ورقة بحثية مجلة مفتوحة الوصول

مبادئ نمذجة و محاكاة انتشار حرائق الغابات باستخدام طريقة Cellular Automata

د. محمد خير عبدالله محمد

(كلية الهندسة، جامعة المنارة، البريد الإلكتروني:mohamad.kheir@manara.edu.sy)

الملخص

تشكل حرائق الغابات خطراً كبيراً في كثير من بلدان العالم،فهي تتسبب بخسائر بشرية،و أضرار بيئية و اقتصادية،مثل تدمير الممتلكات و المساكن و الغطاء النباتي و المحاصيل الزراعية،و إتلاف الغابات و زحف التصحر، إضافة إلى تسببها بتلوث الهواء،حيث يشكل غاز ثاني أوكسيد الكربون حوالي20% من إجمالي الغازات المنبعثة من حرائق الغابات،مترافقاً معه العديد من الأبخرة و الغازات الضارة و النظائر المشعة،و التي تنطلق جميعها في الغلاف الجوي،و تتسبب بتداعيات خطيرة تفاقم مشكلة الاحترار العالمي.

في هذا المقال تم عرض مبادئ النمذجة الرياضية لحراق الغابات بالاعتماد على طريقة **Cellular Automata (CA)**، و هي تقنية مستخدمة في العلوم الرياضية الحاسوبية،حيث تم عرض القواعد الرياضية لهذه الطريقة،و كيفية تطبيقها على عملية انتقال الحريق من منطقة أولية إلى المناطق المجاورة ضمن الغطاء النباتي للغابة، و كيفية محاكاة هذه الطريقة باستخدام الحاسب،و هو ما يساعد على التنبؤ بانتشار الحريق، و أخذ الاحتياطات الاستباقية لمواجهته.

كلمات مفتاحية_ حرائق الغابات، التنبؤ،تقنية Cellular Automata، محاكاة .

ABSTRACT

Forest fires pose a major threat in many countries of the world, as they cause human losses, environmental and economic damage, such as the destruction of property, housing, vegetation and food crops, the destruction of forests and the spread of desertification, in addition to causing air pollution, as carbon dioxide constitutes about 20% of the total gases emitted from forest fires, accompanied by many harmful vapors, gases and radioactive isotopes, all of which are released into the atmosphere, causing serious repercussions that exacerbate the problem of global warming. In this article, the principles of mathematical modeling of forest fires based on Cellular Automata (CA) are presented, which is a mathematical technique used in computational mathematical sciences. The mathematical rules of this method are presented, and how to apply to the process of fire transmission from an initial area to neighboring areas within the forest vegetation cover, and how to simulate this method using a computer, which helps in predicting the spread of the fire, and taking proactive precautions to confront it.

Keywords_Forest fires, predicting, Cellular Automata (CA), simulation.

I. مقدمة

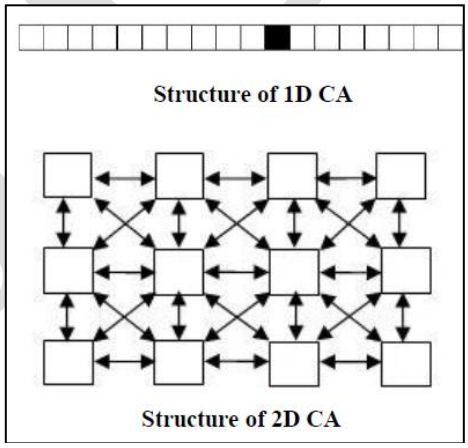
إن فعالية مكافحة حرائق الغابات تزداد بزيادة القدرة على التنبؤ بسلوكها مع الزمن، و ذلك بمساعدة النماذج الرياضية التي تعتمد إما على التحليل الرياضي لفيزياء الحرائق و ما يرافقها من عمليات كيميائية تتحكم بانتشار الحرائق، و إما على مبدأ مصونية الطاقة، و إما على التحليل الإحصائي لحرائق حقيقية و تجريبية. حيث يمكن من خلال تقنيات البرمجة الحاسوبية تنفيذ محاكاة عددية، تعطي نتائج تنبؤية بشدة الحريق، و سرعة انتشاره، و تأثير المعطيات البيئية مثل الغطاء النباتي و تضاريس المنطقة و الظروف المناخية المختلفة [1].

