

ارائه روش میانگین وصله‌های سه بعدی به منظور حذف شی متحرک و ترمیم ویدئو

فاطمه شیخعلیشاهی^۱، سعید سریزدی^۲ و حسین نظام آبادی پور^۲

چکیده

این مقاله، روش میانگین‌های غیرمحلی را در حالت سه بعدی برای کاربرد ترمیم ویدئو پیشنهاد می‌کند. این روش شامل مراحل اولویت‌بندی پیکسل‌های هدف و ترمیم آنها می‌شود. اولویت‌بندی پیکسل‌های هدف با توجه به اطلاعات ساختار و بافت وصله پیرامون آن (وصله هدف) انجام می‌پذیرد. برای دسته‌بندی وصله به بافت و ساختار از معیار آنتروپی استفاده می‌شود. الگوریتم پیشنهادی برای تخمین پیکسل‌های خسارت دیده از چندین وصله غیرمحلی مشابه به جای بهترین وصله منطبق استفاده می‌کند. نتایج کمی و کیفی آزمایش‌ها در زمینه حذف شی متحرک از تصویر ویدئو، برتری روش پیشنهادی در مقایسه با روش‌های مرسوم را تایید می‌کند.

کلید واژه‌ها

ترمیم ویدئو، حذف شی متحرک، میانگین‌های غیرمحلی، وصله سه بعدی، اولویت‌بندی پیکسل‌های هدف.

۱ مقدمه

گونه‌ای ترمیم می‌کنند تا تصویر طبیعی به دست آید، درحالی‌که هدف از ترمیم ویدئو انسجام و پیوستگی زمانی-مکانی ویدئوی بازسازی شده است که دشوارتر است. به هر حال تحقیقات مختلفی در زمینه ترمیم تصویر انجام شده است که به طور موفقیت‌آمیزی مسایل ترمیم تصویر را حل می‌کنند، به طوری‌که نرم‌افزارهایی مانند فتوشاب هر ساله به روز می‌شوند. اما تحقیق در زمینه ترمیم ویدئو به دلیل چالش‌هایی که هنوز جای کار دارند، ادامه دارد.

در سال‌های اخیر چهار دسته روش مختلف برای ترمیم ویدئو و بازسازی ویدئوی خسارت‌دیده ارائه شده است: الف) روش‌های مبتنی بر معادلات دیفرانسیل جزئی [۳] و [۷] ب) روش‌های مبتنی بر تبدیل زمان-فرکانس [۸] و [۹] ج) روش‌های مبتنی بر شی [۱۰] تا [۱۵] د) روش‌های مبتنی بر وصله [۱۶] تا [۲۰].

اصطلاح ترمیم در زمینه پردازش سیگنال تصویر و ویدئو برای پیکسل‌هایی بکار می‌رود که لازم است به گونه‌ای بازسازی شوند که برای بیننده سیگنال حاصل رضایت‌بخش باشد [۱]. امروزه، تحقیق در مورد ترمیم ویدئو به دو دلیل مهمتر از ترمیم تصویر است. اولاً ترمیم ویدئو کاربردهای متعددی مانند حذف اشیاء ناخواسته از ویدئو، بازسازی ویدئوی متحرک خسارت دیده و پایداری ویدئو [۲] را دارد. ثانیاً اکثر روش‌های متداول ترمیم تصویر [۳] تا [۶] تصویر خسارت‌دیده را در حوزه مکان به

این مقاله در آذرماه سال ۱۳۹۵ دریافت، در فروردین‌ماه ۱۳۹۶ بازنگری و در تیرماه همان سال پذیرفته شد.

^۱ بخش مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان، انجمن پژوهشگران جوان.

رایانامه: fatemalishahi@yahoo.com

^۲ دانشکده مهندسی برق، دانشگاه شهید باهنر کرمان.

رایانامه: saryazdi@uk.ac.ir و nezam@uk.ac.ir

در تحقیقاتی با استفاده از روش مبتنی بر اولویت، اشیاء متحرک را در شرایط شامل پس‌زمینه ایستان، دوربین ثابت و روشنایی پایدار حذف کردند [۳۱]، [۳۷] و [۳۹]. چون هر فریم به طور جداگانه در این روش‌ها ترمیم می‌شود، ویدئوی بازسازی شده از ناپیوستگی زمانی فریم‌ها رنج می‌برد. بنابراین، مساله ترمیم این‌گونه ویدئوها هنوز جای کار دارد.

در این مقاله، توانایی الگوریتم ترمیم به گونه‌ای بهبود می‌یابد که انسجام زمانی-مکانی ویدئوی ترمیم شده، حفظ شود. این الگوریتم شامل دو گام مهم است که عبارتند از: آشکارسازی پیکسل‌های مجهول مبتنی بر بیشترین اولویت و تخمین پیکسل‌های خسارت‌دیده. در این روش، اولویت‌بندی پیکسل‌های هدف بر اساس میزان اهمیت آنها در فضای سه بعدی انجام می‌شود. سپس پیکسل هدف با بالاترین اولویت برای ترمیم انتخاب می‌شود. بعد از آن یک وصله هدف پیرامون پیکسل با بالاترین اولویت در نظر گرفته می‌شود. در یک همسایگی مشخص (از پیش تعیین شده) پیرامون وصله هدف انتخاب شده، وصله‌های مشابه با وصله هدف جستجو شده و شبیه‌ترین آنها کشف می‌شوند. در نهایت ترکیب خطی این وصله‌های منتخب مشابه برای تخمین پیکسل‌های مجهول وصله هدف به کار می‌رود. لازم به ذکر است که در روش پیشنهادی وصله هدف و وصله‌های مشابه سه‌بعدی تعریف شده و بعد زمان نیز در کنار بعد مکان لحاظ می‌شود. از نوآوری‌های روش پیشنهادی می‌توان به چگونگی اولویت‌بندی پیکسل‌ها، تعریف سه‌بعدی وصله‌ها و نحوه تخمین پیکسل‌های مجهول وصله هدف اشاره کرد.

ادامه مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی می‌شود. بخش ۲، الگوریتم‌های پایه مانند روش ترمیم تصویر مبتنی بر اولویت و الگوریتم میانگین غیرمحل را شرح می‌دهد. سپس، بخش ۳ الگوریتم پیشنهادی را معرفی می‌کند. بخش ۴ نتایج آزمایش را بحث می‌کند. در پایان در بخش ۵ نتایج مقاله بیان می‌شود.

۲ الگوریتم‌های پایه

الگوریتم پیشنهادی برخی از ایده‌های خود را از الگوریتم‌های پایه ترمیم تصویر مبتنی بر اولویت و ترمیم تصویر مبتنی بر میانگین‌های غیرمحل و ام گرفته است. این روش با تلفیق این دو الگوریتم پایه و ارائه چند روش ابتکاری جدید برای ترمیم ویدئو ایجاد می‌شود.

۲-۱ ترمیم تصویر مبتنی بر اولویت

در مرجع [۲۵] برای تکمیل نواحی از بین رفته از روش اولویت‌بندی پیکسل‌ها استفاده می‌شود. این روش، بر پایه ترکیب بافت است [۴۰]. برای این منظور از راهبرد اولویت‌بندی پیکسل‌های روی مرز ناحیه هدف استفاده می‌کند. در راهبرد اولویت‌بندی به کار رفته، پیکسل‌هایی که در امتداد لبه‌های

اولین روش ترمیم ویدئو [۷]، روش ترمیم تصویر مبتنی بر PDE^۱ [۳] است که توسط برتالمیو ارائه شد. کارایی موثر روش PDE برای ترمیم نواحی کوچک گزارش شده است. با استفاده از روش‌های مبتنی بر تبدیل زمان-فرکانس، ویدئو به صورت تنک نمایش داده می‌شود و ویژگی‌های مورد نیاز مانند تعیین نواحی ساختار و متحرک ویدئو برای ترمیم آن اعم از حوزه زمان-فرکانس یا حوزه پیکسل به دست می‌آید [۸] و [۹]. در زمینه ترمیم ویدئو مبتنی بر شی، بازسازی اشیاء متحرک خسارت‌دیده (به طور کامل) در ویدئویی که دارای زمینه ایستان، دوربین ثابت و حرکت تکراری است، ارائه شده است [۱۰] تا [۱۵].

روش‌های مبتنی بر وصله، یکی از متداولترین روش‌های مورد استفاده در ترمیم ویدئو است که معمولاً برای ترمیم پس‌زمینه ویدئو در دسته روش‌های دوم و سوم به کار برده می‌شوند. این نوع روش‌ها برای ترمیم شی متحرک خسارت‌دیده (به طور جزئی) و حذف شی موثر هستند و به دو گروه عمده تقسیم می‌شوند. اولین گروه از روش‌های مبتنی بر وصله به گونه‌ای عمل می‌کند که تمام پیکسل‌های خسارت‌دیده به طور همزمان در یک فرآیند تکراری ترمیم شوند [۲۰]. در این زمینه برای کاهش مشاهده پدیده بلور شدن و پرش مصنوعی شی متحرک و بهبود کارایی الگوریتم اولیه ترمیم مبتنی بر وصله بهینه، مطالعاتی انجام گرفته است [۱۶] تا [۱۹] و [۲۱] تا [۲۴]. دومین گروه از روش‌های مبتنی بر وصله، ویدئوی خسارت‌دیده را بر اساس اولویت‌بندی پیکسل‌های روی مرز حفره (ناحیه ترمیم) و جستجوی بهترین وصله منطبق ترمیم می‌کنند [۲۵].

روش‌های اولویت‌بندی، پیوستگی حرکت را در نواحی حفره همانند نواحی معلوم به شرح ادامه حفظ می‌کند. در [۲۶] و [۲۷]، با به کار بردن وصله‌های سه بعدی گزارش شد که تا حدودی پیوستگی زمانی حفظ شده است. عامل موثر دیگری که نقش موثری در انسجام حرکت فریم‌های ویدئویی داشته است، اولویت دادن به پیکسل‌های متحرک بوده است [۹]، [۲۸] تا [۳۰]. در تحقیقاتی از [۲۹]، [۳۲] تا [۳۶] گزارش شده است که استفاده از تخمین حرکت در بردار ویژگی موجب پیوستگی حرکت در فریم‌های متوالی ویدئو شده است. در [۲۹] با موزایک‌بندی ویدئو در زمان کمتری بهترین وصله منطبق در حفره‌ها جایگزین شده است. در برخی تحقیقات با جستجوی وصله‌های نامزد در کل ویدئو [۲۶]، [۲۸]، [۳۲] و [۳۷] سعی کرده‌اند که مساله پیوستگی زمانی فریم‌ها را حل کنند. مساله دیگری که در کاری از [۲۸]، [۳۳]، [۳۸] و [۳۹] گزارش شده در مورد جایگزین کردن پیکسل‌های مجهول در حفره راهکارهایی ارائه شده است تا به نوعی مساله پیوستگی را حل کنند.

