A Method for Randomly Hiding Secret Encrypted Data in Images using Cellular Automata

Ansam O. Abdulmajeed **Fatima M. Abdullatif** **Wafaa A. Mustafa**
ansam_osamah@uomosul.edu.iq fatimamaan4@gmail.com wfwf9255@gmail.com
Department of Software Engineering
College of Computer Sciences and Mathematics
University of Mosul, Mosul, Iraq

Received on: 13/06/2018

Accepted on: 24/01/2019

ABSTRACT

The present research was aimed to design and implement an algorithm that combines cryptography and steganography to achieve a higher level of security. The algorithm hid encrypted text into color images in a scattered manner based on randomly generated numbers. The rules of cellular automata were used to encrypt the secret text and generate random numbers. Each character of a secret text was treated as a cellular automaton and the rule 153 was used to encrypt it with the help of a secret key. The encrypted text was hide in the red plane of the cove image after generating random numbers by applying rules 30, 60, 90 as a hybrid cellular automata using the same secret key as an initial seed. The results were tested on a number of images that shown that the algorithm hide the secret text in the images without distorting it clearly, the algorithm also retrieved the entire secret text without any loss. It was concluded that the use of hybrid cellular automata is better in generating random numbers than using uniform cellular automata. It was also concluded that applying the retrieval algorithm with any minor changes in the value of the secret key affects the output of the decryption and the output of random number generation and causes a significant difference in the retrieved text.

Keyword: cryptography, steganography, cellular automata.

طريقة لإخفاء البيانات السرية المشفرة عشوائياً في الصور باستخدام الآلات الخلوية

أنسام أسامة عبد المجيد فاطمة معن عبد اللطيف وفاء عبد اللطيف مصطفى

قسم هندسة البرمجيات

كلية علوم الحاسوب والرياضيات

جامعة الموصل، الموصل، العراق

تاريخ قبول البحث: 2019\01\24

تاريخ استلام البحث: 2018\06\13

الملخص

يهدف البحث الحالي إلى تصميم خوارزمية تدمج بين التشفير والإخفاء وتنفيذها لتحقيق مستوى عالٍ من الأمانة؛ إذ تخفي الخوارزمية نصاً مشفراً في صور ملونة بطريقة مبعثرة اعتماداً على أرقام مولدة عشوائياً. وقد استخدم البحث قواعد الآلات الخلوية في تشفير نص وفي توليد الأرقام العشوائية، إذ عُدَّ كل حرف من حروف النص السري آلة خلوية وطُبِّقت عليه القاعدة 153 لتشفيره بمساعدة مفتاح سري ثم أخفي النص المشفر في المستوى اللوني الأحمر لصورة الغطاء بعد توليد أرقام عشوائية بتطبيق القواعد 30، 60، 90 بطريقة هجينة

وباستخدام المفتاح السري نفسه كبذرة أولية. اختُبرت النتائج على صورٍ عدة. وتبين أن الخوارزمية أخفت النص السري في الصور من دون تشويه واضح لها، كما أن الخوارزمية استرجعت النص بالكامل من دون أي فقدان. استنتج البحث أن استخدام الآلات الخلوية هجينة أفضل في توليد الأرقام العشوائية من استخدام الآلات الخلوية موحدة. كما استنتج تطبيق خوارزمية الاسترجاع بمفتاح سري مختلف أن أي تغيير بسيط في قيمة المفتاح يؤثر في ناتج التشفير وناتج توليد الأرقام العشوائية ويسبب اختلافاً كبيراً في النص المسترجع. الكلمات المفتاحية: التشفير، إخفاء المعلومات، الآلات الخلوية.

1. المقدمة Introduction

أصبح الانترنت، في الوقت الحاضر، جزءاً لا يتجزأ من حياة الكثيرين، ومطلباً أساسياً في العديد من قطاعات الأعمال كالأعمال المصرفية والتسوق. وعلى الرغم من مزايا استخدام الانترنت العديدة، إلا أن له أثراً سلبياً فيما يتعلق بأمن المعلومات المتناقلة وسريتها لاسيما تلك المعلومات ذات الحساسية العالية كالمعاملات المالية والمعلومات الحكومية والسجلات الطبية. ونتيجة لذلك فقد اقترح العديد من أنظمة أمن المعلومات مثل التشفير (Cryptography)، أو الإخفاء (Steganography)، أو المزج بينهما [1].

