

셀룰러 오토마타를 이용한 게임 콘텐츠 자동생성

한남대학교 수학과

20172581 김남훈

1. 게임 콘텐츠 자동생성

게임 속에는 맵, NPC, 퀘스트, 던전 등 다양한 콘텐츠가 존재한다. 이러한 콘텐츠들은 개발자가 직접 만들기도 하지만, 때로는 자동생성을 통해 만들기도 한다. 자동생성으로 만들어진 콘텐츠는 단조로운 패턴 등으로 비판받기도 하지만, 매 플레이시마다 다른 맵을 제공하는 게임에는 자동생성이 사실상 필수라고 할 수 있다.



Figure 1: 마인크래프트의 모든 맵은 자동생성을 통해 만들어진다.

2. 셀룰러 오토마타

셀룰러 오토마타는 게임 콘텐츠, 그중 맵을 자동생성하는데 가장 널리 이용된다. 셀룰러 오토마타를 이용한 맵 제작 방법에 대해 알아보기 전에, 먼저 셀룰러 오토마타의 정의를 알아보자.

오토마타는 상태의 집합 Q 와 입력의 집합 Σ , 입력에 따른 상태 변화를 나타내는 함수 δ

$$\delta : Q \times \Sigma \rightarrow Q$$

와 처음 상태 q_0 , 최종 상태 q_w 로 이루어진 수학적 구조 $\mathcal{A} = (Q, \Sigma, \delta, q_0, q_w)$ 이다.

셀룰러 오토마타는 주변의 다른 오토마타들의 상태를 입력으로 받는 오토마타이다. 셀룰러 오토마타의 대표적인 예시로, 콘웨이의 생명 게임이 있다.

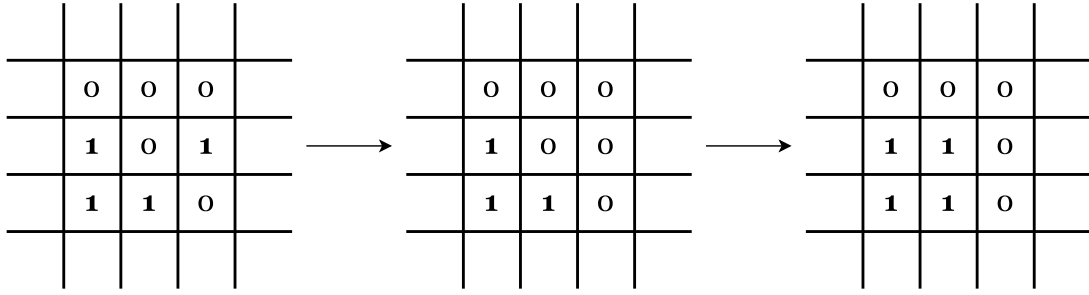


Figure 2: 콘웨이의 생명 게임
각각의 격자가 셀룰러 오토마타이다.

콘웨이의 생명 게임은 다음과 같은 규칙으로 진행된다. 주변에 존재하는 상태 1의 갯수를 입력이라 할 때

δ	0~1 개	2 개	3 개	4~8 개
1	0	1	1	0
0	0	0	1	0

Table 1: 생명 게임의 규칙

와 같으며, 실제로 그림에서는 표와 같은 규칙으로 각 격자의 상태가 변화함을 확인할 수 있다.

엄밀한 정의

1. A, B 가 집합일 때, A^B 는 B 에서 A 로의 모든 함수의 집합을 나타낸다.
2. A, B, C 가 집합이고 $A \subset B$ 이며 $f: A \rightarrow C$ 라 할 때, $f|_B$ 는 모든 $x \in B$ 에 대해

$$f(x) = f|_B(x)$$

인 B 에서 C 로의 함수를 나타낸다.

3. G 가 군, A 가 집합이고 $\sigma: G \rightarrow A$ 이며 $g \in G$ 일 때, $g\sigma$ 는, 모든 h 에 대해

$$g\sigma(h) = \sigma(g^{-1}h)$$

인 G 에서 A 로의 함수를 나타낸다.

