Improving The Protection Of Intellectual Property For Audio Files Using Watermarking

Dr. Hasan Khaddour•
Ali Younes**

(Received 4 / 8 / 2024. Accepted 18 / 9 / 2024)

□ ABSTRACT □

Digital watermark has become an effective technology in the field of multimedia intellectual property protection, which means embedding a digital signal or pattern such as a text document, image, audio file, etc. within the original signal. The added file carries private information of the copyright owner or creator of the document to protect his ownership and prove that he created the digital file. In this study, we included a digital watermark as a special image within an audio signal, and this mark is the Quick Response Code. The watermark was embedded in the audio file at the least significant bit (LSB) and the basic parameters of the resulting signal were compared under a set of scenarios on a set of audio files. These parameters include peaks-to-noise ratio (PSNR), signal-to-noise ratio (SNR) and mean squared error (MSE).

Keywords: Digital Watermark, QR Code, Intellectual Property, Peak-signal-to-Noise Ratio, Signal-to-Noise Ratio, Mean Squared Error,

Copyright **:**Tishreen University journal-Syria, The authors retain the copyright under a CC BY-NC-SA 04

• **Associate Professor, Telecommunication and Electronics Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. Email: hasankhaddour@gmail.com**
•**Postgraduate Student (Master), Department of and Electronics, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. ali.h.younes1995@gmail.com**

تحسين حماية الملكية الفكرية للملفات الصوتية باستخدام العلامة المائية

د. حسن خضور •

علي يونس ••

(تاريخ الإيداع 4 / 8 / 2024. قُبِل للنشر في 18/ 9 / 2024)

□ ملخّص □

أصبحت العلامة المائية الرقمية تقنية فعالة في مجال حماية الملكية الفكرية للوسائط المتعددة، وهي تعني تضمين إشارة أو نمط رقمي مثل مستند نصي أو صورة أو ملف صوتي وغيرها ضمن الإشارة الأصلية. بحيث يحمل الملف المضاف معلومات خاصة لمالك حقوق النشر أو منشئ المستند لحماية ملكيته وإثبات إنشائه للملف الرقمي. قمنا في هذه الدراسة بتضمين علامة مائية رقمية كصورة خاصة ضمن إشارة صوتية، وهذه العلامة هي رمز الاستجابة السريع (Quick Response Code). تم تضمين العلامة المائية بالملف الصوتي عند البت الأدنى أهمية (LSB) وتمت مقارنة البارمترات الأساسية للإشارة الناتجة ضمن مجموعة سيناريوهات على مجموعة من الملفات الصوتية. تشمل هذه البارمترات نسبة قمم الإشارات إلى قمم الضجيج (PSNR) ، ونسبة الإشارة إلى الضجيج (SNR) ومتوسط خطأ التربيع (MSE).

الكلمات المفتاحية: العلامة المائية الرقمية، رمز الاستجابة السريع، ملكية فكرية، نسبة قمة الاشارة الى الضجيج، نسبة الإشارة الى الضجيج، متوسط خطأ التربيع.

حقوق النشر : مجلة جامعة تشرين- سورية، يحتفظ المؤلفون بحقوق النشر بموجب الترخيص CC BY-NC-SA 04

* مدرس، قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية. hasankhaddour@gmail.com

**طالب ماجستير، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية، ali.h.younes1995@gmail.com

مقدمة:

أدى التطور الكبير في الوسائط المتعددة وتطبيقاتها ضمن شبكات الاتصال إلى زيادة الحاجة لخلق مفاهيم جديدة لحماية ملكية هذه المعلومات والتي تتجاوز فكرة التشفير. كان من أبرز التقنيات المستخدمة مفهوم إخفاء المعلومات المنقولة، والذي يمكن استخدامه للوصول إلى المالك الأساسي للملفات الصوتية ومنع التجاوزات التي يمكن أن تحصل والناتجة عن محاولة نقله واستخدامه دون مراعاة الملكية الفكرية للملف.

تعد العلامة المائية الصوتية الرقمية(digital audio watermarking) علم وفن تضمين نوع خاص من البيانات مثل علامة أو رسالة سرية ضمن المحتوى الصوتي الرقمي. تستخرج المعلومات المضمنة فيما بعد عند طرف الاستقبال لأهداف متعددة متعلقة بالسرية وحماية الملكية للملف الصوتي. بدأ العمل على هذه التقنية منذ بداية استخدام الملفات الرقمية في منتصف التسعينيات في المؤتمر الدولي الثالث IEEE في أنظمة وحوسبة الوسائط المتعددة.

إخفاء البيانات أو إخفاء المعلومات هو المصطلح العام الذي يصف مشكلة المعلومات المضمنة في محتوى الغلاف. يشير مفهوم العلامة المائية (Watermarking) إلى جعل المعلومات المضمنة غير مدركة بالحواس بحيث لا تؤثر على محتوى الملف الأصلي ولكنها قابلة للاسترجاع بحيث تشير دوماً إلى المالك الأصلي للملف المرسل، بينما يشير مبدأ الإخفاء (steganography) إلى وجود رسالة مضمنة ضمن الملف الأصلي والتي تعتبر سرية وأهم من الملف الأصلي بحد ذاته ويتم الاتفاق على طريقة استخلاصها من قبل المرسل والمستقبل بحيث تكون خاصة بينهما.

أحد أهم الطرق المتبعة لحماية المعلومات كانت التشفير (cryptography) ولكنها لا تقدم أي حل في حال تم فك التشفير ومن هنا أتت أهمية البصمة (Watermarking) في ديمومة حماية البيانات المرسلة حتى بعد فك تشفيرها.

أهمية البحث وأهدافه:

تأتي أهمية البحث من ضرورة حماية الملكية الفكرية بعد التطور الكبير والاستخدام الهائل لوسائل التواصل الرقمية، فقد أظهرت العلامة المائية تحسناً كبيراً في مجال حماية حقوق النشر بشكل يفوق عمليات التشفير التي تفقد أهميتها عند عملية فك التشفير. بينما تحافظ العلامة المائية على موثوقية البيانات بشكل أفضل حتى بعد عملية فك التشفير.