إن تقنية Cellular Automata هي نمذجة رياضية خاصة بالأنظمة الفيزيائية تم تصميمها من قبل von Neumann عام 1966، تفترض أن الفراغ (الحيز) و الزمن هي معطيات متقطعة

discrete، و التفاعلات المتبادلة هي فقط تفاعلات محلية local، و تعرف هذه الطريقة كشبكة بحالة ابتدائية محددة، حيث تطبق مجموعة قواعد للحالة الانتقالية التالية. و قد تمت الاستفادة من هذه الطريقة في تصميم النماذج الرياضية الخاصة بالتنبؤ بانتشار حرائق الغابات، حيث أتاحت المحاكاة الحاسوبية التعرف على العديد من السيناريوهات الممكنة لانتشار الحرائق، و بالتالي إمكانية اتخاذ إجراءات استباقية لمواجهة تلك السيناريوهات، و قد أعطت نتائج و تنبؤات قريبة من الحالات الواقعية.

يمكن تطبيق هذه الطريقة للحصول على شبكة أحادية البعد أو ثنائية البعد، كما هو مبين في الشكل 1 [2] .

تم في هذا المقال عرض مبادئ طريقة CA أحادية البعد و ثنائية البعد، و مبادئ النمذجة الرياضية لانتشار حرائق الغابات باستخدام هذه الطريقة.



الشكل 1. شبكة **CA** أحادية و ثنائية البعد

II. شبكة CA أحادية البعد

يمكن توضيح هذه الطريقة بالمثال التالي [3]:

بفرض الحالة الابتدائية في اللحظة t=0 لشبكة أحادية البعد، كما هو مبين في الشكل 2.

الشكل 2. شبكة **CA** أحادية البعد في اللحظة t=0

حيث تطبق القواعد التالية لتحديد الحالة الجديدة لكل خلية في الشبكة :

Transition function:
if cell is white :
if at least one neighboring cell is red, change to black
otherwise remain white
If cell is black :
if exactly one of the two neighboring cells
are black, then change state to red
otherwise change to white

If cell is red :
change color to white

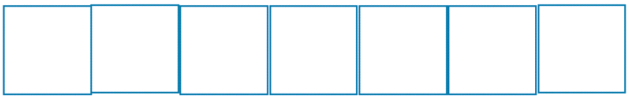
بتطبيق هذه القواعد تنتج الحالة التالية في اللحظة t=1 ، كما هو مبين في الشكل 3.

الشكل 3. حالة الشبكة في اللحظة t=1

بإعادة تطبيق ذات القواعد على الشبكة الجديدة ستنتج الحالة الجديدة للشبكة في اللحظة t=2 ، كما هو مبين في الشكل 4.

الشكل 4. حالة الشبكة في اللحظة t=2

بذات الطريقة يعاد تطبيق القواعد على الشبكة الجديدة، حيث ستنتج الحالة التالية للشبكة في اللحظة t=3، كما هو مبين في الشكل 5.



الشكل 5. حالة الشبكة في اللحظة t=3

عند هذه الحالة الجديدة ستستقر الشبكة، حيث لو أعيد تطبيق القواعد السابقة ستبقى الشبكة على ذات الحالة.

من هنا يتضح أن كل حالة تالية لأي خلية في الشبكة تتوقف على الحالة الحالية للخلية و حالة الخلايا المجاورة بشكل مباشر و هو المبدأ الأساسي لطريقة CA.

