

파동함수 붕괴 알고리즘을 이용한 소형 디자인기반 대규모

게임 맵 자동생성

유병화^{0,1}, 하태관², 박태화², 백인창¹, 김경중^{*2}광주과학기술원 AI 대학원¹광주과학기술원 융합기술원 융합기술학제학부²

{blakeyoo, hataegwan, taehwa-p, inchang.baek}@gm.gist.ac.kr, kjkim@gist.ac.kr

Automatic Building of Large Game Maps from Designer-Made Small

Inputs using Wave Function Collapse Algorithm

Byunhwa Yoo^{0,1}, Tae-Gwan Ha², Tae-Hwa Park², In-Chang Baek¹, Kyung-Joong Kim^{*2}AI Graduate School, Gwanju Institute of Science and Technology¹School of Integrated Technology, Gwanju Institute of Science and Technology²

요 약

게임 디자이너가 대규모 맵을 직접 디자인하는 것은 많은 시간과 노력이 필요한 작업이기에 인력과 자본이 부족한 인디게임 개발자는 자동화된 과정으로 맵을 생성하는 절차적 콘텐츠 생성으로 이를 해결하려는 시도가 있다. 하지만, 기존 절차적 콘텐츠 생성 방법들은 많은 데이터가 필요하거나, 다양성이 떨어지는 맵을 만들어내는 문제가 존재한다. 이러한 문제 상황에 기반하여, 본 논문에서는 디자이너가 제시하는 단순한 입력 데이터로부터 시작하여, 점점 맵의 크기를 자동으로 키워나가는 맵 확대 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 지역적 패턴에 대한 규칙이 주어지면 전역적 패턴 이미지를 생성하는 파동함수 붕괴 알고리즘을 기반으로 하며, 사용자가 제시하는 소규모의 맵을 입력받아 컨셉과 구도를 유지한 채 대규모의 게임 맵을 생성하는 것을 목표로 한다. 본 논문에서는 제안하는 알고리즘을 통해 입력으로 주어지는 디자이너가 제시한 소규모의 맵이 구도를 유지하며 대규모의 맵으로 확대 가능하다는 것을 보였으며, 히트 맵 분석을 통해 다양한 결과를 출력함과 동시에 컨셉과 구도는 유지한 채로 거대화가 가능하다는 것을 확인하였다.

1. 서 론

게임 맵 제작 중 맵 디자이너들이 어려움을 겪는 분야 중 하나는 대규모의 게임 맵을 만드는 것이다. 실제로, MMORPG와 오픈월드 같은 대규모의 게임 맵이 필요한 게임들은 맵 제작에만 수년이 걸리기도 한다. 특히, 개발 인력이 부족한 인디게임 제작사에서는 거대한 게임 맵을 만드는 것에 어려움을 겪는다. 이를 해결하기 위해 절차적 콘텐츠 생성(Procedural Content Generation)을 도입하여 자동화된 과정으로 게임 맵을 만들기도 하지만, 사람이 디자인한 맵에 비해 반복적이고, 개성이 떨어지며, 맵 디자이너의 의도를 크게 벗어날 수 있다는 문제점이 있다. 이러한 문제를 해결하며 대규모의 맵을 만들기 위해, 본 논문의 저자들은 게임 맵 디자이너가 제시하는 추상적인 개념(Concept)과 구도(Structure)를 입력으로 받아 알고리즘이 구체적인 요소들을 디자인하는 맵 제작 과정을 단계적으로 게임 맵을 확대해나가는 방법을 통해 제시한다.

