สารบัญ

คู่มือการใช้งาน

เกี่ยวกับโปรแกรม

โปรแกรมจำลองเกมที่มีชื่อว่า “Lights Out” เป็นเกมกระดานที่มีขนาด n x n โดยบนกระดานของโปรแกรมนี้จะประกอบไปด้วยตัวเลขซึ่งเป็นตัวแทนของไฟเปิด (1) ไฟปิด (0) และ อาจมีไฟเสีย 1 ดวง (1x หรือ 0x) อยู่บนกระดานด้วย

เป้าหมาย:

การปิดไฟทั้งหมดบนกระดาน หรือ กล่าวได้ว่าตัวเลขบนกระดานจะเป็นเลข 0 ทั้งหมด

สิ่งที่ผู้ใช้งานสามารถทำเพื่อบรรลุเป้าหมายดังกล่าว:

การกดสวิตช์เพื่อ toggle ไฟที่อยู่บนกระดาน

- หากไฟปกติเปิดถูก toggle จะกลายเป็นไฟปิด (1 -> 0) ในทางกลับกันหากไฟปิดถูก toggle จะกลายเป็นไฟเปิด (0 -> 1) ซึ่งการกดสวิตช์ตัวหนึ่งนั้นไม่เพียงจะ toggle ตัวมันเอง แต่จะ toggle ไฟโดยรอบที่อยู่ด้านบน ล่าง ซ้าย และ ขวา ของมันด้วย ดังภาพต่อไปนี้

```
0  0  0      0  1  0
1  1  1  ->  0  0  0
1  0  1      1  1  1
```

ไฟที่อยู่ตรงกลางถูก toggle

```
0  0  0      1  1  0
1  1  1  ->  0  1  1
1  0  1      1  0  1
```

ไฟที่อยู่มุมซ้ายบนถูก toggle

- หากไฟเสียถูก toggle จะ toggle ตัวมันเอง และ ไฟที่อยู่รอบ ๆ ตัวมันเองทางด้านซ้ายบน ขวาบน ซ้ายล่าง และ ขวาล่างด้วย ดังภาพต่อไปนี้

```
0  0  0      1  0  1
1  1x 1  ->  1  0x 1
1  0  1      0  0  0
```

ไฟที่อยู่ตรงกลางถูก toggle

```
0x 0  0      1x 0  0
1  1  1  ->  1  0  1
1  0  1      1  0  1
```

ไฟเสียที่อยู่มุมซ้ายบนถูก toggle

วิธีการใช้งานโปรแกรม

1. เมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา โปรแกรมจะให้ผู้ใช้งานกรอกขนาดของกระดาน (n) ที่ต้องการเพื่อสร้างเกมกระดานขนาด n x n โดยที่ n ต้องเป็นตัวเลขจำนวนเต็มที่มีค่าตั้งแต่ 2 ขึ้นไป (หากต้องการออกจากโปรแกรมให้ใส่ n เป็น 0)

```
Enter number 'n' for create board size n x n (or enter 0 to exit):
2
Enter initial states (4 bits), left to right, line by line:
1111
       | col 0 | col 1 |
 row 0 |   1   |   1   |
 row 1 |   1   |   1   |
```

2. หลังจากสร้างกระดานเรียบร้อยแล้ว ผู้ใช้งานจะต้องกรอกสถานะของไฟเป็นตัวเลข 0 และ 1 รวมทั้งหมด n x n ตัว ตามขนาดของกระดาน เพื่อสร้างกระดานเริ่มต้น

```
Enter number 'n' for create board size n x n (or enter 0 to exit):
2
Enter initial states (4 bits), left to right, line by line:
1111
       | col 0 | col 1 |
 row 0 |   1   |   1   |
 row 1 |   1   |   1   |
```

3. ถัดมาโปรแกรมจะถามผู้ใช้งานว่าต้องการให้มีไฟเสียบนกระดานหรือไม่ หากต้องการโปรแกรมก็จะให้กรอกตำแหน่งของแถว และ หลัก ที่ต้องการต่อไป

```
Set broken light (Y/N) ?
n
```

```
Set broken light (Y/N) ?
y
Enter row of broken light (0-1) = 0
Enter column of broken light (0-1) = 0
```

4. หลังจากนั้น โปรแกรมจะทำการค้นหาวิธีการปิดไฟทั้งกระดานที่ใช้จำนวนครั้งในการกดสวิตช์น้อยที่สุดออกมาให้ และ โปรแกรมจะเริ่มทำงานใหม่ ดังข้อ 1 ต่อไป

แนะนำ Class เบื้องต้น

LightBoard

ข้อมูลที่เก็บ

String[ ][ ] board	กระดานปัจจุบัน
int movingRow	แถวที่ถูกกดสวิตช์
int movingCol	หลักที่ถูกกดสวิตช์
int[ ] brokenPosition	ตำแหน่งของไฟเสียบนกระดาน โดยตำแหน่งที่ 0 ของ array จะเก็บแถว และ ตำแหน่งที่ 1 ของ array จะเก็บหลัก

