حضور حرکات بزرگ در صحنه ویدئو عمل کرد نامطلوبی دارد.

عمل کرد بهتر را می‌توان با جایگزینی بردار حرکت ماکرو بلاک متناظر با موقعیت مکانی یکسان با ماکرو بلاک آسیب دیده در فریم قبل (Ghanbari, 1993) به دست آورد. روش اخیر برای وقتی که حرکت در صحنه ویدئو هموار باشد مناسب است.

روش دیگر، استفاده از میانگین (AVE^2) و یا میانسه (MED^3) (Pyun and Choi, 2008; SuhandHo, 1999; Suh and Ho, 1997) بردارهای حرکت ماکرو بلاک‌های مجاور ماکرو بلاک آسیب دیده در فریم جاری است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی نشان داده است که در بین این روش‌های تخمین بردار حرکت، روش میانسه بهترین عمل کرد را دارد.

² Average

³ Median

¹ Temporal Replacement (TR)

(Narura and Lim, 1997). عیب سه روش مذکور این است که باید همبستگی بین فریم‌های ویدئو زیاد باشد تا عمل کرد قابل قبول داشته باشند.

لام و همکاران (Lam, Reibman and Liu, 1993) یک الگوریتم تطبیق مرز (BMA^1) جهت جستجوی بردار حرکت آسیب‌دیده بر پایه قید همواری مکانی روی مرزهای ماکروبلوک آسیب‌دیده ارائه کرده‌اند. در این روش بردار حرکت آسیب‌دیده از میان چندین بردار نامزد که انحراف کل بین مرزهای ماکروبلوک آسیب‌دیده و بردارهای مجاور را حداقل می‌سازد، انتخاب می‌شود. روش BMA ، به نتایج خیلی امیدبخش در کمینه‌کردن خطای پیش‌بینی بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده می‌رسد. این روش، نیز محدودیت‌های قابل توجهی دارد. اول این‌که در بسیاری از موارد ممکن است هر چهار خط پیکسل‌های مرزی، موجود نباشند و دوم این‌که، این روش هنگامی که پیکسل‌های موجود در لبه‌ها هموار هستند، کیفیت رضایت‌بخشی را فراهم می‌کند. چنانچه پیکسل‌ها، تغییرات ناگهانی داشته باشند یا هر چهار مرز موجود نباشند، کارایی آن به‌طور چشم‌گیری تنزل می‌یابد.

یک شیوهٔ اختفای خطای دومرحله‌ای برای دنباله‌های ویدئو که با خطا دریافت می‌شوند، توسط چن و همکارانش (Chen, et al, 2008) پیشنهاد شده است. در مرحلهٔ اول، یک الگوریتم تطبیق مرز بر پایه اطلاعات زمانی و مکانی جهت بازسازی بردارهای حرکت از دست رفته ارائه شده است. در مرحلهٔ دوم، به‌جای استفادهٔ مستقیم از ماکروبلوک‌های متناظر در فریم مرجع، الگوریتمی بر اساس PDE^2 برای ارتقای کیفیت ویدئوی دریافتی پیشنهاد شده است. به هر حال، روش ارائه‌شده هیچ تفاوتی بین نواحی ویدئو با حرکات سریع و غیرعادی با سایر نواحی در نظر نمی‌گیرد.

هانگ و همکارش (Huang and Yi, 2009) یک الگوریتم اختفای خطای زمانی برای استاندارد H.264 پیشنهاد کرده‌اند که به‌طور مؤثر از بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های همسایه بهره‌برداری می‌شود. در روش پیشنهادشده، ابتدا پارامتری به نام $MSNA^3$ محاسبه شده، سپس بر اساس مقدار آن یکی از روش‌های کمینه‌کردن

واریانس بردارهای حرکت مرزی و یا درونیابی برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود. الگوریتم دیگری برای همین استاندارد بر پایهٔ چند فریم مرجع که از الگوریتم تطبیق مرز وزن‌دار شده بهره می‌گیرد، توسط زانگ و لیو (Zhang and Liu, 2010) پیشنهاد شده است.

یک روش دیگر، بازیابی بردار حرکت با استفاده از شباهت بین زاویهٔ بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های همسایهٔ ماکروبلوک آسیب‌دیده (Pongpadpinit, 2009) است که در آن با فرض این‌که گروهی از ماکروبلوک‌ها که متعلق به یک شیء هستند، مسیر حرکت یکسانی دارند، بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده تخمین زده می‌شود.

روش‌های متداول برای اختفای خطای زمانی که به آنها اشاره شد، هنگام وجود حرکات سریع و پیچیده در صحنهٔ ویدئو کارایی خود را از دست می‌دهند. برای رفع این مشکل می‌توان از خاصیت غیرخطی شبکه‌های عصبی بهره گرفت. در این راستا، هانگ و لین (Huang and Lien, 2006)، روشی ارائه کرده‌اند که در آن یک شبکهٔ عصبی نگاشت خودسازمانده (SOM^4) (Kohonen, 1988) به‌عنوان پیش‌بینی‌کننده جهت تخمین بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده به کار گرفته می‌شود. سپس از بردارهای حرکت تخمین زده شده برای بازسازی ماکروبلوک آسیب‌دیده با بهره‌گیری از اطلاعات مکانی فریم‌های مرجع بر پایهٔ معیار تطبیق مرز (BMA) (Lam, Reibman and Liu, 1993) استفاده می‌شود.

یک روش تخمین بردار حرکت با استفاده از شبکه عصبی $GRNN^5$ توسط شائو و چن (Shao and Chen, 2011) پیشنهاد شده است. در روش ارائه شده، ابتدا با اطلاعات بردارهای حرکت همسایه‌های افقی و عمودی ماکروبلوک آسیب‌دیده و به‌کارگیری روش CV^6 (Liu, 2006)، بهترین مقدار برای واریانس شبکهٔ $GRNN$ محاسبه و از آن برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود.