إن الهدف الأساسي من التشفير هو القدرة على تناقل المعلومات بين طرفين بطريقة لا يمكن للشخص غير المخول فهمها، إذ يعمل التشفير على إعادة ترميز بنية البيانات السرية بحيث تبدو غير مفهومة لكنها لا تخفي حقيقة وجود اتصال سري بين طرفين. يطلق على الشكل الأصلي للبيانات السرية بالبيانات الصريحة (Plain data)، وتعرف عملية تكوين البيانات المشفرة (Cipher data) من البيانات الصريحة بعملية التشفير (Encryption)، أما عملية استرجاع البيانات الصريحة من المشفرة فيطلق عليها عملية فك التشفير (Decryption). وتعتمد عمليتا التشفير وفك التشفير على قيمة سرية يطلق عليها المفتاح (Key)، إذ تُقسم طرائق التشفير بحسب المفتاح إلى قسمين: التشفير المتماثل (Symmetric Cryptography) الذي يستخدم المفتاح نفسه في عمليتي التشفير وفك التشفير، والتشفير غير المتماثل (Asymmetric Cryptography) الذي يستخدم مفتاحين مختلفين لكل عملية [2].

أما الإخفاء فهو تقانة استخدام وسطٍ ما يدعى الغطاء (Cover) لإخفاء بيانات سرية داخله بصورة لا يمكن تمييز وجود تلك البيانات مما يخفي حقيقة وجود اتصال سري عند تناقل الغطاء بين طرفين [3].

يهدف البحث إلى تطبيق خوارزمية تدمج بين التشفير والإخفاء لتحقيق مستوى أعلى من الأمانة، إذ تستخدم الخوارزمية المقترحة قواعد الآلات الخلوية (Cellular automata rules) لتشفير نص باستخدام مفتاح سري ثم إخفائه بطريقة مبعثرة في صور ملونة، باعتبارها غطاء للبيانات السرية، اعتماداً على أرقام مولدة عشوائياً باستخدام قواعد الآلات الخلوية أيضاً.

ورقة البحث مقسمة على النحو الآتي: الفقرة الثانية تتناول دراسات سابقة ذات علاقة بموضوع البحث، أما الفقرة الثالثة فتشتمل على تعريف بالآلات الخلوية وأهم خصائصها. وتسرّد الفقرة الرابعة الخوارزمية المقترحة. أما النتائج ومناقشتها فتأتي ضمن الفقرة الخامسة. وتتناول الفقرة الأخيرة أهم الاستنتاجات التي تم التوصل إليها.

2. دراسات سابقة

قدّم Shanmugasundaram et al. خوارزمية تتضمن تحويل البيانات النصية إلى تسلسل الحمض النووي ثم إلى صيغة ثنائية، وقسمت الخوارزمية التسلسلات الثنائية إلى أجزاء وأجرت بين تلك التسلسلات عملية XOR بمساعدة المفتاح، ثم أرسلتها إلى آلة خلوية لتشفيرها [1]. واقترح الباحثان Alirezanejad و Enayatifar خوارزمية دمجت بين الآلات الخلوية وبين دوال الفوضى لتحديد الموضع المناسب من الصورة لاستخدامه في الإخفاء [3].

وقام Bouchkaren و Lazaar بتقسيم النص غير المشفر إلى مجموعة من الكتل وتحويلها إلى مصفوفات ثنائية ومن ثم تشفيرها باستخدام الآلات الخلوية ثنائية البعد [4]. وقدم كل من Ray و Das خوارزمية تشفير كتلي تعتمد على قواعد الآلات الخلوية القابلة للعكس (reversible cellular automata rules) إذ تمت عملية التشفير باستخدام القواعد 204، 240، 170. وتمت عملية فك التشفير بقواعد معاكسة للقواعد المستخدمة في التشفير؛ إذ إن عكس قاعدة 240 هي 15 وعكس قاعدة 204 هي 51، وعكس قاعدة 170 هي 58 [5].

أما Amirthalingama و Latha فقد قدما خوارزمية تشفير تتضمن تحويل النص إلى كتل تتكون من مجموعة حروف ثم تحويل الحروف في كل كتلة إلى صيغة ثنائية ثم تقسيمها إلى مستويات وتشفير كل مستوى باستخدام الآلات الخلوية [6].

البحث الحالي عامل كل حرف من النص السري معاملة آلة خلوية وشفره باستخدام مفتاح سري يتكون من 24-bits فُيَسَم إلى ثلاثة أقسام بطول 8-bits كي تتناسب مع الحرف السري وقد أخفي النص المشفر بطريقة مبشرة بحسب أرقام مولدة عشوائياً على أساس قيمة المفتاح السري نفسه وباستخدام ثلاث قواعد مختلفة.