تتضمن أهداف البحث تحليل تأثير استخدام العلامة المائية على جودة الملفات الصوتية وتحسين أداء خوارزميات العلامة المائية و مقارنة نتائج الخوارزمية المحسنة مع بعض الطرق المرجعية.

طرائق البحث ومواده:

يعد برنامج MATLAB أحد الأدوات الرئيسية المستخدمة في مختلف المجالات الهندسية والعلمية، حيث يتميز بقدرته على تحليل ومعالجة البيانات والإشارات بسهولة وسرعة عالية، يُستخدم في العديد من التطبيقات، مثل تحليل الإشارات الصوتية والفيديو، ومعالجة الصور الطبية، وتصميم الأنظمة الهندسية، وتحليل البيانات الإحصائية، والتعلم الآلي، والذكاء الاصطناعي، وغيرها.

وبالنسبة لدراسة العلامة المائية في الصوت، فإنه يعد الأداة الأمثل لذلك، حيث يمكن استخدامه لتحليل الصوت واستخراج العلامات المائية الخاصة به، يتضمن ذلك استخدام تقنيات مختلفة مثل تحليل الترددات، وتحليل الطيف، وتحليل الموجات، وتحليل الزمن الترددي، وغيرها من التقنيات الرقمية المتطورة.

علاوة على ذلك، يتيح للمستخدمين إمكانية تصميم وتطوير تطبيقات مخصصة لتحليل ومعالجة الصوت واستخراج العلامات المائية به، حيث يمكن بناء واجهات المستخدم الخاصة والتفاعلية التي تسهل عملية التحكم والتحليل والتعديل على الصوت بشكل فعال ومريح مثل واجهات المستخدم GUI .

1. الأعمال ذات الصلة:

تقترح الدراسة [1] مخططين بديلين للعلامة المائية الصوتية الرقمية بالاعتماد على تحويل فورييه، حيث طبقت عدة أنواع من تحويل فورييه وهي تحويل فورييه المتقطع، وتحويل فورييه السريع حيث أظهرت النتائج فعالية واضحة وتحسن لخاصية عدم الإدراك كما وأظهرت تحسن لخاصية المتانة حيث يمكن تولد عينات صوتية قوية ضد العديد من الهجمات، وبالمقابل فإن سلبيتها التقليل من خاصية السعة وبالتالي لا يمكن تطبيقها على ملفات صوتية ذات حجم كبير، بينما تبنى الدراسة [2] على تحديد نقاط مميزة لكشف العلامة المائية المضمنة وذلك عن طريق حساب قيم الاستجابة العظمى للمشتق من الدرجة الثانية للإشارة الصوتية الأصلية، وهذه النقاط تعتبر النقاط المميزة حيث أن المقاطع الصوتية المتمركزة عند النقاط المميزة المحددة سوف تستخدم من أجل كلتا عمليتي التضمين والاستخراج للعلامة المائية، وتركز هذه الدراسة على أنواع خاصة من الهجمات الغير متزامنة كهجمات القص مثلًا حيث أن التجارب المطبقة للتغلب على هجمات القص أظهرت إمكانية استخراج معلومات العلامة المائية بدون معدل خطأ بت (BER)، كما وأظهرت المخططات المقترحة تطورات ملحوظة لخاصية المتانة بالمقارنة مع النتائج السابقة في معالجة هجمات تعديل ضمن المجال الزمني دون التأثير على خاصية عدم الإدراك. وبالنسبة للدراسة [3] فتبين مقترح مخطط للعلامة المائية الصوتية القابلة للعكس بمتانة عالية وذلك عن طريق تقديم نموذج إحصائي للفروق وفق ترتيب دقيق، فيساهم النموذج الإحصائي في حساب الرسم البياني للإحصائيات، هذه الرسوم تعتبر ميزة قوية تستغل من أجل تضمين العلامة المائية ضمنها عن طريق مفتاح الإخفاء وذلك بعد تقسيم الملف الصوتي الأصلي إلى مجموعة إطارات من أجل أخذ قيم الفروق من كل إطار، حيث تظهر النتائج التجريبية لهذه الدراسة زيادة خاصية المتانة بحيث يمكن استخراج العلامة المائية من الملف الصوتي المهاجم بإحدى عمليات المعالجة الأحادية لبعض الامتدادات مثل امتداد MP3، كما وزادت في الجودة المطلوبة وعلاوة على ذلك أظهرت التجارب قيم جيدة لخاصية السعة، ومن وجهة نظر أخرى فتطرح الدراسة [4] طريقة تزامنية غير مباشرة لتضمين العلامة المائية في الملفات الصوتية، وذلك عن طريق تقسيم المعلومات الصوتية إلى مجموعة إطارات(frames) متساوية ومنتظمة، ويتم تحقيق التزامن غير المباشر عن طريق الرقم التسلسلي للإطارات المنتظمة، تعتمد الطريقة على النموذج الخطي للهجمات المتزامنة، حيث تعتمد على الإحصائيات العامة للإطارات بدلاً من الإحصائيات المحلية والتي تستغل من أجل عملية التضمين بحيث تحقق خاصة المتانة العالية، كما أن استخدام الإطارات الموحدة يساعد على التغلب على مشاكل الإزاحة المستمرة لعينات التزامن، وأظهرت النتائج التجريبية فعالية عالية لخاصية المتانة ضد الهجمات المتزامنة وهجمات إعادة التقطيع، بينما الدراسة [5] تقوم على بحث شامل لتأثير(SNR−constrained) في تحسين بارامتر التدرج من وجهتي النظر الخوارزمية والنموذجية، وخصوصاً العلاقة التجريبية بين عامل التدرج وخاصيتي المتانة وعدم الإدراك، حيث أولا تم تحليل هذه العلاقة بالتفصيل، وبعد ذلك تم عرض النموذج المحسن ل(SNR−constrained) ، كما تم في هذه المقالة تطوير خوارزميتي البحث الثنائي وخوارزمية البحث الدلالي على التوالي من أجل معالجة النموذج المقترح وتحسين بارامتر التدرج كي يضمن العلامة المائية، وأخيراً تم تضمين العلامة المائية بالاعتماد على النموذج المقترح ضمن المجال الترددي spread spectrum ومقارنة التقنية المتكاملة مع التقنيات الموجودة سابقاً، حيث أظهرت

