

Wave Function Collapse Algorithm

C. Bojko, D. Pape, J. Spilka

25. Januar 2019

- Kurzer Überblick über die Quantenmechanik
- Kollaps der Wellenfunktion Algorithmus
- Vorgehensweise vom Algorithmus

- Was ist eine Wellenfunktion?

- Was ist eine Wellenfunktion?
 - Eine Wellenfunktion beschreibt den quantenmechanischen Zustand eines Elementarteilchens.

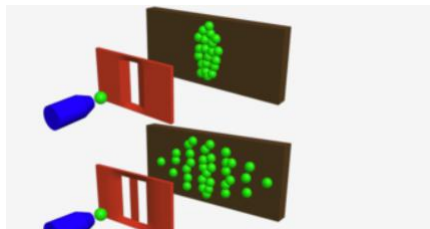
- Was ist eine Wellenfunktion?
 - Eine Wellenfunktion beschreibt den quantenmechanischen Zustand eines Elementarteilchens.
 - Ein bekanntes Beispiel dafür ist das Licht.

- Was ist eine Wellenfunktion?
 - Eine Wellenfunktion beschreibt den quantenmechanischen Zustand eines Elementarteilchens.
 - Ein bekanntes Beispiel dafür ist das Licht.
 - Photonen besitzen Teilchen- und Welleneigenschaften.

- 1802 führte Thomas Young das Doppelspaltexperiment durch.

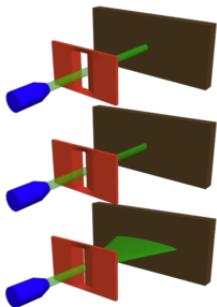
Kurzer Überblick über die Quantenmechanik

- 1802 führte Thomas Young das Doppelspaltexperiment durch.
- Auf dem Beobachtungschirm war eine Interferenz zu sehen.
- Daraus konnte er schließen, dass sich das Licht Wellenartig ausbreitet.



Kurzer Überblick über die Quantenmechanik

- 1927 wurde dies durch ein weiteres Experiment bestätigt.
- Ein Laser wurde durch einen Spalt geschickt, der kleiner als der Laserstrahl ist.
- Aus den Spalten entstehen neue Elementarwellen, die sich überlagern und auf dem Beobachtungsschirm ein Interferenzmuster abbilden.



- Was ist der WFC (Wave Function Collapse Algorithmus)?

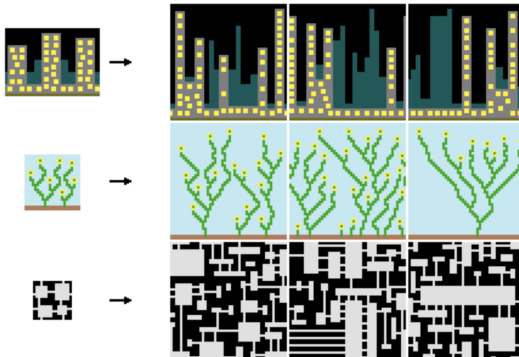
Wave Function Collapse Algorithmus

- Was ist der WFC (Wave Function Collapse Algorithmus)?
- Wie funktioniert der WFC?

- Was ist der WFC (Wave Function Collapse Algorithmus)?
- Wie funktioniert der WFC?
- Welche Einsatzmöglichkeiten bietet der WFC?

Wave Function Collapse Algorithmus

- Was ist der WFC?
- WFC ist ein Algorithmus der aus einem Urbild als Eingabe, Stück für Stück ein Bild erzeugt, welches dann dem Urbild sehr ähnlich ist.



Wave Function Collapse Algorithmus

- WFC ist ein eigenständig denkender Algorithmus und braucht kaum Hilfe oder Instruktionen.

Wave Function Collapse Algorithmus

- WFC ist ein eigenständig denkender Algorithmus und braucht kaum Hilfe oder Instruktionen.
- Er braucht nur ein kleines Beispiel um die Richtung zu kennen in die es gehen soll, und erschafft den Rest von selbst.

- WFC ist ein eigenständig denkender Algorithmus und braucht kaum Hilfe oder Instruktionen.
- Er braucht nur ein kleines Beispiel um die Richtung zu kennen in die es gehen soll, und erschafft den Rest von selbst.
- Durch eine Eingabe können praktisch beliebig viele unterschiedliche Bilder erstellt werden

- WFC ist trotz seiner Versatilität relativ simpel gestrickt
- Prinzipiell findet der Algorithmus eine Konfiguration von Kacheln, die eine Menge von Regeln erfüllt
- Besonders ist, dass WFC die Regeln von einem kleinem Beispiel ableiten kann

- Wie funktioniert WFC?

- Wie funktioniert WFC?
- Als erstes Beispiel zeigen wir das anhand eines Hochzeitsplan
 - Man beginnt mit einer Liste von Regeln.
 - Man wählt einen Platz und besetzt ihn mit einer zufällig gewählten Person.