G 를 군, S 를 G 의 어떤 유한 부분집합, Σ 를 오토마타가 가질 수 있는 상태의 집합이라 하자. 그리고 μ 를 Σ^S 에서 Σ 로의 임의의 함수(함수를 값으로 받는 함수)라 하자. 이제 τ 를, 다음 성질을 만족하는 Σ^G 에서 Σ^G 로의 함수라 하면, $\mathcal{C} = (G, \Sigma, \tau)$ 를 군 G 와 상태 Σ 위의 **셀룰러 오토마타**라고 한다.

$$\forall x \in \Sigma^G, \forall g \in G$$

$$[\tau(x)](g) = \mu[(g^{-1}x)|_S]$$

3. 셀룰러 오토마타를 이용한 게임 콘텐츠 자동생성

셀룰러 오토마타를 이용해 게임의 맵을 자동생성하는 두 가지 방법을 알아보자.

다수의 섬으로 이루어진 지형 자동생성

첫번째로, 셀룰러 오토마타를 이용해 랜덤 노이즈로부터 여러개의 섬이 존재하는 맵을 생성하는 방법이다.

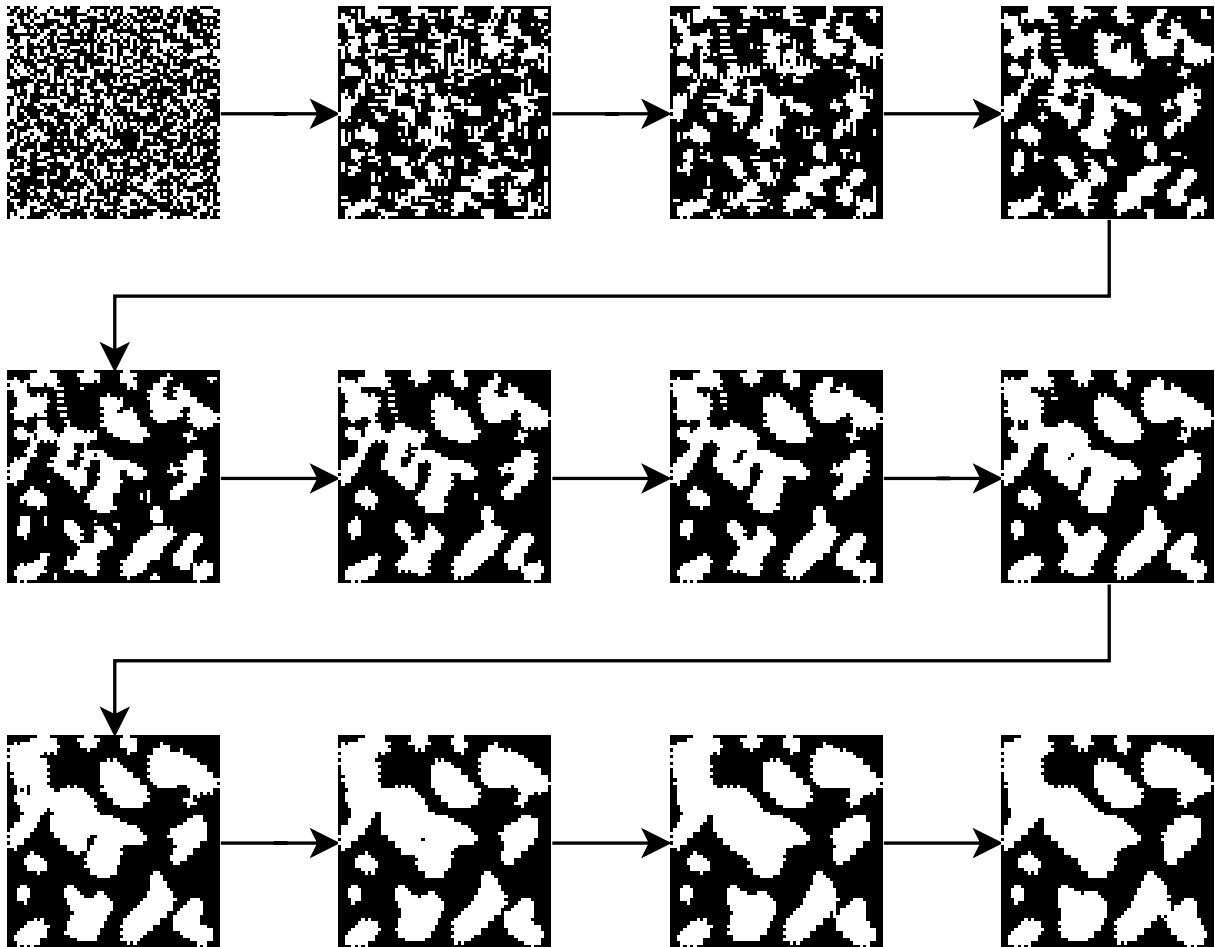


Figure 3: 랜덤 노이즈로부터 섬 생성

여기에서는, 각 픽셀은 주변 여덟 픽셀의 색깔을 입력으로 받아, 흰 픽셀이 4개 이상이면 자신의 색을 흰색으로, 3개 이하이면 자신의 색깔을 검정색으로 변경한다. 이것을 11회 반복하여 랜덤 노이즈로부터 섬을 생성할 수 있다.