Method ที่สำคัญ

toggleLight(int row, int column)	Method เสมือนการกดสวิตช์ไฟ รับแถว และ หลัก ของไฟดวงที่ต้องการเข้าไป และ จะทำการตรวจสอบว่าตำแหน่งดังกล่าวใช่ไฟเสียหรือไม่ หากไม่จะ toggle ไฟตามเงื่อนไขปกติ แต่หากใช่จะ toggle ไฟตามเงื่อนไขของไฟเสีย
equals(Object o)	Override method สำหรับการเปรียบเทียบ object LightBoard ว่าเหมือนกันหรือไม่ โดยเปรียบเทียบจากกระดานปัจจุบันที่เก็บไว้
hashCode()	Override method สำหรับการกำหนด id ของทุก ๆ object LightBoard ให้มีค่าเหมือนกัน ช่วยให้การเปรียบเทียบด้วย method equals ทำการเปรียบเทียบกระดานได้ว่ามีค่าเหมือนกันจริงโดยไม่ต้องสนใจ id

SolutionPath

ข้อมูลที่เก็บ

Graph boardGraph	graph (SimpleGraph)
ArrayDeque processingQueue	Queue
LightBoard initBoard	กระดานเริ่มต้น (ผู้ใช้งานเป็นคนกำหนด)
LightBoard validBoard	กระดานที่ต้องการ (กระดานที่ปิดไฟหมดแล้ว) ใช้สำหรับการเปรียบเทียบว่ากระดานที่กำลังค้นหานั้นเป็นกระดานที่ถูกต้องแล้วหรือไม่

Method ที่สำคัญ

solution()	Method สำหรับการค้นหาวิธีการปิดไฟทั้งกระดานด้วยจำนวนครั้งในการกดสวิตช์ที่น้อยยที่สุด
printPath(LightBoard endBoard)	Method สำหรับแสดงผล path ระหว่าง initBoard กับ กระดานที่ปิดไฟหมดแล้วที่ถูกส่งเข้ามาเป็น parameter

Graph data structure

SimpleGraph :

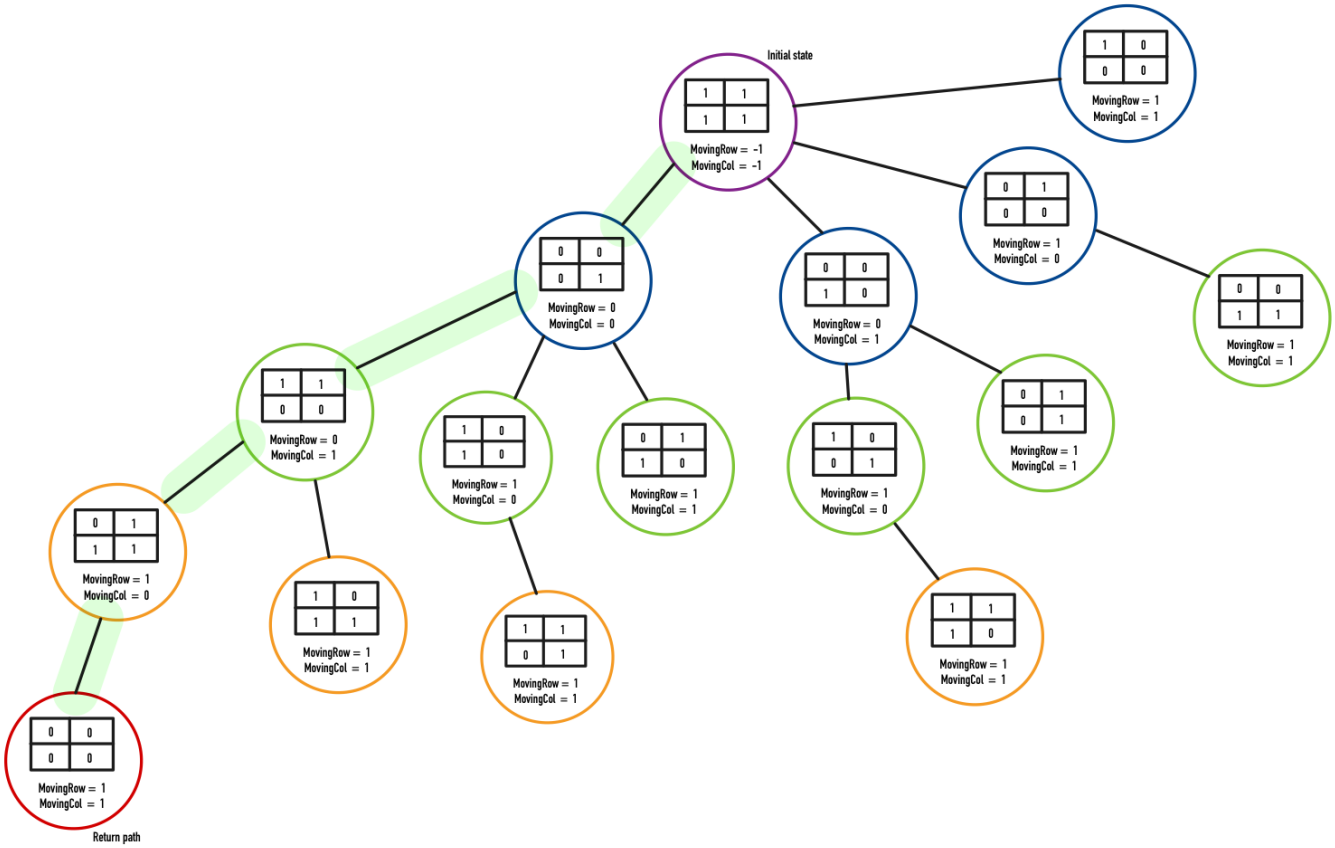
Node – ใช้เก็บ Object LightBoard

Edge – ใช้เป็นตัวเชื่อมระหว่าง state หรือกล่าวคือจะเชื่อมระหว่าง state ตั้งต้นก่อนที่จะกดสวิตช์ กับ state หลังจากดสวิตช์ไปแล้ว