النتائج التجريبية بأن التقنية حققت توازن كبير بين خاصيتي عدم الإدراك والمتانة، وكذلك سهولة في العمليات الحسابية. حللت الدراسة [6] التداخل الناتج عن هجمات الاستعادة فظهر بأنه مستقر خلال فترات قصيرة وأن له نفس التأثير على المجموعات المتجاورة، فتم استغلال هذه المعلومات واقتراح ميزة في المجال الترددي للبيانات الرقمية الصوتية تسمى(FDLM: frequency–domain coefficients logarithmic mean) والتي أظهرت تحسناً كبيراً في خاصية المتانة ضد كل من هجومي عدم التزامن والاستعادة، حيث تم تضمين شيفرات التزامن بعد ترقيم الإطارات ووضع بتات العلامة المائية عن طريق تعديل هذه الميزة، في حال كانت تقسيمات الإطارات المرقمة مزاحة وغير دقيقة أي أنها غير متزامنة بين المضمن والكاشف للعلامة المائية فيتم إعادة ضبط التزامن لإطارات العلامة المائية المضمنة باستخدام طريقة إعادة التزامن وبعدها يتم استخراج بتات العلامة المائية من إطارات التضمين المتزامنة. حيث أظهرت النتائج التجريبية بأن الطريقة المقترحة ضمن هذه الدراسة تظهر فعالية ومتانة ضد عمليات معالجة الإشارة وهجمات الاستعادة والهجمات الغير متزامنة كما وتظهر تفوق على التقنيات السابقة في التغلب على كل من الهجمات المذكورة سابقا، ومن وجهة نظر أخرى تعرف النظرية [7] العلامة المائية الصوتية ذات النوع الأعمى في المجال الترددي باستخدام التحويل التجيبي المتقطع (DCT) بالاعتماد على تحليل القيمة المنفردة (SVD: singular value decomposition)والعمليات الأسية (EO) والعمليات اللوغاريتمية(LO)، ففي هذه الدراسة يتم تقسيم المعلومات الصوتية الأصلية إلى إطارات غير متراكبة(مستقلة) حيث يتم تطبيق DCT على هذه الإطارات، معاملات DCT للتردد المنخفض تقسم إلى حزم جزئية ويتم حساب طاقة كل حزمة جزئية، العملية الأسية تطبق على الحزم الجزئية مع حساب الطاقة العظمى لمعاملات DCT لكل إطار، تطبق SVD على المعاملات الأسية لكل حزمة جزئية مع القوة العظمى والتي تمثل على شكل مصفوفي ،حيث أن معلومات العلامة المائية تضمن في القيم المنفردة العظمى باستخدام تابع التكميم، حيث أظهرت نتائج المحاكاة بأن العلامة المائية المضمنة وفق هذه الطريقة تتمتع بمتانة عالية ضد أنواع مختلفة من الهجمات مثل الضجيج المضاف وإعادة التقطيع وإعادة التكميم كما وسمحت بنقل كميات كبيرة من المعلومات ضمن معدلات بيانات خطأ قليلة، كما وأظهرت أداء جيد لخاصيتي عدم الإدراك والمتانة، أما بالنسبة لإشارات ستيرو فعرفت الدراسة [8] العلامة المائية المعتمدة على خوارزمية (QIM: quantization index modulation) والتي تستخدم تحليل القيمة المنفردة (SVD: singular value decomposition) للإشارات الصوتية ستيريو، حيث أظهرت الأشعة المنفردة والقيم المنفردة للمصفوف المقترح والتي تم اعتبارها على أنها بارامترات الإشارة الصوتية للمضيف، حيث أن القيم المنفردة بالمصفوف تمثل طاقة منتصف وجوانب الإشارات الصوتية للمضيف ،كما وعرفت معدل القيم المنفردة كمجال بحثي جديد ليطبق على العلامة المائية المعتمدة على خوارزمية QIM ، كما واستخدمت حجم خطوة تكميم متكيفة الأمر الذي حسن بشكل كبير خاصية عدم الإدراك، كما أن الطريقة المقترحة حسنت من خاصية المتانة ضد العديد من الهجمات مثل ضغط الملفات MP3 وهجمات LPF وإعادة التقطيع. وبالتعمق بمجال الإشارات الصوتة ذات الاحمال فتطرح الدراسة [9] خوارزمية العلامة المائية المتكيفة والتي صممت من أجل تقييم n حمل الإشارة الصوتية بالاعتماد على ميزات الإشارة الصوتية، حيث تهدف هذه الخوارزمية إلى حل مشكلة الحمل الغير مناسب (الحمل الزائد أو الحمل الناقص) للإشارات الصوتية مع بيانات العلامة المائية وجعل الحمل ملائم لكل إشارة صوتية تبعا لخصائصها الفردية، حيث استخدمت هذه الدراسة (PCA: Principal Component analysis)من أجل إيجاد الميزات التمييزية (التفريقية) التي لها أهمية بالنسبة لحمل الإشارات الصوتية، النموذج الرياضي مصمم باستخدام الميزات الصوتية مثل الوسيط الصفري والطاقة وذلك من أجل التقييم