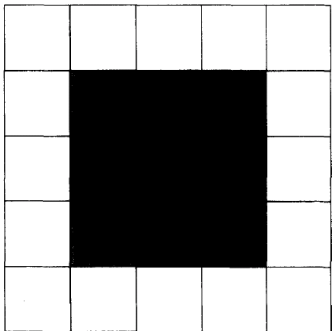
III. النموذج الرياضي لانتقال حرائق الغابات وفق طريقة CA ثنائية البعد

هناك خمس خصائص أساسية يجب تحديدها وفق طريقة CA [4]:

- عدد الأبعاد الفراغية n.
- عرض كل جانب من المتجه w، حيث : w_j هو عرض الجانب رقم j من المتجه، حيث: j=1,2,3,..n
- عرض الخلية المجاورة d، حيث: d_j هو عرض الخلية المجاورة في الجانب رقم j من المتجه
- حالة الخلية.
- القاعدة المحلية لـ **CA**،و التي يمكن أن تكون تابعاً عشوائياً **F**. حالة الخلية في اللحظة الزمنية t+1 تحسب طبقاً للتابع **F**.

F هو تابع حالة الخلية الحالية و حالات الخلايا المجاورة لها في اللحظة الزمنية t.

في حال طريقة CA ثنائية البعد، حيث n=2 مع عرض تجاور d1=3 و d2=3 ، في هذه الحالة جوار الخلية (i,j) يتالف من 8 خلايا محيطة بها، كما هو مبين في الشكل 6.



الشكل 6. خلية عشوائية و الخلايا المجاورة في شبكة CA

و بالتالي فإن حالة هذه الخلية في أي لحظة تتوقف على حالتها و حالة الخلايا الثمانية في اللحظة السابقة.

الحالة المحلية لكل خلية (i,j) في اللحظة الزمنية t و يرمز لها بالرمز stt(i,j) تعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$st_t(i,j) = \frac{a_{br}}{a_t}$$

حيث:

abr : مساحة المنطقة المشتعلة من الخلية

at : مساحة المنطقة الإجمالية للخلية

حالة الخلية التي لم تشتعل أبداً تساوي الصفر، بينما حالة الخلية المشتعلة بالكامل تساوي 1، و بالتالي فإن قيمة stt(i,j) تتراوح بين 0 و 1.

معدل انتشار الحريق في الخلية يساوي السرعة التي تتطلبها الخلية لتصبح مشتعلة بالكامل، و يرمز له بالرمز R(i,j)

و بالتالي حالة كل خلية (i,j) في اللحظة الزمنية t+1 و يرمز لها بالرمز stt+1(i,j) تعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$st_{t+1}(i,j) = F(st_{t_{i-1,j-1}}, st_{t_{i-1,j}}, st_{t_{i-1,j+1}}, st_{t_{i,j-1}}, st_{t_{i,j,}} st_{t_{i,j+1}}, st_{t_{i+1,j-1}}, st_{t_{i+1,j}}, st_{t_{i+1,j+1}})$$

إذا كانت الخلية (i,j) لم تشتعل أبداً، و يوجد فقط واحدة من الخلايا المجاورة (فقط المشتركة معها بضلع كامل) مشتعلة بالكامل، فإن الخلية (i,j) ستصبح مشتعلة بالكامل بعد زمن tl يعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$t_l = \frac{l}{R_{i,j}}$$

حيث:

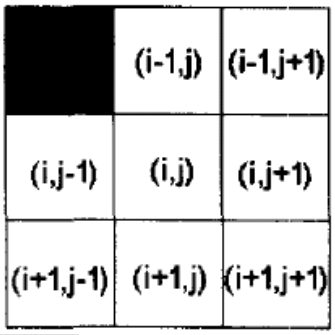
l [m]: طول الخلية

في حال كانت الخلية (i,j) لم تشتعل أبداً، و يوجد فقط واحدة من الخلايا القطرية المجاورة (فقط المشتركة معها قطريا بزاوية) مشتعلة بالكامل، فإن الخلية (i,j) ستصبح مشتعلة بالكامل بعد زمن td يعطى بالعلاقة التالية [4]:

$$t_d = \frac{\sqrt{2}l}{R_{i,j}} = \sqrt{2}t_l$$

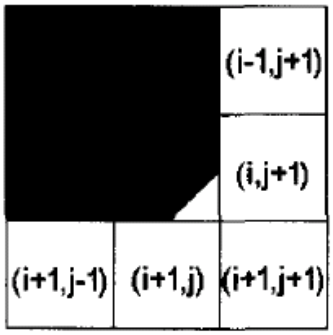
إذا كانت الخطوة الزمنية tl، و كانت جميع الخلايا المجاورة للخلية (i,j) غير مشتعلة ما عدا خلية واحدة مجاورة (تشترك بضلع معها) ، في هذه الحالة بعد خطوة زمنية واحدة فقط تصبح الخلية مشتعلة بالكامل، و حالتها تأخذ الرقم 1.

و إذا كانت جميع الخلايا المجاورة للخلية (i,j) غير مشتعلة ما عدا خلية قطرية واحدة كما هو مبين في الشكل 7 [4] ، حيث الخلايا المشتعلة باللون الأسود.



الشكل 7. خلية قطرية واحدة مشتعلة بالكامل

في هذه الحالة بعد خطوة زمنية واحدة فإن الخلية (i,j) ستشتعل جزئياً، كما هو مبين في الشكل 8 [4]



الشكل 8. اشتعال الخلية (i,j) جزئياً

فإن حالة الخلية (i,j) تحسب بالعلاقة التالية [4]:

$$st_{t+1}(i,j) = \frac{l^2 - ((\sqrt{2}-1)^2 l^2)}{l^2} \cong 0.83$$

إذا كانت أكثر من خلية مجاورة لها حالة قيمتها تساوي 1، فإن حالة الخلية (i,j) ستصبح قيمتها بعد خطوة زمنية واحدة تساوي 1 أيضاً، و بالتالي تكون قاعدة الحالة المحلية للخلية كما يلي [4]:

$$st_{t+1}(i,j) = st_{t_{i,j}} + \left(st_{t_{i-1,j}} + st_{t_{i,j-1}} + st_{t_{i,j+1}} + st_{t_{i+1,j}}\right) + 0.83\left(st_{t_{i-1,j-1}} + st_{t_{i-1,j+1}} + st_{t_{i+1,j-1}} + st_{t_{i+1,j+1}}\right)$$

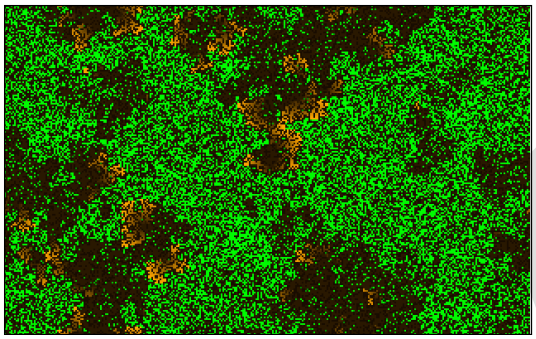
تشكل المبادئ الرياضية السابقة أساساً للنموذج الرياضي لانتشار حرائق الغابات باستخدام طريقة CA.

من المهم الإشارة إلى أنه يمكن تطوير النموذج السابق لإدخال تأثير سرعة و اتجاه الرياح، و الطبيعة التضريسية للمنطقة، و هو ما لم يتم تناوله في هذا المقال.

IV. المحاكاة الحاسوبية لطريقة CA

يمكن باستخدام تقنيات البرمجة محاكاة طريقة CA في نمذجة الحرائق، حيث تتوفر العديد من منصات المحاكاة عبر شبكة الانترنت لمحاكاة انتشار الحرائق بهذه الطريقة مصممة بلغات برمجة مختلفة.