¹ partial differential equation

آنکه به تعداد پیکسل‌های معلوم در وصله هدف ψ_p وابسته است به اطلاعات لبه بودن پیکسل p نیز وابسته است و لبه بودن پیکسل p باعث افزایش $D(p)$ می‌شود. بنابراین ترم اولویت بزرگتر متناسب با حفظ پیوستگی لبه‌های مهمتر است. از دیدگاه ریاضی در گام تکرار t ام، پیکسلی انتخاب می‌شود که دارای ترم اولویت بیشتر است. این پیکسل با \hat{p} نشان داده می‌شود:

$$\hat{p} = \arg \max_{p \in \delta\Omega} P(p) \quad (4)$$

بنابراین، وصله‌ای به مرکزیت پیکسل \hat{p} در نظر گرفته می‌شود. سپس بهترین وصله منطبق $\psi_{\hat{q}}$ از ناحیه منبع با معیار کمینه میانگین مجذور اختلاف بین وصله هدف $\psi_{\hat{p}}$ و وصله‌های منبع ψ_q به صورت زیر تعیین می‌شود:

$$\psi_{\hat{q}} = \arg \min_{\psi_q \in \Phi} d(\psi_{\hat{p}}, \psi_q) \quad (5)$$

بنابراین، پیکسل‌های مجهول وصله $\psi_{\hat{p}}$ با $\psi_{\hat{q}}$ جایگزین می‌شود. در پایان هر مرحله ترمیم، ترم اطمینان روی مرز جدید ناحیه هدف با رابطه ۶ به روز می‌شود:

$$C(p) = C(\hat{p}) \quad \forall p \in \psi_{\hat{p}} \cap \Omega \quad (6)$$

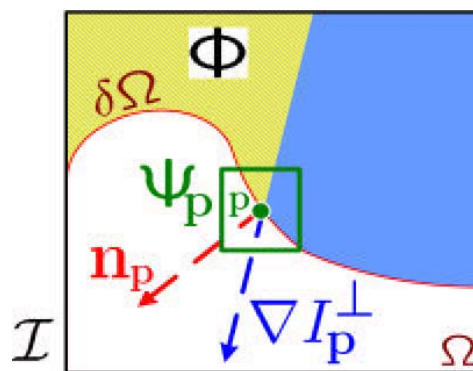
در هر تکرار الگوریتم فوق، بخشی از پیکسل‌های بهترین وصله در ناحیه هدف جایگزین می‌شوند. وقتی فرآیند ترمیم متوقف می‌شود که ناحیه هدف تکمیل شود. به دلیل ترمیم ساختارهای خطی در الگوریتم مذکور، برخی محققین آن را برای ترمیم ویدئو بهبود داده‌اند [۲۶] تا [۳۰] و [۳۲] تا [۳۶].

۲-۲ الگوریتم میانگین‌های غیرمحلی

الگوریتم میانگین‌های غیرمحلی اولین بار برای کاربرد حذف نویز پیشنهاد شد [۴۱]. این الگوریتم از افزودگی بالای اطلاعات درون تصویر طبیعی استفاده می‌کند تا پیکسل‌های تصویر نویزی را بازسازی کند. در NLMs مقدار هر پیکسل نویزی با میانگین وزن‌دار تمام پیکسل‌های متناظر در وصله‌های موجود تخمین زده شده و جایگزین می‌شود. در [۴۱] با فرض اینکه تصویر یک فرآیند تصادفی نسبتاً ایستاد باشد، ثابت شد که الگوریتم NLMs به طور مجانبی همگرا است. تاکنون، برخی محققین این الگوریتم را برای حذف نویز تصویر بهبود داده‌اند [۴۲] تا [۴۵].

روش‌های حذف نویز تصویر در سطح پیکسل و روش‌های ترمیم تصویر در سطح وصله شباهت زیادی دارند. به همین دلیل، وانگ و همکارانش الگوریتم NLMs را برای ترمیم نواحی کوچک تصویر خسارت‌دیده استفاده کردند [۴۶]. در مقایسه با روش ترمیم تصویر مبتنی بر بهترین وصله، روش ترمیم تصویر مبتنی بر NLMs از ویژگی خودشبه‌اشتی تصویر بهره‌برداری می‌کند. در روش NLMs، نحوه اولویت‌بندی ترمیم پیکسل‌های

طولانی قرار دارند از اولویت بالاتری برای ترمیم برخوردار می‌شوند. جزئیات این الگوریتم به شرح ادامه است. ابتدا کاربر ناحیه هدف (حفره) Ω را مشخص می‌کند و منحنی پیرامونی ناحیه هدف $\partial\Omega$ را تعیین می‌کند (شکل ۱ را ببینید). تمام پیکسل‌های معلوم تصویر I ، ناحیه منبع Φ محسوب می‌شود. به عبارتی $\Phi = I - \Omega$. ناحیه منبع در تمام گام‌های الگوریتم ثابت است. در حقیقت، از ناحیه منبع برای پیدا کردن بهترین وصله منطبق در فرآیند تکمیل حفره (ناحیه هدف) استفاده می‌شود. اندازه وصله ψ_p به گونه‌ای تعیین می‌شود که بزرگترین اندازه بافت قابل تشخیص در ناحیه منبع را شامل شود.



شکل ۱ نمایش پارامترهای مورد استفاده در الگوریتم ترمیم تصویر مبتنی بر اولویت شامل: وصله ψ_p ، بردار نرمال n_p در مرز $\delta\Omega$ ، ناحیه هدف Ω ، بردار عمود بر گرادیان تصویر ∇I_p^\perp در نقطه p ، کل تصویر I [۲۵]

سپس، اولویت ترمیم برای هر پیکسل روی مرز (منحنی پیرامونی ناحیه هدف) محاسبه می‌شود. برای این منظور، وصله ψ_p پیرامون هر پیکسل روی مرز $p \in \delta\Omega$ در نظر گرفته می‌شود. سپس اولویت آن با $P(p)$ تعریف می‌شود:

$$P(p) = C(p)D(p) \quad (1)$$

که در آن $D(p)$ ترم اطلاعات است که با رابطه ۲ تعریف می‌شود:

$$D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot n_p|}{\alpha} \quad (2)$$

در این رابطه α ضریب نرمالیزاسیون است. n_p بردار نرمال واحد روی مرز $\delta\Omega$ در پیکسل p است و ∇I_p^\perp بردار عمود بر گرادیان تصویر در پیکسل p است. $C(p)$ ترم اطمینان است که با رابطه ۳ تعریف می‌شود:

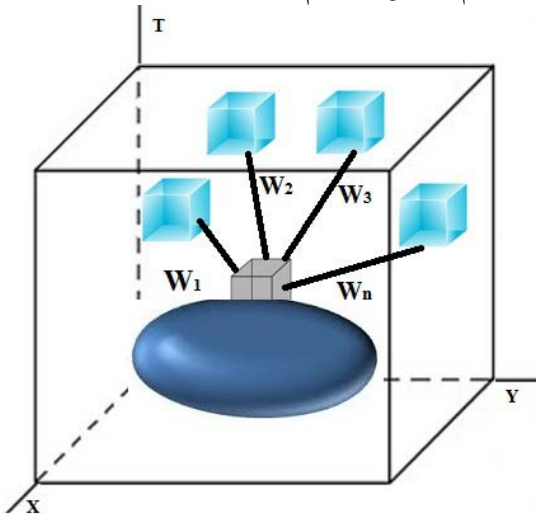
$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \psi_p \cap (I - \Omega)} C(q)}{|\psi_p|} \quad (3)$$

که در آن $C(q)$ ترم اطمینان است و متناسب با تعداد پیکسل‌های معلوم در وصله هدف به مرکزیت پیکسل p است. به طور خلاصه می‌توان نتیجه گرفت که ترم اولویت علاوه بر

- توسعه و بهبود روش میانگین‌های غیرمحملی از حالت دوبعدی به حالت سه بعدی برای استفاده در کاربردهای ویدئویی
- تعیین تعداد وصله‌های منبع بصورت وقتی

۲-۳ جزئیات روش پیشنهادی

الگوریتم پیشنهادی دارای دو گام اساسی است. ابتدا تمام پیکسل‌هایی که روی سطح حفره قرار دارند، اولویت‌بندی می‌شوند. برای این منظور یک روش جدید پیشنهاد شده است که در بخش (۳-۲-۱) به تشریح آن می‌پردازیم. پس از اولویت‌بندی پیکسل‌ها، وصله‌ای به مرکزیت پیکسل با بالاترین اولویت برای ترمیم انتخاب می‌شود. برای ترمیم از روش ترمیم تصویر مبتنی بر میانگین‌های غیرمحملی در حالت سه بعدی استفاده می‌شود. این الگوریتم از تعمیم الگوریتم دوبعدی NLMs توسط مولفان پیشنهاد شده و مورد استفاده قرار می‌گیرد که در بخش (۳-۲-۲) به تفصیل ارائه خواهد شد. این روند تا زمانی که تمام پیکسل‌ها ترمیم شوند، ادامه می‌یابد.



شکل ۲ حجم ویدئویی شامل: حجم ناحیه هدف (بیضوی شکل)، وصله سه بعدی هدف (مکعب خاکستری)، وصله های نامزد جستجو شده در همسایگی وصله هدف (مکعب های آبی رنگ)، حجم ویدئویی (مکعب بزرگ)، محورهای X و Y بیانگر مکان در فریم و محور T بیانگر زمان وتوالی فریمها، w_1, w_2, \dots, w_n بیانگر ضرایب شباهت بین وصله هدف و وصله های نامزد جستجو شده.

۳-۱-۱- اولویت‌بندی پیکسل‌های حفره

اولین گام الگوریتم پیشنهادی، اولویت‌بندی پیکسل‌های خسارت دیده در فضای سه‌بعدی زمانی-مکانی است. برای این منظور، وصله w_p برای هر پیکسل $p \in \mathcal{X}$ روی سطح حفره در نظر گرفته می‌شود. سپس اولویت آن $P(p)$ با رابطه v تعریف می‌شود:

$$P(p) = C(p).D(p) \quad (7)$$

خسارت‌دیده همانند الگوریتم ترمیم تصویر مبتنی بر اولویت انجام می‌شود [۲۵]. لازم به ذکر است، در روش ترمیم تصویر مبتنی بر NLMs، ناحیه خسارت‌دیده کوچک است. در این روش تعداد وصله‌های نامزد مشابه جستجو شده و دیگر پارامترها به طور تجربی تعیین می‌شود. این روش برای تصاویر ثابت طراحی شده است و حل مساله ترمیم ویدئو در حالت دو بعدی با این روش مطلوب نیست؛ زیرا منجر به ناپیوستگی زمانی فریم‌های ویدئویی می‌شود.

۳ روش پیشنهادی

در ادامه ابتدا ایده اصلی روش پیشنهادی مطرح می‌شود و بعد از آن جزئیات روش ارائه می‌شود.

۳-۱ ایده اصلی

وقتی که هر فریم ویدئو به طور مستقل براساس روش ترمیم ویدئو مبتنی بر اولویت تکمیل می‌شود، ناپیوستگی زمانی در فریم‌های ویدئویی مشاهده می‌شود. زیرا به کاربردن وصله دوبعدی درحوزه مکان، فقط انسجام مکانی درون فریم را حفظ می‌کند. درحالی‌که این نوع وصله‌ها، همبستگی زمانی نسبتاً بالای هر جفت فریم متوالی را نادیده می‌گیرند.

برای بهبود انسجام زمان-مکان ویدئوی ترمیم‌شده، پیشنهاد می‌شود که روش از یک وصله سه‌بعدی زمانی-مکانی (که از لحاظ مکانی و زمانی روی هر پیکسل سطح حفره شناور است) استفاده کند. برای این منظور، سیگنال ویدئوی خسارت‌دیده به فرم حجم ویدئویی زمانی-مکانی V در نظر گرفته می‌شود (شکل ۲ را ببینید).