الفعال لدرجة التضمين وفق الإدراك الحسي للصوت، النتائج التجريبية تظهر فعالية واضحة لخاصية عدم الإدراك ومتانة عالية ضد هجمات معالجة الإشارة للحمل المتجاور المطبق على أنواع مختلفة من الإشارات الصوتية، الخوارزمية المقترحة وأظهرت أداء أفضل بالمقارنة مع الخوارزمية الغير متكيفة ذات الحمل الثابت، إغناءاً لما سبق تقدم الدراسة [10] خوارزمية تضمين العلامة المائية للملفات الصوتية بالاعتماد على نظام متعدد الطبقات حيث يمّكن هذا النظام من تضمين العلامة المائية ضمن الملفات الصوتية للمضيف بشكل سريع بأسلوب تراكبي على الطبقات، بحيث يمكن استخراج العلامة المائية من كل طبقة بدون حدوث أي مشاكل، حيث يتم تقسيم الملف الصوتي المراد تضمين العلامة الصوتية فيه إلى أجزاء مرتبة وفق مجموعة من المعاملات للتحويل التجيبي المتقطع (DCT) ، فيتم التضمين وذلك بتعديل متوسط القيم للعينات بكل جزء مختار، وباستخدام العازل الرقمي لأخطاء التضمين(embedding error buffer) يكسب النظام مقاومة ضد العديد من الهجمات مثل هجمات الضغط MP3 وهجمات الترشيح (تمرير منخفض وتمرير عالي) وغيرهم، ومن أجل المحافظة على التوازن بين المتانة و جودة الإدراك الحسي يتم تعديل النظام المطبق على الطبقة المطلوبة وذلك حسب الخاصية المراد تحقيقها، كذلك الأمر توضح الدراسة [11] طريقة جديدة في تضمين العلامة المائية ضمن الملفات الصوتية للطيف المنشور (SS: Spread spectrum) ، ما يميز هذه الطريقة هي عملية التضمين بحيث تضمن عدم حدوث أي تداخل أثناء عملية الاستخراج، وذلك باستغلال الطبيعة العامة لمعاملات التحويل التجيبي المتقطع DCT للإشارة الصوتية ،وتقترح هذه الدراسة من أجل التحكم بالمتانة تطبيق سلسة الأخطاء المزيفة (PN: pseudo noise sequence) في عملية التضمين، حيث تقترح استخدام سلسة PN المتعامدة لتمثيل بتات العلامة المائية وذلك تسهيلاً لتضمين بتات متعددة للعلامة المائية في جزء ملف صوتي واحد، تحقق هذه الدراسة متانة عالية ضد العديد من الهجمات وبشكل متزامن مع سعة تضمين عالية إضافة إلى تعقيد حسابي أقل بكثير،ختاماٍ أوضحت الدراسة [12] كيفية تضمين العلامة المائية بالاعتماد على خوارزمية إخفاء الصدى (echo hiding) هي خوارزمية خاصة للعلامات المائية الصوتية تقوم على تضمين العلامة المائية بإضافة نسخة مؤخرة ومخففة مماثلة لإشارة الملف الصوتي الأصلي، وبعد ذلك يتم استخراج العلامة المائية بالاعتماد على تقنيات التحليل cepstral وهو نموذج يستغل المقدرات الحساسية للنظام السمعي البشري (HAS) لإرسال الأصداء في الإشارات الصوتية والتي تسمح للعلامة المائية والتي على شكل أصداء لكي توضع في ملف الإشارة الصوتية بشكل لايمكن ملاحظته (غير مدرك).

2 . معايير تقييم أداء نظام العلامة المائية:

يوجد العديد من البارمترات لتقييم أداء نظام العلامة المائية أهمها عدم الإدراك (imperceptibility) فعدم إحساس الشخص بالعلامة المائية المضمنة في الملفات الرقمية الصوتية من أهم الميزات المطبقة في نظام العلامات المائية للملفات الصوتية (ماعدا نموذج خاص من العلامات المائية المدركة في الصور) حيث يميز مدى قدرة النظام على إدارة و إخفاء التشوه الناتج عن تضمين العلامة المائية في الملف الأصلي، حيث أن مصطلح عدم الإدراك يعكس بشكل دقيق العلاقة بين التشوه الحاصل والإحساس البشري لهذا التشوه في الصور والأصوات الخاضعة لهذه التقنية، يتم تحقيق عدم الإحساس من خلال استغلال ميزات النظام البصري للبشر (HVS: human visual system) والنظام السمعي للبشر (human auditory system : HAS) ، أما المتانة (Robustness) فتعتبر من أكثر معايير أداء النظام تعقيداً فعندما يصل المحتوى المضمن بالعلامة المائية إلى طرف المستقبل قد يتعرض إلى عمليات مختلفة كالتحويل من رقمي إلى تشابهي مثلاً أو قد يتعرض لأنواع مختلفة من الهجومات وذلك قبل محاولة استخراج

العلامة المائية منه، لذلك من المهم أن تكون العلامة المائية متينة ضد الهجمات العنيفة أو الهجمات غير الملاحظة وكمثال علىها التحويل من رقمي إلى تشابهي وبالعكس أو التكميم أو المعايرة أو إعادة الترميز و من الهجمات الخطيرة مثلا التضخيم اللاخطي أو التدرج اللاخطي وغيرها، ويأتي مفهوم أمان العلامة المائية(Security) توضيح لمقدرة النظام على منع الجهات الغير مصرح لها بمعرفة وجود العلامة المائية أو استخراجها، بينما تمثل السعة (Capacity) الحد الأعظمي لحجم العلامة المائية المضمنة في الملف وتقاس بال bits ، ومن الأفضل أن تكون عملية إضافة العلامة المائية ذات كلفة حسابية قليلة (عمليات حسابية أبسط بالمعالجة وتحتاج لوقت أقل) وذلك كي يتم تضمينها بسرعة في الملفات الصوتية المراد تضمينها فيها وهذا يمثل معيار التعقيد الحسابي (Computational Complexity)، وهناك خصائص أخرى إضافية تبعاً للتطبيقات المستخدمة ولكن حتى هذه الخصائص لا يمكن تحقيقها كلها معاً في نفس الوقت ويحصل أحياناً عند تحسين بعض الخصائص إزالة أو تخفيف لخصائص أخرى، كأن نخفي كمية كبيرة من المعلومات ضمن ملف صوتي، فبالتالي يصعب تحقيق خاصية المتانة ويصبح كشف وجود المعلومات المخفية أسهل من قبل المخترقين (تعارض مفهومي المتانة مع السعة).

3 . بنية النظام العام المقترح:

يوضح الشكل(1) بنية نظام العلامة المائية خلال عملية التضمين. يشمل المخطط بشكل عام جزئين مهمين هما تضمين العلامة المائية واستخراجها.