WFC 알고리즘

WFC(Wave Function Collapse) 알고리즘은 비교적 최근인 2016년 발표된 알고리즘으로, 셀룰러 오토마타를 이용해 보다 복잡하고 일관성 있는 맵을 생성하는 알고리즘이다. Wave Function Collapse 라는 이름은 양자역학적 현상인 **파동함수 붕괴**에서 따온 이름으로, 관측 전까지 파동함수의 형태로 확률로서만 존재하던 각 입자의 상태가 관측 순간 파동함수가 붕괴하여 확정되는 양자역학의 법칙과 유사하여 지어진 이름이다.

셀룰러 오토마타가 가질 수 있는 상태, 즉 타일의 집합 S 와 미리 상태가 정해진 몇 개의 타일이 주어졌을 때, WFC 알고리즘은 상태가 정해진 타일의 주변 좌표들을 **관측** 한다. 주위에 어떤 타일이 있는지에 따라 각 좌표의 타일의 확률 분포가 정해지며, 각 좌표를 관측할 때마다 확률 분포에 따라 각 위치의 타일이 **확정** 된다. 이러한 과정은 맵 위의 모든 좌표에서 타일이 확정될때까지 반복된다.

각 오토마타가 0 과 1 만을 상태로 갖는 위의 방법과 달리, WFC 알고리즘은 다양한 상태를 가질 수 있는 오토마타를 사용하며, 타일이 보다 일관적하도록 배치하기 때문에 다음과 같은 자연스러운 맵을 생성할 수 있다.