본 논문에서는, 이를 위해 타일 기반 게임 맵 생성 환경에서의 단계적 게임 맵 확대 알고리즘을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 알고리즘은 지역적 패턴에 대한 규칙을 이용해 대규모의 이미지를 다양하게 생성할 수 있는 알고리즘인 파동함수 붕괴(Wave Function Collapse)를 기반으로 하였으며, 다음 두 가지를 목표로 하였다. 첫째, 디자이너가 제시하는 소규모 타일 기반 게임 맵을 입력으로 받아, 그것의 컨셉과 구도를 유지하며 대규모의 게임 맵을 자동적으로 생성한다. 둘째, 본래의 파동함수 붕괴 알고리즘이 가지는 결과의 다양성을 이용하여, 단계적 게임 맵 확대 과정에서의 구체적 요소들에 다변화를 줌

로서 결과로 나오는 대규모의 게임 맵이 시각적으로 자연스럽게 우먼서도, 다양한 결과가 나오도록 한다. 이 목표를 달성함을 통해 게임 디자이너의 의도를 반영한 대규모 맵 생성 프로세스에 대한 WFC의 가능성을 제시한다.

2. 관련 연구

2.1. 파동함수 붕괴 알고리즘(Wave Function Collapse)

Wave Function Collapse(WFC)는 로그라이크 게임 Caves of Qud(2015 Freehold Games)에서 매 판마다 모든 맵을 새롭게 생성하기 위하여 사용된 알고리즘이다. WFC는 맵에 배치할 타일과 배치 규칙을 입력으로 일정 크기의 맵을 생성하며, 세부적인 동작 과정은 다음과 같다.

- 1. Initialize input** : 맵에 배치할 타일과 타일 주변에 올 수 있는 타일에 대한 지역적 규칙을 정의한다.
- 2. Initialize output** : 출력 맵의 크기를 지정하고 맵을 초기화하여, 모든 타일을 빈 타일로 놓고, 모든 타일들의 위치에는 어떤 타일 종류나 올 수 있게 한다.
- 3. Select random tile** : 빈 타일이 존재하는 모든 위치에 대하여 엔트로피를 구하고, 가장 엔트로피가 낮은 위치에 놓일 수 있는 타일 중 하나를 무작위로 배치한다.
- 4. Propagation** : 새로 놓은 타일과 Initialize input에서 정의한 지역적 규칙에 따라, 새로 놓은 타일의 주변 타일들에 놓일 수 있는 타일들의 종류를 업데이트한다.
- 5. Repeat** : 모든 맵의 빈 타일들이 채워질 때까지 Select random tile과 propagation 과정을 반복한다.

이러한 과정을 거쳐 맵을 생성하기 때문에, 2D 격자 방식 또는 3D 큐브 방식으로 타일이 배치되는 게임 맵 환경에서만 사용할 수 있지만, Initialize input에서 주어지는 규칙을 원하는 대로 변경하여, 다른 알고리즘과 다르게 일반화된 환경에서 사용 가능하게 WFC를 변경할 수 있다. 이에 더해, 규칙에 맞는 다양한 결과들을 낼 수 있으며, 상업용 게임을 만들기 위해 고안한 알고리즘답게 규칙에 오류가 없다면 맵 생성에 반드시 성공하며, 속도도 빠른 등 신뢰성과 안정성이 높다는 장점이 있다. 이에 따라, 최근 2019년부터 게임 맵을 생성하는 절차적 콘텐츠 생성(Procedural Content Generation) 커뮤니티에서 관심을 가지며 연구를 진행 중이다.

2.2. 절차적 콘텐츠 생성(Procedural Content Generation)을 이용한 게임 맵 생성

Procedural Content Generation(PCG)는 데이터를 직접 제작하지 않고 일련의 알고리즘을 통해 자동으로 생성하는 기법이다. PCG의 사용은 다양한 분야에서 이루어지지만 가장 많이 쓰이는 분야는 게임 맵 생성이다[1]. 현존 PCG를 이용한 게임 맵 생성에는 강화학습[2], 진화 알고리즘[3], 적대적 생성 네트워크[4], WFC[5] 등이 사용되고, 이를 통해 생산 비용과 노력, 저장 공간을 절감하고자 한다. 대부분의 연구는 생성된 콘텐츠의 Playability와 Solvability에만 초점을 맞추어, 게임 맵 디자이너의 의도를 반영하는 연구는 거의 이루어지지 않았다. [6]에서는 가중치 재계산 등을 통하여 게임 맵 디자이너의 의도를 더욱 잘 반영하려는 연구가 이루어졌으나, 이들 연구에서는 타일간의 관계나 대략적인 타일의 분포확률에 대해서만 맵 디자이너의 의도가 반영될 뿐, 직접적으로 디자이너가 제시하는 맵의 컨셉이나 구도를 받아 그것을 유지한 채 대규모의 맵을 생성하지는 못한다.