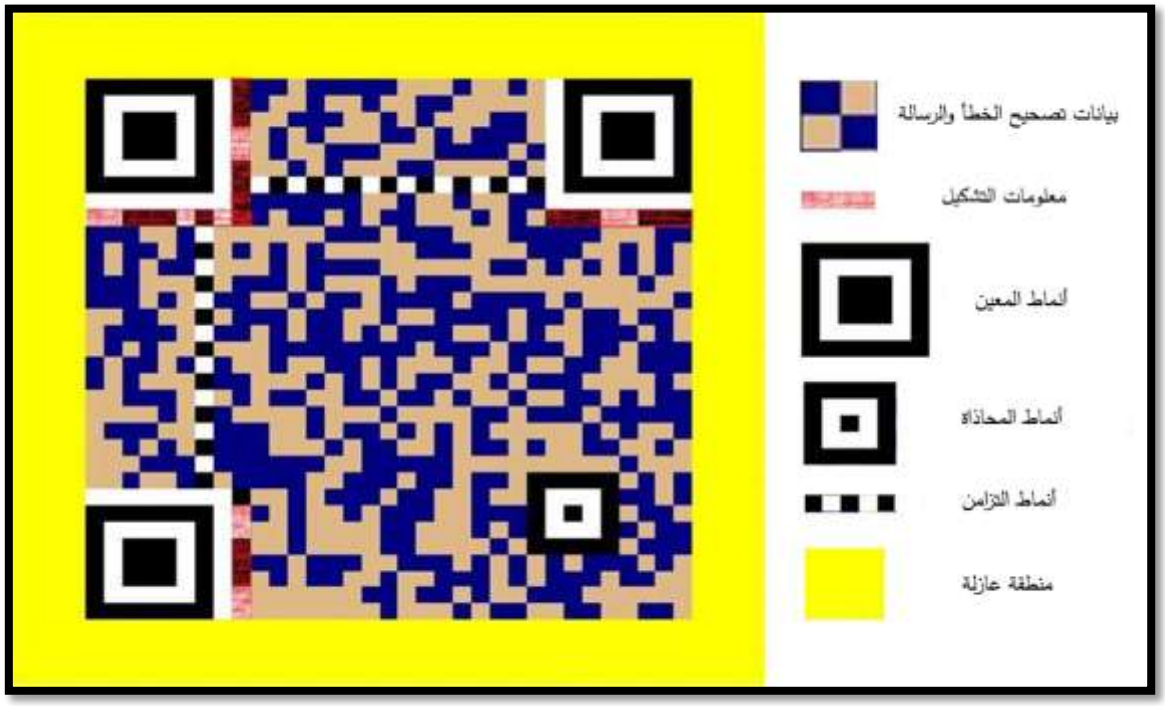
الشكل(1) يوضح بنية نظام العلامة المائية

يوجد العديد من أنواع العلامات المائية والتي يمكن تضمينها ضمن بنية النظام العام. قمنا بهذا المقال باقتراح شكل جديد للعلامة المائية قائم على توليد رمز استجابة سريع (يمثل المعلومات الأساسية لصاحب الملف الصوتي) ويتم تضمينه ضمن الملف الصوتي. تكمن أهمية هذا الاقتراح بكون رمز الاستجابة QR Code رمز شريطي (barcode) ولكنه ثنائي الأبعاد على شكل كود مصفوفة، يتمتع بسعة تخزين أكبر وكثافة أعلى وأداء أقوى لتصحيح الأخطاء وأمان أكبر من الرمز الشريطي أحادي البعد [10].

يمكن لرمز الاستجابة السريع تخزين معلومات كبيرة ويمكن قراءتها بسهولة بواسطة الماسح الضوئي و يمكن قراءة رمز الاستجابة السريعة بزاوية 360 درجة من أي اتجاه [11]. كما هو موضح في الشكل (2):

الشكل (2) يبين مخطط الQR Code

تتضمن أكواد QR عدة مكونات موضوعة في مواقع دقيقة في مصفوفة ثنائية الأبعاد. يقدم الشكل ملخصاً لوضع المكونات في رمز الاستجابة السريعة حيث يتكون من: بيانات تصحيح الخطأ والرسالة في المربعات الصغيرة ذات اللون الأزرق الداكن والبني الفاتح. يمثل كل مربع في موضع البيانات هذا رقمًا ثنائيًا، حيث يتم تمثيل الرقم 1 عادةً بلون أغمق (أزرق داكن، في هذه الحالة)، و0 بلون أفتح (بني فاتح، في هذه الحالة). يتم وضع البيانات في الصورة بدءاً من الزاوية اليمنى السفلية. المناطق الموضحة باللون الأحمر محجوزة لمعلومات التشكيل، وهي سلسلة من البتات تعطي مستوى تصحيح الخطأ (L، M، Q ، أو H) للشيفرة. توفر معلومات التشكيل أيضًا نمط القناع، يتم أيضاً تضمين بتات تصحيح الخطأ كجزء من معلومات التشكيل في حالة فقد أي من المعلومات. تتكون من عدة أنماط



الشكل (3) يوضح تفاصيل إنشاء QR Code

وهي: 1- أنماط المعين التي تقع في ثلاث زوايا من الرمز وتهدف إلى المساعدة في سهولة تحديد موضعه وحجمه وميله. ،2- أنماط المحاذاة : فإذا كانت الصور في الإمالة. لذلك، يمكن قراءتها بشكل صحيح بواسطة وحدة فك الترميز.،3- أنماط التزامن ليتم الكشف عن إحداثيات رمز فك التشفير ، بالإضافة إلى وحدة مظلمة، وهي مربع أسود واحد يقع مباشرةً فوق كتلة معلومات التنسيق بالقرب من الركن الأيسر السفلي من المصفوفة. تقوم الفواصل الموضحة على هيئة أشرطة مستطيلة بيضاء صلبة في الشكل بفصل كل نمط مكتشف عن باقي كود QR. تم تصميم أنماط الوظائف بحيث يتم وضعها في مناطق محددة من رمز الاستجابة السريعة، والغرض منها هو التأكد من أن الماسحات الضوئية لرموز الاستجابة السريعة يمكنها تحديد صورة وتوجيهها بشكل صحيح لفك التشفير، وأخيراً تم تضمين منطقة عازلة كما هو موضح باللون الأصفر كمنطقة ذات لون أفتح مصممة لإحاطة مصفوفة رمز الاستجابة السريعة الرئيسية وتساعد على تعزيز نمط أداة البحث للكشف بسرعة وتبدأ عملية إضافة البتات الخاصة بدءاً من الركن الأيمن السفلي من مصفوفة رمز الاستجابة السريعة.