3. الآلات الخلوية Cellular Automata

تستخدم الآلات الخلوية (Cellular automata) على نطاق واسع في العديد من المجالات مثل إنشاء الرسومات، والتعرف على الأنماط، والتشفير، إذ يمكن الاستفادة من مميزات الآلات الخلوية في توليد أرقام عشوائية، وتوليد المفاتيح السرية وربطها مع البيانات الصريحة [1].

الآلات الخلوية هي نظام ديناميكي مرتب بشكل شبكة مكونة من N من الخلايا (Cells) المتجاورة (انظر: شكل (1)) ويعرف من خلال أربعة من المعاملات وهي: عدداً للخلايا وأبعادها، وحالة الخلية، والخلايا المجاورة، ومجموعة القواعد، بمعنى آخر، يمكن تعريف الآلات الخلوية A بالشكل الآتي [5]:

$$A = \{S, Z, f, V\}$$

إذ أن

S : حالة الخلية، وهي الأبجدية المكونة للآلة الخلوية على سبيل المثال $S = \{0, 1\}$.

Z : أبعاد الآلة الخلوية. (أحادية البعد، ثنائية)

f : دالة الحالة التالية (next state function) وتتمثل بقواعد الآلة الخلوية. والقواعد عبارة عن عمليات منطقية تنفذ على قيم الخلايا المتجاورة.

V : مجموعة الخلايا المجاورة للخلية الحالية.

تطبق قواعد الآلة الخلوية على الخلايا باستمرار لإنتاج جيل جديد من الخلايا، وتعتمد حالة الخلية الحالية في الجيل الجديد (g_i) على قاعدة الآلة الخلوية المطبقة وعلى حالة الخلية نفسها والخلايا المجاورة لها في الجيل السابق (g_{i-1}) [7].

الشكل (1): شكل يوضح جيلين لآلة خلوية أحادية البعد [7]

تتأثر كل خلية في الآلة الخلوية أحادية البعد في كل جيل بالخلية نفسها من الجيل السابق وبالخلايا المجاورة لها (الخلية اليمنى واليسرى)، لذلك فإن عدد الخلايا التي سوف تدخل ضمن القاعدة هو ثلاث خلايا، وهذا يعني أن هناك ثمانية أنماط مختلفة تشكلها تلك الخلايا المتجاورة ومن ثم يمكن تطبيق 256 قاعدة مختلفة على آلة خلوية أحادية البعد [5]. والشكل 2 يوضح تطبيق قاعدة رقم 126 على جميع الأنماط المختلفة للخلايا المتجاورة؛ إذ تمثل الخلية السوداء الرقم 1 وتمثل الخلية البيضاء الرقم 0.

الشكل (2): شكل يوضح القاعدة رقم 126 [1].

من الشكل 2 نلاحظ أن الخلايا الناتجة تمثل الرقم $126_{10} = 01111110_2$ ومن هنا أنتت تسمية القواعد.

تصنف الآلات الخلوية بحسب كيفية التعامل مع الخلايا في الحافات إلى [6]:

1- الآلة الخلوية ذات الحدود الفارغة (Null boundary cellular automata): توصل فيها الخلايا في الحافات بالقيمة 0.

2- الآلة الخلوية ذات الحدود الدورية (Periodic boundary cellular automata): توصل فيها الخلايا في الحافات مع بعضها البعض.

كما تصنف الآلات الخلوية بحسب كيفية تطبيق القواعد على الخلايا المتجاورة إلى [6]:

1- الآلة الخلوية الموحدة (Uniform cellular automata): تطبق فيها القاعدة نفسها على الخلايا كلها.

2- الآلة الخلوية الهجينة (Hybrid cellular automata): تطبق فيها قواعد مختلفة على كل مجموعة من الخلايا.

3- الآلة الخلوية الخطية (Linear cellular automata): تعتمد القاعدة المطبقة فيها على عملية XOR فقط.

4- الآلة الخلوية المتممة (Complement cellular automata): تعتمد القاعدة المطبقة فيها على عملية XNOR فقط.

