

تقييم دقة خوارزميات الكشف الأعمى للفيديوهات المزيفة

سامر نسيب سيف الدين¹

أ. د. م. عادل خضور علي²

الملخص

يمكن تقسيم طرائق الكشف عن الفيديوهات المزيفة إلى طرائق الكشف الموجب وطرائق الكشف الأعمى، يركز بحثنا على طرائق الكشف الأعمى *blind detection*. وقد قمنا بتقييم مجموعة من الخوارزميات الأكثر شيوعاً من حيث الأداء والسرعة، بالتطبيق على قاعدة بيانات مكونة من (22) مقطع فيديو مزيف، أغلبها من إنتاج الباحث، والبعض من مراكز أبحاث معتمدة، وفيديوهات منشورة عبر مواقع الانترنت و(6) فيديوهات حقيقية من تصوير الباحث، وهذه الفيديوهات تم تزيفها بطرائق مختلفة وبدرجات متفاوتة من تعقيد التزييف، وقد توصلنا إلى أن أغلب هذه الخوارزميات تركز على كشف نوع واحد من التزييف، وتكون فعالة من أجله، بينما تكون قاصرة من أجل أنواع التزييف الأخرى، إضافة إلى التناسب بين فعالية الخوارزمية وزمن الكشف، وهذا ما يشكل عائق حقيقي وخاصة إذا كانت الفيديوهات المدروسة طويلة، أو تحوي عدة أنواع من التزييف وفي أكثر من مكان في الإطار نفسه.

الكلمات المفتاحية: الكشف الأعمى، التزييف بين الأطر، التزييف على الإطار، العلامة المائية، الارتباط الإحصائي، المعدات الرقمية، عامل الطاقة EF، عدم الاتساق، العتبة، الكروما.

¹ طالب دكتوراه في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.
² أستاذ مساعد في قسم هندسة الإلكترونيات والاتصالات- كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة دمشق.

Evaluating the accuracy of algorithms of the blind detection for faked videos

Samer Naseeb Saifaldeen

Abstract

Forgery video detection methods can be divided into positive detection methods and blind detection methods, our research focuses on blind detection methods. We have evaluated a group of the most popular algorithms in terms of performance and speed, applying to a database of (22) fake videos, Most of them are produced by the researcher, some from accredited research centers, videos published on the Internet, and (6) real videos filmed by the researcher, and these videos have been forged in different ways and with varying degrees of forgery complexity, and we have found that most of these algorithms focus on detecting one type of forgery. And it is effective for it, while it is limited for other types of forgery, in addition to the proportionality between the effectiveness of the algorithm and the detection time, and this is a real obstacle, especially if the videos studied are long, or contain several types of forgery and in more than one place in the same frame.

Keywords: blind detection, inter-frame forgery, antra-frame forgery, watermark, statistical correlation, digital equipment, EF power factor, inconsistency, threshold, Chroma.

المقدمة

تزييف الفيديو، هو أسلوب لإنشاء مقاطع فيديو مزيفة عن طريق تعديل أو إنشاء محتويات الفيديو أو دمج أكثر من مقطع.

تقسم طرائق تزييف الفيديو الى قسمين رئيسيين هم التزييف بين الأطر inter frame forgery والتزييف على الإطار نفسه antra frame forgery^[1].

وقد نجحت العديد من مواقع الوسائط الرقمية، مثل YouTube, Vimeo, daily motion Facebook إعادة إنتاج مقاطع الفيديو الرقمية بسرعة. وترافق ذلك بوجود كاميرات رقمية عالية التطور ومجهزة بشكل كافٍ عند المستخدم، إلى جانب وجود برامج تحرير الفيديو المتطورة والمجانية. بدأنا بعدها برؤية زيادة في عدد ونوعية مقاطع الفيديو المزورة.

وقد شهدت السنوات القليلة الماضية تقدماً كبيراً في مجال كشف الصور الرقمية المزيفة^[2]. بينما شهد تحليل واستقصاء الفيديو الرقمي اهتماماً أقل. لذا أصبحت عملية التحقق من الفيديوهات المنشورة مجالاً مهماً للبحث مع هذا الكم الكبير من الفيديوهات المزيفة والمنشورة عبر منصات التواصل الاجتماعي المختلفة.

ويمكن تقسيم هذه الأبحاث إلى ثلاث فئات رئيسية وهي: تحديد مصدر الفيديو، والتفريق بين مقاطع الفيديو التي يتم إنشاؤها بواسطة الكمبيوتر ومقاطع الفيديو الأصلية (المأخوذة بواسطة كاميرا)، وكشف التزييف.

تركز الفئة الأولى على تحديد المصدر، أي الجهاز الرقمي الذي سجله، كالهواتف المحمولة وكاميرات الفيديو، الكاميرات الرقمية وغيرها، بالاعتماد على الوسائط التي تنتجها هذه المصادر، أما غاية الفئة الثانية فهي التمييز بين الفيديو المنشأ بالحاسب والفيديو الحقيقي، وتركز الفئة الثالثة على كشف التزييف أي محاولة العثور على تعديل في مقطع الفيديو بغض النظر عن مصدره.

وسيكون تركيزنا في هذا البحث على كشف التزييف في مقاطع الفيديو. هذا لأن مقاطع الفيديو في العديد من القضايا القانونية تقدم كدليل قضائي، أو تستغل لقضايا إعلامية أو اجتماعية أو طبية...، وبسبب سهولة تزييف مقاطع الفيديو هذه باستخدام أدوات تحرير الفيديو مثل برميير، فيغاس، افتر افكت وايدويوس...، فمن المهم كشف التزييف المرتبط بمقاطع الفيديو في الوقت المناسب وبدقة تجعل آثار استخدامه السلبية في حدودها الدنيا.

كشف تزييف الفيديو:

يمكن تصنيف طرائق الكشف عن تزييف الفيديو إلى نوعين أساسيين هما الكشف الإيجابي والكشف الأعمى^[36]. يعتمد الكشف الإيجابي عن تزييف الفيديو بشكل أساسي على العلامة المائية والتوقيع الرقمي والمعلومات الوصفية للفيديو meta data^[3].

إن العلامة المائية أو التوقيع الرقمي^[4] لا يمكن العثور عليها إلا في عدد قليل من الكاميرات مثل Epson Photo PC 700 / 750Z و Z800 و Kodak DC290 و Z3000. بينما تفتقر معظم الكاميرات الأخرى إلى هذه التقنية، مما يجعل استخدام التقنية الإيجابية صعباً للغاية. إضافة إلى وجود برامج متطورة قادرة على محي المعلومات الوصفية أو تزييف التوقيع الرقمي، والأسوأ من هذا هو أن هذه الطرائق غير كافية لكشف التزييف من نوع تزييف بين الأطر inter frame forgery كالحذف وتعديل مكان الأطر أو مضاعفة الأطر بسبب تكرار هذه المعلومات (العلامة المائية وغيرها) في كل إطار من أطر الفيديو.