المحاكاة وإظهار النتائج:

تمت المحاكاة باستخدام برنامج MATLAB، حيث قمنا بإنشاء عدة سيناريوهات. قمنا بإضافة العلامة المائية كصورة على شكل رمز استجابة سريع QR code وتم تضمينه ضمن الملف الصوتي الرقمي باستخدام برنامج MATLAB. تمت عملية التضمين بطرف الإرسال عند البت الأدنى أهمية كي لا يؤثر على جودة الملف الصوتي عند طرف الاستقبال (من أجل تحقيق بارامتر عدم الإدراك)، وبعد ذلك قمنا بإضافة ضجيج غوصي أبيض على الملف المضمن للعلامة المائية وإرسالة ضمن قناة اتصال افتراضية لمحاكاة الضجيج. يتم حساب البارامترات عند طرف الاستقبال ضمن عدة سيناريوهات والتحقق من جودة الملف الصوتي الرقمي المستقبل ومدى اختلافه وتأثير كل من العلامة المائية والضجيج عليه ومقدار تأثر العلامة المائية بعد فصلها عن الملف الصوتي ومقارنتها بما قبل الإرسال.

تمت عملية التحقق من جودة الإشارة المستقبلة وعدم التحسس لإشارة العلامة المائية في الملف المستقبل باستخدام نظام الاختبار الحسي. يقوم هذا النظام على الاعتماد على تقييم المستمعين لجودة الملف الأصلي والمستقبل وفق معايير محددة حسب جدول MOS التالي:

الجدول (1) يمثل درجة الدقة مقابل إدراك العلامة المائية MOS:

درجة الدقة	عدم إدراك للعلامة المائية المضمنة
5	غير محسوسة
4	محسوسة ولكن غير مزعجة
3	مزعجة بشكل طفيف
2	مزعجة
1	مزعجة جداً

تمت عملية الاستماع ضمن غرفة معزولة (استوديو إذاعي) في المركز الإذاعي والتلفزيوني في اللاذقية، قام بعملية التقييم خمس أشخاص بأعمار تراوحت بين 20 و 40 عاماً. قمنا بإسماع المشاركين في عملية التقييم ل 14 ملف صوتي مختلف قبل وبعد عملية تضمين العلامة المائية وكانت النتائج كما يلي في الجدول (2):

الجدول(2) يوضح تقييم الاستماع مقابل عدد مرات الاستماع

عدد عمليات الاستماع	التقييم
43 عملية استماع	5
17 عملية استماع	4
7 عمليات استماع	3
3 عمليات استماع	2

1. سيناريو المحاكاة:

لقد قمنا بإجراء جميع عمليات المحاكاة ضمن الماتلاب واستخدمنا واجهات GUI لتسهيل عملية التحكم وإظهار النتائج حيث تم اختيار ثلاث سيناريوهات، كل سيناريو يختلف بقيمة الSNR المطبقة على الملفات الصوتية المستخدمة للاختبار.

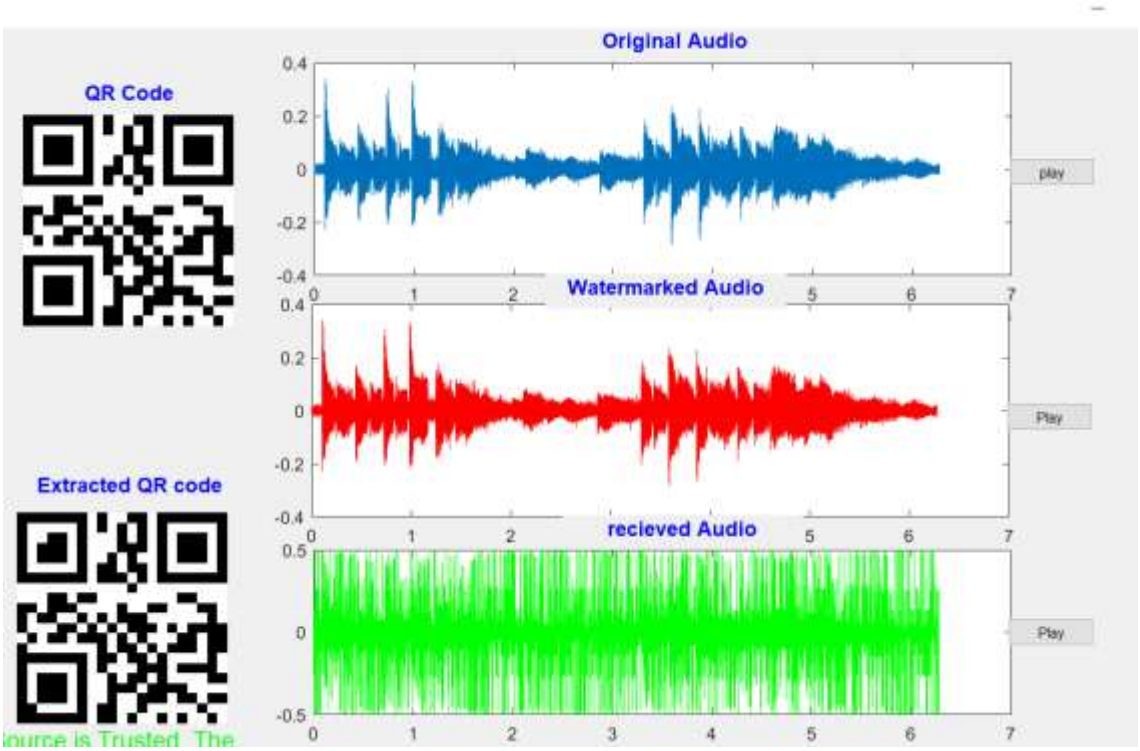
2. سيناريوهات المحاكاة:

تم تلخيص نتائج المحاكاة للملفات الصوتية المستخدمة للمقارنة عندما يكون (SNR = 7) في الجدول الآتي(3).:

الجدول(3): القيم المستخدمة في المحاكاة بقيمة SNR = 7

الصوتي الملف	PSNR	MSE	verification
1	65.12	0.002	91.2
2	75.23	0.001	92.31
3	75.43	0.004	90.04
4	68.24	0.003	91.63
5	76.48	0.007	93.63
6	64.67	0.005	90.86
7	66.46	0.002	93.63
8	67.55	0.003	92.63
9	64.52	0.005	91.63
10	75.33	0.003	90.56
11	64.92	0.004	91.92
12	64.89	0.008	91.72
13	63.4	0.007	90.86
14	63.71	0.002	90.04

