

Bài tập lớn cuối kỳ

Mô phỏng sự lan rộng của lửa trong bài toán cháy rừng

Nhóm 12	21020692	Nguyễn Thế Khang
	21021599	Lê Mạnh Kha
	21021602	Lê Trung Kiên
	21020696	Hoàng Nhật Minh
Giảng viên	TS. Nguyễn Hồng Thịnh	
Học phần	Modeling and Simulation in MATLAB and Simulink	
Báo cáo	Final-term	Ngày hoàn thành: 09/10/2023

1 Giới thiệu

Theo thống kê của các cơ quan chức năng Australia, từ đầu vụ cháy rừng đến nay, hỏa hoạn đã khiến 26 người thiệt mạng, thiêu rụi hơn 10,3 triệu héc ta đất rừng, phá hủy gần 2.000 ngôi nhà và 4.000 công trình phụ. Khoảng 1 tỷ vật nuôi và động vật hoang dã bị giết hoặc bị thương trong các vụ cháy. Các đám cháy cũng đã thải vào bầu khí quyển khoảng 400 triệu tấn CO₂ và các chất gây ô nhiễm khác.

Báo cáo này trình bày mô phỏng sự hình thành và lan rộng của đám cháy, từ đó có những phương hướng đối phó với nạn cháy rừng. Việc dự đoán và mô phỏng về sự lan rộng của đám cháy là vô cùng cần thiết để có thể giảm thiểu tối đa ảnh hưởng xấu của đám cháy đến khu rừng nói riêng, cũng như bảo vệ môi trường sống của động thực vật.

Bài báo cáo sử dụng mô hình Fire trong phần Earth Science của thư viện mô hình NetLogo của Uri Wilensky và William Rand, và thư viện `agentpy` của Python để mô phỏng. NetLogo được thiết kế cho nhiều đối tượng, vật thể. Môi trường NetLogo có thư viện mô hình gồm rất nhiều các mô hình trong các lĩnh vực. NetLogo cho phép tạo mô hình mới, sửa đổi và cập nhật trạng thái mô hình hiện tại.

Từ khóa: Cháy rừng, Mô phỏng, NetLogo, Giải pháp chữa cháy

2 Tổng quan

2.1 Giới thiệu bài toán

Bài toán mô tả sự lan rộng của đám cháy trong khu **Rừng (forest)**. Giả sử khu rừng có hình dạng là hình chữ nhật có kích thước cài đặt trước, trong đó chứa hai đối tượng **Cây (tree)** và **Đất (ground)**. Cây sẽ được trồng ngẫu nhiên trong rừng, những chỗ còn lại không trồng cây sẽ là đất. Đối tượng cây được chia ra thành ba trạng thái:

1. Cây xanh (**green tree**)
2. Cây đang cháy (**burning tree**)
3. Cây cháy rụi (**burned tree**)

Khi bắt đầu mô phỏng, đối tượng cây ở trạng thái xanh bình thường, đối tượng **Lửa (fire)** là nguyên nhân của vụ cháy sẽ được mô phỏng, và được khởi tạo vị trí bằng bốn cách chọn sau:

1. Các vị trí ngẫu nhiên (**Random**)
2. Cạnh trái của khu rừng (**Left**)
3. Trung tâm của khu rừng (**Center**)
4. Góc phải dưới của khu rừng (**Corner**)

Khi bắt đầu lửa lan, đối tượng cây sẽ cập nhật từ cây xanh sang cây đang cháy, đồng thời đám cháy sẽ lan ra các cây xanh lân cận của cây đang cháy. Các cây đang cháy sau một khoảng thời gian sẽ thành cây cháy cháy rụi. Đám cháy sẽ cố gắng lan rộng tối đa sang các phía của khu rừng.

2.2 Điều kiện của bài toán - Giải pháp

Trên thực tế, sự lan rộng nhanh hay chậm của đám cháy còn phụ thuộc vào những yếu tố như: gió, độ ẩm, thời tiết, trạng thái đám mây, tốc độ cháy, thời gian cháy, ... Tuy nhiên, với bài toán này, sự lan rộng của đám cháy được mô phỏng sẽ phụ thuộc chủ yếu vào mật độ phân bố các cây trong khu rừng và vị trí khởi tạo của đám cháy.

Để có thể giảm thiểu sự lan rộng của đám cháy, ta có thể nhóm các cụm cây nhỏ hơn bằng đất ngăn cách giữa các cụm hoặc sử dụng **Rào (fence)** ngăn lửa nhằm giảm thiểu sự lan tỏa của đám cháy. Đám cháy sẽ chỉ cháy ở cụm cây đó mà không hề ảnh hưởng đến các cụm cây khác.