مع كل هذه القيود أصبح الكشف الأعمى (السلبى) لتزييف الفيديو هو الحل الأمثل. تستخدم التقنيات العمياء المحتوى المستلم فقط لتحديد أصالته، وتعمل في حالة الغياب التام لأي نوع من محددات الأثر أو المعلومات المضمنة، مثل العلامات المائية أو

والذي يمكن تعريفه على أنه كمية الإلكترونات الناتجة عن كل بكسل في الإشارة النهائية أثناء قراءة الجهاز (النقاط الفيديو).

في محاولة لكشف التزييف من قبل المؤلفين، يتم حساب متوسط الضجيج على جميع إطارات الفيديو، ثم مقارنته بمتوسط الضجيج مع إطارات أخرى. ولاستخراج الضجيج في كل إطار، يتم تطبيق مرشح تقليل الضجيج على الإطار الملتقط للحصول على إطار خالٍ من الضجيج والذي سيتم طرحه من الإطار الأصلي، والنتيجة هي نمط الضجيج لهذا الإطار المعين. تتم العملية لجميع الإطارات في الفيديو والمتوسط يؤخذ كمتوسط ضجيج. ثم يستخدم كل من متوسط الضجيج ونمط الضجيج لإطار معين لحساب التباين. ومن المحتمل أن تكون الإطارات التي لها تباين كبير عن المتوسط هي الإطارات المزيفة وقد لا تكون من نفس الفيديو.

بلغت دقة هذه الطريقة 47% على الرغم من أن الطريقة تتطلب وقت ملحوظ للحساب بسبب الحاجة لتحديد نمط الضجيج الفردي لكل إطار، ولم يأخذ المؤلفون في الاعتبار التزييف الذي يتم فيه التقاط إطار الفيديو باستخدام كاميرات مختلفة.

تم تقديم تقنية أخرى للارتباط الإحصائي في [5]. وهي استخدام ارتباط الضجيج المتبقي بين كتل الإطارات في الفيديو. تفترض هذه الطريقة بأنه سيكون هناك تغييراً ملحوظاً في ارتباط الضجيج المتبقي بين المناطق غير المعدلة والمناطق المعدلة (المزيفة) في مقطع فيديو.

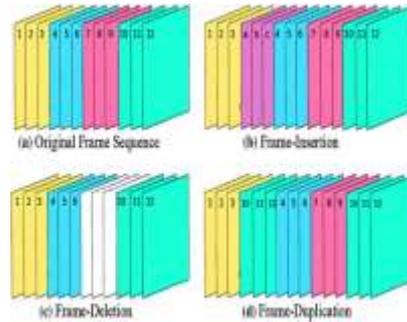
تعمل هذه التقنية بأربع خطوات، في الخطوة الأولى يتم استخراج الضجيج المتبقي لكل إطار في الفيديو باستخدام مرشح إزالة الضجيج والذي يشار إليه بالطول الموجي الذي تم اقتراحه في [6]. في الخطوة التالية يُقسم كل إطار في الفيديو إلى $N \times N$ كتلة (بلوك) غير متداخلة. ويتم استخلاص ارتباط الضجيج المتبقي

التوقيعات الرقمية. وقد تم اقتراح العديد من هذه التقنيات لكشف الفيديوهات المزيفة والتي تضم ثلاثة تصنيفات رئيسية هي الارتباط الإحصائي لميزات الفيديو، والكشف عن الشذوذ الإحصائي المستند إلى الإطار، والتناقضات الناتجة عن استخدام معدات رقمية مختلفة.

أ- الارتباط الإحصائي لميزة الفيديو

من الشائع في معظم الصور وإطارات الفيديو العثور على بكسلات معينة لا يتطابق سطوعها ولونها مع بقية البكسلات أو الموضوع العام للصورة أو إطار الفيديو. إن وجود مثل هذه البكسلات يسمى ضجيج. إن تأثير الضجيج في الفيديو الرقمي يكون أكثر وضوحاً عندما يصل القليل من الإضاءة إلى حساس الكاميرا. وهذا الضجيج يشتمل وضوح الصورة في الفيديو الرقمي.

يناقش العمل [4] مشكلة الكشف عن تزييف الفيديو التي يتم فيها إدخال إطار جديد أو عدة أطر بين سلسلة من إطارات الفيديو أو حذف أو مضاعفة بعض الأطر (التزييف بين الأطر inter frame forgery) والذي يمكن توضيحه بالشكل (1) التالي:



الشكل (1) الأشكال الأساسية للتزييف بين الأطر

إن حشر أطر جديدة مأخوذة من فيديو آخر، أو في ظروف إضاءة أخرى سيغير من خرج حساسات الكاميرا CMOS أو CCD وهذا يغير ضجيج القراءة،³

ضجيج القراءة: هي مزيج من الضجيج الصادر من البكسل ومن ADC. ضجيج القراءة (RN) للمستشعر هي مستوى الضجيج المكافئ (في الإلكترونات RMS) عند إخراج الكاميرا في الظلام وفي وقت تكامل صفري. يختلف التركيب بالنسبة لمستشعر CMOS ومستشعر CCD يحدد ضجيج القراءة بشكل أساسي دقة تباين الكاميرا

الضحيج. ثم تقييم البكسلات بالاعتماد بعدها عن تابع مستوى الضحيج. أظهرت النتائج التجريبية قدرة ضعيفة لهذه الطريقة في التعامل مع مقاطع الفيديو المسجلة لمشهد ديناميكي.

يقترح [8] نظامًا يكتشف التزييف في ملف فيديو يتضمن كائنات متحركة باستخدام أداة ظل الأشباح، الأداة التي تم تقديمها كنتيجة لتطبيق inpainting (إعادة الأجزاء التالفة) على الفيديو. إن inpainting للفيديو كما هو محدد في [9] و [10] هي تقنية يتم استخدامها لإكمال أو إعادة كائن تمت إزالته في ملف فيديو. يظهر الشكل (2) مثال على هذه العملية، حيث تمت إزالة الطفل من الشكل 2: (a) وتم إكمال المنطقة التي كان يشغلها تلقائياً باستخدام جزء من الصورة في الشكل 2: (b).



(B)



(a)

الشكل (2): (a) الأصل، (b) المنطقة المقابلة التي تمت إزالة المقدمة

بين الكتل من اثنين من الإطارات المتتالية في الخطوة الثالثة. في الخطوة الأخيرة يتم تحديد الكتل التي تم تعديلها عبر تحليل الخصائص الإحصائية لارتباط الضحيج على مستوى الكتلة.