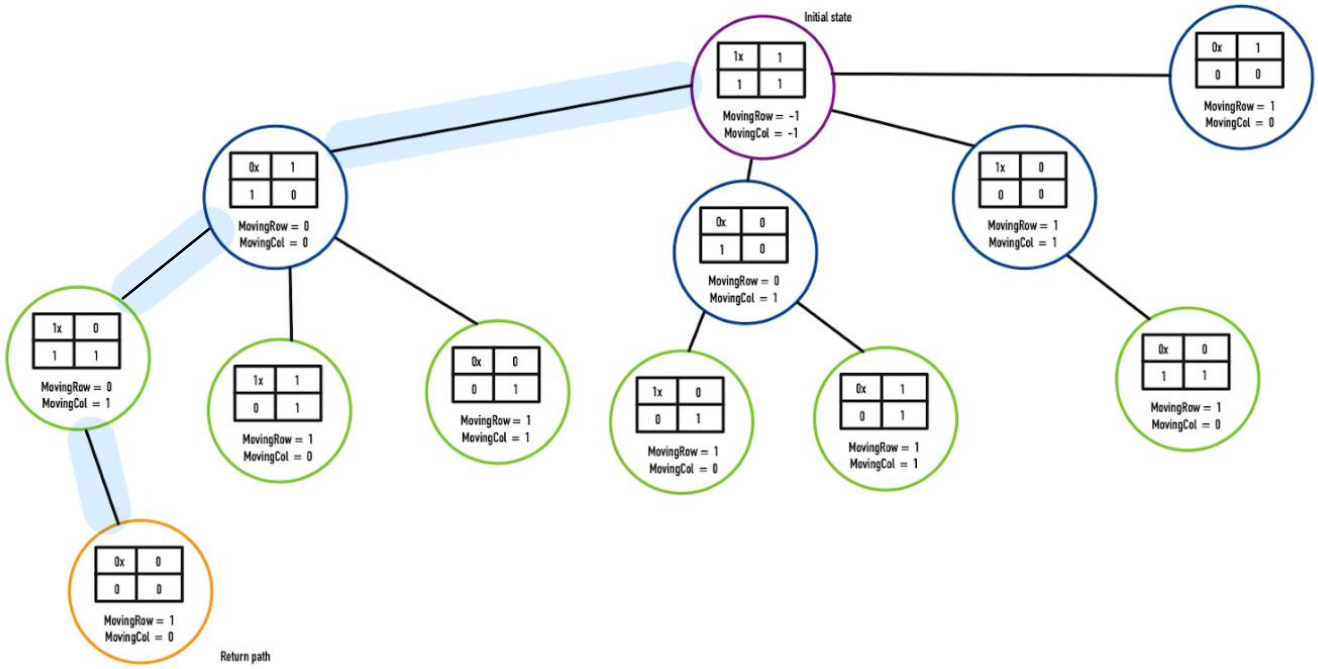
เงื่อนไขของการเพิ่ม edge - เมื่อกระดานใหม่ที่สร้างขึ้นมาไม่ซ้ำกับกระดานเดิมที่มีอยู่ใน graph แล้วจึงทำการ edge ที่เชื่อมระหว่างกระดานใหม่กับกระดานที่ก่อนที่จะทำการเปิด/ปิดไฟ

เหตุผลที่เลือกใช้ SimpleGraph เนื่องจากในตัว Graph data structure ที่ใช้สำหรับหาวิธีการปิดไฟทั้งหมดในกระดานโดยใช้จำนวนครั้งที่น้อยที่สุดนี้ไม่ได้สนใจน้ำหนักระหว่าง state และ Graph นี้จะเอาเฉพาะวิธีที่สั้นที่สุดจาก initial state (กระดานเริ่มต้น) ถึง final state (กระดานที่ปิดไฟหมดแล้ว) เท่านั้นจึงไม่จำเป็นที่ Graph นี้จะต้องระบุทิศทางอย่างชัดเจน ดังนั้นจึงเลือกใช้เป็น SimpleGraph

graph แสดง nodes และ edges ของ Demo 1



graph แสดง nodes และ edges ของ Demo 2



Data structure อื่น ๆ

ArrayDeque (Queue)

ข้อมูลที่เก็บ : Object ของ class LightBoard

เหตุผลที่เลือกใช้ :

ใช้เป็น Queue ช่วยในการทำ Breadth First Search เพื่อหาวิธีการปิดไฟทั้งหมดบนกระดาน โดยมีการกดสวิตช์ที่น้อยที่สุด

Graph Algorithms

```
42  public LightBoard solution() {
43      processingQueue.add(initBoard);
44
45      while (!processingQueue.isEmpty() && !initBoard.equals(validBoard)) {
46          for (int i = 0; i < n; i++) {
47              for (int j = 0; j < n; j++) {
48                  // deep copy initBoard
49                  LightBoard tempLightBoard = new LightBoard(processingQueue.peekFirst().getBoard(), n,  movingRow: -1,  movingCol: -1);
50                  tempLightBoard.setBrokenPosition(initBoard.getBrokenPosition()[0], initBoard.getBrokenPosition()[1]);
51                  tempLightBoard.toggleLight(i, j);           // toggle light in each row and column
52                  if (!boardGraph.containsVertex(tempLightBoard)) {
53                      processingQueue.add(tempLightBoard);    // add initBoard to queue
54                      boardGraph.addVertex(tempLightBoard);
55                      boardGraph.addEdge(processingQueue.peekFirst(), tempLightBoard);
56                  }
57                  if (tempLightBoard.equals(validBoard)) return tempLightBoard;
58              }
59          }
60          processingQueue.pollFirst();
61      }
62      return null;
63  }
```