3 Phương pháp & Mã giả

3.1 Khởi tạo khu rừng

Khi khởi tạo khu rừng, tất cả các điểm trong khu rừng sẽ đều là đất. Số lượng cây được tính bằng của mật độ bao phủ cây trong rừng và kích cỡ khu rừng. Xét cả khu rừng, nếu vị trí rào tồn tại ở vị trí đất trống thì đất trống sẽ cập nhật lại thành rào. Sau khi đã thiết lập xong rào, thì ta sẽ cập nhật vị trí các cây xanh ở những vị trí không phải là rào một cách ngẫu nhiên theo số lượng cây đặt sẵn ở phía trên.

Đầu vào:

- `tree_density`: Độ bao phủ của cây trong rừng.
- `forest[m,n]`: Mảng 2 chiều mô tả kích cỡ khu rừng.
- `fence_pos`: Trạng thái rào được thiết lập.

Đầu ra:

- `forest[m,n]`: Trả về rừng đã có cây trồng và hàng rào (nếu có).

Algorithm 1: Khởi tạo khu rừng

```
Data: tree_density, forest[m,n], fence_pos  
Result: forest[m,n]  
m, n  $\leftarrow$  m*2, n*2;  
forest[ $\forall$  i, j]  $\leftarrow$  ground;  
num_trees  $\leftarrow$  tree_density * m * n;  
if fence_pos is exist then  
    for each ground_i in forest[m,n] has fence_pos do  
        | ground_i  $\leftarrow$  fence;  
    end  
end  
while num_trees  $\geq$  0 do  
    i  $\leftarrow$  random integer in [0; m-1];  
    j  $\leftarrow$  random integer in [0; n-1];  
    if forest[i,j] is a ground then  
        | forest[i,j]  $\leftarrow$  green tree;  
        | num_trees  $\leftarrow$  num_trees - 1;  
    end  
end
```

3.2 Khởi tạo đám cháy

Đám cháy được khởi tạo tại bốn vị trí trong khu rừng như sau:

1. Với lựa chọn khởi tạo đám cháy một cách ngẫu nhiên, đám cháy sẽ chọn số lượng cây xanh ngẫu nhiên trong rừng, chọn các cây đó làm cây đang cháy và khi bằng số lượng cây được chọn để cháy thì vòng lặp sẽ kết thúc. Trong trường hợp số lượng cây được chọn để cháy lớn hơn số lượng cây xanh hiện tại của khu rừng thì sẽ có thêm điều kiện giới hạn tối đa số lần thực hiện vòng lặp.
2. Với lựa chọn khởi tạo đám cháy ở rìa trái khu rừng, đám cháy sẽ chọn 3 cột gần rìa trái nhất để tạo thành vùng cháy.
3. Với lựa chọn khởi tạo đám cháy ở trung tâm khu rừng, đám cháy chọn tâm của khu rừng, sau đó chọn vùng cháy xung quanh tâm đó với kích cỡ $\text{fire_size} * 2 + 1$.
4. Với lựa chọn khởi tạo đám cháy ở góc khu rừng, đám cháy chọn tâm tại điểm góc của khu rừng, sau đó chọn vùng cháy xung quanh tâm đó với kích cỡ $\text{fire_size} * 2 + 1$.

Đầu vào:

- **fire_size**: Kích cỡ đám cháy.
- **forest[m,n]**: Khu rừng khi chưa khởi tạo đám cháy.
- **fire_pos**: Vị trí khởi tạo của đám cháy.

Đầu ra:

- **forest[m,n]**: Khu rừng vừa khởi tạo đám cháy.