أظهرت النتائج التجريبية دقة متوسطة لعملية الكشف بمعدل 54.52% لمقاطع الفيديو عالية الجودة. بينما تمثل مقاطع الفيديو المضغوطة تحدياً مهماً لطريقتهم لأن ارتباط الضحيج ليس ميزة موثوقة في ملفات الفيديو المضغوطة. ولا تزال مهمة استخراج بقايا الضحيج معقدة. ناهيك عن الفيديوهات التي هي بالأصل غير واضحة وتحوي الكثير من الضحيج أو عدم الوضوح والحركة.

اقترحت طريقة أخرى لكشف التزييف في مقطع فيديو تستخدم خصائص الضحيج في [7]. تفترض أن المتوسطات والتباين لخصائص الضحيج يجب حسابها عند كل قيمة للبكسل. يتم توقع قيمة تابع مستوى الضحيج والتي تناسب خصائص نقاط

ربط بعض الإطارات معاً. وتم استخدام معاملات رياضية شكلية (المورفولوجيا) والفرق التراكمي على التوالي للحصول على مسار تحريك المقدمة. يشير التناسق بين فسيفساء المقدمة والمسار إلى صحة الفيديو، وإلا فهو تزييف للفيديو من نوع inpainting.

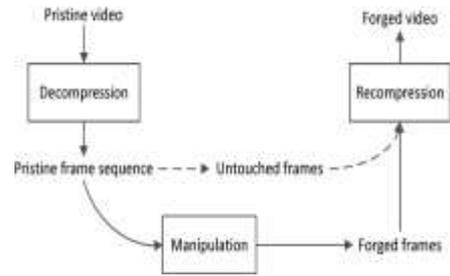
ويمكن تعريف ظلال الأشباح بأنها ومضات قد تنتج في ملف الفيديو بسبب الانقطاع الزمني الذي قد يحدث داخل منطقة طبق عليها inpainting.

قسم الباحثون كل إطار إلى مقدمة متحركة وخلفية ثابتة موافقة. تم تكوين فسيفساء (صورة بانورامية) من

(الصور) بالتناوب على ثلاثة أنواع من الإطارات: إطارات I (إطارات مرمزة)، إطارات P (إطارات مرمزة تنبؤيه) وإطارات B (إطارات مرمزة ثنائية التنبؤ). يشير إطار I إلى بداية GOP بينما تعتمد كل من الإطارات P والإطارات B على إطار I في مجموعة GOP. تبدي جميع أنواع الإطارات في GOP ارتباطات قوية. قام الباحثون في العمل السابق [35] ببناء كاشف أوتوماتيكي قائم على GOP للكشف عن تغير تلك الخصائص الإحصائية المتأصلة في الفيديو والتي يمكن تقسيمها إلى فئتين: الخصائص المتأصلة داخل الإطار والتي تصف خصائصه المكانية، والخصائص المتأصلة بين الأطر والتي تصف خصائصها الزمنية، تشير الارتباطات القوية بين الإطارات المتجاورة في الفيديو ضمناً أن كل إطار في نافذة زمنية محلية (GOP) يتألف من جزئين: الجزء متحرك وجزء ساكن. الجزء الساكن مطابق لإطار الارتكاز الأساسي (الإطار I) للنافذة الزمنية المحلية، في حين أن جزء الحركة (الإطار B/P) هو الحركة النسبية المتبقية لإطار المرساة هذا. وعلى اعتبار الحركة المتبقية تحتوي على كل من الخصائص المتأصلة داخل الإطار وبين الأطر للإطارات المدروسة، تصبح هذه الحركة المتبقية الهدف الأساسي للتحليل. يظهر الشكل (4) المخطط المنهجي لهذه الطريقة:

حققت هذه الطريقة دقة 83.4% لاكتشاف تزيف الفيديو نوع inpainting. وقد أثبتت التجربة أن النظام أكثر مقاومة لمقاطع فيديو نوع MPEG التي خضعت لعملية الضغط وفك الضغط.⁴

قدم في [35] عمل مهم آخر، فيه تم تطوير طريقة للتعرف التلقائي على الفيديو المزيف المستند إلى الكائن والمشفر بمعايير ترميز متقدمة، بناءً على بنية GOP (Group Of Pictures). يقدم الشكل (3) مخططاً لتزيف الفيديو المستند إلى الكائنات [35].

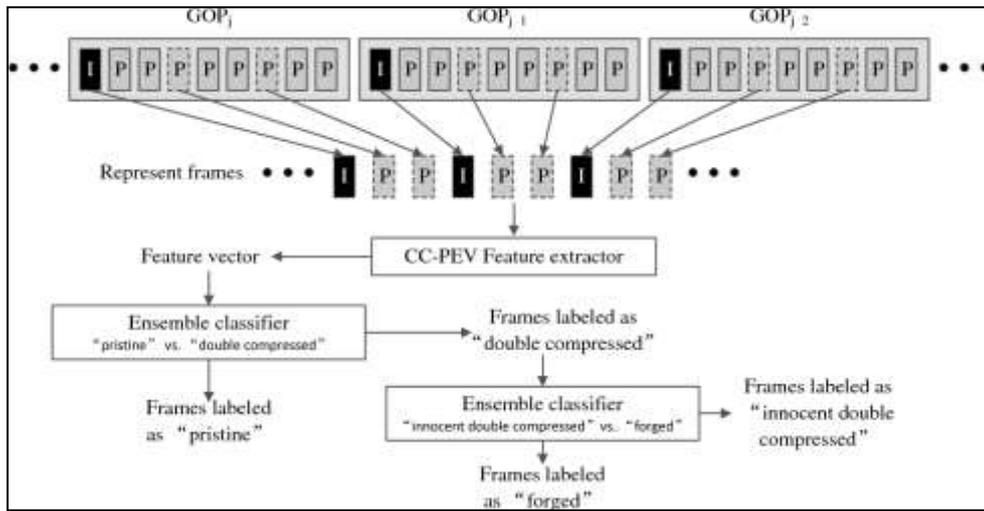


الشكل (3) مخطط عملية التزيف المبنية على الكائن

فعندما يتعرض مقطع فيديو أصلي لبعض أنواع التزيف المستند إلى الكائنات، فإن الخطوة الأولى هي فك ضغطه إلى سلسلة من الإطارات الفردية ويمكن اعتبار كل إطار على أنه صورة ثابتة. يتم العبث بالإطارات في الأجزاء المحددة من السلسلة بينما تبقى الإطارات المتبقية على حالها. بعد الانتهاء من جميع عمليات التلاعب، يتم إعادة ضغط إطارات السلسلة الناتجة لإنشاء نسخة مزيفة.