2.3. 보간 기반 업샘플링

업샘플링(Upsampling)은 디지털 영상을 여러 개의 픽셀 집합으로 나누는 영상분할(Image segmentation), 저해상도 이미지를 고해상도로 변환시키는 이미지 초해상화(Image super-resolution) 등, 컴퓨터 비전 관련 분야에서 폭넓게 사용되어오고 있는 기술로, 초해상화에 사용하는 업샘플링 기술 중에는 인접 픽셀들의 값을 활용하여 빈 영역을 채우는 보간(Interpolation) 기반 업샘플링 방식이 존재하며, 이는 본 논문이 제시하는 알고리즘이 인접 타일들의 종류를 활용하여 게임 맵 확대를 진행한다는 점에서 매우 유사한 방법론을 사용한다.

3. 제안하는 방법

위에서 설명하였듯, WFC를 포함한 현행 PCG 알고리즘들은 게임 맵 생성에 있어 디자이너가 의도하는 맵의 컨셉이나 구도를 반영하지 못하는 문제가 존재한다. 따라서, 본 논문에서 제시하는 알고리즘은 디자이너가 지정하는 소규모 게임 맵의 컨셉과 구도라는 핵심 특성만을 유지한 채 대규모로 크기를 키워, 그 과정에서 게임 맵의 구체적 요소들은 WFC 알고리즘이 결정하도록 유도하여 다양성과 자연스러움을 가진 대규모 게임 맵을 생성하도록 하였다.



그림 1. 사용된 타일의 종류

제안하는 방법은 위 그림에서 보이는 해안가 맵에서 사용 가능한 14종의 타일로 이루어진 타일 맵 환경에서 진행되었으며, 1개의 땅 타일, 1개의 바다 타일이 존재하며, 나머지 12개 타일은 땅-바다로 넘어가는 위치에 존재하는 경계선 타일이다. WFC 알고리즘에 사용되는 규칙은 미리 정의되었으며, 게임 디자이너가 사용하기 용이하도록 자바스크립트 객체 표기(JSON) 파일로 작성되었다.