4. الخوارزمية المقترحة Proposed Algorithm

استخدمت الخوارزمية المقترحة قواعد مختلفة لكل من التشفير وتوليد أرقام عشوائية، حيث إذ شفر كل حرف من حروف النص السري باستخدام مفتاح سري يتكون من 24-bits. ولكي يتناسب المفتاح السري مع تشفير كل حرف، فقد حوّر بتقسيمه إلى ثلاثة أقسام بطول 8-bits وإجراء عملية XOR بين تلك الأقسام. وقد عُوِّل التمثيل الثنائي لكل حرف من النص السري على أنه آلة خلوية أحادية البعد خطية وموحدة وذات حدود دورية وطُبقت القاعدة رقم 153 على كل حرف بحسب المعادلة المذكورة في [5]:

$$q_i(g+1) = \text{NOT}(q_{i+1}(g) \text{ XOR } q_i(g)) \dots \dots \dots (1)$$

إذ أن:

q_i : الخلية الحالية، وتمثل قيمة ثنائية من التمثيل الثنائي للحرف.

g : الجيل الحالي.

طبقت القاعدة 153 لعدد من المرات متفق عليه بين الطرفين، ثم أُجريت عملية XOR للنتائج مع قيمة المفتاح السري. وبعد إتمام عملية التشفير، أخفي النص المشفر في صور ملونة بطريقة البت الأقل أهمية (LSB) في المستوى اللوني الأحمر اعتماداً على أرقام مولدة عشوائياً على أساس قيمة المفتاح السري المدخل ذي الطول (24_bits) باعتباره البذرة (initial seed) وباستخدام ثلاث قواعد مختلفة وهي: قاعدة رقم 30، وقاعدة رقم 60، وقاعدة رقم 90 وبحسب المعادلات المذكورة في [5]:

$$q_i(g+1) = q_{i-1}(g) \text{ XOR } (q_i(g) \text{ OR } q_{i+1}(g)) \dots \dots \dots (2) \text{ Rule 30}$$

$$q_i(g+1) = q_{i-1}(g) \text{ XOR } q_i(g) \dots \dots \dots (3) \text{ Rule 60}$$

$$q_i(g+1) = (q_{i-1}(g) \text{ XOR } q_i(g)) \text{ XOR } q_{i+1}(g) \dots \dots \dots (4) \text{ Rule 90}$$

إذ طُبقت القواعد الثلاثة آنفة الذكر على البذرة، باعتبارها آلة خلوية خطية هجينة وذات حدود دورية، بصورة متتالية؛ إذ طبقت القاعدة 30 على القسم الأول من البذرة أي على (8-bits) الأولى، ثم طبقت القاعدة 60 على الثانية، والقاعدة 90 على الثالثة. ووُلدت الأرقام العشوائية بتجميع القيم الثنائية للخلايا 4، 12، 20، باعتبارها الخلايا الوسطية، بعد كل جيل (انظر الشكل 3).

الشكل (3): شكل يوضح كيفية توليد الأرقام العشوائية من المفتاح السري

يقوم المستلم عن طريق المفتاح السري المتفق عليه باستخراج النص المشفر من الصورة المرسله إليه بعد أن يقوم بتوليد الأرقام العشوائية نفسها وبالطريقة نفسها التي اتبعها المرسل. ثم يقوم بفك شفرة النص المسترجع من الصورة وبالمفتاح السري وبالطريقة نفسها التي استخدمها المرسل.

والشكل (4) يوضح المخطط الانسيابي للخوارزمية المقترحة.

الشكل (4): المخطط الانسيابي للخوارزمية المقترحة

5. النتائج والمناقشة Results and discussion

أجريت اختبارات عدة للخوارزمية المقترحة على صور ملونة بالامتداد BMP لإخفاء نص بطول 4672 bits باستخدام قيم مختلفة من المفتاح السري، وكانت النتائج كما مبين في الجدول (1).

الجدول (1): نتائج تطبيق الخوارزمية المقترحة

الصورة	الأبعاد	المفتاح السري	مقياس PSNR	مقياس BER
Airplane	512 × 512	9437119	67.6578	0
Children	256 × 256	15478234	62.6463	0

0 65.1187 14789632 350 × 350 Strawberry

إن عملية الإخفاء لم تؤثر على جودة الصورة، وهذا يتبين من قيم مقياس PSNR الموضحة في الجدول (1)، كما أن النص استرجع بالكامل من دون أي فقدان، وهذا ما تشير إليه قيم مقياس BER. الشكل (5) يوضح ناتج تطبيق الخوارزمية المقترحة على إحدى صور الاختبار.