อธิบาย algorithm เบื้องต้น

algorithm นี้จะเริ่มทำงานเมื่อทำการรับ input เสร็จหมดแล้วในบรรทัดที่ 67 ใน main.java แล้วทำการสร้าง graph แบบ Breadth First Search โดยจะทำการนำกระดานที่ต้องวิเคราะห์เพิ่มลงใน queue แล้วดึงออกมาวิเคราะห์ผลตามลำดับซึ่งจะทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าในการกดสวิตช์ไฟแต่ละครั้งจะมีรูปแบบกระดานแบบไหนได้บ้าง จากนั้นจึงทำการเช็คว่าในการกดสวิตช์ไฟครั้งนั้นสามารถเกิดกระดานที่ปิดไฟทั้งหมดได้หรือไม่ ก่อนที่จะทำการไปวิเคราะห์การกดสวิตช์ไฟครั้งต่อไป (state ต่อไป) และใช้ graph เข้ามาช่วยในการเก็บขั้นตอนการปิดไฟโดยจะทำการเพิ่ม path ระหว่างกระดานที่กำลังวิเคราะห์อยู่กับผลลัพธ์ของการกดสวิตช์ไฟในแต่ละตำแหน่งเพื่อจะใช้ในการบอกเส้นทางระหว่างกระดานที่ปิดไฟแล้วกับกระดานเริ่มต้น (initial state) แต่จะมีเงื่อนไขในการเพิ่มกระดานลง graph และ queue อยู่คือ ใน graph ต้องไม่มีกระดานที่จะเพิ่มอยู่

เนื่องจากกระดานนี้สามารถเกิดได้จากการกดสวิตช์ไฟด้วยวิธีอื่นที่มีจำนวนครั้งในการกดสวิตช์น้อยกว่าหรือเท่ากันแน่นอน ดังนั้นกระดานนี้จึงเป็นกระดานที่อาจจะถูกวิเคราะห์ไปแล้วจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องเอาไปวิเคราะห์ซ้ำหรือเก็บลง graph อีก

โดย algorithm นี้จะหยุดก็ต่อเมื่อพบกระดานที่เป็นคำตอบที่ถูกต้อง ซึ่งเป็นกระดานที่ปิดไฟทั้งหมดทุกตัว (เลข 0 ทั้งกระดาน) โดย method จะทำการ return object ของกระดานที่ถูกต้องกลับไปเพื่อใช้ในการหา path หรือ ขั้นตอนในการปิดไฟทั้งหมดจาก graph ที่สร้างไว้ต่อไป แต่หากทำไปเรื่อย ๆ แล้ว ไม่มีกระดานอยู่ใน processing queue แล้วนั่นหมายความว่าทุกๆรูปแบบความเป็นไปได้ของกระดานที่จะเกิดขึ้นได้อยู่ใน graph ทั้งหมดแล้วแต่ยังไม่มีกระดานที่ถูกปิดไฟทั้งหมดดังนั้น initial state นี้จึงไม่มีความเป็นไปได้เลยที่จะปิดไฟทั้งหมดได้จึงส่งค่า null กลับไป

จากนั้นจึงนำกระดานที่ได้จาก method solution() ไปทำการเช็คว่ามีกระดานที่ปิดไฟทั้งหมดแล้วหรือไม่ในบรรทัดที่ 68 ใน main.java ถ้ามีจึงทำการ print ขั้นตอนในการปิดไฟออกมา หากไม่มีให้ print ว่าไม่สามารถปิดไฟทั้งหมดได้

ขั้นตอนการทำงาน

1. เพิ่ม initial state ที่รับ input เข้ามาลงใน processing queue (บรรทัดที่ 43 ใน SolutionPath.java)
2. นำกระดานที่อยู่ใน queue ออกมาทำการไล่กดแต่ละสวิตช์ (บรรทัดที่ 49 ใน SolutionPath.java) โดยถ้าไม่มีกระดานอยู่ใน queue แล้วจะทำการส่ง null กลับไป (บรรทัดที่ 45 ใน SolutionPath.java)
3. เช็คว่ากระดานที่เกิดจากการกดสวิตช์แต่ละตำแหน่งไม่ซ้ำกับกระดานที่มีอยู่ใน graph แล้วจึงทำการเพิ่มกระดานนั้นลง queue และ graph (บรรทัดที่ 52 ใน SolutionPath.java)
4. เช็คว่ากระดานที่เกิดจากการกดสวิตช์แต่ละตำแหน่งนั้นเป็นกระดานที่ปิดไฟหมดแล้วหรือไม่ ถ้าใช่ทำการส่งกระดานนั้นกลับไป ถ้าไม่ใช่ algorithm จะวนกลับมาทำงานต่อในขั้นตอนที่ 2 (บรรทัดที่ 57 ใน SolutionPath.java)
5. pop กระดานที่ทำการดึงออกมาจาก queue ในตอนแรก (บรรทัดที่ 60 ใน SolutionPath.java)