Algorithm 2: Khởi tạo đám cháy

```
Data: fire_size, forest[m,n], fire_pos  
Result: forest[m,n]  
if fire_pos is random then  
    while fire_trees  $\geq 0$  do  
        green_tree  $\leftarrow$  a random green tree in forest;  
        green_tree  $\leftarrow$  burning tree;  
        fire_trees  $\leftarrow$  fire_tree -1;  
    end  
else  
    if fire_pos is left then  
        fire_cols  $\leftarrow$  fire_size;  
        fire_region  $\leftarrow$  fire_cols columns left most in the forest  
    end  
    if fire_pos is center then  
        i, j  $\leftarrow$  m/2, n/2;  
        neighbor  $\leftarrow$  fire_size*2+1;  
        fire_center  $\leftarrow$  forest[i,j];  
        neighbor_size  $\leftarrow$  (neighbor x neighbor);  
        fire_region  $\leftarrow$  matrix with neighbor_size around fire_center;  
    end  
    if fire_pos is corner then  
        i, j  $\leftarrow$  m - fire_size, n - fire_size;  
        neighbor  $\leftarrow$  fire_size*2+1;  
        fire_center  $\leftarrow$  forest[i,j];  
        neighbor_size  $\leftarrow$  (neighbor x neighbor);  
        fire_region  $\leftarrow$  matrix with neighbor_size around fire_center;  
    end  
    for each tree_i is a green tree in fire_region do  
        tree_i  $\leftarrow$  burning tree;  
    end  
end
```

3.3 Lan tỏa đám cháy

Trong khu vực quanh điểm cháy với kích cỡ 3x3, đám cháy sẽ lan tỏa nếu có cây xanh lân cận với cây đang cháy, cập nhật trạng thái cây xanh thành cây đang cháy, còn cây đang cháy sau khi lan tỏa hết sẽ cập nhật thành cây cháy rụi.

Đầu vào:

- forest[m,n]: Khu rừng vừa khởi tạo đám cháy.

Đầu ra:

- forest[m,n]: Khu rừng sau khi đám cháy kết thúc.
- step: Số bước để đám cháy kết thúc.

Algorithm 3: Lan tỏa đám cháy

```
Data: forest[m,n]
Result: forest[m,n], step
step =  $\leftarrow$  0;
while numbers of burning trees > 0 do
    for each burning_tree_i is a burning tree in forest[m,n] do
        neighbor_region  $\leftarrow$  3x3 matrix with the center of burning_tree_i for each
            tree_i is a green tree in neighbor_region do
                tree_i =  $\leftarrow$  burning tree;
            end
        burning_tree_i =  $\leftarrow$  burned tree;
        step =  $\leftarrow$  step + 1;
    end
end
```

3.4 Tỷ lệ cây cháy

Ở thời điểm bất kì trong khoảng thời gian xảy ra đám cháy, ta sẽ tính số lượng các cây xanh còn lại, cây đang cháy và cây đã cháy. Sau đó, tỷ lệ cây cháy sẽ được tính bằng tỷ lệ cây cháy rụi và tổng số cây trong khu rừng.

Đầu vào:

- forest[m,n]: Khu rừng tại thời điểm bất kì.

Đầu ra:

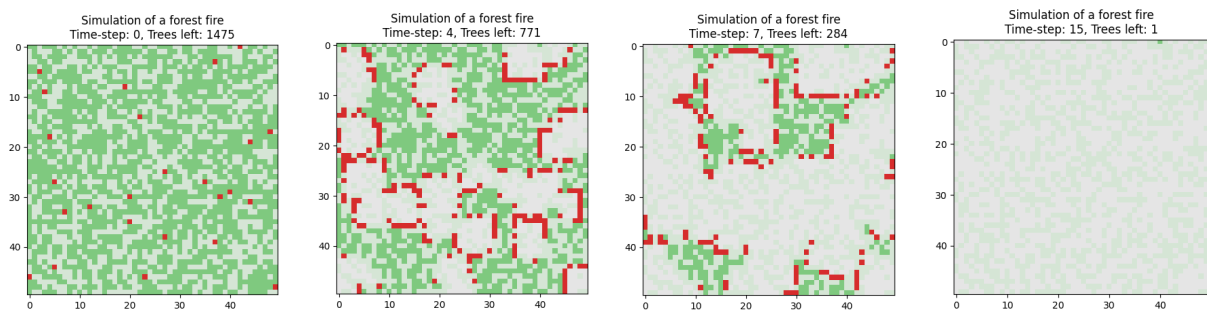
- green_trees: Số lượng cây xanh tại thời điểm bất kì.
- burning_trees: Số lượng cây đang cháy tại thời điểm bất kì.
- burned_trees: Số lượng cây cháy rụi tại thời điểm bất kì.
- burned_ratio: Tỷ lệ cây cháy.