در این شکل، ناحیه هدف Ω که توسط کاربر تعیین می‌شود، یک حجم بیضوی است. ناحیه منبع Φ بر اساس اختلاف بین ویدئو V و ناحیه (حجم) هدف Ω تعریف می‌شود ($\Phi = V - \Omega$). ناحیه منبع در تمام الگوریتم‌های ترمیم ثابت است. درحقیقت، از ناحیه منبع برای دستیابی به وصله‌های مشابه‌تر در فرآیند تکمیل حفره استفاده می‌شود. اندازه وصله w_p روی سطح پیرامونی ناحیه هدف \mathcal{X} به گونه‌ای تعیین می‌شود که شامل بزرگترین اندازه بافت متحرک قابل تشخیص در حجم منبع باشد. در شکل ۲ مکعب کوچک خاکستری، وصله هدف است و وصله‌های آبی، وصله‌های موجود در همسایگی وصله هدف هستند که به وصله هدف شباهت بیشتری دارند.

پس از تعریف ویدئو به صورت یک حجم و بیان مساله ترمیم از منظر سه بعدی، ارائه سایر نوآوری‌های مقاله و سهم مشارکت آن بدین شرح است:

- ارائه راهکار برای اولویت‌بندی پیکسل‌های روی سطح پیرامونی ناحیه هدف (\mathcal{X})

در $N(p)$ است. برای این منظور، فرض کنید خطاهای محاسبه شده بین وصله هدف و وصله‌های منبع E_1, E_2, \dots, E_N باشند و احتمال این خطاها به ترتیب p_1, p_2, \dots, p_N باشند. آنگاه متوسط اطلاعات در هر خطا (آنتروپی خطا) به فرم زیر بدست می‌آید:

$$H = -\sum_{i=1}^N p_i \log_2 p_i \quad (12)$$

و بیشینه آنتروپی H_{\max} نیز از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{\max} = \log_2 N \quad (13)$$

آنتروپی نرمالیزه شده خطای بین وصله‌هدف و وصله‌های نامزد با $H_N(p)$ نمایش داده می‌شود و به فرم زیر محاسبه می‌شود:

$$H_N(p) = \frac{H}{H_{\max}} \quad (14)$$

اگر وصله هدف حاوی بافت باشد و همسایگی آن نیز بافت باشد، $H_N(p)$ بیشینه می‌شود.

لازم به ذکر است خطای E بین وصله هدف ψ_p و وصله منبع ψ_q با در نظر گرفتن بردار رنگ (R, G, B) محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{1}{3 \times N} \sum_{(x,y,t)} \left(\begin{aligned} & \left\| \psi_p(x,y,t) - \psi_q(x,y,t) \right\|_R^2 \\ & + \left\| \psi_p(x,y,t) - \psi_q(x,y,t) \right\|_G^2 \\ & + \left\| \psi_p(x,y,t) - \psi_q(x,y,t) \right\|_B^2 \end{aligned} \right) \quad (15)$$

که (x, y, t) مختصات پیکسل در فضای سه بعدی ویدئو است و N تعداد پیکسل‌های معلوم وصله هدف است.

بر این مبنا، $D(p)$ ترم اطلاعات پیشنهاد شده با رابطه ۱۶ تعریف می‌شود:

$$D(p) = \left(1 - \frac{H_{\psi_p}(p) + H_N(p)}{2} \right) f(p) \quad (16)$$

در حالتی که وصله هدف حاوی اطلاعات لبه باشد و همسایگی آن حاوی امتداد لبه باشد، $H_N(p)$ کم شده و ترم اطلاعات افزایش می‌یابد و برعکس. لازم به ذکر است $D(p)$ در فاصله $[0,1]$ در نظر گرفته می‌شود. در ادامه کار الگوریتم پیکسلی که دارای بالاترین اولویت باشد، طبق رابطه ۴ در مرحله بعدی برای ترمیم انتخاب می‌شود.

۳-۱-۲- تخمین پیکسل‌های خسارت دیده

دومین گام الگوریتم پیشنهادی، تخمین پیکسل‌های خسارت دیده است. برای این منظور، بعد از اینکه پیکسل خسارت دیده در اولویت ترمیم قرار گرفت، همسایگی $N(\hat{p})$ پیرامون پیکسل \hat{p} در نظر گرفته می‌شود. از آنجایی که این پیکسل از بیشترین اولویت برخوردار است، اطمینان حاصل می‌شود که تعداد وصله‌های نامزد مناسب در $N(\hat{p})$ موجود است. بر اساس

که در آن $D(p)$ ترم اطلاعات و $C(p)$ ترم اطمینان برای وصله سه بعدی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \psi_p \cap (V-\Omega)} C(q)}{|\psi_p|} \quad (8)$$

در رابطه ۸، $C(q)$ ترم اطمینان در ناحیه هدف، صفر و در ناحیه منبع، یک لحاظ می‌شود. در این رابطه، ترم اطمینان $C(p)$ فاصله $[0,1]$ مقداردهی می‌شود که متناسب با تعداد پیکسل‌های معلوم در وصله هدف به مرکزیت پیکسل p است.

از آنجا که این مقاله قصد دارد در فضای سه بعدی اولویت‌بندی پیکسل‌های خسارت دیده را تعریف کند، لازم است ترم جدیدی که پیوستگی اطلاعات زمانی-مکانی را تضمین می‌کند به جای رابطه ۲ جایگزین شود. برای تعریف ترم اطلاعات جدید، پیشنهاد می‌شود همسایگی سه بعدی وصله هدف به مرکزیت پیکسل p روی سطح حفره (که با $N(p)$ نشان داده می‌شود) به گونه‌ای در نظر گرفته شود که وصله‌های نامزد مناسب در آن همسایگی وجود داشته باشند. منظور از وصله‌های نامزد مناسب، وصله‌هایی است که همه پیکسل‌های آنها معلوم باشند. نسبت تعداد وصله‌های نامزد به تعداد کل وصله‌ها در همسایگی $N(p)$ با $f(p)$ نمایش داده می‌شود و در محاسبه ترم اطلاعات لحاظ می‌شود.

اگر وصله هدف ψ_p حاوی اطلاعات لبه‌ای باشد، مقدار آنتروپی آن کم خواهد شد. از این حقیقت برای ساختن ترم جدید اطلاعات استفاده می‌کنیم. از این رو، آنتروپی نرمالیزه شده پیکسل‌های معلوم ψ_p با $H_{\psi_p}(p)$ نشان داده می‌شود و به فرم زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{\psi_p}(p) = \frac{H_{\psi_p}}{H_{\psi_p \max}} \quad (9)$$

که H_{ψ_p} آنتروپی پیکسل‌های معلوم وصله هدف است. برای محاسبه H_{ψ_p} هیستوگرام^۱ نرمالیزه (بردار رنگ) پیکسل‌های معلوم وصله هدف محاسبه می‌شود. با فرض این که هیستوگرام M بین^۲ داشته باشد و بین i ام دارای احتمال p_i باشد، H_{ψ_p} به فرم زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{\psi_p} = -\sum_{i=1}^M p_i \log_2 p_i \quad (10)$$

بیشینه آنتروپی $H_{\psi_p \max}$ زمانی حاصل می‌شود که احتمال p_i ها برابر باشد و با رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$H_{\psi_p \max} = \log_2 M \quad (11)$$

پارامتر دیگری که در محاسبه ترم اطلاعات اعمال می‌شود، آنتروپی نرمالیزه شده خطای بین وصله هدف و وصله‌های نامزد

¹ Histogram

² Bin

$$\hat{\psi}_{\hat{p}} = \sum_{i=1}^N w_{i_n} \psi_{q_i} \quad (21)$$

که w_{i_n} نرمالیزه شده w_i است و از رابطه ۲۲ بدست می‌آید:

$$w_{i_n} = \frac{w_i(\psi_p, \psi_{q_i})}{\sum_{j=1}^N w_j(\psi_p, \psi_{q_j})} \quad i=1,2,\dots,N \quad (22)$$

۳-۱-۳- انتخاب وفقی وصله‌ها

انتخاب تعداد وصله‌های منبع از میان وصله‌های نامزد یکی از چالش‌های روش پیشنهادی است. انتخاب نامناسب و بزرگ N باعث می‌شود تعدادی از وصله‌های غیرمشابه در تخمین پیکسل‌های وصله هدف مشارکت کرده و تخمین حاصل را تخریب کنند. در مقابل اگر N کوچک انتخاب شود، روش NLMs به سمت بهترین وصله منطبق میل می‌کند و به تبع آن، الگوریتم دچار معایب این روش خواهد شد. از این رو، پیشنهاد می‌شود که N به صورت وفقی تعیین شود. برای انجام این کار، سعی می‌کنیم پیکسل‌های معلوم وصله هدف را با وصله‌های منبع تخمین بزنیم. این عمل را با تعداد مختلفی از وصله‌های منبع انجام می‌دهیم. یعنی این که به ازای N های مختلف از $N=2$ تا $N=20$ تخمین انجام می‌شود. بعد از آن، N ای انتخاب می‌شود که منجر به بهترین تخمین برای پیکسل‌های معلوم شود. از این مقدار N در مرحله تخمین پیکسل‌های مجهول وصله هدف استفاده می‌شود.

از طرف دیگر پارامتر h نقش اساسی در روش تخمین پیشنهادی دارد. انتخاب h بزرگ باعث کمرنگ شدن عدم شباهت میان وصله‌ها می‌شود و در صورت کوچک شدن h میزان عدم شباهت به شدت توسط رابطه ۲۰ برجسته می‌شود. در این مقاله میزان h با سعی و خطا به یک مقدار مناسب تنظیم شده است.

برای درک گام‌های الگوریتم پیشنهادی، شبه کد این الگوریتم در شکل ۳ آمده است.

۴ آزمایش‌ها و نتایج

در این بخش از مقاله پس از توصیف پایگاه داده و الگوریتم‌های مقایسه به نتایج می‌پردازیم.

۴-۱ پایگاه داده

به منظور ارزیابی کارایی روش پیشنهادی، این روش روی چند سیگنال ویدئویی اعمال و با چهار الگوریتم متداول مقایسه شده است. متأسفانه در زمینه ترمیم تصاویر ویدئویی پایگاه داده استاندارد وجود ندارد. از این رو در این مقاله از سه دنباله ویدئویی مستخرج از سریال تلویزیونی به نام "گذر از رنج‌ها"

رابطه ۱۵ برای جستجوی وصله‌های نامزد در $N(\hat{p})$ از معیار میانگین مجذور فاصله‌ی بین پیکسل‌های معلوم وصله هدف و پیکسل‌های متناظر آن در وصله نامزد استفاده می‌شود.

برای وصله‌های حاوی بافت، تعداد وصله‌های نامزد مشابه در $N(\hat{p})$ زیاد است. با استفاده از این وصله‌ها پیکسل‌های مجهول وصله هدف قابل تخمین هستند. از طرف دیگر در حالت لبه بودن وصله‌ی هدف، معمولاً تعداد وصله‌های نامزد مشابه کم است. علیرغم این محدودیت، پیکسل‌های مجهول وصله هدف با ترکیب خطی وزن‌دار وصله‌های نامزد قابل تخمین و ترمیم هستند.