قانعی و خادمی (قانعی و خادمی، ۱۳۹۰) یک روش پویا جهت تخمین بردارهای حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده پیشنهاد کرده‌اند. در روش مذکور، بر اساس تغییر اندازهٔ

⁴ Self-Organizing Map (SOM)

⁵ General Regression Neural Network (GRNN)

⁶ Cross Validation

¹ Block Matching Algorithm (BMA)

² Partial Differential Equation (PDE)

³ Motion Strength of Neighboring Area

در بخش چهار، روش پیشنهادی برای اختفای خطای زمانی شرح داده می‌شود. نتایج حاصل از پیاده‌سازی در بخش پنج و به دنبال آن نتیجه‌گیری در بخش شش خواهد آمد.

۲- الگوریتم انطباق مرزی کلاسیک (BMA)

با توجه به این‌که برای ارزیابی روش پیشنهادی از روش BMA به‌عنوان یکی از روش‌های مرجع استفاده می‌شود، به‌اختصار این روش توضیح داده می‌شود.

الگوریتم انطباق مرز کلاسیک، برای بازیابی بردارهای حرکت آسیب‌دیده از بردارهای حرکت نامزد با حداقل‌سازی اعوجاج تطبیق مرزی بین مرزهای داخلی و خارجی ماکروبلوک بازسازی شده به‌کار می‌رود. فرض کنید که هر ماکروبلوک دارای M پیکسل باشد. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، مرزهای داخلی همان پیکسل‌های مرزی ماکروبلوک نامزد هستند، در حالی که مرزهای خارجی، پیکسل‌های مجاور مکانی ماکروبلوک آسیب‌دیده هستند. $D1$ جمع قدر مطلق تفاضل این دو مرز است و به‌صورت زیر تعریف می‌شود:

$$D^1(mvi, mvj) = 1 / ((Wn + Ws + Ww + We)M) * [Wn \sum_{m=0}^{M-1} |f(i+m, j-1, n) - f(i+mvi+m, j+mvj, n-1)| + Ws \sum_{m=0}^{M-1} |f(i+m, j+M, n) - f(i+mvi, j+mvj+M-1, n-1)| + Ww \sum_{m=0}^{M-1} |f(i-1, j+m, n) - f(i+mvi+m, j+mvj+m, n-1)| + We \sum_{m=0}^{M-1} |f(i+M, j+m, n) - f(i+mvi+M-1, j+mvj+m, n-1)|] \quad (1)$$

که در آن $f(i, j, n)$ نماینده فریم جاری و $f(i, j, n-1)$ نماینده فریم مرجع متناظر است. زیرنویس‌های s, w, e و n به معنای شمال، جنوب، غرب و شرق هستند. (i, j) مکان پیکسل چپ - بالا در ماکروبلوک آسیب‌دیده جاری است. $MV(mvi, mvj)$ بردار حرکت نامزد است. برای تمام جهات‌ها اگر ماکروبلوک مجاور آن جهت موجود باشد $W=1$ و در غیر این صورت $W=0$ است. این الگوریتم بر این حقیقت استوار است که پیکسل‌ها در تصویر اصلی دارای همبستگی بالایی هستند. تابع تغییرات $D1$ برای هر مؤلفه، وابسته به موجود بودن آن ماکروبلوک است. جهت افزایش سرعت الگوریتم تنها تعداد کمی بردارهای حرکت نامزد در نظر گرفته می‌شود که اغلب شامل موارد زیر است:

▪ بردار حرکت برای ماکروبلوک مشابه مکانی در فریم قبلی؛

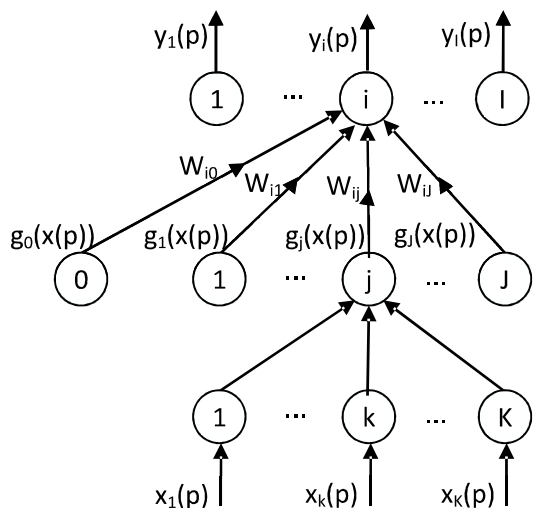
بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های همسایه افقی و عمودی ماکروبلوک آسیب‌دیده، از یکی از دو روش پیش‌بینی‌کننده GRNN و روش BMA برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود. ویژگی این روش، توجه هم‌زمان به هر دو مسأله کیفیت ویدئوی دریافتی و پیچیدگی محاسبات است که در روش‌های قبلی مدنظر قرار نگرفته است.

چن و همکاران (Chen, Shao and Chen, 2011) به‌منظور بهبود اختفای خطای زمانی در مخابرات ویدئو روشی را ارائه کرده‌اند که در آن براساس تغییرات واریانس بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های همسایه افقی و عمودی ماکروبلوک آسیب‌دیده، یکی از دو روش شبکه GRNN و MED (یا AVE) برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود.

روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی که به آنها اشاره شد، از بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های پایین و راست ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌کنند که اغلب، این بردارهای حرکت (ماکروبلوک سمت راست در استاندارد H.261 و ماکروبلوک پایین در استانداردهای H.263 و MPEG4) در دسترس نیستند (Abdul, 2002). همچنین در اکثر روش‌های مبتنی بر شبکه‌های عصبی، توجهی به ماهیت ویدئوی دریافتی نمی‌شود که این باعث کاهش کارایی این روش‌ها می‌شود. در این مقاله یک روش اختفای خطای زمانی جدید به‌منظور تخمین بردارهای حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده پیشنهاد می‌شود که در آن برای نواحی ویدئو با حرکات سریع و غیرعادی از شبکه عصبی تابع پایه شعاعی^۱ (RBF) و برای سایر نواحی از روش BMA به‌منظور تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود. روش پیشنهادی نیاز به بردارهای حرکت پایین و راست نداشته و به‌دلیل آن‌که پیش‌بینی‌کننده RBF فقط در نواحی ویدئو با حرکات سریع به‌کار گرفته می‌شود، پیچیدگی محاسبات آن کم است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی، کارایی بهتر روش پیشنهادی را اثبات می‌کند.