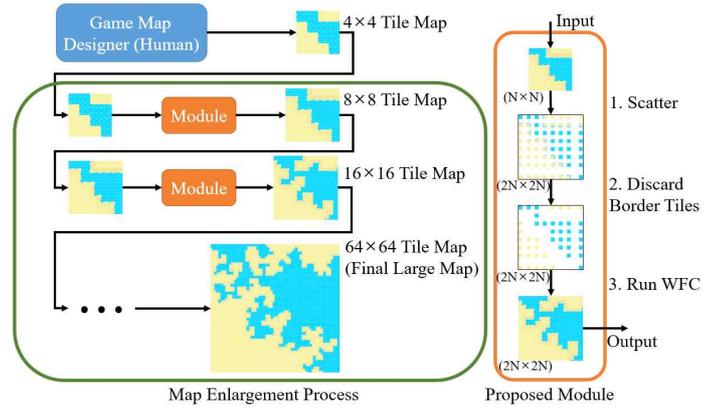


그림 2. 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 동작과정

그림 2는 본 논문에서 제안하는 알고리즘의 동작과정이다. 알고리즘은 디자이너가 제시한 소규모 4x4 맵을 입력으로 받아, 단계적인 맵 확대 과정(Map Enlargement Process)에 들어간다. 맵 확대 과정은 한 단계마다 모듈을 한 번 이용하여 맵의 크기를 2배씩 확대하는 과정이며, 제안한 모듈은 다음과 같은 세부과정으로 작동한다. 1. 입력(NxN)을 Scatter 하여 2Nx2N의 빈 맵에 배치한다. 2. Scatter된 결과에서 결과의 다양성을 해칠 수 있는 경계선 타일들은 빈 타일로 대체하여, 이후 WFC가 진행될 때 그 자리를 새로운 타일이 채우도록 한다. 3. WFC를 진행하여 확대된 게임 맵(2Nx2N)을 얻는다. 이러한 맵 확대 과정을 통해 최종적으로 대규모(64x64) 맵을 얻을 수 있다.

4. 실험 및 결과

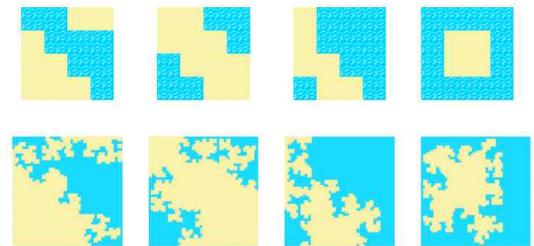


그림 3. 디자이너가 제시할 수 있는 다양한 소규모(4x4) 타일 맵(위)과, 이를 대규모(64x64)로 확대한 게임 맵(아래)

그림 3에서는 디자이너가 제시한 다양한 소규모 타일 맵(4x4)에 대하여, 본 논문에서 제시하는 알고리즘이 robust하게 대규모(64x64)로 확대한 결과를 생성할 수 있음을 보여준다. 또한, 각각의 경우에 대하여, 확대한 결과는 자연스러운 경계선이 만들어짐과 동시에 소규모 타일 맵의 전반적인 구도와 형태를 유지함을 보여준다.

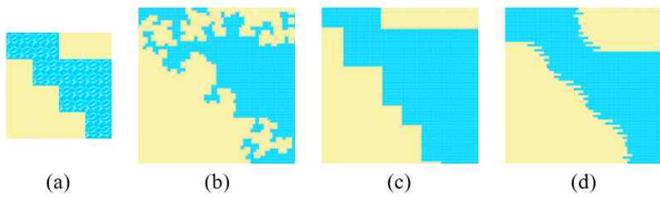


그림 4. 디자이너가 정의한 4×4 소규모 타일 맵(a)를 본 논문의 알고리즘(b), 제안하는 방법에서 Border Tile Discarding을 하지 않은 알고리즘(c)과 Bilinear Upsampling(d)를 이용해 64×64 대규모 타일 맵으로 확대한 것

그림 4에서는 디자이너가 제시한 소규모(4×4) 타일 맵(a)에 대하여, 세 가지 방법을 사용하여 대규모(64×64) 타일 맵을 생성하였다. 본 논문에서 제시하는 알고리즘 (b)는 자연스러운 해안선 타일 맵을 생성하였다. 하지만 경계선 타일 제거를 하지 않은 알고리즘 (c)에서는 (a)와 유사한 모양은 나오지만, 자연스럽지 못하고 과도하게 각진 모양이 나옴을 확인하였다. 또한 타일 맵을 Bilinear upsampling으로 확대한 결과(d)에서는 타일 맵이 전반적인 구조에서는 각지지 않고 부드럽게 나오나, 노이즈가 심하게 낀 것처럼 부자연스럽게 나옴을 확인하였다.