برای تخمین در فضای سه بعدی تعریف شده لازم است، روش میانگین‌های غیرمحملی به حالت سه بعدی زمانی-مکانی تعمیم داده شود. مراحل روش NLMs در حالت سه بعدی به شرح ادامه پیشنهاد می‌شود. ابتدا تمام وصله‌های نامزد ψ_q موجود در $N(p)$ مشخص می‌شوند. این وصله‌ها هم اندازه وصله هدف $\psi_{\hat{p}}$ هستند. این وصله‌ها در مجموعه S_{ψ_q} قرار می‌گیرند:

$$S_{\psi_q} = \{\psi_q | \psi_q \in N(\hat{p}), \text{size}[\psi_q] = \text{size}[\psi_{\hat{p}}]\} \quad (17)$$

که در این رابطه، $N(\hat{p})$ پنجره همسایگی پیکسل \hat{p} است. پس از به دست آوردن مجموعه S_{ψ_q} ، خطای بین وصله ψ_p و تمام وصله‌های نامزد موجود در S_{ψ_q} محاسبه می‌شود و این خطاها در مجموعه E ذخیره می‌شوند:

$$E = \{E_q | E_q = d(\psi_{\hat{p}}, \psi_q), \psi_q \in S_{\psi_q}\} \quad (18)$$

در این رابطه، $d(\psi_{\hat{p}}, \psi_q)$ میانگین مجذور فاصله بین پیکسل‌های معلوم وصله هدف و پیکسل‌های متناظر آنها در وصله نامزد تعریف می‌شود. تعداد N وصله که دارای خطای E_q کمتر هستند برای ترمیم پیکسل‌های مجهول وصله هدف انتخاب می‌شوند. این وصله‌ها به عنوان وصله منبع شناخته می‌شوند:

$$\psi_{q_i} \in \{\psi_q | E_i \leq E_{N+1}, \psi_q \in S_{\psi_q}\} \quad \forall i=1,2,\dots,N \quad (19)$$

سپس شباهت بین وصله هدف اولویت‌بندی شده و وصله‌های نامزد منبع به فرم زیر محاسبه می‌شود:

$$w_i(\psi_{\hat{p}}, \psi_{q_i}) = e^{-\frac{d(\psi_{\hat{p}}, \psi_{q_i})}{h}} \quad i=1,2,\dots,N \quad (20)$$

در این رابطه، پارامتر h تعیین کننده ضریب میرایی تابع نمای است و w میزان شباهت را بیان می‌کند. در نهایت ترکیب خطی وصله‌های منبع به وسیله وزن‌های نرمالیزه شده در رابطه ۲۱ محاسبه می‌شود. سپس، پیکسل‌های مجهول وصله هدف از روی پیکسل‌های وصله منبع ψ_{q_i} تخمین زده شده و جایگزین می‌شوند:

معمولاً فرض می‌شود که سیگنال ویدئویی اصلی (تمیز) در دسترس است، در حالی که در مسایل ترمیم ویدئو، سیگنال‌های ویدئویی خسارت دیده و ترمیم شده موجود هستند. برای این منظور، به طور مصنوعی ماسک متحرک بر روی ویدئوی اصلی اعمال می‌شود و سپس روش پیشنهادی و سایر روش‌های مورد مقایسه این سیگنال ویدئویی را ترمیم می‌کنند. بعد از فرآیند ترمیم، سیگنال‌های ویدئویی اصلی و ترمیم شده با روش ارزیابی کمی در نظر گرفته می‌شوند و پیوستگی زمانی-مکانی ویدئوی ترمیم شده به طور کمی بررسی می‌شود.

در این مقاله از الگوریتم STMAD استفاده می‌شود تا درک بصری انسان از آرتیفکت‌های حرکتی در نظر گرفته شود [۴۸] و [۴۹]. همان‌طور که از نام روش STMAD برمی‌آید، این روش، اعوجاج بخش‌های مکانی و زمانی ویدئوی مورد پردازش را بررسی می‌کند. در این روش ابتدا تصاویر برش خورده زمانی-مکانی از حجم ویدئوهای اصلی و اعوجاج یافته (یا ترمیم شده) تعیین می‌شوند. به عبارتی فرض کنید حجم ویدئویی با اندازه $X \times Y \times T$ پیکسل در اختیار باشد. این حجم ویدئویی از Y تصویر برش خورده زمان-مکان به اندازه $X \times T$ و X تصویر برش خورده زمان-مکان به اندازه $Y \times T$ پیکسل تشکیل شده است. به این تصاویر، تصاویر STS^۲ گفته می‌شود.

روش STMAD اعوجاج‌های مبتنی بر حرکت را با استفاده از مدل مبتنی بر MAD^۳ برای تصاویر STS تخمین می‌زند و وزن‌های بزرگتر را به نواحی با حرکت سریع با به کار بردن الگوریتم جریان نوری اختصاص می‌دهد. سرانجام با یک قاعده‌ای اعوجاج‌های زمانی-مکانی را ترکیب می‌کند. خروجی روش STMAD، مقدار اسکالری است که بیانگر کیفیت کلی ویدئوی اعوجاج یافته نسبت به ویدئوی اصلی است. هرچه مقدار STMAD کمتر باشد، نشان دهنده این است که ویدئوی ترمیم شده دارای اعوجاج کمتر (پیوستگی زمانی-مکانی بیشتر) است.

۴-۴ الگوریتم‌های مقایسه

در این مقاله برای ارزیابی نتایج حاصل از روش پیشنهادی با روش‌های [۲۱]، [۳۱]، [۳۷] و [۳۹] مقایسه می‌شوند. در [۳۱] و [۳۹] هر فریم ویدئو به طور مستقل از سایر فریم‌ها ترمیم شده است. در [۳۱] پیکسل‌های حفره بر اساس لبه بودن پیکسل‌های حفره اولویت بندی شده و با اطلاعات موجود در همان فریم ترمیم شده است؛ وصله‌ها دوبعدی در نظر گرفته شده و پیکسل‌های مجهول وصله هدف با روش میانگین‌های غیرمحلی در فضای دوبعدی تخمین زده می‌شود؛ در این مقاله، به این روش "روش مبتنی بر اولویت (۱)" گفته می‌شود. در

استفاده می‌شود [۴۷]. بخشی از این ویدئو به فرم حجم سه‌بعدی در شکل‌های ۴ آمده است. اندازه ویدئوهای استفاده شده $۳۰۰ \times ۲۱۰ \times ۵۳$ است. علاوه بر این، ماسک ویدئویی شکل (۴-د) که اندازه آن مانند اندازه ویدئوهای مذکور است، به سیگنال‌های ویدئویی پایگاه داده اعمال می‌شود. تعداد پیکسل‌های خسارت‌دیده ماسک ویدئو ۲۶۶۰۰۰ پیکسل است.

۴-۲ تنظیم پارامترها

در آزمایش‌های انجام شده، با توجه به انتخاب اندازه وصله سه بعدی، اندازه پنجره همسایگی باید به گونه‌ای انتخاب شود که تعداد قابل ملاحظه‌ای از وصله‌های نامزد درون آن وجود داشته باشد. از این رو، اندازه پنجره همسایگی $۳۱ \times ۳۱ \times ۵۳$ انتخاب می‌شود. پارامتر کنترل تابع نمایی، h ، به طور تجربی ۲۰۰ انتخاب می‌شود. در ضمن تمام آزمایش‌ها روی کامپیوتری با مشخصات Intel® core™ i7-479.k CUP@ 4.00 GHz و با RAM با حافظه 4GB در نرم افزار C/MATLAB انجام می‌شود.

۱. سطح حفره را استخراج کنید.
۲. ترم اولویت را با استفاده از ترم اطمینان و ترم اطلاعات جدید روی هر پیکسل سطح حفره محاسبه کنید (روابط (۷)، (۸) و (۱۶)).
۳. پیکسل \hat{p} که دارای اولویت بزرگتر است را انتخاب کنید (رابطه (۴)).
۴. پیرامون پیکسل \hat{p} ، همسایگی $N(\hat{p})$ را در نظر بگیرید و تمام وصله‌های نامزد را تعیین کنید.
۵. خطای بین وصله‌های نامزد و وصله هدف $\psi_{\hat{p}}$ را محاسبه کنید و به طور غیرصعودی مرتب کنید.
۶. از بین وصله‌های نامزد به دست آمده، N وصله‌ای که دارای خطای کمتر است، انتخاب کنید.
۷. از بین N وصله انتخاب شده، تعداد وصله‌های موثر را محاسبه کنید (بخش (۳-۲-۳)).
۸. پیکسل‌های مجهول وصله هدف $\psi_{\hat{p}}$ را تخمین بزنید (رابطه (۲۱)).
۹. ترم اطمینان پیکسل‌های تخمین زده شده را به روز کنید (رابطه (۶)).
۱۰. اگر حفره تکمیل نشده، به اولین گام بروید.

شکل ۳ شبه کد الگوریتم پیشنهادی

۴-۳ معیارهای ارزیابی

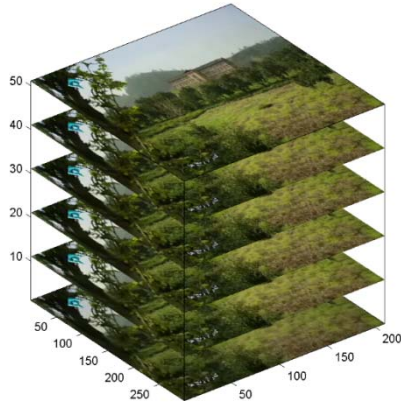
برای ارزیابی الگوریتم پیشنهادی از مشاهدات بصری و معیار کمی متداول ارزیابی کیفیت ویدئو به نام STMAD^۱ استفاده می‌شود. در مشاهدات بصری، بیننده، سیگنال ویدئویی ترمیم شده را توصیف می‌کند و در مورد وجود و عدم وجود ناپیوستگی زمانی-مکانی سیگنال ویدئویی حاصل قضاوت می‌کند. در بسیاری از مسایل پردازش سیگنال ویدئو مانند حذف نویز و فشردن سازی ویدئو از معیارهای کمی متداول برای ارزیابی کیفیت ویدئو بهره‌برداری می‌شود. در این معیارهای کمی

^۲ Spatiotemporal slices

^۳ Most apparent distortion

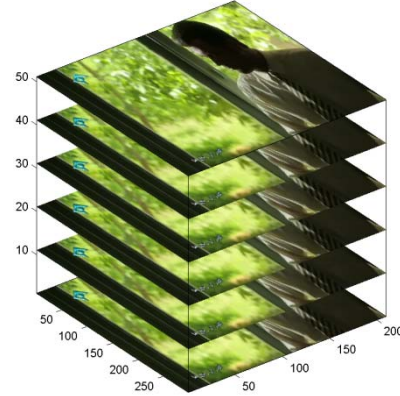
^۱ Spatiotemporal most apparent distortion

پیچیده ناحیه‌بندی را به خوبی انجام نمی‌دهد. در [۳۹] نیز از وصله‌های دوبعدی در هر فریم استفاده است. در این مقاله، به این روش "روش مبتنی بر اولویت (۲)" گفته می‌شود.