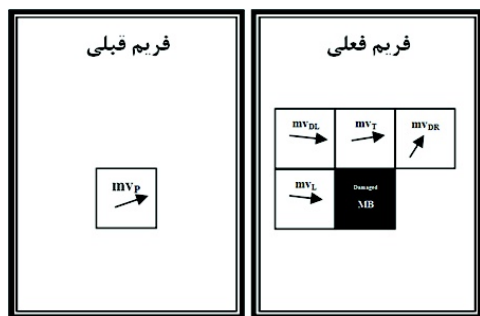
سایر بخش‌های مقاله چنین سازماندهی شده است. در بخش دو، به‌اختصار روش انطباق مرزی کلاسیک (BMA) که به‌عنوان یک روش مرجع از آن استفاده می‌شود، شرح داده می‌شود. معرفی اجمالی شبکه عصبی RBF و تخمین بردار حرکت با استفاده از آن، مطالب بخش سه خواهد بود.

¹ Radial Basis Function (RBF)



(شکل ۲): ساختار شبکه RBF

با اطلاعات بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های مجاور ماکروبلوک آسیب‌دیده و نیز بردار حرکت ماکروبلوک با موقعیت مکانی یکسان با ماکروبلوک آسیب‌دیده در فریم قبلی، شبکه عصبی RBF قادر است بردار حرکت آسیب‌دیده را با دقت خوب تخمین بزند. فرض کنید که mv_T ، mv_{DR} و mv_{DL} به ترتیب معرف بردارهای حرکت قطری راست، بالا، قطری چپ و چپ ماکروبلوک آسیب‌دیده باشند. به علاوه، mv_P بردار حرکت ماکروبلوک با موقعیت مکانی یکسان با ماکروبلوک آسیب‌دیده در فریم قبل باشد. همان‌طور که در شکل (۳) نشان داده شده است با این پنج بردار حرکت، یک بردار ورودی ده‌بعدی برای شبکه RBF تشکیل می‌شود (هر بردار حرکت شامل دوبعدی است). خروجی تخمین‌زن RBF یک بردار دوبعدی است که از آن برای تخمین بردار حرکت ماکروبلوک آسیب‌دیده استفاده می‌شود.

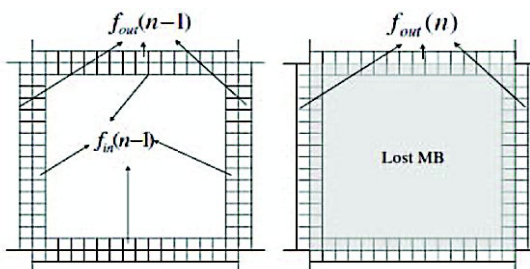


(شکل ۳): بردارهای حرکتی که به عنوان بردار ورودی شبکه RBF استفاده می‌شوند.

- بردارهای حرکت وابسته به ماکروبلوک‌های همسایه موجود؛
 - میانه بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های همسایه موجود؛
 - میانگین بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های همسایه موجود؛
 - بردار حرکت صفر.
- این روش، محدودیت‌های قابل توجهی دارد. اول این‌که در بسیاری از موارد ممکن است هر چهار خط پیکسل‌های مرزی، موجود نباشند و دوم این‌که، این روش هنگامی که پیکسل‌های موجود در لبه‌ها هموار هستند، کیفیت رضایت بخشی را فراهم می‌کند. چنانچه پیکسل‌ها، تغییرات ناگهانی داشته باشند یا هر چهار مرز موجود نباشند، کارایی BMA به‌طور چشم‌گیری تنزل می‌یابد.

۳- تخمین بردار حرکت با شبکه RBF

شبکه عصبی RBF، در سال ۱۹۹۱ توسط پارک و ساندبرگ (Park and Sandberg, 1991 and 1993) معرفی شد. شکل (۲)، ساختار کلی شبکه RBF را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل دیده می‌شود، این شبکه شامل دو لایه گره (به جز لایه ورودی که داده‌های ورودی به آن اعمال می‌شود) می‌باشد. خروجی گره‌های لایه مخفی در وزن‌های مناسب ضرب شده و خروجی RBF را تولید می‌کند. این شبکه در مسائل مربوط به تقریب توابع به عنوان تخمین‌زن کاربرد دارد. از این جهت در این مقاله از این شبکه عصبی برای تخمین بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده استفاده خواهیم کرد.



(شکل ۱): روش انطباق مرز کلاسیک (Sun, M. T., Reibman, A. R., Dekker, M., 2001)

در این مقاله اطلاعات مکانی و زمانی از هر ماکرو بلاک فاقد خطا (با بردار حرکت صحیح mv_C) به عنوان یک نمونه آموزشی مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب برای آموزش شبکه RBF، بردار دهبعدی تشکیل شده از بردارهای mv_{DL} ، mv_T ، mv_{DR} ، mv_P به عنوان بردار ورودی و از بردار دوبعدی mv_C به عنوان بردار خروجی (بردار هدف) استفاده می‌شود.