(ب) الصورة بعد إخفاء النص المشفر

(أ) الصورة قبل إخفاء النص المشفر

الشكل (5): صورة من صور الاختبارات قبل إخفاء النص المشفر وبعده

عمدت الخوارزمية المقترحة إلى استخدام آلة خلوية خطية هجينة مكونة من القواعد 30، و60، و90 في توليد الأرقام العشوائية بدلاً من استخدام القاعدة 30 والمخصصة لتوليد الأرقام العشوائية؛ إذ وجد من خلال التنفيذ أن القاعدة 30 قد تصل إلى حالة مستقرة (steady state) بعد عدد معين من الأجيال وأن الدمج بين القواعد يعطي عدداً أكبر من الأرقام العشوائية نتيجة لاستخدام عمليات منطقية مختلفة. والجدول (2) يوضح عدداً من المفاتيح السرية وما يقابلها من أعداد الأرقام العشوائية المولدة بالآلة الخلوية الهجينة والموحدة. كما وجد أن أعداد الأرقام العشوائية المولدة تختلف باختلاف المفتاح السري باعتباره البذرة.

الجدول (2) أعداد الأرقام العشوائية باستخدام آلات خلوية هجينة وموحدة

طول الأرقام العشوائية المولدة

الآلة الخلوية الموحدة

الآلة الخلوية الهجينة

المفتاح السري

قاعدة 30

قاعدة 30، 60، 90

4523	6552	11351435
4500	4539	12874236
4498	5473	15478234
4497	5004	14789632
4515	4962	9437119
4500	4539	12874236
4518	5736	8388608

تعد الخوارزمية المقترحة حساسة لقيم المفتاح السري؛ إذ طبقت خوارزمية الاسترجاع باستخدام مفتاح سري مختلف عن المفتاح السري الذي استخدمه المرسل على الصور في الجدول (1) وكانت النتائج كما مبين في الجدول (3).

الجدول (3): نتائج تطبيق خوارزمية الاسترجاع بمفتاح سري مختلف

الصورة	المفتاح السري	مقياس BER
Stego_Airplane	9437219	0.4899
Stego_Children	15475234	0.4929
Stego_Strawberry	14779632	0.5098

إن استخدام مفتاح سري عند الاسترجاع مختلف عن قيمته الأصلية المستخدمة في الإخفاء يؤدي إلى اختلاف واضح في النص المسترجع؛ لأن استخدام مفتاح سري مختلف يعني استخدام بذرة مختلفة في توليد الأرقام العشوائية ومن ثم خطأ في النص المسترجع إذ أن تلك الأرقام العشوائية تمثل المواقع التي تم الإخفاء فيها.

6. الاستنتاجات Conclusions

قدم البحث خوارزمية لإخفاء نص مشفر في صور ملونة بطريقة مبعثرة اعتماداً على أرقام مولدة عشوائياً. وقد استخدمت قواعد الآلات الخلوية في التشفير وفي توليد الأرقام العشوائية. استنتج من البحث أن استخدام آلات خلوية هجينة أفضل في توليد الأرقام العشوائية من استخدام آلات خلوية موحدة. كما أستنتج من تطبيق خوارزمية الاسترجاع بمفتاح سري مختلف أن أي تغيير بسيط في قيمة المفتاح يؤثر في ناتج التشفير وناتج توليد الأرقام العشوائية ويسبب اختلافاً كبيراً في النص المسترجع .

المصادر

- [1] Shanmugasundaram G., Thiyagarajan P., and Pavithra S., (2015), "*A Novel DNA Encryption System Using Cellular Automata* ", International Journal of Security, Privacy and Trust Management (IJSPTM) Vol 4, No 3/4, pp.39-49.
- [2] Mohini J., (2017), "*Data Security Using 2D Cellular Automata Rules* ", International Journal of Students' Research in Technology & Management, Vol. 5, No. 1, pp: 5-8.
- [3] M. Alirezanejad, and R. Enayatifar, (2012), "*Steganography by using Logistic Map Function and Cellular Automata*", Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, Vol. 4, No. 23, pp. 4991-4995.
- [4] Bouchkaren S., and Lazaar S., (2014), "*A Fast Cryptosystem Using Reversible Cellular Automata* ", International Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 5, No. 5, pp.207-210.
- [5] Das D., and Ray A., (2010), "*A Parallel Encryption Algorithm for Block Ciphers Based on Reversible Programmable Cellular Automata*", Journal of Computer Science and Engineering, Vol. 1, Issue 1, pp.82-90
- [6] Amirthalingama S., Latha K., (2016), "*A Study on Encryption Using Three-Dimensional Cellular Automata* ", Journal. ScienceAsia, Vol. 42, pp.42-48
- [7] Kar B., Rao D. C., and Rath A. K., (2011), "*Generating PNS for Secret Key Cryptography Using Cellular Automaton*", international Journal of Advanced Computer Science and Applications, Vol. 2, No. 5, pp.101-105.