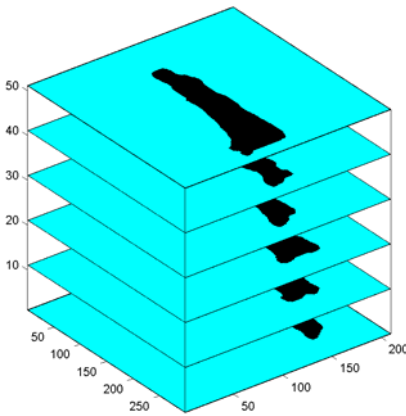


(ب)

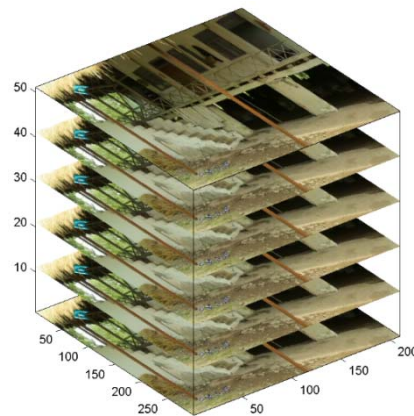
[۳۹] هر فریم ویدئو بر اساس روش [۲۵] ترمیم می‌شود، با این تفاوت که ناحیه منبع در هر فریم با استفاده از مدل مخلوط گوسی ناحیه می‌شود. بدین ترتیب زمان جستجوی بهترین وصله منطبق کاهش می‌یابد، اما مدل مخلوط گوسی در زمینه‌های



(الف)



(د)



(ج)

شکل ۴): بخشی از ویدئوی استفاده شده در آزمایش‌ها (الف) ویدئوی شماره ۱ (ب) ویدئوی شماره ۲ (ج) ویدئوی شماره ۳ (د) ماسک ویدئویی اعمال شده به ویدئوهای پایگاه داده

رنگ، بلکه به بردار حرکت نیاز دارند. در این مقاله، الگوریتم‌های مورد آزمایش از بردار رنگ استفاده می‌کنند.

۴-۵ آزمایش‌ها

۴-۵-۱ انتخاب تعداد موثر وصله‌ها

در این بخش ابتدا نقش تعداد وصله‌های منبع در کیفیت ویدئوی ترمیم شده توسط الگوریتم پیشنهادی بررسی می‌شود. برای این منظور، الگوریتم به دو شکل پیاده سازی می‌شود. در حالت اول، تعداد وصله‌های منبع ثابت فرض شده (این روش VNLMs^۱ نامیده می‌شود) و بین ۲ تا ۲۰ وصله را بررسی می‌کنیم. در روش دوم که AVNLMs^۲ نامیده می‌شود، تعداد وصله‌ها به صورت افقی تعیین می‌شوند. در روش VNLMs

در [۳۷] قاعده اولویت‌بندی حذف شده است و از وصله‌های بزرگ دوبعدی به اندازه حفره موجود در هر فریم استفاده شده و وصله منبع متناظر با آن در سایر فریم‌ها جستجو شده است. در [۲۱] دنباله ویدئویی به فرم حجم در نظر گرفته شده است و قاعده اولویت‌بندی در این روش حذف شده است و از قاعده هموارسازی محلی و غیر محلی (میانگین‌های غیر محلی) ویدئو در قالب گراف‌های وزن یافته برای ترمیم پیکسل‌های خسارت دیده بهره‌برداری می‌کند.

الگوریتم‌های مذکور از هیچ بردار حرکتی استفاده نکرده‌اند. بنابراین برای ویدئویی مناسب هستند که دارای پس‌زمینه ایستاد بوده و دوربین ثابت است. سایر الگوریتم‌های ترمیم ویدئو که مبتنی بر اولویت‌بندی پیکسل‌های خسارت دیده هستند، شی متحرک خسارت دیده (به طور جزئی) را ترمیم می‌کنند. این الگوریتم‌ها برای ترمیم شی متحرک خسارت دیده نه فقط به بردار

¹ Video inpainting based on non-local means

² Adaptive video inpainting based on non-local means

هستند. ۲۰ فریم اول سیگنال ویدئویی خسارت دیده، تقریباً ایستان شامل نوار قرمز نیست، درحالی که ۲۰ فریم بعدی شامل نوار قرمز است. به دلیل محدودیت فضای نمایش در شکل ۵، چند فریم از ۴۰ فریم نشان داده می شود. سه فریم اول بدون نوار قرمز هستند. در چهارمین فریم برای اولین بار کراوات مرد با نوار قرمز مسدود شده است. در این فریم، اولویت ترمیم به پیکسل های کنار کراوات مرد اختصاص داده شده است، زیرا از بیشترین اولویت برخوردار است. به عبارت دیگر، این محل شامل بیشینه حاصل ضرب ترم اطمینان، تعداد وصله های منبع و ترم اطلاعات ساختار می شود. زیرا درصد پیکسل های معلوم وصله پیرامون این پیکسل در مجاورت فریم سوم از سایر پیکسل ها بیشتر است و تعداد وصله های منبع نیز بیشتر است و نواحی پیرامون کراوات جزء ناحیه ساختار هستند که ترم اطلاعات جدید را بیشینه می کنند. مرکز وصله هدف در فریم سوم است و با ۱۰۰ تکرار نوار قرمز رنگ در فریم های چهارم و پنجم نیز همزمان در حال ترمیم هستند. بنابراین شکل ۵ تایید می کند که نه فقط اندازه وصله 5×5 می باشد، بلکه ناحیه ساختار (لبه) زودتر از بقیه نواحی ترمیم می شود.

۴-۶ مقایسه الگوریتم پیشنهادی با الگوریتم های دیگر

این بخش کارایی الگوریتم بهبودیافته را در مقایسه با الگوریتم های مربوطه دیگر بررسی می کند. نتیجه اجرای الگوریتم ها با چهار الگوریتم [۲۱]، [۳۱]، [۳۷] و [۳۹] برای سه مجموعه آزمون ویدئویی برحسب مقدار STMAD در جدول ۲ قابل مشاهده است.

جدول ۲ بیانگر آن است که روش پیشنهادی عملکرد بهتری نسبت به الگوریتم های دیگر دارد. علاوه بر این، نتایج نشان می دهد که روش مبتنی بر گراف [۲۱] بهتر از روش های [۳۱] و [۳۹] است. در نتیجه روش های مبتنی بر وصله سه بعدی، ویدئوی خسارت دیده را به گونه ای تکمیل می کند که انسجام زمان-مکان ویدئوی تکمیل شده حفظ شود. به دلیل کمبود فضا، ویدئوهای الگوریتم مورد آزمون در وبسایت [۵۰] ارائه شده اند. در این جا به دلیل محدودیت صفحات مقاله فقط یک سیگنال ویدئویی (متناظر با شکل ۳-ج) در شکل ۶ شرح داده می شود. برای وضوح بیشتر بخشی از فریم ۵ برای روش های مختلف و روش پیشنهادی، بزرگنمایی شده و در شکل ۷ نشان داده شده است. این سیگنال ویدئویی نسبت به دو سیگنال دیگر ساختار پیچیده تری دارد. ویدئوی ترمیم شده مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷] که اندازه وصله آن هم اندازه شی متحرک خسارت دیده است، از لحاظ مکانی موجب اثرات غیرقابل قبول می شود. این اثر به فرم شیخ متحرک در سیگنال ویدئویی حاصل از روش [۳۷] قابل رویت است [۵۰]. وقتی که پیکسل های خسارت دیده در گوشه فریم ها قرار دارد، معمولاً وصله بزرگ، تعداد پیکسل های معلوم کمتری دارد. روش های مبتنی بر

برای ترمیم پیکسل های سطح حفره از ترکیب خطی N وصله منبع استفاده می شود، در حالی که در روش AVNLMs برای تخمین پیکسل های خسارت دیده از ترکیب خطی N وصله منبع بهره برداری می شود.

جدول ۱ کارایی روش های ترمیم VNLMs و AVNLMs بر اساس تعداد وصله ها را نشان می دهد. در این آزمایش، روش NLMs سه بعدی پیشنهادی روی هر سیگنال ویدئویی خسارت دیده ۱۹ مرتبه اجرا می شود؛ هر مرتبه به پارامتر N یک مقدار ثابت از ۲ تا ۲۰ اختصاص می دهد.

در نهایت برای هر مقدار N مقدار پارامتر STMAD محاسبه می شود. نتایج این آزمایش در جدول ۱ آمده است. همان طور که نشان داده شده در روش VNLMs افزایش تعداد وصله منجر به افزایش مقدار STMAD می شود. بدین معناست که نه فقط وصله های مشابه بلکه برخی وصله های نامرتبط در ترمیم حفره مشارکت دارند. سپس از الگوریتم AVNLMs برای بازسازی پیکسل های خسارت دیده استفاده می شود تا مشارکت وصله های غیرمشابه کاهش یابد. جدول ۱ نشان می دهد که به ازای تعداد معین وصله ها، مقدار STMAD برای روش AVNLMs کمتر از روش VNLMs است. وقتی تعداد وصله در الگوریتم AVNLMs به ۴ و ۵ وصله افزایش می یابد، مقدار STMAD کاهش می یابد. اما وقتی که تعداد وصله بیشتر از ۵ می شود، مقدار STMAD به تدریج افزایش می یابد.

به هر حال وقتی که مقادیر STMAD هر دو الگوریتم پیشنهادی VNLMs و AVNLMs مقایسه می شوند، به ازای تعداد وصله های معین و ثابت مقادیر STMAD الگوریتم AVNLMs کمتر از مقادیر STMAD روش VNLMs است.

علاوه بر این، به نظر می رسد که نتایج دومین ویدئو متناظر با شکل (۴-ب) به ازای ۴ وصله، حداقل مقدار STMAD نسبت به بقیه دارد. این نشان می دهد که ویدئویی که تقریباً از نواحی لبه های کمتری تشکیل شده باشد، نتیجه ترمیم آن بهتر است. نکته با اهمیت دیگر این است که در روش وقتی با تغییر تعداد وصله ها، نتیجه نهایی تغییرات قابل توجهی ندارد و این یکی از نکات مهم محسوب می شود، زیرا که بیانگر عدم وابستگی الگوریتم به این پارامتر است. آزمایش های بصری، نتایج بدست آمده را تایید کردند. با توجه به نتایج حاصل، در ادامه، الگوریتم AVNLMs با تعداد پنج وصله استفاده می شود.

۴-۵-۲ بررسی کارایی روش اولویت بندی و ترمیم حفره به صورت بصری

این بخش نشان می دهد که چگونه پیکسل های خسارت دیده در فرآیند ترمیم اولویت بندی و ترمیم می شوند. شکل ۵ ویدئوی ترمیم شده را تا تکرار صدم نشان می دهد. در این شکل محل زیرنویس سیگنال ویدئویی با نوار قرمز رنگ برجسته شده است. پیکسل های قرمز رنگ پیکسل های مجهول سیگنال ویدئویی

پیکسل‌های موجود در حجم همسایگی در هر تکرار الگوریتم پیشنهادی معلوم است، بیشینه تعداد کل عملگرهای جمع و ضرب برای جستجوی وصله‌های نامزد در ناحیه همسایگی منبع به ترتیب برابر با $O(x \times y \times t \times X \times Y \times T)$ و $O((x \times y \times t)^2 \times X \times Y \times T)$ هستند.