۴- روش پیشنهادی برای اختفای خطای زمانی

قبل از این که هر نوع شیوه اختفای خطا را بتوان به ویدئوی فشرده شده اعمال کرد، لازم است در ابتدا موقعیت ماکرو بلاک‌های آسیب دیده تعیین شوند. در این مقاله، ما فقط روی مسأله اختفای خطا برای سامانه‌های کدگذاری ویدئو بر پایه فریم، متمرکز خواهیم شد. وانگ و همکارش (Wang and Zhu, 1998) بعضی از روش‌های مؤثر برای آشکار سازی خطا در سامانه‌های کدبندی تصویر و ویدئو را بررسی کرده‌اند. این روش‌ها را می‌توان به طور مستقیم در سامانه‌های فشرده سازی ویدئو جهت آشکار سازی موقعیت ماکرو بلاک‌های آسیب دیده اعمال کرد. بدین ترتیب فرض می‌کنیم که موقعیت ماکرو بلاک‌های آسیب دیده شناخته شده است و صرفاً روند اختفای خطا را شرح خواهیم داد.

روندنمای روش پیشنهادی در شکل (۴) نشان داده شده است. به منظور کاهش پیچیدگی محاسبات، اختفای خطا با استفاده از شبکه RBF فقط برای نواحی حرکت زیاد اجرا می‌شود. جهت تعیین ماکرو بلاک با حرکت زیاد، یک سطح آستانه Th و نیز ویژگی A_i برای $i \in \{DL, T, DR, L\}$ به صورت رابطه (۲) تعریف شده و از کمینه اندازه A_i یعنی $\min(\|A_i\|)$ استفاده می‌شود.

$$A_i^{\text{def}} = |mv_{PT} - mv_i| + |mv_{PL} - mv_i| + |mv_{PR} - mv_i| + |mv_{PB} - mv_i|, \quad i \in \{DL, T, DR, L\} \quad (2)$$

درواقع مقدار $\min(\|A_i\|)$ میزان انحراف بردار حرکت ماکرو بلاک آسیب دیده با بردار حرکت ماکرو بلاک متناظر با آن در فریم قبل را نشان می‌دهد. اگر $\min(\|A_i\|) \geq Th$ باشد، حرکت ماکرو بلاک، "زیاد" و اگر $\min(\|A_i\|) < Th$ باشد، حرکت ماکرو بلاک، "کم" تعیین می‌شود.

مقدار سطح آستانه Th بستگی به ماهیت ویدئو (وجود حرکات غیر عادی)، کیفیت ویدئوی دریافتی و پیچیدگی محاسبات داشته که در این مقاله برای دنباله‌های آزمون به طریق تجربی از پیاده سازی‌ها به دست آمده‌اند. به عنوان نمونه مقادیر $\|A_i\|$ برای دنباله آزمون "Suzie" از ۰ تا حدود ۲۱ تغییر می‌کند. در اجرای الگوریتم پیشنهادی، سطح آستانه را در این محدوده با گام‌های ۰/۵ تغییر داده که منجر به انتخاب مقدار ۲ برای Th شد.

در روش پیشنهادی به طور پویا از تخمین زن RBF و روش BMA برای تخمین بردارهای حرکت آسیب دیده استفاده می‌شود. اگر $\min(\|A_i\|) \geq Th$ باشد، از روش RBF برای تخمین بردار حرکت استفاده شده و اگر $\min(\|A_i\|) < Th$ باشد، از روش BMA جهت تخمین بردار حرکت استفاده می‌شود. البته به جای روش BMA می‌توان هر روش شناخته شده دیگری را به کار برد. الگوریتم اختفای خطای پیشنهادی بدون داشتن عیوب روش‌های قبلی، کارآمد و دارای پیچیدگی محاسبات کم بوده و لذا برای کاربردهای بی‌درنگ^۱ نیز مناسب می‌باشد.

۵- نتایج پیاده سازی برای روش پیشنهادی

به منظور پیاده سازی روش پیشنهادی، از دنباله‌های آزمون "Suzie" و "Football" با وضوح QCIF (اندازه فریم ۱۷۶×۱۴۴ پیکسل)، و "Bus" با وضوح CIF (اندازه فریم ۳۵۲×۲۸۸ پیکسل) استفاده شد. دنباله‌های ویدئو در فرمت ۴:۲:۰ کدگذاری شده‌اند. اندازه ماکرو بلاک‌ها در هر فریم ۱۶×۱۶ در نظر گرفته شد. جهت محاسبه بردارهای حرکت ماکرو بلاک‌ها از الگوریتم تطبیق بلاک با جستجوی کامل و شعاع جستجو $p=7$ (Barjatya, 2004) استفاده شد. خطا در فریم‌های ویدئو به طور تصادفی و به صورت قطاری و با نرخ‌های اتلاف ماکرو بلاک برابر با ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ در هر فریم ایجاد شد. برای ارزیابی کیفیت ویدئوی بازسازی شده از معیار حداکثر نسبت سیگنال به نویز (PSNR^۲) و میانگین آن که با روابط (۳) و (۴) تعریف می‌شوند، استفاده شد.

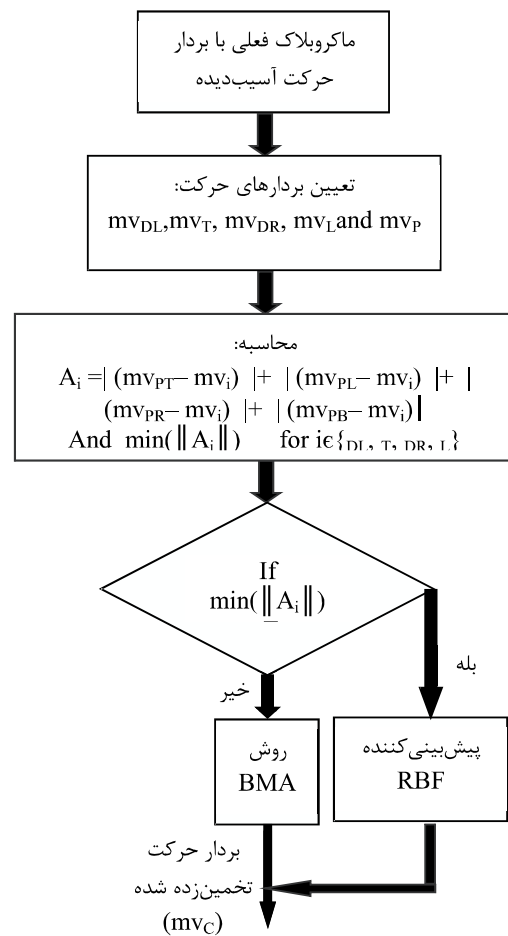
¹ Real time

² Peak Signal to Noise Ratio

آستانه برای تولید نمونه‌های آموزشی خیلی کوچک‌تر از مقدار آن برای الگوریتم پیشنهادی در نظر گرفته شد تا صحت نتایج حاصله زیاد باشد.