Algorithm 4:

```
Data: forest[m,n]
Result: green_trees, burning_trees, burned_trees, burned_ratio
green_trees =  $\leftarrow$  0;
burning_trees =  $\leftarrow$  0;
burned_trees =  $\leftarrow$  0;
for each tree_i is a tree in forest do
    if tree_i is green tree then
        | green_trees =  $\leftarrow$  green_trees + 1;
    end
    if tree_i is burning tree then
        | burning_trees =  $\leftarrow$  burning_trees + 1;
    end
    if tree_i is burned tree then
        | burned_trees =  $\leftarrow$  burned_trees + 1;
    end
end
total_trees  $\leftarrow$  green_trees + burning_trees + burned_trees;
burned_ratio  $\leftarrow$  burned_trees / total_trees;
```

4 Thực nghiệm & Kết quả

Tiến hành thực nghiệm, thay đổi mật độ của cây trong rừng và với các khởi tạo đám cháy khác nhau sau đó đánh giá mô hình thông qua tỉ lệ cây cháy. Quan sát hình dưới là mô phỏng quá trình lây lan cháy của rừng với khởi tạo ngẫu nhiên.

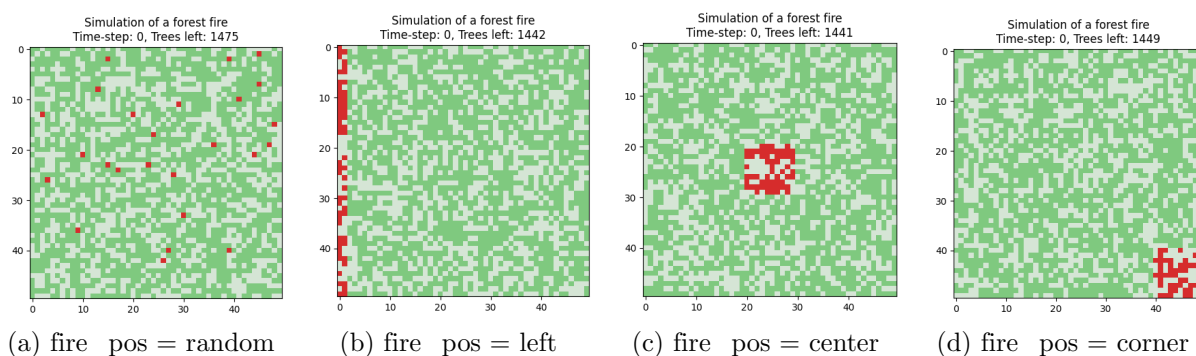


Hình 1: Mô phỏng rừng với $\text{tree_density} = 0.6$ với khởi tập cháy ngẫu nhiên, không dùng rào

Khởi tạo **forest** kích thước 100×100 , đồng thời tham số $\text{fire_size} = 3$ cho toàn bộ trường hợp khảo sát. Thay đổi các giá trị tree_density trong khoảng $[0.2, 0.6]$, đánh giá burned_ratio tương ứng với từng khởi tạo đám cháy $\text{fire_pos}:\{\text{random}, \text{left}, \text{center}, \text{corner}\}$.

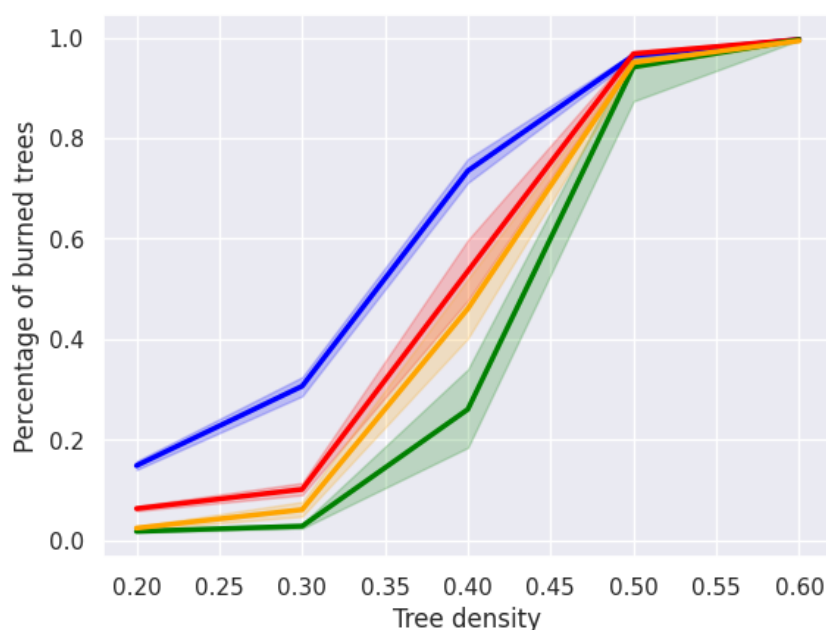
4.1 Bài toán cháy rừng chưa sử dụng rào

Với bài toán cháy rừng với thiết lập cơ bản như này, nếu không sử dụng rào ($\text{fence} = \text{False}$), thì sự lây lan của đám cháy như đã trình bày sẽ theo vị trí của lân cận cây cháy.