1. Breadth First Search (BFS) :

เหตุผลที่ใช้ - เนื่องจากต้องการวิเคราะห์การกดสวิตช์ไฟในการกดแต่ละครั้งก่อนที่จะไปการกดครั้งต่อไป ดังที่ได้อธิบายไปข้างต้น การใช้ BFS เหมาะที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์กระดาน และสร้าง graph เพราะจะทำให้สามารถสร้าง graph ที่ค่อย ๆ วิเคราะห์การกดแต่ละครั้งให้หมดทุกรูปแบบในการกดสวิตช์ไฟก่อนที่จะไปการกดสวิตช์ครั้งต่อไปได้

2. Dijkstra algorithm :

เหตุผลที่ใช้ - ใช้เพื่อดึง graph path ของกระดานเริ่มต้นกับกระดานที่ถูกปิดไฟทั้งหมด จากตัว graph ที่เก็บรูปแบบการกดสวิตช์ไฟทั้งหมดเอาไว้ (แต่เนื่องจาก algorithms ทำให้ graph ไม่มีกระดานที่ซ้ำกันจึงทำให้ graph path ของกระดานเริ่มต้นกับกระดานที่ถูกปิดไฟทั้งหมดมีแค่เส้นทางเดียว ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องหาทางที่สั้นที่สุด)

Noted

จากที่เคยกล่าวไว้ว่า Node ของ graph จะถูกเก็บเป็น Object ของ class LightBoard ซึ่งภายใน class LightBoard ก็จะเก็บกระดานซึ่งเป็น array 2 มิติ ของ string ในการอธิบายต่อไปนี้จะแทนเป็นชุดของตัวเลข 9 ตัว จากซ้ายไปขวา ทีละแถวจากบนลงล่างของตาราง ดังตัวอย่าง

1	0	0
1	1	0
1	0	1

100 110 101

นอกจากนี้ภายใน class ยังมีตำแหน่งของสวิตช์ที่ถูกกดไป และ ตำแหน่งของไฟเสียซึ่งในการอธิบายจะบอกตำแหน่งของสวิตช์ที่ถูกกดในรูป (แถว, หลัก) เช่น (1, 0) คือ กดสวิตช์ที่แถว 1 หลัก 0 ส่วนไฟเสียจะกล่าวถึงแค่ตอนต้นหลังจากนั้นจะละไว้ เนื่องจาก เป็นค่าคงที่ ไม่ถูกเปลี่ยนแปลง

* ในตัวอย่างที่จะแสดงด้านล่างหากต้องการดูขั้นตอนทั้งหมดอย่างละเอียดสามารถทำได้โดยการเปลี่ยนจาก method solution() เป็น method solutionT() ได้ในบรรทัดที่ 67 ใน main.java

Demo 3

กระดานเริ่มต้น 000 101 010

ตำแหน่งไฟเสีย ไม่มี

Step 0:

Add node ของกระดานเริ่มต้นเข้าไปใน graph และ add กระดานเริ่มต้นนี้เข้าไปใน queue

Queue ปัจจุบัน:

000 101 010

Step 1:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (000 101 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ทั้งหมด 9 ตัว

- 110 001 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 111 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 100 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 011 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 010 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 001 110 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 001 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 111 000 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 100 011 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First		
000 101 010		Visited (pop)
110 001 010	->	New
111 111 010	->	New
011 100 010	->	New
100 011 110	->	New

Cont.

010 010 000	->	New
001 110 011	->	New
000 001 100	->	New
000 111 101	->	New
000 100 001	->	New
Last		

Step 2:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (110 001 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 010 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 111 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 110 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 010 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 101 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 011 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 000 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First
110 001 010 Visited (pop)
111 111 010
011 100 010
100 011 110
010 010 000
001 110 011
000 001 100
000 111 101
000 100 001

Cont.

001 011 010 -> New
101 000 010 -> New
010 111 110 -> New
100 110 000 -> New
111 010 011 -> New
110 101 100 -> New
110 011 101 -> New
110 000 001 -> New
Last

Step 3:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (111 111 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 001 011 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 110 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 001 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 100 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 011 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 101 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 110 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First
111 111 010 Visited (pop)
011 100 010
100 011 110
010 010 000
001 110 011
000 001 100
000 111 101
000 100 001
001 011 010
101 000 010
010 111 110
100 110 000

Cont.
111 010 011
110 101 100
110 011 101
110 000 001
100 110 010 -> New
011 001 110 -> New
101 000 000 -> New
110 100 011 -> New
111 011 100 -> New
111 101 101 -> New
111 110 001 -> New
Last

Step 4:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (011 100 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 101 000 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 110 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 001 011 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 111 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 000 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 110 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 101 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First	
011 100 010	Visited (pop)
100 011 110	
010 010 000	
001 110 011	
000 001 100	
000 111 101	
000 100 001	
001 011 010	
101 000 010	
010 111 110	
100 110 000	
111 010 011	
110 101 100	

Cont.