شبکه عصبی مورد استفاده یک شبکه RBF با تابع newrb، تعداد سلول‌های لایه مخفی حداکثر برابر با تعداد نمونه‌های آموزشی، منهای یک و خطای ۰/۰۰۱ (هر کدام که زودتر اتفاق افتاد) انتخاب شد.

جهت ارزیابی روش پیشنهادی برای اختفای خطا، بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده را با روش‌های مختلف بازیابی کردیم. آنگاه عمل کرد الگوریتم پیشنهادی با شیوه‌های TR، AVE، MED، BMA و روش مورد استفاده در مرجع (Huang and Lien, 2006) که از این به بعد آن را روش SOM می‌نامیم، مقایسه شد. جدول (۱)، مقادیر میانگین حداکثر نسبت سیگنال به نویز ($PSNR_{ave}$) برای دنباله‌های ویدئوی مورد آزمایش که با روش‌های مختلف اختفای خطا بازسازی شده‌اند، در نرخ‌های متوسط اتلاف ماکروبلوک برابر با ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ را نشان می‌دهد. از این جدول دیده می‌شود که روش پیشنهادی قادر است در مواقع وجود حرکات غیرعادی، بهتر از روش‌های متداول که در این مواقع کارایی لازم را ندارند، بردارهای حرکت آسیب‌دیده را تخمین بزند. دلیل آن این است که در چنین حالتی که حرکات غیر عادی در صحنه ویدئو وجود دارد هم‌بستگی بین ماکروبلوک‌های یک فریم بسیار کم است. در این صورت روش‌های متداول مانند روش BMA که بر اساس هم‌بستگی بین ماکروبلوک‌ها استوار است، نمی‌توانند بردارهای حرکت آسیب‌دیده را با دقت خوب تخمین بزنند. برعکس، در چنین حالتی، روش پیشنهادی می‌تواند از خواص غیرخطی شبکه‌های عصبی بهره گرفته و بردارهای حرکت را با دقت بیشتری تخمین بزند. ضمن آن که پیچیدگی محاسباتی آن به میزان بسیار ناچیز از روش BMA بیشتر ولی خیلی کمتر از روش SOM است. شکل‌های (۵-الف) تا (۵-ج) مقادیر بیشینه نسبت سیگنال به نویز ($PSNR$) برحسب تعداد فریم برای دنباله‌های مختلف آزمون در نرخ خطای ماکروبلوک برابر با ۱۰٪ را نشان می‌دهند. برای افزایش دقت نتایج، پیاده‌سازی برای هر روش



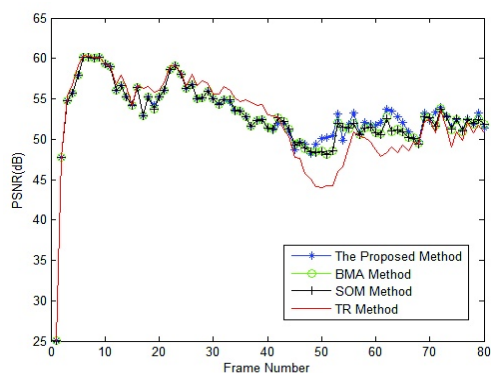
(شکل ۴): روندنمای روش پیشنهادی برای اختفای خطای زمانی

$$PSNR \stackrel{\text{def}}{=} \log_{10} \frac{255^2}{\frac{1}{N1 \times N2} \sum_{i=1}^{N1} \sum_{j=1}^{N2} [F(i,j) - \hat{F}(i,j)]^2} \quad (3)$$

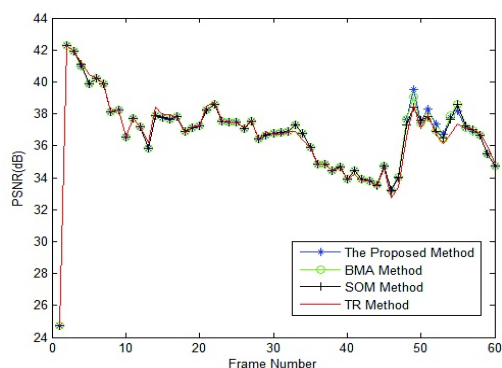
$$PSNR_{ave} \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{N_{fr}} \sum_{k=1}^{N_{fr}} PSNR_k \quad (4)$$

در روابط فوق، $N1$ و $N2$ اندازه فریم، $F(i,j)$ و $\hat{F}(i,j)$ به ترتیب معرف مقادیر پیکسل‌های فریم‌های اصلی و بازسازی شده و N_{fr} تعداد فریم‌های مورد آزمایش هستند. جهت تولید بردارهای آموزشی، برای دنباله‌های مورد آزمون (Suzie و Bus ۱۵۰ فریم و Football ۲۶۰ فریم)، بردارهای mv_{DL} ، mv_T ، mv_{DR} ، mv_L ، mv_P و mv_C در نظر گرفته شدند. اگر $\min(\|A_i\|) \geq Th$ برقرار بود، بردار دوبعدی mv_C به عنوان خروجی مطلوب و پنج بردار باقیمانده به صورت یک بردار دبعده متناظر با ورودی به عنوان یک عضو مجموعه آموزشی مورد استفاده قرار داده شد. از این مجموعه بردارهای تولید شده که حدود ۴۰۰۰ نمونه آموزشی بود، برای آموزش شبکه RBF استفاده شد. سطح

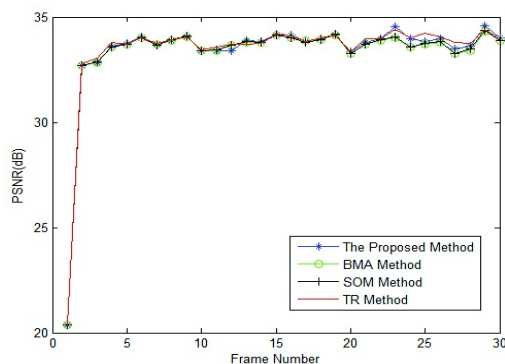
همچنین روش TR برای دنباله‌های ویدئو با حرکت سریع عملکرد بدتری نسبت به سایر روش‌ها دارد.