إذا أردنا معرفة مقطع فيديو مشبوه هل هو مزيف أم لا. يمكن إرجاع الفيديو إلى إطارات أصلية، وهي الإطارات في سلسلة الفيديو المضغوط التي لم تخضع لأي تلاعب، والإطارات المزدوجة الضغط، وهي الإطارات الموجودة في الفيديو التي خضعت لإعادة ضغط. يتكون دفق الفيديو من سلسلة من GOPs المتتالية، تحتوي كل مجموعة GOP (مجموعة من

⁴ Inpainting هي عملية صيانة يتم فيها ملء الأجزاء التالفة أو المتدهورة أو المفقودة من عمل فني لتقديم صورة كاملة. يمكن تطبيق هذه العملية على كل من الوسائط الفنية الرقمية والفيزيائية مثل اللوحات الزيتية أو الأكريلية أو المطبوعات الفوتوغرافية الكيميائية أو المنحوتات ثلاثية الأبعاد أو الصور الرقمية والفيديو.



الشكل(4) المخطط المنهجي لطريقة الكشف التلقائي المبني على GOP

تظهر النتائج التجريبية لهذه الطريقة القدرة على كشف التزييف من كلا النوعين بين الأطر وداخل الإطار بدقة جيدة تصل %83 من أجل التزييف بين الأطر، بينما تنخفض دقة الكشف من أجل التزييف داخل الإطار (إضافة أو إزالة الأجسام داخل الإطار) إذا كانت المساحة المزيفة صغيرة، كما تبدي الطريقة سرعة جيدة في إجراء عملية الكشف.

نورد في الجدول (1) ملخصاً للتقنيات الواردة في إطار هذه الفئة مع الأخذ بالاعتبار الطريقة المستخدمة، نوع التزييف، الدقة بالنسبة المئوية، والقيود والاقتراحات للتحسينات.

الجدول (1) ملخص تقنيات كشف التزييف على أساس ميزة الفيديو

#	الطريقة المستخدمة	نوع التزييف المعنون	الدقة (%)	المحددات	اقتراحات التحسين
[4]	تباين في ضجيج القراءة	إدراج (حشر) اطار	47	زمن حساب كبير	اضافة أنواع أخرى من التزييف
[5]	ارتباط بقايا (الضجيج)	تعديل الاطار	52.54	عدم الكفاءة مع ملفات الفيديو المضغوطة	استخدم ضجيج التكميم لأنها ميزة موجهة للضغط
[7]	خصائص الضجيج المستقلة	حذف الاطار	81.37	تعتبر مقاطع الفيديو المأخوذة من مشاهد ثابتة مع ضغط بدون فقدان البيانات	الأخذ في الاعتبار المشاهد الديناميكية والأجسام المتحركة
[8]	آثار ظل الشبح	إزالة الكائن المتحرك	83.4	قوية فقط من أجل ضغط وإعادة ضغط نوع MPEG	الظل الشبح هو نوع واحد من آثار التزييف الأثرية، يجب استغلال الكثير من الآثار الأخرى
[35]	الكشف التلقائي المبني على GOP	إزالة أو إضافة كائن إلى الإطار، حذف أو إضافة أطر	83	قوية من أجل الأجسام الكبيرة وضعيفة نسبياً في حال كان مساحة التعديل داخل الإطار صغيرة	تحسين الكشف من أجل التعديلات حذف وإضافة ونسخ- لصق على مساحات صغيرة في الإطار

ب- تقنية الكشف عن الشذوذ الإحصائي القائمة على الإطار:

يوجد ارتباط إحصائي معين بين كتل الإطارات في مقطع فيديو معين، مثل ارتباط مستوى الإطار وارتباط مستوى الكتلة (block).

تستخدم الكثير من التقنيات التي تم اقتراحها في أدبيات الكشف عن التزييف أنماط الارتباط هذه في محاولة للعثور على آثار التزييف في مقطع فيديو معين.

اقترح العمل [11] طريقة تعتمد على تقسيم (تفكيك) مكاني منتظم. يتم فيها تقسيم إطار الفيديو إلى كتل بحجم 32×32 بكسل، يتم اختيار أفضل n كتلة إطار متطابقة عن طريق حساب الارتباط الموحد بين الكتل ثم اختيار معاملات الارتباط ذات الحجم الأكبر. ويتم اشتقاق مقياس تشابه واحد لكل إطار عن طريق حساب المتوسط والانحراف المعياري من أجل ذروة الارتباط. ثم حساب متوسط القمم التي تقع خارج المتوسط الأصلي. يقارن المتوسط المشتق بين الإطارين مع المتوسط المطابق للإطار السابق. ويتم الكشف عن التزييف عندما يكون هناك انخفاض كبير بين الإطارات. الطريقة قوية للغاية على مقاطع الفيديو عالية الجودة ولكنها ذات تعقيد مرتفع. بالإضافة إلى ذلك، فإن الطريقة لا تعمل بشكل جيد مع مقاطع فيديو ذات الجودة المنخفضة والكتل ذات الحجم الأدنى.

اقترح العمل [12] طريقة أخرى تجعل استخدام الارتباط المشترك كقياس للتشابه. يتم في هذه الطريقة تقسيم الفيديو الكامل إلى تسلسلات فرعية قصيرة. ويستخرج الارتباط الزمني والمكاني في كل سلسلة فرعية. وإجراء مقارنات بين هذه الارتباطات داخل تسلسلات الفيديو.

يستخدم التشابه بين الارتباط الزمني والمكاني بين اثنين أو أكثر من التسلسلات الفرعية فوق العتبة المحددة كدليل على الازدواجية (مضاعفة الأطر).

كامتداد لما تم في العمل [12] تم في [13] اقتراح تقنية كشف يمكن أن تحدد مناطق التزييف التي تنتمي إلى مقاطع فيديو مختلفة.

عيب هذه الخوارزمية هو أنه لا يمكنها اكتشاف التزييف إلا في حالة الفيديو المتشابك interlaced. إن الهدف من هذه الفئة من التقنيات هو الكشف عن الارتباط الإحصائي الموجود بين كتل الإطارات في الفيديو. وفقاً لـ [15, 16] يمكن اعتبار التناقضات (عدم التناسق) في الارتباط بين إطارات الفيديو دليل على التزييف.

معظم خوارزميات الكشف السابقة تعتمد الكشف إطار - إطار، مما يؤدي إلى عدم الكفاءة، والأكثر من ذلك، فهي غير قادرة على اكتشاف تزييف مقاطع الفيديو في ظل تعقيد الخلفية (الشاشات المهتزة قليلاً، والأشجار المتمايلة، وتموجات المياه والضوضاء وتغيير السطوع).

اقترح الباحثون في [27] لمعالجة هذه المشاكل، خوارزمية جديدة لكشف التزييف من نوع إزالة مقدمة الفيديو. حيث تقوم الخوارزمية أولاً بحساب عامل الطاقة (EF) لكل إطار لتحديد الإطارات المشتبه بها. ثم استخدام خوارزمية AVIBE (خوارزمية متكيفة لاستخلاص الخلفية البصرية) لاكتشاف المناطق المزيفة في الإطارات المشتبه بها، التي حددت في المرحلة الأولى إن وجدت في الفيديو المدروس.