110 011 101		
110 000 001		
100 110 010		
011 001 110		
101 000 000		
110 100 011		
111 011 100		
111 101 101		
111 110 001		
111 010 110	->	New
001 011 000	->	New
010 111 011	->	New
011 000 100	->	New
011 110 101	->	New

	Cont.
011 101 001 -> New	Last

Step 5:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (100 011 110) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 010 111 110 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 001 110 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 110 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 110 100 100 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 111 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 111 000 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 001 001 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 010 101 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:		Cont.
First		110 101 100
100 011 110	Visited (pop)	110 011 101
010 010 000		110 000 001
001 110 011		100 110 010
000 001 100		011 001 110
000 111 101		101 000 000
000 100 001		110 100 011
001 011 010		111 011 100
101 000 010		111 101 101
010 111 110		111 110 001
100 110 000		111 010 110
111 010 011		001 011 000

010 111 011				Cont.		
011 000 100				101 000 111	->	New
011 110 101				100 111 000	->	New
011 101 001				100 001 001	->	New
110 100 100	->	New		100 010 101	->	New
				Last		

Process keeps running.

•
•
•

Step 347:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (000 001 011) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 110 101 011 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 011 011 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 000 011 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 111 111 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 010 110 001 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 010 010 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 101 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 011 100 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 000 000 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานที่ถูกต้อง add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:				Cont.		
First				001 011 001		
000 001 011		Visited (pop)		001 101 000		
000 111 010				010 100 110		
000 100 110				010 111 010		
001 000 101				010 001 011		

011 110 100
100 101 000
100 110 100
100 000 101
101 111 010
110 011 001
100 010 011
100 100 010
100 111 110
101 011 101
101 000 001
101 110 000
110 111 110
110 100 010
110 010 011
111 101 100
000 110 000
000 101 100
000 011 101
001 100 010
010 000 001
111 001 100
111 010 000
111 100 001
110 011 110
101 111 101
011 110 011
101 000 101
100 111 010
100 001 011

Cont.

100 010 111
111 011 001
111 101 000
111 110 100
110 010 111
110 001 011
110 111 010
001 010 111
001 100 110
001 111 010
000 011 001
000 000 101
000 110 100
011 111 010
011 100 110
011 010 111
010 101 000
110 101 011
110 011 010
110 000 110
111 100 101
111 111 001
111 001 000
100 000 110
100 011 010
100 101 011
101 010 100
010 001 000
010 010 100
010 100 101

	Cont.
011 011 010	011 011 101
000 111 001	101 010 011
010 110 011	011 000 011
010 000 010	011 110 010
010 011 110	011 101 110
011 111 101	010 001 101
011 100 001	010 010 001
011 010 000	010 100 000
000 011 110	001 101 110
000 000 010	001 110 010
000 110 011	001 000 011
001 001 100	000 111 100
110 010 000	111 100 000
110 001 100	111 111 100
110 111 101	111 001 101
111 000 010	110 110 010
100 100 001	101 010 001
001 101 100	000 011 100 -> New
001 110 000	000 000 000 -> New
001 000 001	Last
000 111 110	

Method พบกระดานที่ถูกต้องแล้วจะหยุดทำงาน และ return object ของกระดานดังกล่าวกลับไป

Demo 4

กระดานเริ่มต้น 000 101 010

ตำแหน่งไฟเสีย แถว 2 หลัก 2

Step 0:

Add node ของกระดานเริ่มต้นเข้าไปใน graph และ add กระดานเริ่มต้นนี้เข้าไปใน queue

Queue ปัจจุบัน:

000 101 010

Step 1:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (000 101 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ทั้งหมด 9 ตัว

- 110 001 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 111 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 100 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 011 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 010 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 001 110 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 001 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 111 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 111 011 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First		
000 101 010		Visited (pop)
110 001 010	->	New
111 111 010	->	New
011 100 010	->	New
100 011 110	->	New

Cont.

010 010 000	->	New
001 110 011	->	New
000 001 100	->	New
000 111 101	->	New
000 111 011	->	New
Last		

Step 2:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (110 001 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 011 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 111 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 110 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 010 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 101 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 011 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 011 011 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First
110 001 010 Visited (pop)
111 111 010
011 100 010
100 011 110
010 010 000
001 110 011
000 001 100
000 111 101
000 111 011

Cont.

001 011 010 -> New
101 000 010 -> New
010 111 110 -> New
100 110 000 -> New
111 010 011 -> New
110 101 100 -> New
110 011 101 -> New
110 011 011 -> New
Last

Step 3:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (111 111 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 001 011 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 110 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 001 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 100 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 011 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 101 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 101 011 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First
111 111 010 Visited (pop)
011 100 010
100 011 110
010 010 000
001 110 011
000 001 100
000 111 101
000 111 011
001 011 010
101 000 010
010 111 110
100 110 000

Cont.

111 010 011
110 101 100
110 011 101
110 011 011
100 110 010 -> New
011 001 110 -> New
101 000 000 -> New
110 100 011 -> New
111 011 100 -> New
111 101 101 -> New
111 101 011 -> New
Last

Step 4:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (011 100 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 101 000 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 110 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 001 011 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 111 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 000 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 110 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 110 011 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:		Cont.		
First		110 011 101		
011 100 010	Visited (pop)	110 011 011		
100 011 110		100 110 010		
010 010 000		011 001 110		
001 110 011		101 000 000		
000 001 100		110 100 011		
000 111 101		111 011 100		
000 111 011		111 101 101		
001 011 010		111 101 011		
101 000 010		111 010 110	->	New
010 111 110		001 011 000	->	New
100 110 000		010 111 011	->	New
111 010 011		011 000 100	->	New
110 101 100		011 110 101	->	New

			Cont.
011 110 011	->	New	Last

Step 5:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (100 011 110) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 010 111 110 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 001 110 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 110 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 110 100 100 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 111 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 111 000 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 001 001 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 001 111 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:		Cont.
First		110 101 100
100 011 110	Visited (pop)	110 011 101
010 010 000		110 011 011
001 110 011		100 110 010
000 001 100		011 001 110
000 111 101		101 000 000
000 111 011		110 100 011
001 011 010		111 011 100
101 000 010		111 101 101
010 111 110		111 101 011
100 110 000		111 010 110
111 010 011		001 011 000

			Cont.		
010 111 011			101 000 111	->	New
011 000 100			100 111 000	->	New
011 110 101			100 001 001	->	New
011 110 011			100 001 111	->	New
110 100 100	->	New	Last		

Process keeps running.