(الف)



(ب)



(ج)

(شکل ۵): مقادیر PSNR برای فریم‌های دنباله‌های

آزمون. الف: Suzie، ب: Football و ج: BUS (متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک‌ها ۱۰٪)

نتایج پیاده‌سازی نشان می‌دهد که روش‌های TR، AVE، MED و BMA نمی‌توانند به‌طور موفقیت‌آمیز ماکرو بلاک‌های واقع در نواحی با حرکت بالا و غیرعادی را بازسازی کنند. این بدان علت است که در این نواحی همبستگی بین ماکرو بلاک‌های آسیب‌دیده و ماکرو بلاک‌های مجاور آن در یک فریم خیلی کم است. از آنجا که این روش‌ها از نسبت‌های خطی مختلف برای تخمین بردارهای

بسیار مرتبه تکرار و از میانگین نتایج حاصله به‌عنوان نتیجه نهایی استفاده شد. اگر به منحنی‌های شکل (۵) توجه کنیم، مشاهده می‌شود که در تمام آنها در بعضی از فریم‌های خاص، روش پیشنهادی مقدار PSNR خیلی بالاتری را نسبت به روش‌های مورد مقایسه ارائه می‌دهد. این بدان علت است که در این فریم‌ها حرکات غیرعادی با همبستگی کم بیشتر از بقیه فریم‌ها وجود دارد. از طرفی میزان بهبود کیفیت در دنباله آزمون Suzie بیشتر از دنباله‌های آزمون دیگر است که دلیل آن وجود حرکات نامنظم بیشتر در بعضی از فریم‌های این دنباله آزمون است.

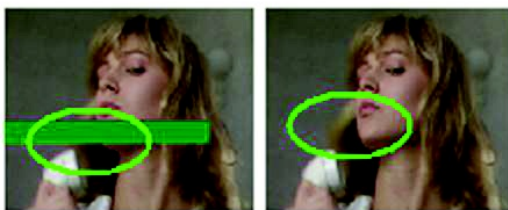
(جدول ۱): مقادیر PSNRave (بر حسب dB) برای دنباله‌های

آزمون با روش‌های مختلف اختفای خطا

دنباله ویدئو	روش اختفای خطا	متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک		
		۵٪	۱۰٪	۲۰٪
Suzie	TR	۵۷/۴۳۵۸	۵۲/۵۰۰۰	۴۷/۲۰۸۷
	AVE	۵۷/۶۶۵۰	۵۲/۶۷۱۴	۴۸/۱۳۸۳
	MED	۵۷/۳۲۶۳	۵۲/۳۸۷۷	۴۷/۹۶۰۴
	BMA	۵۸/۳۷۴۷	۵۲/۹۴۲۰	۴۸/۰۲۶۴
	SOM	۵۸/۳۷۲۸	۵۲/۹۳۰۳	۴۸/۰۰۶۲
روش پیشنهادی		۵۸/۴۳۴۹	۵۳/۱۸۸۳	۴۸/۱۵۸۱
Football	TR	۳۹/۹۹۲۱	۳۶/۷۱۲۱	۳۲/۸۶۲۶
	AVE	۳۹/۹۷۱۴	۳۶/۶۴۶۵	۳۲/۷۷۵۳
	MED	۳۹/۹۸۵۴	۳۶/۶۳۲۸	۳۲/۷۴۸۹
	BMA	۳۹/۸۹۵۶	۳۶/۷۸۰۶	۳۲/۷۷۸۱
	SOM	۳۹/۸۹۵۴	۳۶/۷۶۶۷	۳۲/۷۷۰۵
روش پیشنهادی		۳۹/۹۰۶۵	۳۶/۷۹۱۵	۳۲/۸۰۲۲
Bus	TR	۳۵/۷۵۵۲	۳۳/۳۹۲۸	۳۰/۹۳۹۸
	AVE	۳۵/۶۴۱۰	۳۳/۲۶۸۲	۳۰/۸۳۰۰
	MED	۳۵/۶۹۱۱	۳۳/۳۲۶۱	۳۰/۸۶۷۶
	BMA	۳۵/۷۳۱۷	۳۳/۲۶۳۳	۳۰/۷۴۲۷
	SOM	۳۵/۷۵۸۱	۳۳/۲۷۸۰	۳۰/۷۵۰۵
روش پیشنهادی		۳۵/۸۳۹۲	۳۳/۳۴۵۴	۳۰/۷۹۷۰

شکل (۶-الف)، فریم تخریب شده با نرخ متوسط اتلاف ۱۰٪ برای ماکرو بلاک‌ها و شکل (۶-ب)، یک فریم فاقد خطا (فریم ۵۱) در دنباله آزمون "Suzie" را نشان می‌دهند (ماکرو بلاک‌های تخریب‌شده با سطح روشنایی صفر جایگزین شده‌اند). فریم‌های بازسازی‌شده با روش‌های TR، BMA، SOM و روش پیشنهادی به ترتیب در شکل‌های (۶-ج) تا (۶-و) نشان داده شده‌اند. به‌طور مشابه شکل‌های (۷-ج) تا (۷-و) موارد فوق را برای فریم ۲۴ از دنباله آزمون "Bus" را نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل‌های مذکور مشاهده می‌شود، روش اختفای خطای پیشنهادی نتایج ذهنی و عینی بهتری را نسبت به روش‌های دیگر ارائه می‌دهد.