Hình 2: Mô phỏng cháy rừng với tree_density = 0.6 với các mức khởi tạo đám cháy khác

Và ta sẽ tiến hành mô phỏng với các hình thức khởi tạo cháy khác nhau và mật độ cây trồng khác nhau để thiệt hại của đám cháy thông qua tổng số tỉ lệ cây cháy **burned_ratio**.



Hình 3: Khảo sát tỉ lệ burned_ratio với các tham số thay đổi mà không dùng rào

1. Khi tree_density ở mức thấp cỡ 0.2

Quan sát đồ thị thấy được mật độ bao phủ cây thấp thì tỉ lệ cháy của các cây tương đương nhau, và ở mức thấp. Điều này dễ lí giải được vì ở mật độ này các cây phân bố ở khá xa nhau, nên việc lan rộng của đám cháy gặp khá nhiều khó khăn.

2. Khi tree_density ở mức trung bình cỡ 0.4

Các cây trong rừng đã được trồng đặc hơn, lúc này ta có thể thấy được tỉ lệ cây cháy của các hình thức khởi tạo cháy. Phân bố ngẫu nhiên cho kết quả **burned_ratio** lớn nhất, trong khi đó nếu đám cháy phân bố ở góc cho thấy ít thiệt hại nhất.

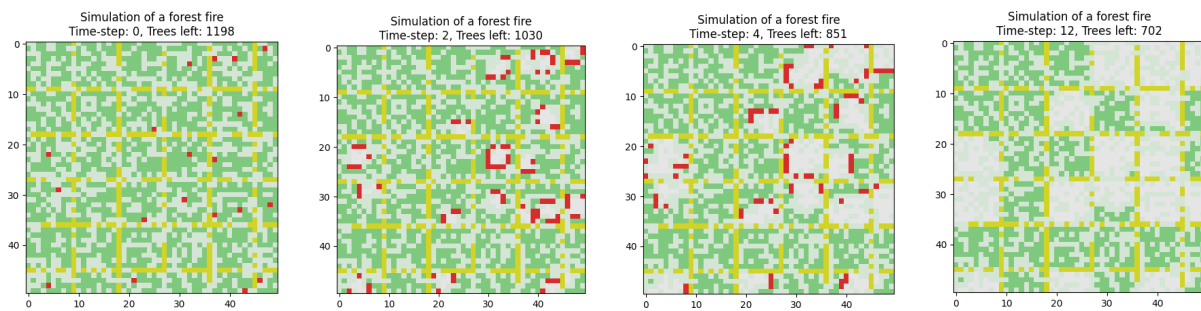
3. Khi `tree_density` ở mức cao cỡ 0.6

Với phân bố cây trong rừng cỡ lớn, và dày đặc như này, thì cả bốn phương pháp đều cho kết quả hội tụ về cháy hết. Điều này cho thấy mật độ cây trong rừng ảnh hưởng rất lớn tỉ lệ cây cháy.

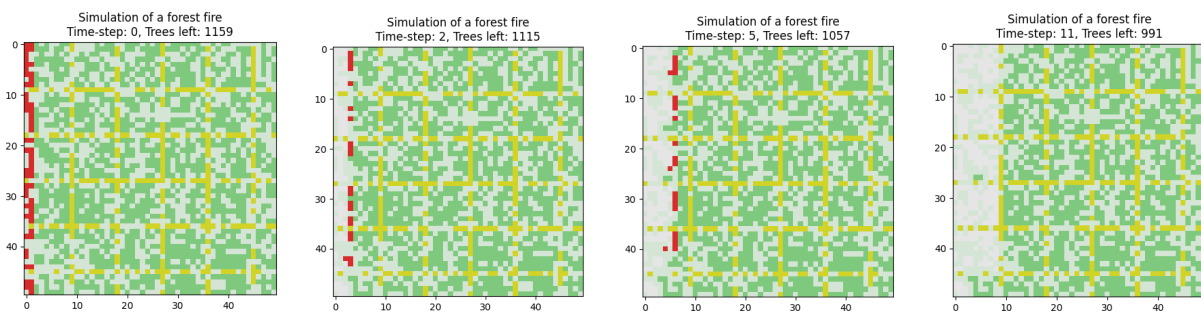
Quan sát sự thay đổi về mật độ cây trồng trong rừng thông qua các hình thức khởi tạo đám cháy khác nhau, ta có thể thấy nếu đám cháy thực hiện ở các điểm ngẫu nhiên sẽ có tỉ lệ thiệt hại lớn hơn các phân bố cháy theo cụm ở rìa, góc, hay ở trung tâm. Lí do đơn giản là nếu đám cháy được phân bố ngẫu nhiên, hay thực tế hơn là có nhiều điểm cháy khởi tạo trong khu rừng, vì thế nó sẽ lây lan hơn là các điểm cháy tập trung theo cụm.