وكانت واجهة ال GUI لأحد الملفات الصوتية كما في الشكل (4):



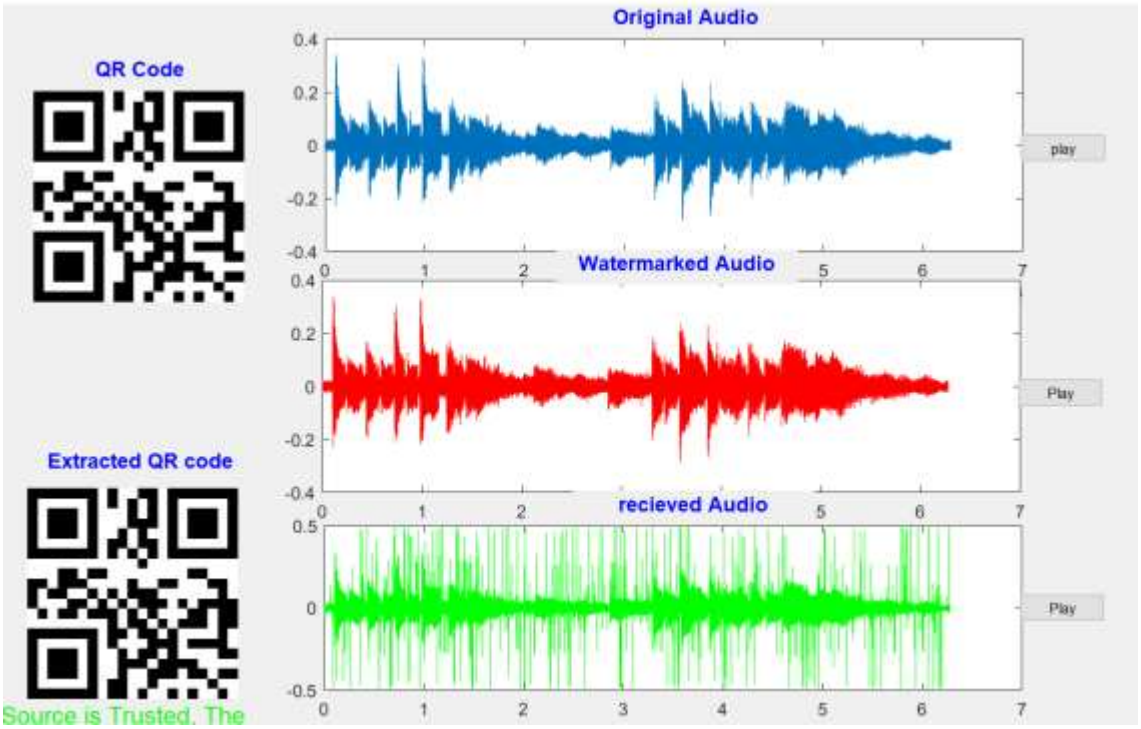
الشكل(4): واجهة GUI لأحد الملفات الرقمية عند تطبيق SNR = 7

نتائج المحاكاة عندما كانت قيمة ال(SNR=8) لنفس الملف الصوتي:

الجدول(4): القيم المستخدمة في المحاكاة بقيمة SNR = 8

الصوتي الملف	PSNR	MSE	verification
1	67.71	0.04	93.68
2	80.82	0.009	95.72
3	79.44	0.013	93.12
4	75.23	0.011	94.11
5	80.48	0.06	96.54
6	76.27	0.01	95.31
7	72.46	0.2	96.72
8	73.55	0.009	96.54
9	76.5	0.017	95.09
10	80.33	0.012	94.2
11	70.34	0.01	95.41
12	73.29	0.02	97.52
13	75.23	0.01	95.31
14	72.45	0.024	94.36

وكانت واجهة ال GUI للملف الصوتي نفسه :



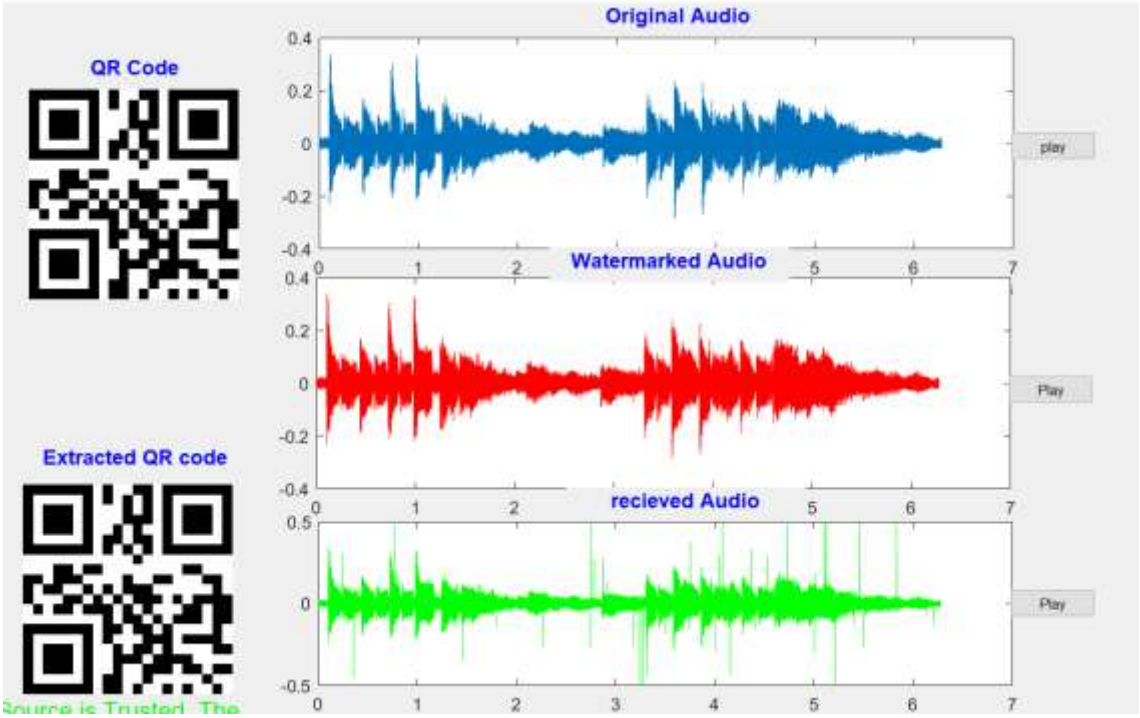
الشكل(5): واجهة GUI لنفس الملف الصوتي الرقمية عند تطبيق SNR = 8