وقد أظهرت النتائج التجريبية أن لهذه الخوارزمية كفاءة حسابية أعلى ودقة جيدة، بالإضافة إلى متانة أفضل من تلك التي تمت دراستها سابقاً، ولكن لديها محددات منها، الخوارزمية المقترحة قادرة على اكتشاف ما إذا كان الفيديو قد تعرض للعبث أم لا عبر استخدام عامل الطاقة EF، ولكن لا يمكنها تحديد أجزاء من موقع آثار العبث بدلاً من العبث الكامل، وهذا قد يكون بسبب استخدام أكثر من نوع من أنواع التزييف وفي أكثر من جزء من إطارات الفيديو. كما تقل دقة الكشف

للخوارزمية المقترحة بشكل كبير عندما تكون المقدمة المراد إزالتها صغيرة جداً، أو تتحرك الخلفية بسرعة كبيرة. تركز الخوارزمية بشكل أساسي على إزالة المقدمة وهو أحد أهم طرائق التزييف، ولكن هناك العديد من طرائق التزييف التي لا تغطيها الخوارزمية وتكون غير قادرة على كشفها.

الجدول (2) ملخص للتقنيات القائمة على الإطار لاكتشاف الانحرافات الإحصائي

#	الطريقة المستخدمة	نوع التزييف المعنون	الدقة (%)	المحددات	اقتراحات التحسين
[11]	علاقة الارتباط باستخدام تقسيم مكاني منتظم	ادراج (حشر) إطار تعديل الإطار	88	لا تعمل بشكل جيد مع الفيديو المنخفض الجودة وكتل ذات حجم أصغر	تمتد إلى المقاطع التي تتلاشى، تم مسحها أو حلها أو تكبيرها (انتقالات الفيديو)
[12]	معامل الارتباط بين الإطارات	مضاعفة الإطار	66	تفتقر إلى القدرة على اكتشاف الازدواجية في إطار الفيديو الثابت.	تحسين دقة الكشف عن المناطق الصغيرة المزيفة
[13]	مواصلة للطريقة السابقة (معامل الارتباط بين الإطارات)	مضاعفة المنطقة	87	تعمل فقط في مقاطع الفيديو المتشابهة	قد يستوعب التحسين تأثيرات عيوب الضغط
[27]	معامل الطاقة EF	إزالة المقدمة	91	تركز على تزييف إزالة الأمامية، لا تستطيع تحديد مكان العبث ذو المساحة الصغيرة، أو العبث في أكثر من مكان في إطار الفيديو	تطوير الخوارزمية لتناسب أنواع أخرى من التزييف

من كاميرا معينة كبصمة استشعار (بصمة الحساس) للتحقق من صحة الفيديو. حيث تتكون مستشعرات (حساسات) التصوير CCD أو CMOS في الكاميرا الرقمية من عدة كاشفات للفوتون يشار إليها بالبيكسل، تختلف حساسية هذه البيكسلات للضوء حسب تجانس رقائق السيليكون في الأجهزة المختلفة، ومن المفترض أن كل حساس يلقي نمط فريد لضجيج الحساس (SPN) على الفيديو الذي يأخذه (يصور بالكاميرا الحاوية لهذا الحساس).

تم التحقق من تزييف الاقتطاع (حذف الأطر) في فيديو الاختبار باستخدام اثنين من مرشحات الارتباط. يعتمد التصميم على تحويل Mellin [24] التوافقي الشعاعي (MRH) ودمج التوافقيات المتعددة في مرشح الارتباط لتحسين القدرة على التمييز. بالإضافة إلى ذلك يقلل تصميم المرشح من متوسط طاقة الارتباط من أجل تحقيق قمم ارتباط حادة، ويشار لهذه المرشحات على

ج. ميزات عدم الاتساق للمعدات الرقمية

اقترح العمل [17] طريقة لكشف التزييف بين الأطر intra frame على أساس توزيعات التدفق البصري غير المتناسقة. حيث إن للإطارات المتجاورة تدفق بصري ثابت (متناسق) في الفيديو الأصلي. ومع ذلك، فإن التزييف بين الأطر سوف يشوش (يقطع) هذا الاتساق. تم تقسيم الفيديو إلى إطارات متعددة، يتم حساب التدفق البصري بين الإطار الأول المسمى I^{th} والإطار المجاور $I^{\text{th}+1}$.

ثم تتم مقارنة التدفق البصري بين الإطارات المتجاورة. عندما تكون النتيجة أعلى من العتبة المحددة threshold، فهذا إذا موضع مشبوه.

تظهر تجارب هذه الطريقة معدل دقة يصل إلى 89%، ولكن الخوارزميات المستخدمة لحساب التدفق البصري عالية التعقيد وحساسة لاضطراب الحركة.

اقترح الباحثون في [21-22-23]، طريقة لاستخراج مرجع واختبار SPN (نمط ضجيج الحساس)

أنها مرشحات Mellin التوافقية الشعاعية ذات أدنى متوسط لطاقة الارتباط (MACE-MRH). والتي تم تطويرها من أجل اختبار التزييف نوع تغيير المقاس، ولكلا المرشحين نطاقات متأصلة مختلفة المقاس عن نطاق المرجح المقابل SPN.

أظهر المرشح الأول قيمة عالية للارتباط عندما لا يتم التحجيم (upscale) في فيديو الاختبار، بينما أظهر المرشح الثاني قيمة ارتباط منخفضة عندما يكون الفيديو مكبر (upscale). تم تقييم قيم الارتباط المتبادل للمرشحين للتأكد مما إذا كان الفيديو قد تم تزييفه أم لا. من محددات هذه الطريقة تركيزها على التزييف في فيديوهات المراقبة فقط، وعدم قدرتها على كشف التزييف الذي يتم على بكسلات الإطار نفسه.

يبتكر العمل [25] خوارزمية تستخدم الرسم البياني (هستوغرام) لميزة التدرجات الموجهة histogram of (HOG) oriented gradients وهي نوقشت أيضاً في [26]. يتم استخراج ميزات HOG من الكتل (البلوكات) ومن ثم مطابقتها مع ميزات HOG المستخرجة من كتل أخرى في المجال الزمني والمكاني في محاولة للكشف عن التعديل.

تكتشف الخوارزمية التعديل من نوع نسخ- لصق فقط. إن تقنيات الكشف من صنف هذه المجموعة لديها تشابه كبير مع تقنيات تحديد المصدر، كما أنها تقوم بالكشف عن التعديل من خلال النظر إلى تلك التناقضات (عدم التناسق) في الارتباط الإحصائي أو الرياضي لبعض الميزات الخاصة بتصنيع أجهزة معينة. نورد في الجدول (3) ملخصاً للتقنيات الواردة في إطار هذه الفئة مع الأخذ بالاعتبار الطريقة المستخدمة، نوع التزييف، الدقة بالنسبة المئوية، والقيود والاقتراحات للتحسينات.