•
•
•

Step 190:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (000 010 001) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 110 110 001 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 000 001 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 011 001 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 100 101 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 010 101 011 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 001 000 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 110 111 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 000 110 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 000 000 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานที่ถูกต้อง add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

			Cont.
First			110 011 111
000 010 001		Visited (pop)	110 011 001
000 010 111			101 001 101
111 010 001			101 111 100
110 101 110			101 111 010

100 000 011
100 000 101
100 110 100
000 101 101
001 010 010
001 100 011
001 100 101
010 110 001
010 000 000
010 000 110
011 111 111
011 111 001
011 001 000
100 111 111
100 001 110
100 001 000
101 110 001
101 110 111
101 000 110
110 010 010
110 010 100
110 100 101
111 011 010
100 110 101
101 001 010
101 111 011
101 111 101
110 101 001
110 011 000
110 011 110

Cont.

111 100 111
111 100 001
111 010 000
000 100 111
000 010 110
000 010 000
001 101 001
001 101 111
001 011 110
010 001 010
010 001 100
010 111 101
011 000 010
111 011 011
111 101 010
111 101 100
110 010 101
110 010 011
110 100 010
101 110 110
101 110 000
101 000 001
100 111 110
011 111 000
011 111 110
011 001 111
010 110 000
001 010 011
100 011 100
111 111 111

	Cont.
110 000 000	000 110 100
110 110 001	000 000 101
110 110 111	001 111 010
001 110 001	010 010 101
000 001 110	011 101 010
000 111 111	011 011 011
000 111 001	011 011 101
011 101 101	000 001 001
011 011 100	000 111 000
011 011 010	000 111 110
010 100 011	001 000 111
010 100 101	001 000 001
010 010 100	001 110 000
110 001 101	110 000 111
111 110 010	110 110 110
111 000 011	110 110 000
111 000 101	111 001 001
100 010 001	111 001 111
100 100 000	111 111 110
100 100 110	100 101 010
101 011 111	100 101 100
101 011 001	100 011 101
101 101 000	101 100 010
010 011 111	001 111 011
010 101 110	001 001 010
010 101 000	001 001 100
011 010 001	000 110 101
011 010 111	000 110 011
011 100 110	000 000 010
000 110 010	011 010 110

	Cont.
011 010 000	010 101 011
011 100 001	010 101 101
010 011 110	001 111 001
101 011 000	001 001 000
101 011 110	001 001 110
101 101 111	000 110 111
100 010 000	000 110 001
111 110 011	000 000 000 -> New Last
011 100 101	
010 011 010	

Method พบกระดานที่ถูกต้องแล้วจะหยุดทำงาน และ return object ของกระดานดังกล่าวกลับไป

Demo 5

กระดานเริ่มต้น 000 101 010

ตำแหน่งไฟเสีย แถว 0 หลัก 1

Step 0:

Add node ของกระดานเริ่มต้นเข้าไปใน graph และ add กระดานเริ่มต้นนี้เข้าไปใน queue

Queue ปัจจุบัน:

000 101 010

Step 1:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (000 101 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ทั้งหมด 9 ตัว

- 110 001 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 000 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 100 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 011 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 010 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 001 110 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 001 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 111 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 100 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First		
000 101 010		Visited (pop)
110 001 010	->	New
010 000 010	->	New
011 100 010	->	New
100 011 110	->	New

Cont.

010 010 000	->	New
001 110 011	->	New
000 001 100	->	New
000 111 101	->	New
000 100 001	->	New
Last		

Step 2:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (110 001 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 100 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 111 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 110 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 111 010 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 101 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 011 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 000 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First	
110 001 010	Visited (pop)
010 000 010	
011 100 010	
100 011 110	
010 010 000	
001 110 011	
000 001 100	
000 111 101	
000 100 001	

Cont.

100 100 010	->	New
101 000 010	->	New
010 111 110	->	New
100 110 000	->	New
111 010 011	->	New
110 101 100	->	New
110 011 101	->	New
110 000 001	->	New
Last		

Step 3:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (010 000 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 100 100 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 001 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 110 110 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 000 111 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 011 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 100 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 010 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 001 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First
010 000 010 Visited (pop)
011 100 010
100 011 110
010 010 000
001 110 011
000 001 100
000 111 101
000 100 001
100 100 010
101 000 010
010 111 110
100 110 000

Cont.
111 010 011
110 101 100
110 011 101
110 000 001
001 001 010 -> New
110 110 110 -> New
000 111 000 -> New
011 011 011 -> New
010 100 100 -> New
010 010 101 -> New
010 001 001 -> New
Last

Step 4:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (011 100 010) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 101 000 010 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 001 010 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 110 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 001 011 000 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 010 111 011 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 000 100 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 110 101 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 011 101 001 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First	
011 100 010	Visited (pop)
100 011 110	
010 010 000	
001 110 011	
000 001 100	
000 111 101	
000 100 001	
100 100 010	
101 000 010	
010 111 110	
100 110 000	
111 010 011	
110 101 100	

Cont.