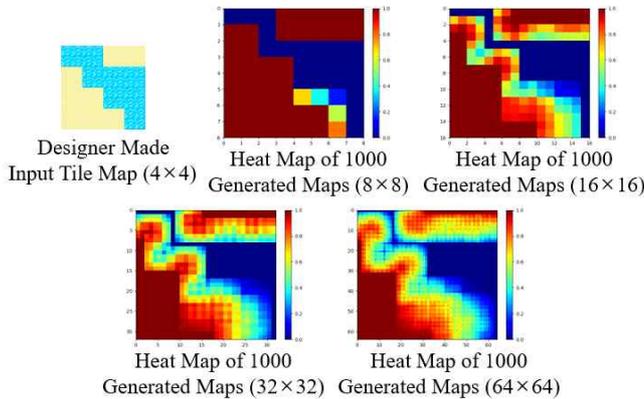


그림 5. 게임 맵 디자이너가 제시한 소규모 타일 맵(좌측)과, 본 논문에서 제시한 알고리즘을 사용하여 각 크기별로 1000개의 데이터를 생성하여 제작한 히트 맵. 적색(1.0)에 가까울수록 땅 타일이, 청색(0.0)에 가까울수록 바다 타일이 그 위치에 배치된 정도이다.

그림 5에서는, 본 논문에서 제시한 알고리즘을 이용하여 디자이너가 제시한 소규모(4×4) 타일 맵을 단계별로 2배씩 확대해나가며, 각 단계당 1000개씩의 맵을 생성하여 히트 맵을 구성했다. 그림 5.에서, 땅 타일(적색)과 바다 타일(청색)이 만나는 지점에서, 넓은 범위에 걸쳐 청록 ~ 노랑색의 구간이 펼쳐져 있음을 확인할 수 있다. 이는 이 구간에서 상당한 다양성을 가진 타일 배치가 이루어진다는 것을 의미하며, 본 논문에서 제시하는 알고리즘이 기존 WFC 방법론이 가지던 충분한 다양성을 가진 채로 게임 맵 확대가 가능하다는 것을 보여준다.

5. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 기존 파동함수 붕괴(WFC) 알고리즘을 개량하

여 게임 맵 환경에서의 자연스러운 게임 맵 확대 과정에 사용하는 연구를 진행하였다. 본 논문에서는, 제시하는 알고리즘이 디자이너가 제시하는 컨셉과 구조를 유지하며 자연스럽게 게임 맵을 확대할 수 있으며, 또한 그 결과에 있어서 상당한 다양성을 보여준다는 것을 확인하였다.

추후 연구에서는, 본 논문의 알고리즘이 동작하는 과정에 있어 인간의 개입을 보다 활발하게 하여서, 인간-컴퓨터 상호작용적 기법을 통해 본 연구가 게임 개발 환경에 얼마나 긍정적 혹은 부정적 영향을 미쳤는지, 게임 개발의 편리함에 얼마나 도움이 되었는지, 개발 경력이 없는 사람들에게 게임 맵 제작 입문 과정에 있어 도움이 되는지 등을 조사할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의 2022년도 문화기술 연구개발 사업으로 수행되었음 (과제명 : 온라인 게임 콘텐츠 제작 지원을 위한 인공지능 기반 게임 시뮬레이션 기술 개발, 과제번호 : R2022020070)

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2021R1A4A1030075).

참고문헌

- [1] Smith, Gillian. "Understanding procedural content generation: a design-centric analysis of the role of PCG in games." Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2014.
- [2] Khalifa, Ahmed, et al. "Pcgrl: Procedural content generation via reinforcement learning." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment. Vol. 16. No. 1. 2020.
- [3] Ferreira, Lucas, and Claudio Toledo. "A search-based approach for generating angry birds levels." 2014 IEEE Conference on Computational Intelligence and Games. IEEE, 2014.
- [4] Awiszus, Maren, Frederik Schubert, and Bodo Rosenhahn. "TOAD-GAN: coherent style level generation from a single example." Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence and Interactive Digital Entertainment. Vol. 16. No. 1. 2020.
- [5] Cheng, Darui, Honglei Han, and Guangzheng Fei. "Automatic Generation of Game Levels Based on Controllable Wave Function Collapse Algorithm." International Conference on Entertainment Computing. Springer, Cham, 2020.
- [6] Sandhu, Arunpreet, Zeyuan Chen, and Joshua McCoy. "Enhancing wave function collapse with design-level constraints." Proceedings of the 14th International Conference on the Foundations of Digital Games. 2019.