تخمین‌زن RBF صرفاً در هنگام وجود حرکات سریع و غیرعادی در ویدئو، روش پیشنهادی در عین حال که زمان محاسبات را بسیار ناچیز افزایش می‌دهد، قادر است بردارهای حرکت آسیب‌دیده در این نواحی را با دقت خوب تخمین بزند. ویژگی دیگر روش پیشنهادی، مصالحه بین کیفیت ویدئوی بازسازی‌شده و پیچیدگی محاسبات (با تغییر سطح آستانه Th) است. نتایج حاصل از پیاده‌سازی نشان می‌دهد که روش پیشنهادی نسبت به روش‌های متداول موجود، هم از لحاظ کیفیت بصری و هم از نظر مقدار PSNR برتری دارد؛ به‌طوری که در بعضی از فریم‌ها مقدار میانگین PSNR برای دنباله‌های مختلف آزمون در نرخ اتلاف ماکروبلوک ۱۰٪ حدود ۱/۵dB نسبت به روش BMA افزایش نشان می‌دهد.



(الف)

(ب)



(ج)

(د)



(ه)

(و)

(شکل ۶): مقایسه کیفیت ویدئوی بازسازی‌شده برای فریم ۵۱ در دنباله آزمون "Suzie" با میانگین نرخ اتلاف ۱۰٪. الف: تصویر تخریب‌شده، ب: تصویر اصلی، ج: تصویر بازسازی‌شده با روش TR، د: تصویر بازسازی‌شده با روش BMA، ه: تصویر بازسازی‌شده با روش SOM، و: تصویر بازسازی‌شده با روش پیشنهادی.

حرکت استفاده می‌کنند، باید همبستگی بین ماکروبلوک‌ها زیاد باشد تا عملکرد قابل قبولی ارائه کنند. در مقابل، روش پیشنهادی با بهره‌گیری از خواص غیرخطی شبکه‌های عصبی می‌تواند بردارهای حرکت آسیب‌دیده در این نواحی را با دقت بیشتر تخمین بزند.

جهت ارزیابی پیچیدگی محاسبات روش پیشنهادی، زمان اجرای روش‌های BMA، SOM و پیشنهادی اندازه‌گیری شد (از بین روش‌های متداول، روش BMA بیش‌ترین زمان اجرا را دارد). زمان بازسازی هر ماکروبلوک برای دنباله‌های مختلف آزمون در جدول (۲) آمده است. متوسط این زمان در روش پیشنهادی برای دنباله‌های آزمون مورد استفاده در سه نرخ اتلاف ماکروبلوک برابر با ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ به میزان ناچیز (۵/۷۳۳۱ میلی‌ثانیه) از روش BMA بیشتر است. به هر حال، روش پیشنهادی می‌تواند کیفیت خیلی بهتری را در نواحی حرکت بالا و غیرعادی ارائه دهد، به‌طوری که در بعضی از فریم‌ها مقدار میانگین PSNR برای دنباله‌های مختلف آزمون در نرخ اتلاف ماکروبلوک ۱۰٪ حدود ۱/۵dB نسبت به روش BMA افزایش نشان می‌دهد. از طرفی زمان بازسازی هر ماکروبلوک در روش SOM به میزان ۱۹/۹۹۷۱ میلی‌ثانیه نسبت به روش BMA و ۱۴/۲۶۴۰ میلی‌ثانیه نسبت به روش پیشنهادی بیش‌تر است که عیب عمده‌ای برای این روش محسوب می‌گردد. این بدان علت است که در روش SOM صرف نظر از ماهیت دنباله ویدئو، همواره از روش شبکه‌های عصبی استفاده می‌شود که این پیچیدگی محاسبات آن را زیاد می‌کند. همچنین یک مصالحه بین کیفیت ویدئوی بازسازی‌شده و پیچیدگی محاسبات (با تغییر سطح آستانه Th) وجود دارد. در نتیجه روش پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان یک روش با پیچیدگی محاسبات کم و عملکرد PSNR قابل قبول در بین روش‌های موجود حتی در کاربردهای بی‌درنگ نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۶- نتیجه‌گیری

در این مقاله یک روش اختفای خطای زمانی جدید برای ارسال ویدئو در محیط‌های مستعد خطا با استفاده از شبکه عصبی RBF ارائه شد. در روش پیشنهادی بر اساس مقدار $\min(\|A_i\|)$ به‌طور پویا یکی از دو روش تخمین‌زن RBF و روش BMA برای تخمین بردارهای حرکت ماکروبلوک‌های آسیب‌دیده استفاده می‌گردد. به‌دلیل به‌کارگیری

Ghanbari, M., 1993. Cell-loss Concealment in ATM Video Codes, IEEE Trans. Circuits Sys., Video Technol., Vol. 3, pp. 238-247.

Pyun, J.-Y., Choi, H.-J., 2008. Error Concealment Aware Error Resilient Video Coding over Wireless Burst-Packet-Loss Network, Consumer Comm. And Networking Conf., CCNC 5th IEEE, pp. 824-828.

Suh, J. W., Ho, Y. S., 1999. Recovery of motion vector for error concealment, Proc. IEEE Tencon, pp. 750-753.

Suh, J. W., Ho, Y. S., 1997. Error concealment based on directional interpolation, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 43, No. 3, pp. 295-302.

Narura, A., Lim, J. S., 1997. Error concealment techniques for an all-digital high-definition television system, in Proc. SPIE Conf. Visual Communication Image Processing, Cambridge, MA, pp. 304-315.

Lam, W. M., Reibman, A., Liu, R. B., 1993. Recovery of Lost or Erroneously Received Motion Vectors, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 5, pp. 417-420.