نتائج المحاكاة عندما كانت قيم ال (SNR = 9) لنفس الملف الصوتي أيضاً:

الجدول(5): القيم المستخدمة في المحاكاة بقيمة SNR = 9

الصوتي الملف	PSNR	MSE	verification
1	70.11	0.07	99.84
2	85.31	0.029	98.22
3	84.34	0.09	99.2
4	82.42	0.04	98.9
5	86.28	0.09	99.1
6	84.26	0.08	99.72
7	80.46	0.4	99.54
8	81.55	0.033	99.87
9	83.51	0.042	99.45
10	85.33	0.032	98.12
11	79.92	0.08	99.88
12	81.89	0.07	100
13	82.4	0.21	99.77
14	83.71	0.08	99.84

وكانت واجهة ال GUI للملف الصوتي نفسه :



الشكل(6): واجهة GUI لنفس الملف الصوتي الرقمية عند تطبيق SNR = 9

النتائج والمناقشة:

تم في هذه المقالة اقتراح طريقة جديدة لتشكيل العلامة المائية بالاعتماد على رمز الاستجابة السريع QR code. و قمنا بإضافة بيانات QR إلى البت الأقل أهمية. قمنا باختبار الملف الصوتي الناتج باستخدام تقييم موضوعي وتقييم

حسي للتأكد من تأثير إضافة العلامة المائية. شمل التقييم الموضوعي قياس قيم البارمترات وهي , BER , PSNR verification , MSE عند قيم مختلفة للSNR المطبقة على نفس الملف الصوتي، بينما تم التقييم الحسي من خلال تجارب استماع ضمن بيئة مناسبة للتقييم. أظهرت النتائج أن الطريقة المقترحة فعالة وحافظت على خاصية عدم الإدراك للملف الصوتي، كما أثبتت سهولة التحقق من مالك الملف الصوتي الأصلي نتيجة استخدام QR code كعلامة مائية مضمنة.

الاستنتاجات والتوصيات:

قمنا في هذا البحث بدراسة تشكيل العلامة المائية باستخدام QR code وإضافتها إلى ملف صوتي.

وأثبتنا من خلال نتائج المحاكاة باستخدام بيئة المحاكاة MATLAB ما يلي:

1. يشكل QR code علامة مائية مميزة وخاصة بالمستخدم.
2. لا تؤثر إضافة العلامة المائية على جودة الملف الأصلي

كما أثبتت نتائج الاستماع المحافظة على خاصية عدم الإدراك المطلوبة.

وبالنتيجة فإننا نوصي باستخدام QR code كعلامة مائية مناسبة لحماية الملكية الفكرية للملفات الصوتية.

References:

[1] Euschi Salah, Khaldi Amine, Kafi Redouane, Kahlessenane Fares, "A Fourier transform based audio watermarking algorithm",Applied Acoustics,Vol 172, ISSN 0003-682X,2021

[2] W. Lu, L. Li, Y. He, J. Wei and N. N. Xiong, "RFPS: A Robust Feature Points Detection of Audio Watermarking for Against Desynchronization Attacks in Cyber Security," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 63643-63653, 2020

[3] Xingyuan Liang, Shijun Xiang, "Robust reversible audio watermarking based on high-order difference statistics", Signal Processing, Volume 173, ISSN 0165-1684, 2020

[4] Weizhen Jiang, Xionghua Huang, Yujuan Quan, "Audio watermarking algorithm against synchronization attacks using global characteristics and adaptive frame division", Signal Processing, Volume 162, ISSN 0165-1684, 2019

[5] Z. Su, G. Zhang, F. Yue, L. Chang, J. Jiang and X. Yao, "SNR-Constrained Heuristics for Optimizing the Scaling Parameter of Robust Audio Watermarking," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 20, no. 10, pp. 2631-2644, Oct. 2018, doi: 10.1109/TMM.2018.

[6] Z. Liu, Y. Huang and J. Huang, "Patchwork-Based Audio Watermarking Robust Against De-Synchronization and Recapturing Attacks," in IEEE Transactions on Information Forensics and Security, vol. 14, no. 5, pp. 1171-1180, May 2019, doi: 10.1109/TIFS.2018.

[7] Dhar, Pranab & Shimamura, Tetsuya. (2017). "Blind Audio Watermarking in Transform Domain Based on Singular Value Decomposition and Exponential-Log Operations". Radio engineering. 26. 552-561. 10.13164/re.2017.

[8] M. -J. Hwang, J. Lee, M. Lee and H. -G. Kang, "SVD-Based Adaptive QIM Watermarking on Stereo Audio Signals," in IEEE Transactions on Multimedia, vol. 20, no. 1, pp. 45-54, Jan. 2018, doi: 10.1109/TMM.2017.

[9] Arashdeep Kaur, Malay Kishore Dutta, K.M. Soni, Nidhi Taneja, "Localized & self-adaptive audio watermarking algorithm in the wavelet domain", Journal of Information Security and Applications, Volume 33, ISSN 2214-2126,2017

[10] I. Natgunanathan, Y. Xiang, G. Hua, G. Beliakov and J. Yearwood, "Patchwork-Based Multilayer Audio Watermarking," in IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 25, no. 11, pp. 2176-2187, Nov. 2017, doi: 10.1109/TASLP.2017.

[11] Y. Xiang, I. Natgunanathan, D. Peng, G. Hua and B. Liu, "Spread Spectrum Audio Watermarking Using Multiple Orthogonal PN Sequences and Variable Embedding Strengths and Polarities," in IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing, vol. 26, no. 3, pp. 529-539, March 2018, doi: 10.1109/TASLP.2017.

[12] Petitcolas, Fabien AP, Ross J. Anderson, and Markus G. Kuhn. "Information hiding-a survey." Proceedings of the IEEE 87.7 (1999): 1062-1078.