الجدول (3) ملخص التقنيات القائمة على عدم تناسق المعادلات الرقمية

#	الطريقة المستخدمة	نوع التزييف المعنون	الدقة (%)	المحددات	اقتراحات التحسين
[17]	عدم التناسق في توزيع التدفق البصري	التزييف بين الأطر	89.5	درجة عالية من التعقيد لحساب التدفق الضوئي	تحسين في السرعة والأداء
[24]	الأنماط غير المرتبطة التي قد توجد بين ضجيج نمط الحساسات بين الإطارات	تزييف الإقتصاص، تغيير الحجم	87	يركز على مقاطع فيديو المراقبة المعدلة فقط	يمكن أن يمتد هذا إلى أنواع أخرى من التزييف
[25]	المطابقة المكانية والزمانية للميزات (HOG) المستخرجة	تزييف نوع نسخ- لصق	89.9	يقتصر فقط على الكشف عن التزييف نوع نسخ- لصق	يمكن تمديد ما للكشف عن أنواع أخرى من التزييف

موثوقة، بالإضافة إلى فيديوهات منشورة عبر الانترنت والتي يوضحها الجدول (4) التالي:

التجارب والتحليل:

لتقييم أداء هذه الخوارزميات، تم تطبيقها على سلسلة من مقاطع الفيديو التي تم تصويرها وتعديلها من قبل الباحثين مراعين أغلب طرائق التزييف الشائعة، وبعض الفيديوهات التي حملت من مراكز دراسات

الجدول (4) الفيديوهات المستخدمة لتقييم الخوارزميات المقترحة

#	حجم الفيديو (الدقة)	نوع التزييف	مكان أو زمن التزييف	مصدر الفيديو
1	720*1280, 30fps	بين الأطر (حذف)	3:08 - 2:12	الباحث
2	720*576, 25 fps	بين الأطر (تكرار)	8:13-8:00 التكرار 4 مرات	الباحث
3	720*1280, 30fps	بين الأطر (تبديل أمكنة)	12:20-8:20 نقل هذه الاطر الى البداية 0:0	الباحث
4	320*240, 30fps	بين الأطر (حشر من نفس الكاميرا) حشر اطارات التي تظهر السيارة الحمراء في مقدمة الفيديو (نسخ-لصق) لكامل الاطار		Surrey University Library for Forensic Analysis (SULFA) of "video content"
5	720*576, 25 fps	بين الأطر (حشر من غير الكاميرا)	حشر عدة اطارات عند الزمن 7:10 حتى الزمن 15:18	الباحث
6	320*240, 30fps	على الاطار نفسه (نسخ) تم نسخ نصف الاطار (الكادر) الذي على اليمين وتغطية نصف الكادر الذي على اليسار على كامل الفيديو		Surrey University Library for Forensic Analysis (SULFA) of "video content"
7	720*576, 25 fps	على الاطار نفسه (تصحيح)	دوران المقطع كاملا 90 درجة	الباحث
8	640x360/24 fps, mp4	على الاطار نفسه (نسخ متطابق)	تكرار شخصية بتقنية النسخ المتطابق على كامل المقطع	https://youtu.be/pKSbhxXOMoQ تم اقتطاع جزء من الفيديو من قبل الباحث
9	720*576, 25 fps	على الاطار نفسه (استبدال الخلفية) - دمج فيديوين بأحجام كادر مختلفة	كروما + تحجيم وتغير مكان	الباحث
10	720*576, 25 fps	على الاطار نفسه (حشر جزء من الاطار)	حشر فيديو في الزاوية اول 5 ثواني	الباحث
11	720*1280, 30fps	على الاطار نفسه (حذف الخلفية - خلفية متحركة)	كروما (الامامية) + تحجيم الفيديو الاصلي	الباحث
12	720*1280, 30fps	على الاطار نفسه (استبدال الصوت)	مضاعفة اخر 3:04 ثانية واستبدالها بما قبلها	الباحث
13	240*320, 30fps	على الاطار نفسه (حذف جسم)		الباحث
14	240*320, 30fps	على الاطار نفسه (قص من الحواف)	قص الحافة السفلية والعلوية وتكبير الكادر على كامل المقطع	الباحث
15	1280x720, 30pfs	على الاطار نفسه (دمج فيد يوهين)	Crop, move, blend multiply	الباحث
16	320*240, 30fps	على الاطار نفسه (حشر فيديو) نسخ اطر ولصقها مكان جزء من الفيديو (نسخ-لصق)		Surrey University Library for Forensic Analysis (SULFA) of "video content"
17	720*1280, 30fps	على الاطار نفسه (حذف الامامية - جسم أو أكثر)	حذف جسم واحد في منتصف الفيديو 6:03-3:12	الباحث
18	1280x720	inpainting		مراكز ابحاث
19	640x360	inpainting		مراكز ابحاث
20	1280 × 720, 24fps	مونتاج (تغيير حجم اللقطة)	Wild horses runing	https://youtu.be/szBm252QN0M
21	720*576, 25 fps	مونتاج (وجود ترانزيشن)	Zoom transition at 7:11	الباحث
22	720*576, 25 fps	كروما	مقطعين محفوري الكروما مع حذف صوت احدهما (الخلفية) وتكرارها مرتين لتناسب الامامية	You tube
25		حقيقي		تصوير الباحث
26		حقيقي		تصوير الباحث
27		حقيقي		تصوير الباحث
28		حقيقي		تصوير الباحث
29		حقيقي		تصوير الباحث
30		حقيقي		تصوير الباحث

تحليل النتائج:

دقة متوسط نسبياً في الخوارزميات التي اعتمدت على دراسة الضجيج بمفرده، ويعزى هذا لتعدد مصادر الضجيج المضاف للفيديو أثناء تسجيل الفيديو، أو العمليات اللاحقة لعمليات الضغط التي قد تنقص من

1. اعتمدت غالبية خوارزميات كشف التزييف من فئة "الارتباط الإحصائي لميزة الفيديو" على دراسة الضجيج الناتج عن عملية التزييف، وأعطت مستوى