الگوریتم‌های دیگر از وصله دو‌بعدی استفاده می‌کنند و اندازه همسایگی هر وصله هدف $X \times Y$ است. فرض می‌شود که در بدترین شرایط فقط یک پیکسل در هر تکرار الگوریتم ترمیم می‌شود. تعداد پیکسل‌های خسارت‌دیده ویدئو $N(\Omega)$ در نظر گرفته می‌شود. بنابراین پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی برای ترمیم پیکسل‌های از بین رفته برای عملگر جمع $O(x \times y \times t \times X \times Y \times T \times N(\Omega))$ و برای عملگر ضرب $O((x \times y \times t)^2 \times X \times Y \times T \times N(\Omega))$ می‌باشند. برای مثال عملی در روش پیشنهادی اندازه وصله $5 \times 5 \times 5$ است و میانگین وصله‌های ترمیم شده در هر تکرار ۲۰ پیکسل است، در حالی که در الگوریتم‌های دیگر اندازه وصله 5×5 است، متوسط پیکسل‌های بازسازی شده، چهار پیکسل در هر تکرار است. اگرچه پیچیدگی محاسباتی جستجوی وصله در روش پیشنهادی بیشتر از روش‌های دیگر است، نتیجه ویدئوی ترمیم شده در الگوریتم پیشنهادی بهتر از روش‌های اشاره شده در بخش (۴-۴) است.

۵ جمع‌بندی

در این مقاله، روشی برای ترمیم وفقی ویدئو مبتنی بر میانگین‌های غیرمحمولی در فضای سه‌بعدی ارائه شد. در این روش برای اولویت‌بندی پیکسل‌های حفره و تخمین پیکسل‌های آن‌ها راهکاری پیشنهاد شد. اولویت‌بندی پیکسل‌های خسارت دیده براساس ترم جدید اطلاعات انجام شد. در این ترم از آنتروپی وصله متناظر با پیکسل خسارت دیده و آنتروپی خطای بین وصله هدف و وصله‌های منبع استفاده شد تا نواحی با ساختارهای مهمتر در اولویت قرار گیرند. راهکار دیگر الگوریتم پیشنهادی، تخمین ناحیه از بین رفته با در نظر گرفتن افزونگی اطلاعات زمان-مکان سیگنال‌های ویدئویی است. برای این منظور، با ترکیب خطی وصله‌های نامزد پیکسل‌های خسارت‌دیده تخمین زده شدند. ضرایب خطی وصله‌های نامزد به خطای وصله‌ها بستگی داشتند. در این مقاله، تعداد وصله‌ها با کمینه کردن میانگین مجذور خطای بین پیکسل‌های معلوم وصله هدف و پیکسل‌های متناظر با آن در وصله‌های منبع تعیین شد. تعیین وفقی تعداد وصله‌ها منجر به مقاوم شدن روش پیشنهادی به تعداد وصله‌ها شد. روش پیشنهادی با معیار کمی STMAD و مشاهدات بصری با روش‌های دیگر مقایسه شد. نتایج آزمایش‌ها توانایی الگوریتم ارائه شده را تایید کردند. این الگوریتم قادر است مشکل ناپوستگی زمانی در الگوریتم‌های ترمیم ویدئو را مرتفع کند. در کار بعدی، بهینه کردن پارامتر میرایی تابع گوسی مدنظر قرار می‌گیرد.

اولویت (۱) [۳۱] و مبتنی بر اولویت (۲) [۳۹] که از وصله‌های دو‌بعدی کوچکتری با اندازه‌ی 5×5 برای ترمیم پیکسل‌های خسارت‌دیده استفاده می‌کند. بنابراین از لحاظ مکانی، کارایی ضعیفی در نواحی ساختار یا بافت پیچیده دارند، زیرا فضای جستجوی منبع این الگوریتم‌ها همان فریمی است که شی متحرک خسارت‌دیده حذف شده است. بنابراین ناحیه منبع، وصله نامزد مناسبی برای تخمین حفره باقیمانده ندارد. شکل ۷-ه نشان می‌دهد که روش [۲۱] در بازسازی نرده‌ها و لبه دیوار ناتوان است، در حالیکه شکل ۷-و در نواحی نرده و لبه دیوار از لحاظ مکانی کارایی خوب الگوریتم پیشنهادی را نشان می‌دهند. به عبارتی، در این الگوریتم در نظر گرفتن وصله سه‌بعدی، اولویت‌بندی ساختارهای مهمتر، بهره‌برداری از افزونگی ویدئو حوالی همسایگی سه‌بعدی پیکسل خسارت‌دیده و ترکیب خطی وصله‌های مشابه‌تر می‌تواند انسجام زمان-مکان ویدئوی ترمیم شده را حفظ کند.

شکل ۸-الف بخشی از فریم ۲۱ام از سیگنال ویدئوی واقعی با اندازه $53 \times 360 \times 240$ را نشان می‌دهد [۵۱]. در این ویدئو انسان متحرکی به طور افقی از راست به چپ حرکت می‌کند [۵۰]. در این ویدئو اطلاعات مربوط به محل شی متحرک خسارت‌دیده (حذف شده) در فریم‌های دیگر موجود هستند و پس‌زمینه ویدئو از ساختار خطی بسیار ساده برخوردار است. مجدداً می‌توان مشاهده کرد که الگوریتم مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷] پیوستگی مکانی را در هر فریم نمی‌تواند حفظ کند.

واضح است که روش مبتنی بر اولویت (۱) [۳۱] در شکل ۸-ج و روش مبتنی بر اولویت (۲) [۳۹] در شکل ۸-د نشان می‌دهند که توانایی ترمیم ساختار خطی که بین دیوار و زمین است، ندارند. به دلیل عدم امکان نمایش همه فریم‌های ویدئوی ترمیم شده برای الگوریتم‌های مذکور نتایج در وبسایت [۵۰] نشان داده شده‌اند. مشاهده ویدئوی بازسازی شده بیانگر این است که ویدئوی ترمیم شده مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷] دارای شیخ متحرکی است که هم‌رنگ پس‌زمینه است. علاوه‌براین، در روش مبتنی بر گراف [۲۱] ویدئوی بازسازی شده در محل حفره بلور شده است. در روش پیشنهادی، ساختار خطی مذکور به گونه‌ای ترمیم می‌شود که مشکل ناپوستگی زمانی مرتفع شود.

۴-۷ محاسبه پیچیدگی محاسباتی الگوریتم پیشنهادی برای جستجوی وصله‌های نامزد

یکی از فاکتورهایی که نقش مهمی در ارزیابی الگوریتم ترمیم بازی می‌کند، پیچیدگی محاسباتی جستجوی وصله‌های نامزد می‌باشد. برای این منظور، اندازه حجم همسایگی پیرامون هر پیکسل روی سطح حفره $X \times Y \times T$ فرض می‌شود (که X تعداد پیکسل‌ها در امتداد ارتفاع فریم است، Y تعداد پیکسل‌ها در امتداد پهنا فریم است و T تعداد فریم‌هاست). اندازه وصله هدف نیز $x \times y \times t$ تنظیم می‌شود. با فرض این که تمام

جدول ۱. مقدار STMAD الگوریتم پیشنهادی به ازای تعداد وصله‌های مختلف

STMAD ویدئوی یک		STMAD ویدئوی دو		STMAD ویدئوی سه		تعداد کل وصله‌های نامزد
VNLMs	AVNLMs	VNLMs	AVNLMs	VNLMs	AVNLMs	
۲,۵۷۲۰	۲,۵۶۰۱	۱,۵۶۲۷	۱,۵۴۱۲	۱,۷۷۰۱	۱,۷۵۳۶	۲
۲,۵۸۳۱	۲,۵۵۱۸	۱,۵۷۲۳	۱,۵۳۹۱	۱,۷۹۱۹	۱,۷۵۰۱	۳
۲,۵۸۹۵	۲,۵۴۹۷	۱,۵۹۰۱	۱,۵۳۱۱	۱,۸۲۰۳	۱,۷۴۸۷	۴
۲,۶۰۳۷	۲,۵۴۱۰	۱,۶۱۹۷	۱,۵۴۰۵	۱,۸۴۲۷	۱,۷۴۱۸	۵
۲,۶۱۲۳	۲,۵۴۸۷	۱,۶۳۱۰	۱,۵۴۹۵	۱,۸۶۰۱	۱,۷۴۶۵	۶
۲,۶۲۵۳	۲,۵۵۱۲	۱,۶۵۱۹	۱,۵۵۲۱	۱,۸۸۱۸	۱,۷۴۹۱	۷
۲,۶۳۸۲	۲,۵۵۹۳	۱,۶۷۰۱	۱,۵۵۹۸	۱,۸۹۱۲	۱,۷۵۰۱	۸
۲,۶۴۸۱	۲,۵۶۱۱	۱,۶۸۳۹	۱,۵۶۱۰	۱,۹۱۰۲	۱,۷۵۲۲	۹
۲,۶۵۱۹	۲,۵۹۰۱	۱,۷۰۲۲	۱,۵۶۷۱	۱,۹۳۲۱	۱,۷۵۸۱	۱۰
۲,۶۷۸۵	۲,۶۰۲۱	۱,۷۲۹۵	۱,۵۷۱۱	۱,۹۵۱۲	۱,۷۶۰۱	۱۱
۲,۶۸۱۵	۲,۶۰۹۷	۱,۷۴۱۵	۱,۵۷۸۱	۱,۹۶۷۱	۱,۷۶۲۸	۱۲
۲,۶۸۷۳	۲,۶۱۱۴	۱,۷۶۲۲	۱,۵۸۰۹	۱,۹۸۵۲	۱,۷۶۶۹	۱۳
۲,۶۹۱۲	۲,۶۱۷۲	۱,۷۹۲۶	۱,۵۸۶۹	۱,۹۹۸۹	۱,۷۷۱۴	۱۴
۲,۶۹۹۴	۲,۶۱۸۰	۱,۸۱۰۳	۱,۵۹۱۲	۲,۱۲۷۹	۱,۷۷۹۲	۱۵
۲,۷۰۵۰	۲,۶۲۱۵	۱,۸۳۱۲	۱,۵۹۷۱	۲,۳۱۵۱	۱,۷۸۰۱	۱۶
۲,۷۱۱۱	۲,۶۲۳۳	۱,۸۵۳۹	۱,۶۰۱۰	۲,۴۳۹۲	۱,۷۸۶۷	۱۷
۲,۷۱۸۵	۲,۶۳۷۵	۱,۸۷۶۱	۱,۶۰۷۵	۲,۵۰۰۲	۱,۷۹۱۴	۱۸
۲,۷۲۱۰	۲,۶۳۸۱	۱,۹۰۰۲	۱,۶۰۹۴	۲,۶۱۰۵	۱,۷۹۷۹	۱۹
۲,۷۲۷۸	۲,۶۳۹۷	۱,۹۵۵۴	۱,۶۰۹۹	۲,۸۰۱۹	۱,۷۹۹۸	۲۰



شکل ۵ حذف زیرنویس (که با نوار قرمز رنگ پوشانده شده) از سیگنال ویدئویی تا تکرار صدم در الگوریتم ترمیم پیشنهادی: فریم‌های ۴ و ۵ پیکسل‌های بیشتری ترمیم شده است زیرا تعداد پیکسل‌های معلوم در حوالی فریم ۳ بیشتر است و تعداد وصله‌های بیشتری در ناحیه همسایگی آن

وجود دارد و کراوات مرد جزء ناحیه ساختار (لبه) است. اندازه وصله در بعد زمان ۵ فریم است. شماره فریم‌ها به صورت $\begin{pmatrix} 1 & 2 & 3 & 4 \\ 5 & 6 & 7 & 8 \\ 9 & 10 & 11 & 12 \end{pmatrix}$ است.