4.2 Bài toán cháy rừng sử dụng rào

Đây là phương pháp mà bài báo cáo đề xuất để giảm thiệt hại của đám cháy. Như đã đề cập ở trên, rào (`fence = True`) sẽ được xây dựng cố định ở các vị trí khởi tạo trước khi trồng cây. Như vậy cây không thể trồng ở các vị trí này, đồng thời, rào cũng sẽ xây vây quanh các cây, phân thành các cụm cây nhỏ ngăn chặn đám cháy.

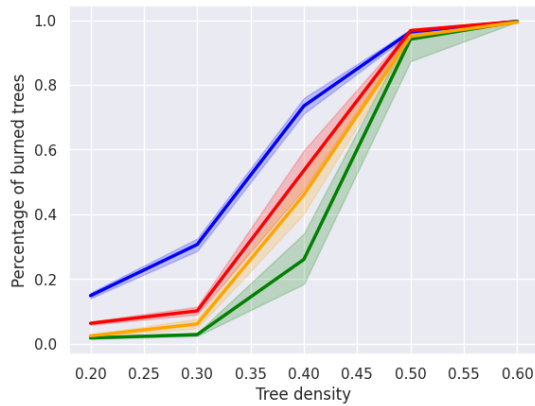


Hình 4: Mô phỏng rừng với `tree_density = 0.6` với khởi tập cháy ngẫu nhiên, có dùng rào

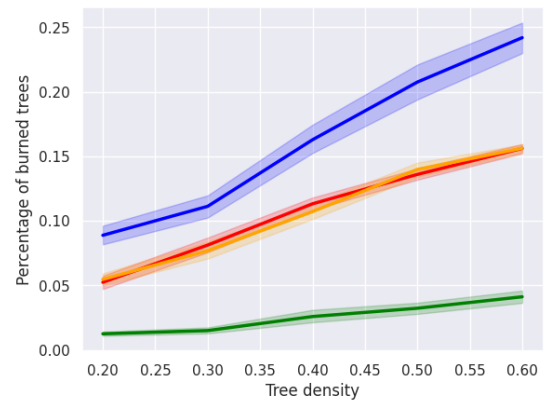


Hình 5: Mô phỏng rừng với `tree_density = 0.6` với khởi tập cháy cạnh trái, có dùng rào

Nếu sử dụng rào thì tỉ lệ cây cháy giảm đáng kể so với cây cháy và giữ nguyên khi tiến hành tăng mật độ cây trồng trong rừng lên. Dễ dàng quan sát thấy nếu phân bố đám cháy ngẫu nhiên thì đám cháy sẽ có ảnh hưởng thiệt hại mạnh nhất.



(a) Không rào



(b) Có rào

Hình 6: Tỷ lệ burned_ratio trong hai trường hợp có rào và không rào

5 Kết luận

Sau khi mô phỏng mô hình đám cháy trong khu rừng theo thư viện NetLogo, báo cáo này đã chỉ ra:

- Cách đám cháy hoạt động với nhiều khu vực khác nhau trong khu rừng.
- Ảnh hưởng đám cháy ảnh hưởng lên khu rừng với các vị trí khác nhau trong khu rừng.
- Giải pháp ngăn chặn, giảm thiểu thiệt hại của đám cháy tác động lên khu rừng.

Tóm lại, mặc dù sử dụng rào này với điều kiện khá lỏng, đồng thời chưa xét đến những yếu tố phức tạp hơn. Nhưng có thể thấy, nếu phân cụm cây hợp lý có thể giảm thiểu rất nhiều thiệt hại. Đồng thời, đây có phương án hoàn toàn khả thi trong thực tiễn và đem lại hiệu quả cao.
Code mô phỏng: *Open on Google Colab*