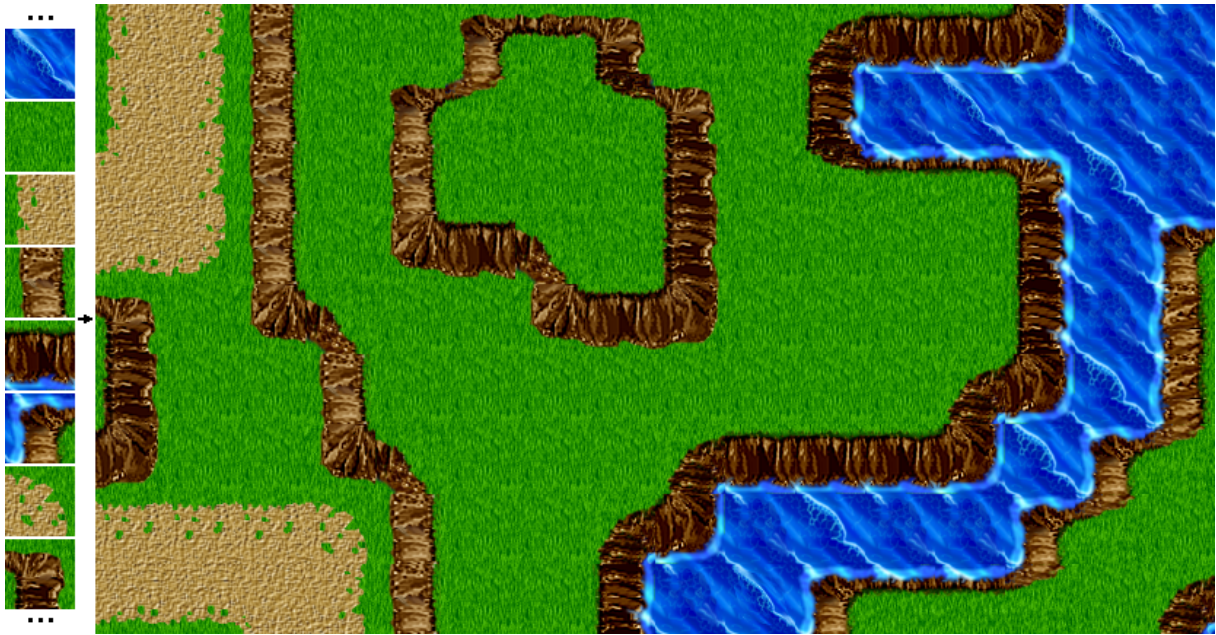


Figure 4: WFC 알고리즘으로 생성한 맵

WFC 알고리즘을 이용해 다음과 같은 전자 회로도 그릴 수 있다.

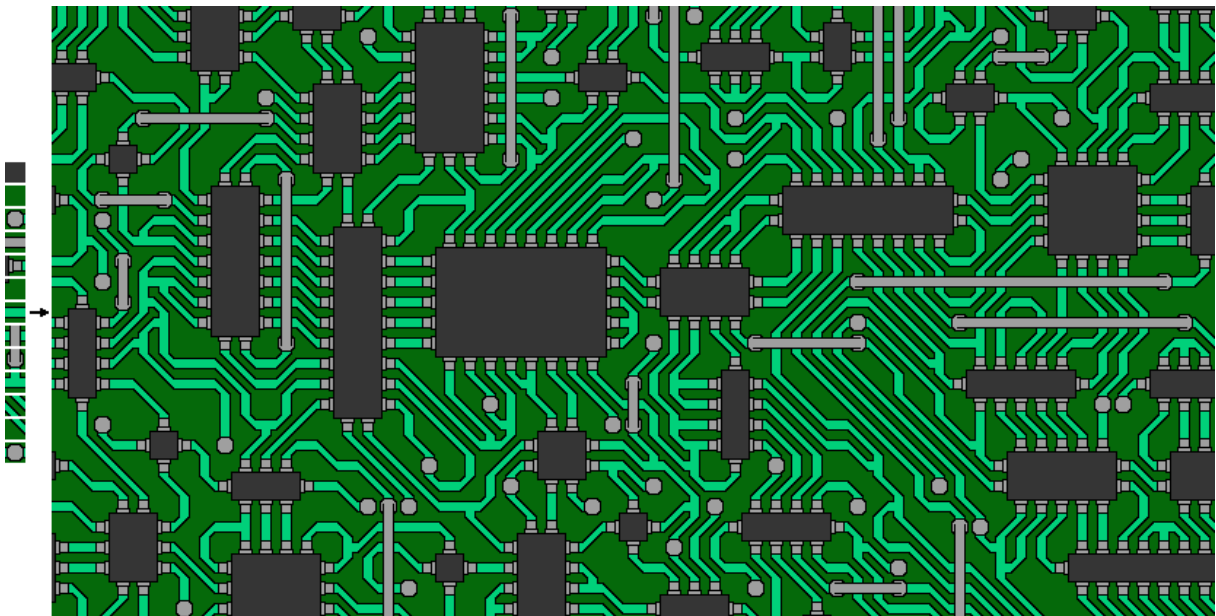


Figure 5: WFC 알고리즘으로 그린 회로

참고문헌

Ceccherini-Silberstein, Tullio, et al. Cellular Automata and Groups. Springer Berlin Heidelberg, 2010.
 Short, T., & Adams, T. (Eds.). (2017). Procedural generation in game design. CRC Press.
 Gumin, M. (2016). Wave Function Collapse Algorithm (Version 1.0) [Computer software]. <https://github.com/mxgmn/WaveFunctionCollapse>