- جودة الفيديو وتزيد من الضجيج المضاف للفيديو، بينما وصلة دقة طريقة كشف التزييف من نوع inpainting إلى 83.4% بسبب اعتمادها النسخ المتطابق في عملية التزييف والذي يمكن كشفه بسهولة ودقة أكبر.
2. إن طريقة الكشف التلقائي المبني على GOP تستقصي الخصائص المتأصلة داخل الإطار والتي تصف خصائصه المكانية أي التزييف على الإطار antra frame، والخصائص المتأصلة بين الأطر والتي تصف خصائصها الزمنية أي التزييف بين الأطر inter frame، وقد أعطت دقة وصلت إلى 83% للتزييف بين الأطر بسبب التغير الملحوظ في جزء الحركة (الإطار B/P) أو الحركة النسبية المتبقية لإطار المرساة، بينما انخفضت الدقة كثيراً في حال كان مكان التزييف صغير داخل الإطار بسبب التغير الصغير جداً في جزء الحركة (الإطار B/P) وبالتالي عدم قدرة الكاشف على تحديده، وهذا يحتاج خوارزميات أخرى من نوع كشف النسخ المتطابق أو نقل- لصق.
3. إن غالبية الخوارزميات التي تقع تحت فئة "الكشف عن الشذوذ الإحصائي القائمة على الإطار"، مناسبة لكشف التزييف من نوع التزييف بين الأطر، وأعطت دقة كشف مرتفعة وصلت 91%، لكن بزمن فحص كبير نسبياً بسبب اعتمادها الفحص إطار- إطار مما يجعلها غير مجدية في حال كانت مدة الفيديو المدروس كبيرة نسبياً.
4. يمكن حل المشكلة السابقة باعتماد الطريقة المعتمدة على عامل الطاقة EF كمرحلة أولى، لتحديد الإطارات المشبوهة الى تحتاج فحص دقيق لتبيان زيفها من أصلاتها.
5. أبدت الخوارزميات التي تقع تحت فئة "كشف ميزات عدم الاتساق للمعدات الرقمية"، تعقيداً رياضياً مرتفعاً، وبالتالي زمن تنفيذ مرتفع، وهذا ترافق مع دقة كشف مرتفعة لكل خوارزميات هذه الفئة تجاوزت 80% من أجل التزييف بين الأطر والذي ينتج تغيرات ملحوظة بسبب التغير في أدوات الالتقاط، إلا أن الدقة
- تتخفص في حال كان التزييف على فيديو ملتقط بجهاز واحد.
6. هناك تناسب بين دقة الخوارزمية والتعقيد الرياضي في أغلب الأحيان وهذا يضعنا في مفاضلة بين الدقة وزمن الكشف.
7. أظهرت أغلب الخوارزميات المدروسة دقة مرتفعة من أجل نوع محدد من التزييف، بينما انخفضت دقة الكشف كثيراً من أجل الأنواع الأخرى.
8. غابت دراسة الصوت المرافق للصورة في أغلب الخوارزميات المدروسة، مع أنه يشكل واحداً من أكثر أنواع التزييف المنشورة عبر الأنترنت.
9. لم تحظى الفيديوهات المولدة كليا عبر الحاسب deep fake بما يكفي من الدراسة وهي النوع الأخطر حالياً.
10. أغفلت أغلب الخوارزميات التزييف من نوع الكروما Chroma وهذا النوع مهم وسهل التنفيذ، ويكون مترافق غالباً مع طرائق تزييف أخرى.

التوصيات:

1. اعتماد عامل الطاقة EF كمرحلة أولى في عملية الكشف حيث يخفض من زمن الكشف بشكل كبير بتحديد الإطارات المشبوهة في الفيديو المدروس.
2. تصغير حجم البلوك في الإطار المدروس من 32*32 إلى 4*4 مما يزيد من دقة الخوارزميات التي تستخدم لكشف التزييف من نقل- لصق أو النسخ المتطابق.
3. دمج طريقة الضجيج المتبقي مع كشف الحواف مما يحسن من أداء الطرائق التي تعتمد في كشف التزييف على الضجيج.
4. التركيز على فصل الخلفية عن الأمامية في الفيديو المدروس بالاعتماد على الكثافة الضوئية والتي تتأثر بشكل كبير عند تزييف الفيديو، واستخدام أسلوب تسجيل الخلفية المتعدد للحد من الاختيار الخاطئ

لأجسام المقدمة في حال كانت الخلفية تحوي أجسام مهتزة قد تظهر على أنها من أجسام المقدمة.

5. الحاجة لتطوير خوارزمية متكاملة قادرة على كشف العدد الأكبر من أنواع التزييف.

6. الحاجة لدراسة عملية التزييف وأدواتها المتاحة وهذا يسرع من تعديل خوارزميات الكشف بما يتوافق مع التعديلات في طرائق التزييف.

7. إعطاء خيار لخبير كشف التزييف، يمكنه من التحكم بسير خوارزمية الكشف المتكاملة مما قد يسرع كثيراً من عملية الكشف.

8. تطوير خوارزميات لكشف التزييف من نوع إزالة الخلفية عبر استخدام الكروما، وهي العملية الأولى التي يتبعها أنواع أخرى من التزييف، مثل النسخ المتطابق واستبدال الأجسام والشخصيات بشخصيات مبنية على الحاسب، والتي تنتشر بشكل كبير وتقنيات متطورة في عالم السينما وصناعة الواقع الافتراضي.

الكمبيوتر المستخدم لجميع التجارب في

دراستنا

تم تكوينه على النحو التالي:

وحدة المعالجة المركزية: Intel (R) Core (TM) i7-2640M CPU @2.8 GHZ 2.8GHZ

حجم الذاكرة: 6 جيجا بايت. بطاقة الفيديو: NVIDIA NVS 4200.

نظام التشغيل: Microsoft Windows 10 Enterprise N

الترميز: MATLAB (R2019a)

البرامج المستخدمة في تعديل الفيديوهات

برمبير 2020 premiere pro، افتر افكت after

effect 2020، ايديوس 7.2 edius، أدوبي أودشن

audition 2020

Pattern Anal. Mach. Intell., vol. 29, no. 3, 463–476, 2007

10. K. Patwardhan, A. G. Sapiro, M. Bertalmío, “Video inpainting under constrained camera motion”, *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 16, no. 2, 545–553, 2007.
11. S. V. Porter, M. Mirmehdi, B. T. Thomas, “Video cut detection using frequency domain correlation”, *Proceedings. 15th International Conference on Pattern Recognition*, vol. 3409 - 412, 2000.
12. W. Weihong, F. Hany-, “Exposing digital forgeries in video by detecting duplication”, *Proceedings of the 11th ACM workshop on Multimedia and security*, 2007.
13. Wang, W., Farid, H. (2007). Exposing digital forgeries in interlaced and deinterlaced video. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, vol. 2, no. 3, pp. 438–449.
14. P. Bestagini, S. Milani, M. Tagliasacchi, S. Tubaro, “Local tampering detection in video sequences”, *IEEE 15th International Workshop Multimedia Signal Processing (MMSP)*. pp.488 – 493, 2013.
15. W. Chen, Y. Q. Shi, “Detection of double MPEG video compression using first digits statistics”, *International Workshop on Digital Watermarking*, 5450:16–30, 64, 86, 2008.
16. J. D. Kornblum, “Using JPEG quantization tables to identify imagery processed by software”, *Digital Investigation*, 5(1):S21–S25, 64, 2008.
17. N. Dalal, B. Triggs, “Histograms of oriented gradients for human detection”, *Proc. CVPR’05*, 2005.
18. J. Candamo, M. Shreve, D. B. Gold, D. B. Sapper, R. Kasturi, “Understanding transit scenes: A survey on human behavior recognition algorithms”, *IEEE*