110 011 101		
110 000 001		
001 001 010		
110 110 110		
000 111 000		
011 011 011		
010 100 100		
010 010 101		
010 001 001		
111 010 110	->	New
001 011 000	->	New
010 111 011	->	New
011 000 100	->	New
011 110 101	->	New

			Cont.
011 101 001	->	New	Last

Step 5:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (100 011 110) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 010 111 110 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 110 110 110 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 110 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 101 010 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 110 100 100 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 101 000 111 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 111 000 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 001 001 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph
- 100 010 101 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานไม่ซ้ำ add object ลง graph

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:		Cont.
First		110 101 100
100 011 110	Visited (pop)	110 011 101
010 010 000		110 000 001
001 110 011		001 001 010
000 001 100		110 110 110
000 111 101		000 111 000
000 100 001		011 011 011
100 100 010		010 100 100
101 000 010		010 010 101
010 111 110		010 001 001
100 110 000		111 010 110
111 010 011		001 011 000

010 111 011				Cont.		
011 000 100				101 000 111	->	New
011 110 101				100 111 000	->	New
011 101 001				100 001 001	->	New
110 100 100	->	New		100 010 101	->	New
				Last		

Process keeps running.

•
•
•

Step 255:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (101 111 101) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 011 011 101 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 010 101 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 110 110 101 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 001 001 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 000 111 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 100 100 100 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 101 011 011 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 101 101 010 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 101 110 110 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

First

101 111 101 Visited (pop)

011 110 011

Last

Step 256:

Visit object ตัวแรกที่อยู่ใน queue (011 110 011) และ ทดลองกดสวิตช์ของมันทีละ 1 ตัว จะทำให้เกิด object ตัวใหม่ ดังนี้

- 101 010 011 กดสวิตช์ (0, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 011 011 กดสวิตช์ (0, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 000 111 011 กดสวิตช์ (0, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 111 000 111 กดสวิตช์ (1, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 001 001 001 กดสวิตช์ (1, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 010 101 010 กดสวิตช์ (1, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 010 101 กดสวิตช์ (2, 0) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 100 100 กดสวิตช์ (2, 1) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue
- 011 111 000 กดสวิตช์ (2, 2) ⟶ กระดานซ้ำ ไม่ add object ลง graph และ queue

หลังจากนั้น pop object ที่ visited ออก

Queue ปัจจุบัน:

011 110 011 Visited (pop)

Method ยังไม่พบกระดานที่ถูกต้อง แต่ว่าภายใน queue ไม่เหลือ object อยู่ภายในแล้ว method จึง return null กลับไป

สรุป

จาก demo 5 จะสังเกตเห็นได้ว่าไม่มีวิธีการปิดไฟทุกดวงในกระดาน เพราะว่าเมื่อทำการ run algorithms ไปเรื่อย ๆ แล้ว processing queue ไม่มีกระดานอยู่เลย ตามที่กล่าวในตอนอธิบาย algorithm เบื้องต้น การที่ processing queue ไม่มีกระดานอยู่เลยหมายความว่า algorithm ได้ลองทำทุกรูปแบบของการกดสวิตช์ไฟที่เป็นไปได้แล้วไม่พบวิธีที่จะปิดไฟทั้งหมดได้ จึงสรุปได้ว่าไม่มีวิธีปิดไฟทั้งหมดของกระดานเริ่มต้นใน demo 5 ซึ่งหากเปรียบเทียบกับ demo 3 , demo 4 แล้ว จะเห็นว่าทั้งสอง demo จะเจอวิธีที่จะปิดไฟทั้งหมดก่อนที่ processing queue จะไม่มีกระดานหรือจะกล่าวว่า ค้นพบวิธีปิดไฟทั้งหมดก่อนที่จะลองทุกวิธีที่เป็นไปได้จนหมด

ข้อจำกัดของโปรแกรม

1. เมื่อขนาดของกระดาน (n) มีขนาดใหญ่มากขึ้น method “solution()” ของโปรแกรมจะทำงานได้ช้าลงมาก
2. จากข้อที่ 1. มีโอกาสที่โปรแกรมอาจไม่สามารถหาคำตอบได้ เนื่องจาก การทำงานที่ใช้พื้นที่ในการค้นหามาก ยิ่ง n มาก ยิ่งใช้พื้นที่เยอะมากขึ้นไปอีก จึงทำให้โปรแกรมที่พื้นที่ไม่เพียงพอต่อการค้นหาคำตอบที่ถูกต้อง

อ้างอิง

โปรแกรมจำลองเกม Lights Out นี้ถูกเขียนด้วยตัวผู้จัดทำเอง โดยมีการศึกษา Graph data structure, วิธีการทำ Breadth First Search, และ การตกแต่ง output ดังนี้

1. https://www.youtube.com/watch?v=oDqjPvD54Ss
2. https://www.geeksforgeeks.org/breadth-first-search-or-bfs-for-a-graph/
3. https://www.javatpoint.com/java-graph
4. How to Print Colored Text in Java Console? - GeeksforGeeks