جدول ۲ مقایسه الگوریتم‌های ترمیم ویدئو با معیار STMAD

AVNLMs	روش مبتنی بر گراف [۲۱]	روش مبتنی بر اولویت (۲) [۳۹]	روش مبتنی بر اولویت (۱) [۳۱]	روش مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷]	ویدئوهای مورد آزمون
۲,۵۴۰۱	۳,۲۱۷۲	۶,۹۷۹۹	۶,۹۴۳۲	۷,۱۲۸۴	ویدئو ۱
۱,۵۳۱۱	۳,۳۲۶۲	۵,۸۴۶۸	۵,۸۹۲۹	۵,۵۴۳۲	ویدئو ۲
۱,۷۴۱۸	۳,۷۵۵۶	۶,۶۰۵۱	۶,۶۱۵۸	۶,۲۶۵۲	ویدئو ۳

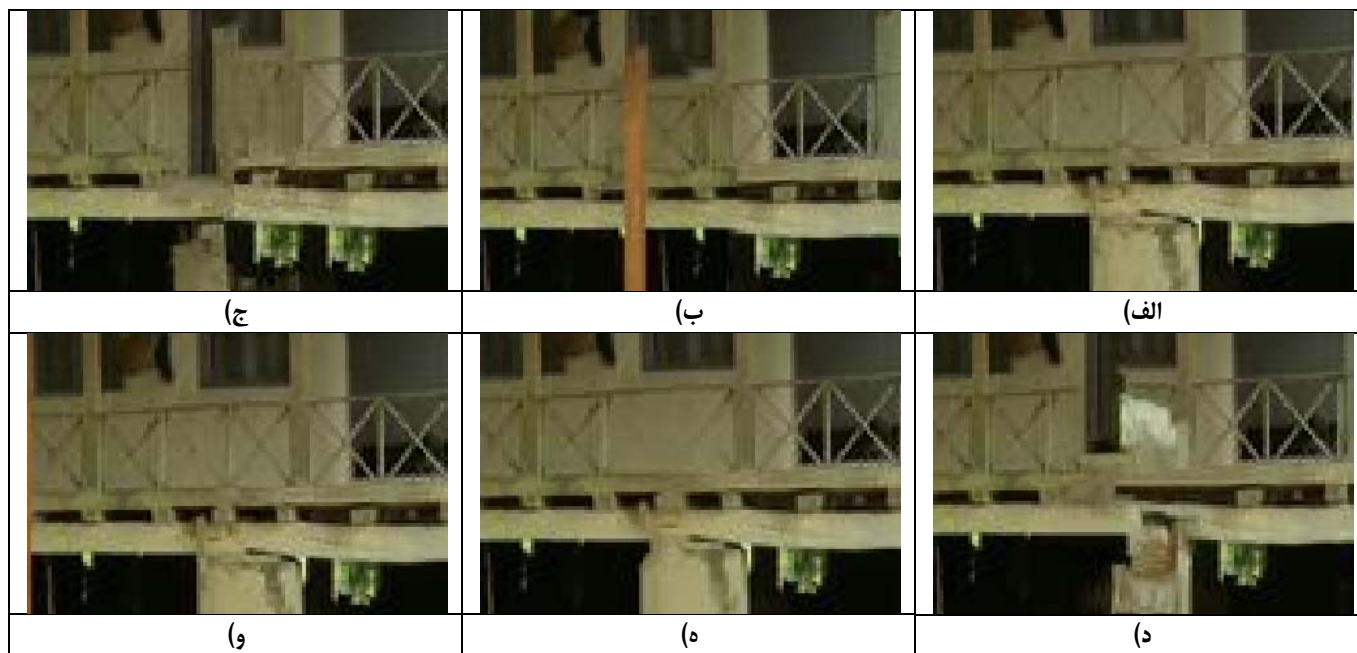


فریم ۳۵

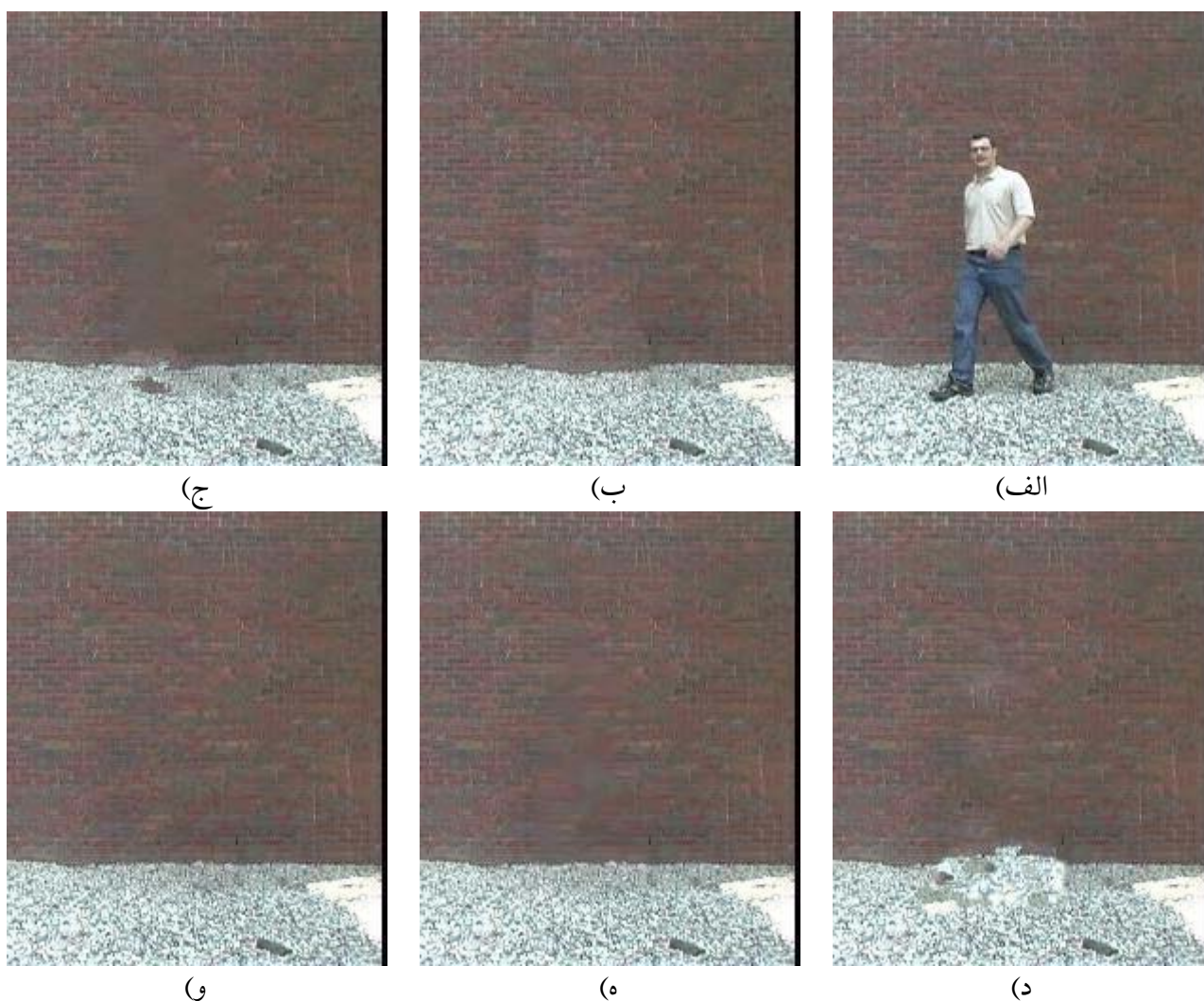
فریم ۱۷

فریم ۵

شکل ۶ الف) فریمهای از سیگنال ویدئویی ۱ ب) افزودن ماسک متحرک به ویدئوی اصلی ج) نتیجه الگوریتم مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷]. د) نتیجه الگوریتم ترمیم مبتنی بر اولویت (۱) [۳۱]. ه) نتیجه الگوریتم مبتنی بر اولویت (۲) [۳۹]. و) نتیجه الگوریتم مبتنی بر گراف [۲۱]. ز) نتیجه الگوریتم پیشنهادی



شکل ۷ الف) بزرگنمایی شده بخشی از فریم ۵ ویدئوی اصل (شکل ۶ ب) نتیجه الگوریتم مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷ ج] نتیجه الگوریتم مبتنی بر اولویت (۱) [۳۱ د] نتیجه الگوریتم مبتنی بر اولویت (۲) [۳۹ ه] نتیجه الگوریتم مبتنی بر گراف [۲۱ و] نتیجه الگوریتم پیشنهادی



شکل ۸ الف) فریم ۲۱ از ویدئوی اصلی ب) نتیجه الگوریتم مبتنی بر وصله بزرگ [۳۷ ج] نتیجه الگوریتم مبتنی بر اولویت (۱) [۳۱ د] نتیجه الگوریتم مبتنی بر اولویت (۲) [۳۹ ه] نتیجه الگوریتم مبتنی بر گراف [۲۱ و] نتیجه الگوریتم پیشنهادی