المراجع References

1. Raahat Devender Singh, Naveen Aggarwal, Video content authentication techniques: a comprehensive survey, www.springer.com, pages211–240(2018).
2. Qadir, G., Yahaya, S., Ho, A.T.S.: Surrey University Library for Forensic Analysis (SULFA) of video content. In *IET Conference on Image Processing (IPR ‘12)*. London, UK, pp. 1–6. (2012). <http://sulfa.cs.surrey.ac.uk/>. Accessed 23 Mar 2016.
3. Z.Y. Zhou, X.H. Tang, “Integrity authentication scheme of color video based on the fragile watermarking”. (*ICRCC*), Ningbo, China, pp. 4354–4358, 2011.
4. D. Asok, C. Himanshu, G. Sparsh, “Detection of forgery in digital video,”10th world multi conference on systemics, cybernetics and informatics, pp. 16-19, Orlando. USA, 2006.
5. H. Chih-Chung, H. Tzu-Yi, L. Chiou-Ting, H. Chia-Wen, “Video forgery detection using correlation of noise residue” *IEEE 10th workshop on multimedia signal processing*. pp. 170 – 174, 2008.
6. M. K. Mihcak, I. Kozintsev, K. Ramchandran, “Spatially adaptive statistical modeling of wavelet image coefficients and its application to denoising,” *Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. 6, pp. 3253–3255, 1999.
7. K. Michihiro, O. Takahiro, S. Yoichi, “detecting video forgeries based on noise characteristics”, *Springer-Verlag Berlin Heidelberg* pp. 306–317, 2009.
8. Z. Jing, S. Yuting, Z. Mingyu, “Exposing Digital Video Forgery by Ghost Shadow Artifact.”, *ACM Workshop on multimedia in Forensics*. pp 49 – 54. U.S.A, 2009.
9. Y. Wexler, E. Shechtman, M. Irani, “Space-time completion of video”, *IEEE Trans.*

29. Fu, D., Shi, Y.Q., Su., W.: A generalized Benford's law for jpeg coefficients and its applications in image forensics. In: Delp, E.J., Wong, P.W., (eds.) Proceedings of SPIE Security, Steganography and Watermarking of Multimedia Contents IX. Vol. 6505, San Jose, CA, pp. 39–48 (2007)
30. Luo, W., Wu, M., Huang, J.: MPEG recompression detection based on block artifacts. In: Delp, E. J., Wong, P. W., Dittmann, J, Memon, N. D., (eds.) Proceedings of SPIE Security, Forensics, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents X. Vol. 6819, San Jose, CA (2008)
31. Wang, W., Farid, H: Exposing digital forgeries in video by detecting double quantization. In: Proceedings of 11th ACM Workshop on Multimedia and Security. ACM Press, New York, NY, pp. 39–48 (2009)
32. Su, Y., Xu, J.: Detection of double-compression in MPEG-2 videos. In: Proceedings of 2nd International Workshop on Intelligent Systems and Applications. Vol. 1, no. 4, pp. 22–23 (2010)
33. Su, Y., Nie, W., Zhang, C.: A frame tampering detection algorithm for MPEG videos. In Proceedings of 6th IEEE Joint International Information Technology and Artificial Intelligence Conference, Chongqing, China vol. 2, pp. 461–464 (2011)
34. سيف الدين. سامر. 'دراسة تأثير الصورة والفيديو والمزيف منها بشكل خاص في المجال الإعلامي (الأزمة السورية نموذجاً)', www.ResearchGate.net, 2021
35. Shunquan Tan* and Shengda Chen and Bin Li: GOP Based Automatic Detection of Object-based Forgery in Advanced Video, APSIPA Annual Summit and Conference 2015, pp. 719.721 (2015).
36. Kumar, Vinay and Singh, Abhishek and kansal, Vineet and Gaur, Manish, A Comprehensive Analysis on Video Forgery Detection Techniques (March 29, 2020). Proceedings of the International Conference on Innovative Computing & Communications (ICICC) 2020, Available at SSRN: <https://ssrn.com/abstract=3563382> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3563382>.
- Transactions on intelligent transportation. System. 11(1), 206–224, 2010.
19. J. Xiaofei, L. Honghai, "Advances in view-invariant human motion analysis: a review", IEEE Trans. Syst. Man Cybern. Part C Appl. Rev. 40(1), 13–24., 2010.
20. K. S. Ashish, C. Abha, "A motion detection algorithm for tracking of real time video surveillance", International Journal of Computer Architecture and Mobility (ISSN 2319-9229) Volume 1-Issue 6, Available Online at: www.ijcam.com, 2013
21. J. Lukas, J. Fridrich, M. Goljan, "Digital camera identification from sensor pattern noise", IEEE Transaction and Information Forensic Security, 2006.
22. M. Chen, J. Fridrich, M. Goljan, J. Lukas, (2007) "source digital camcorder identification Using sensor photo-response nonuniformity", Proceedings of spie conference on security, steganography, and watermarking of multimedia contents, 2007.
23. J. Fridrich, "Digital image forensics: Introducing methods that estimate and detect sensor fingerprint.", IEEE Signal Processing Magazine. 26:26–37, 2009.
24. Xu, Q.; Kuang, H.; Kneip, L.;Schwertfeger, S. Rethinking theFourier-Mellin Transform: MultipleDepths in the Camera's View.RemoteSens.2021,13, 1000.
25. A. V. Subramanyam, E. Sabu, "Video forgery detection using hog features and compression properties" IEEE 14th International Conference on Multimedia signal processing. pp 17 – 19, 2013.
26. J. Chao, X.H. Jiang, T.F. Sun, "A novel video inter-frame forgery model detection Scheme based on optical flow consistency". Springer, Berlin, Heidelberg, pp 267-281, 2013.
27. Lichao Su, Huan Luo*, Shiping Wang, "A Novel Forgery Detection Algorithm for Video Foreground Removal", IEEE, 2019.
28. Wang, W., Farid, H.: Exposing digital forgeries in video by detecting double MPEG compression. In: Voloshynovskiy, S., Dittmann, J., Fridrich, J. J. (eds.) Proceedings of 8th Workshop on Multimedia and Security (MM&Sec'06). ACM Press, New York, NY, pp. 37–47 (2006)