حيث يبين الشكل 9 نتائج إحدى تلك المنصات [5].



الشكل 9. نتائج منصة محاكاة online لحرائق الغابات وفق طريقة CA

من التطبيقات المعروفة لطريقة CA ما يعرف بلعبة الحياة **game of life**، و هي عبارة عن خلايا ذاتية السلوك تم تصميمها من قبل **John Horton Conway** عام 1970، تلعب بدون لاعبين، تتطور تلقائياً انطلاقاً من حالتها الأولية. تتألف اللعبة من شبكة ثنائية الأبعاد لا نهائية الحجم على شكل خلايا مربعة ، كل من الخلايا تكون في إحدى الحالتين: حية أو ميتة.

تتفاعل كل خلية مع 8 من الخلايا المجاورة لها أفقياً ورأسيا وقطرياً.

تطبق القواعد التالية في كل لحظة:

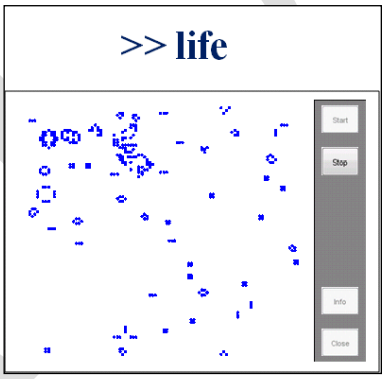
1. تموت أي خلية حية لها أقل من اثنتين من الجيران الأحياء .
2. أي خلية حية لها اثنتين أو ثلاثة جيران من الخلايا الحية تعيش إلى الجيل القادم.

3. تموت أي خلية حية لها أكثر من ثلاثة جيران من الخلايا الحية.
4. أي خلية ميتة تصبح حية عندما يصبح حولها بالضبط ثلاثة من الخلايا الأحياء.

يتم إنشاء الجيل الأول بواسطة تطبيق القواعد المذكورة أعلاه في نفس الوقت، حيث تحدث الولادات والوفيات في وقت واحد.

يتم تطبيق القواعد بشكل مستمر لتوليد الأجيال اللاحقة.

تمت محاكاة هذه اللعبة باستخدام لغة Matlab، حيث يمكن كتابة الأمر التالي في نافذة الأوامر life و متابعة عدد لا نهائي من السيناريوهات لهذه اللعبة، كما هو مبين في الشكل 10.



الشكل 10. محاكاة لعبة الحياة game of life بلغة Matlab

V. الاستنتاجات و التوصيات

- تعد طريقة **CA** تقنية رياضية تساعد على إنشاء نماذج رياضية لمحاكاة حرائق الغابات.
- توفر المحاكاة الحاسوبية بيئة افتراضية يمكن من خلالها استعراض كم كبير من سيناريوهات انتشار حرائق الغابات.
- إن نمذجة حرائق الغابات يساعد على التنبؤ بسلوكها و اتخاذ التدابير الاستباقية المناسبة لمواجهتها.
- لطريقة CA تطبيقات متنوعة رياضية و بيولوجية و غيرها.

المراجع

[1]. Lucile Rossi, Flicker/JohnBWilson,Le risque feux de forêt ,Creative Commons, 2012 .
[2]. Nayak, Deepak & Patra, Prashanta & Mahapatra, Amitav. (2014). A Survey on Two Dimensional Cellular Automata and Its Application in Image Processing.
[3]. Mohamad Nasirifar. Introduction to Cellular Automata. Shahid Beheshti University, 2015
[4]. Karafyllidis, I., and A. Thanailakis. 1997. A model for predicting forest fire spreading using cellular automata. Ecological Modelling, v. 99, p. 87-97.
[5]. Cellular Automata Laboratory, Fourmilab, last update: November 2023 [viewed 15 August 2024]. Available from: https://www.fourmilab.ch/cellab/webca/?show=demo