Chen, Y., et. al., 2008. Video Error Concealment Using Spatio-Temporal Boundary Matching and Partial Differential Equation, IEEE Trans. On Multimedia, Vol. 10, No. 1, pp. 2-15.

Huang, Z., Yi, B., 2009. A New Temporal Error Concealment Algorithm for H.264 Using Motion Strength of Neighboring Area, First International Workshop on Education Technology and Computer Science, pp. 569-572.

Zhang, J., Liu, M., 2010. A New Temporal Error Concealment Scheme Based on Multiple Reference Frames, International Conference on Multimedia Technology, pp. 1-4.

Pongpadpinit, S., 2009. Motion Vector Recovery for Error Concealment Based on Angular Similarity, Digital signal Processing, 2009 16th International Conference on, pp. 1-9.

Huang, Y.-L., Lien, H.-Y., 2006. Temporal Error Concealment for MPEG Coded Video Using a Self-Organizing Map, IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 52, No. 2, pp. 676-681.

Kohonen, T., 1988. Self-Organization and Associative Memory, 2 ed. New York: Springer-Verlag.

Shao S.-C., Chen J.-H., 2011. A novel error concealment approach based on general regression neural network, International Conference on Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), pp. 4679 - 4682.



(الف)

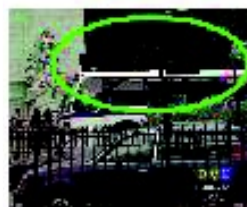
(ب)



(ج)



(د)



(ه)



(و)

شکل ۷: مقایسه کیفیت ویدئوی بازسازی شده برای فریم ۲۴ در دنباله آزمون "Bus" با میانگین نرخ اتلاف ۱۰٪. الف: تصویر تخریب شده، ب: تصویر اصلی، ج: تصویر بازسازی شده با روش TR، د: تصویر بازسازی شده با روش BMA، ه: تصویر بازسازی شده با روش SOM، و: تصویر بازسازی شده با روش پیشنهادی.

جدول ۲: متوسط زمان (msec) بازسازی هر ماکرو بلاک برای

دنباله های آزمون

دنباله	روش	متوسط نرخ اتلاف ماکرو بلاک		
		۵٪	۱۰٪	۲۰٪
Suzie	اختفای خطا			
	ویدئو			
	BMA	۱/۰۳۴۷	۰/۰۷۲۲	۰/۵۹۸۶
	SOM	۳۳/۱۵۰۶	۳۲/۷۸۱۱	۳۲/۶۰۹۹
	روش پیشنهادی	۱۹/۰۰۱۳	۱۴/۰۹۴۰	۱۲/۱۳۸۴
Football	BMA	۱/۱۱۹۶	۰/۷۲۱۵	۰/۶۶۱۱
	SOM	۱۶/۶۵۳۳	۱۵/۹۱۰۹	۱۵/۹۷۶۳
	روش پیشنهادی	۹/۸۹۷۱	۵/۳۷۳۱	۳/۶۳۵۶
Bus	BMA	۱/۳۶۶۸	۱/۱۸۸۹	۰/۹۹۰۴
	SOM	۳۲/۶۵۳۳	۳۵/۸۷۳۳	۳۲/۱۱۴۱
	روش پیشنهادی	۵/۸۹۹۸	۴/۱۷۷۸	۲/۳۳۳۹

۷- مراجع

Haskell, P., Messerschmitt, D., 1992. Resynchronization of motion compensated video affected by ATM cell loss, IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. 3 pp. 545-548.

داده‌های ویدئو در برابر خطاهای کانال، اختفای خطای داده‌های تصویری و واترمارکینگ تصاویر دیجیتال می‌باشد.

نشانی رایانامه ایشان عبارت است از:

hghaneiy@yazd.ac.ir

Liu, Y., 2006. Create Stable Neural Networks by Cross-Validation," IEEE International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN '06.

قانع‌ی حسین؛ خادمی مرتضی، ۱۳۹۰. روشی جدید برای اختفای خطای زمانی برای دنباله‌های ویدئو با استفاده از شبکه عصبی GRNN، نوزدهمین کنفرانس مهندسی برق ایران، تهران، ص ۲۷۶۹-۲۷۶۴.

ChenJ.-H., Shao S.-C., ChenW.-H., 2011.Improving temporal error concealment by GRNN in video communication, International Conference on Multimedia and Expo (ICME), pp. 1-4.

Abdul H. S., 2002.Compressed video communications, John wiley and sons.

Park,J.,Sandberg, I. W.,1991.Universal Approximation Using Radial Basis Function Networks, Neural Computation, Vol. 3, pp. 247-257.

Park, J., Sandberg, I. W., 1993.Approximation and Radial Basis Function Networks, Neural Computation, Vol. 5, pp. 305-316.

Sun, M. T., Reibman, A. R., Dekker, M., 2001. Compressed Video over Networks, New york.

Wang, Y.,Zhu, Q.-F.,1998.Error Control and Concealment for Video Communication: A Review, Proc. IEEE, Vol. 86, No. 5, PP. 974-997.

Barjatya, A.,2004. Block Matching Algorithms for Motion Estimation, DIP 6620 Spring.



حسین قانع‌ی یخ‌دان مدارک

کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در رشته مهندسی برق الکترونیک و مخابرات سیستم از دانشگاه صنعتی اصفهان و دانشگاه صنعتی خواجه

نصیرالدین طوسی دریافت کردند. ایشان در سال ۱۳۸۸ دکترای خود را در رشته مهندسی برق مخابرات (سیستم) در دانشگاه فردوسی مشهد به اتمام رساندند. وی در حال حاضر استادیار گروه مخابرات دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر دانشگاه یزد می‌باشد. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان پردازش تصاویر ثابت و متحرک (ویدئو)، مقاوم‌سازی

فصلنامه



سال ۱۳۹۲ شماره ۱ پیاپی ۱۹

۱۲