- University-Science (Computer & Electronics), vol. 11, no. 4, pp. 270-277, Apr., 2010.
- [14] Ling, C. H., Lin, C. W., Su, C. W., Chen, Y. S., Liao, H. Y. M., "Virtual Contour guided video object inpainting using posture mapping and retrieval", IEEE Trans. on Multimedia, vol. 13, no. 2, pp. 292-301, Apr., 2011.
- [15] Ling, C. H., Liang, Y. M., Lin, C. W., Chen, Y. S., Liao, H. Y. M., "Human object inpainting using manifold learning-based posture sequence estimation", IEEE Transactions on Image Processing, vol. 20, no. 11, pp. 3124-3135, Nov., 2011.
- [16] Cheung, V., Frey, B. J., Jovic, N., "Video epitomes", in IEEE Comp. Society Conf. on Comp. Vision and Pattern Rec., vol. 1, pp. 42-49, Jun., 2005.
- [17] Shen, Y., Lu, F., Cao, X., and Foroosh, H., "Video completion for perspective camera under constrained motion", in Proceeding of International Conf. on Pattern Rec., vol. 3, pp. 63-67, Hong Kong, China, Aug., 2006.
- [18] Xiao, B. C., Liu, S., Fu, H., Lin, C., Song, C., Huang, Z., He, F., Peng, Q., "Video completion and synthesis", Computer Animation and Virtual Worlds, vol. 19, p. 341-353, Jan., 2008.
- [19] Liu, M., Chen, S., Liu, J., Tang, X., "Video Completion via motion guided spatial-temporal global optimization", In Proceedings of the 17th ACM international conf. on Multimedia, pp. 537-540, Beijing, China, Oct., 2009.
- [20] Wexler, Y., Shechtman, E., Irani, M., "Space-time video completion", in Proceeding of IEEE Conf. of Computer Vision Pattern Rec., vol. 1, pp. I-I, Washington, USA, Jun., 2004.
- [21] Ghoniem, M., Chahir, Y., Elmoataz, A., "Non local video denoising, simplification and inpainting using discrete regularization on graphs", Signal Processing, vol. 90, no. 8, p. 2445-2455, Aug., 2010.
- [22] Granados, M., Tompkin, J., Kim, K., Grau, O., Kautz, J., Theobalt, C., "How not to be seen object removal from videos of crowded scenes", In Computer Graphics Forum, vol. 31, no. 2, pp. 219-228, May, 2012.
- [23] Kim, J. H., Park, R. H., Lee, J., "Video Completion using hierarchical motion estimation and color compensation", International Journal of Comp. Graphics & Animation, vol. 3, no. 1, pp. 17-27, Jan., 2013.
- [24] Newson, A., Almansa, A., Fradet, M., Gousseau, y., "Video inpainting of complex scenes", SIAM Journal on Image Sciences, vol. 7, no. 4, pp. 1993-2019, Oct., 2014.
- [25] Criminisi, A., Perez, P., Toyama, K., "Region filling and object removal by exemplar-based image
- [1] Abraham, A. R., Prabhavathy, A. K., Shree, J. D., "A survey on video inpainting", International Journal of Comp. Applications, vol. 55, no. 9, pp. 43-47, Jan., 2012.
- [2] Matsushito, M., Ofek, E., Tang, X., Shum, H. Y., "Full-frame video stabilization", Proc. IEEE Conf. Computer Vision and Pattern Rec., vol. 1, pp. 50-57, Jun., 2005.
- [3] Bertalmio, M., Sapiro, G., Ballester, C., Caselles, V., "Image inpainting", In Proceedings of the 27th annual conference on Computer graphics and interactive techniques, pp. 417-424, Jul., 2000.
- [4] Noori, H., Saryazdi, S., "Image inpainting using directional median filters", in International conf. on Computational Intelligence and Communication Networks, pp. 45-49, Zahedan, Iran, Nov., 2010.
- [5] Noori, H., Saryazdi, S., Nezamabadi-Pour, H., "A convolution based image inpainting", in 1st International Conf. on Communication and Engineering, pp. 130-138, Zahedan, Iran, Dec., 2010.
- [6] Noori, H., Saryazdi, S., Nezamabadi-Pour, H., "A bilateral image inpainting", Iranian Journal of Science and Technology, Trans. of Electrical Engineering, vol. 35, no. E2, pp. 95-108, Shiraz, Iran, Dec., 2011.
- [7] Bertalmio, M., Bertozzi, A. L., Sapiro, G., "Navier-Stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting", in Proc. Conf. Comp. Vision Pattern Rec., vol. 1, pp. 1-9, Kauai, Hi, USA, Dec., 2001.
- [8] Maalouf, A., Carre, A. P., Augereau, B., Maloigne, C. F., "Bandelet-based video inpainting", in 16th European Signal Processing Conf., pp. 1-5, Lausanne, Switzerland, Aug., 2008.
- [9] Mosleh, A., Bougila, N., Hamza, B., "Video completion using Bandlet Transform", IEEE Trans. on Multimedia, vol. 14, no. 6, pp. 1591-1600, Dec., 2012.
- [10] Jia, J., Wu, T. P., Tai, Y. W., Tang, C. K., "Video repairing: Inference of foreground and background under severe occlusion", in Proceeding of IEEE Computer Society Conf. on Computer vision and Pattern Rec., vol. 1, pp. I-I, Washington, USA, Jun., 2004.
- [11] Wang, H., Li, H., Li, B., "Video inpainting for largely occluded moving human", in IEEE International Conf. on multimedia and Expo, pp. 1719-1722, Beijing, China, Jul., 2007.
- [12] Venkatesh, M. V., Cheung, S. C. S., Zhao, J., "Efficient object based video inpainting", Pattern Rec. Letters, vol. 30, no. 2, pp. 168-179, Jan., 2009.
- [13] Koochari, A., Soryani, M., "Exemplar-based video inpainting with large patches", Journal of Zhejiang

- background restoration using kalman filter*", in IEEE International Symposium Telecommunications, pp. 580-585, Tehran, Iran, Aug., 2008.
- [38] Zhang, Y., Xiao, J., Shah, M., "Motion layer based object removal in videos", in Proceedings of the Seventh IEEE Workshop on Applications of Comp. Vision, vol. 1, pp. 516-521, Jan., 2005.
- [39] Xia, A., Gui, Y., Yao, L., Ma, L., Xiao, L., "Exemplar-based object removal in video using GMM", in IEEE International Conf. on Multimedia and Signal Processing, vol.1, pp. 366-370, Guilin, China, May, 2011.
- [40] Efros, A., Leung, T., "Texture synthesis by non-parametric sampling", in Proceedings of the Seventh IEEE International Conf. on Computer Vision, vol. 2, pp. 1033-1038, Greece, Sep., 1999.
- [41] Buades, A., Coll, B., Morel, J. M., *On image denoising methods*, Technical Report , CMLA, pp. 1-40, Jul., 2004.
- [42] Nikita, J., Jain, S., "Optimization of Non-local Means Filtering for Denoising Magnetic Resonance Images: A Review", in Proceedings of Fifth International Conf. on Soft Computing for Problem Solving. Springer Singapore, pp. 1-15, Signapore, Mar., 2016.
- [43] Lu, L., Jin, W., Wang X., "Non-local means image denoising with a soft threshold", IEEE Signal Processing Letters, vol. 22, no. 7, pp. 833-837, Jul., 2014.
- [44] Wu, Y., Tracey, B., Natarajan, P., Noonan, J. P., "James-Stein type center pixel weights for non-local means image denoising", IEEE Signal Processing Letters, vol. 20, no. 4, pp. 411 - 414, Apr., 2013.
- [45] Salmon, J., "On two parameters for denoising with non-local means", IEEE Signal Processing Letters, pp. 269 - 272, Mar., 2010.
- [46] Wong, A., Orchard, J., "A nonlocal-means approach to exemplar-based inpainting", in 15th IEEE International Conf. on Image Processing, pp. 2600-2603, Oct., 2008.
- [47] Passage of Suffering serial, TV1, by Hassan-pour, ptc/15-08-20, August 2015, <http://tv1.ir/index.php>.
- [48] Vu, P. V. Vu, C. T., Chandler, D. M., "A spatiotemporal most-apparent-distortion model for video quality assessment", in 18th IEEE International Conf. on Image Processing, pp. 2505-2508, Brussels, Belgium, Sep., 2011.
- [49] OSU Vision Lab, ptc/11-09-01, September 2011, visi-on.okstate.edu/stmad/STMAD-2011-MatlabCoder.rar
- [50] Results of methods, ptc/17-03-04, March 2017, https://www.researchgate.net/profile/FatemaLishahi_52/53509.
- [51] svn.openfoundry.Org/mshow/SERVER00/MATLAB_ORG0/CODE/20121019/FGseg/SampleVideo.avi.
- inpainting*", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 13, no. 9, pp. 1200-1212, Sep., 2004.
- [26] kumar, S., Biswas, M., Belongie, S. J., Nguyen, T. Q., "Spatio-temporal texture synthesis and image inpainting for video applications", in Proceedings of the International Conf. on Image Processing, vol. 2, pp. II-85, Genova, Italy, Sep., 2005.
- [27] Mosleh, A., Bouguil, N., Hamza, A. B., "A video completion method based on Bandlet transform", in Proceeding IEEE International Conf. Multimedia and Expo, pp. 1-6, Barcelona, Spania, Jul., 2011.
- [28] Jia, Y. T., Hu, S. M., Martin, R. R., "Video completion using tracking and fragment merging", Visual Computer, Springer-Verlag, vol. 21, no. 8, pp. 601-610, Sep., 2005.
- [29] Patwardhan, K. A., Sapiro, G., Bertalmio, M., "Video inpainting of occluding and occluded objects", in IEEE International conf. on Image Processing, vol. 2, pp. II-69, Genova, Italy, Sep., 2005.
- [30] Patwardhan, K. A., Sapiro, G., Bertalmio, M., "Video inpainting under constrained camera motion", IEEE Trans. on Image Processing, vol. 16, no. 2, pp. 545-553, Feb., 2007.
- [31] Vidhya, B., Valarmathy, S., "Novel video inpainting using patch sparsity", in IEEE International Conf. on Recent Trends in Information Tech-nology, pp. 810-814, Chennai, India, Jun., 2011.
- [32] Shiratori, T., Matsushita, Y., Kang, S. B., Tang, X., "Video Completion by Motion Field Transfer", in Proceedings of the IEEE Computer Society Conf. on Computer Vision and Pattern Rec., vol. 1, pp. 411-418, New York, NY, USA, Jun., 2006.
- [33] Ebdelli, M., Guillemot, C., Meur, O. L., "Exemplar-based video inpainting with motion-compensated neighbor embedding", in IEEE International Conf. on Image Processing, pp. 1737-1740, Orlando, FL, USA, Sep., 2012.
- [34] Shih, T. K., Tang, N. C., Hwang, J. N., "Ghost shadow removal in multi-layered video inpainting", in Proceeding of IEEE International Conf. on Multimedia and Expo, pp. 1471-1474, Beijing, China, Jul., 2007.
- [35] Shih, T. K., Tang, N. C., Hwang, J. N., "Exemplar-based video inpainting without ghost shadow artifacts by maintaining temporal continuity", IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, vol. 19, no. 3, pp. 347-359, Mar., 2009.
- [36] Tang, N. C., Hsu, C. T., Su, C. W., Shih, T. K., Liao, H. Y., "Video inpainting on digitized vintage films via maintaining spatiotemporal continuity", IEEE Trans. on Multimedia, vol. 13, no. 4, pp. 602-614, Aug., 2011.
- [37] Kamel, S., Ebrahimnezhad, H., Ebrahimi, A., "Moving object removal in video sequence and



فاطمه شیخعلیشاهی مدرک کارشناسی و کارشناسی ارشد خود را به ترتیب در سالهای ۱۳۸۱ و ۱۳۸۴ در رشته مهندسی برق-الکترونیک و برق-مخابرات از دانشگاه یزد اخذ کرد. وی هم‌اکنون دانشجوی دکتری مهندسی برق-مخابرات در دانشگاه شهید باهنر کرمان می‌باشد. زمینه‌های مورد علاقه ایشان پردازش سیگنال گفتار و پردازش سیگنال ویدئو است.



سعید سریزدی مدرک کارشناسی ارشد خود را در رشته برق مخابرات در سال ۱۳۶۶ از دانشگاه صنعتی اصفهان و مدارک D.E.A و دکتری در رشته پردازش سیگنال و پردازش تصویر را از دانشگاه Rennes فرانسه به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۳ و ۱۳۷۶ دریافت کرد. وی هم‌اکنون استاد بخش مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه‌ی او پردازش تصویر و بازشناسی الگو است.



حسین نظام‌آبادی‌پور تحصیلات خود را در دوره‌ی کارشناسی مهندسی برق-الکترونیک در دانشگاه شهید باهنر کرمان در سال ۱۳۷۷ و در مقاطع کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی برق-الکترونیک در دانشگاه تربیت مدرس به ترتیب در سال‌های ۱۳۷۹ و ۱۳۸۳ به پایان رسانده است. وی هم‌اکنون استاد بخش مهندسی برق دانشگاه شهید باهنر کرمان است. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه او پردازش تصویر، بازشناسی الگو، کاربرد رایانش نرم در پردازش تصویر و روش‌های بهینه‌سازی ابتکاری است.