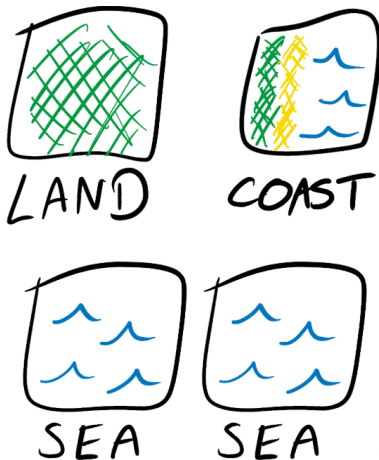
- Wie funktioniert WFC?
- Als erstes Beispiel zeigen wir das anhand eines Hochzeitsplan
 - Man beginnt mit einer Liste von Regeln.
 - Man wählt einen Platz und besetzt ihn mit einer zufällig gewählten Person.
 - Diese Wahl hat dann Konsequenzen die sich durch den ganzen Sitzplan ziehen.

- Wie funktioniert WFC?
- Als erstes Beispiel zeigen wir das anhand eines Hochzeitsplan
 - Man beginnt mit einer Liste von Regeln.
 - Man wählt einen Platz und besetzt ihn mit einer zufällig gewählten Person.
 - Diese Wahl hat dann Konsequenzen die sich durch den ganzen Sitzplan ziehen.
 - Am Ende hast du entweder eine gültige Sitzordnung gefunden oder einen Widerspruch, in dem Fall muss von neu begonnen werden.

- Als vertieferndes Beispiel wollen wir mithilfe von WFC eine kleine einfache Welt erschaffen.
- Der WFC bekommt als Eingabe vordefinierte Felder von denen jedes Feld in der Ausgabe von seinem direkten Nachbarn betroffen und eingeschränkt ist.

Wave Function Collapse Algorithmus

Als Beispiel beschränken wir uns auf Land, Küste und Meer.

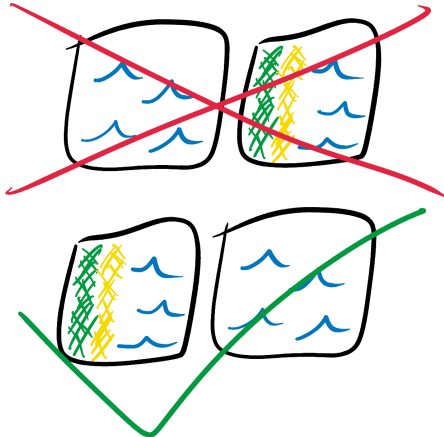


Wave Function Collapse Algorithmus

- Beispiel Regeln:
 - Meer kann neben Meer sein
 - Land neben Küste aber nur wenn die richtigen Seiten zueinander schauen.

Wave Function Collapse Algorithmus

- Beispiel Regeln:
 - Meer kann neben Meer sein
 - Land neben Küste aber nur wenn die richtigen Seiten zueinander schauen.



- Jede Regel besteht aus einem 3-Tupel von 2 Feldern und einer Richtung.
Zum Beispiel (SEA, COAST, RIGHT) bedeutet, dass ein SEA-Feld rechts von einem COAST-Feld platziert werden kann.

- Jede Regel besteht aus einem 3-Tupel von 2 Feldern und einer Richtung.
Zum Beispiel (SEA, COAST, RIGHT) bedeutet, dass ein SEA-Feld rechts von einem COAST-Feld platziert werden kann.
Diese Regel wird von einer anderen Regel erweitert, die die Situation aus Sicht der KÜSTE beschreibt - (COAST, SEA, LEFT).

- Jede Regel besteht aus einem 3-Tupel von 2 Feldern und einer Richtung.
Zum Beispiel (SEA, COAST, RIGHT) bedeutet, dass ein SEA-Feld rechts von einem COAST-Feld platziert werden kann.
Diese Regel wird von einer anderen Regel erweitert, die die Situation aus Sicht der KÜSTE beschreibt - (COAST, SEA, LEFT).
- Es müssen nicht alle Regeln und Möglichkeiten eingegeben werden, der WFC erstellt diese selber.
Es reicht wenn er weiß Feld X darf nicht neben Feld Y sein.

Wave Function Collapse Algorithmus

- Der WFC sucht nach den Quadraten mit der niedrigsten Entropie.

Wave Function Collapse Algorithmus

- Der WFC sucht nach den Quadraten mit der niedrigsten Entropie.
- Ein Quadrat mit hoher Entropie ist ein Feld mit vielen möglichen Kacheln in seiner Wellenfunktion. Auf welche Kachel es jedoch letztendlich zusammenbricht, ist unsicher.
- Andersrum ist ein Quadrat mit niedriger Entropie ein Feld mit möglichst wenig Kacheln in seiner Wellenfunktion. Auf welche Kachel sie letztendlich zusammenbricht, ist bereits ziemlich eingeschränkt.

Zur Verdeutlichung was hier gemeint ist kommt nun ein kleines Programm zur Veranschaulichung!

- Wie funktioniert der Algorithmus ?
1. Einlesen der Eingabebitmap und das Zählen des $N \times N$ -Muster (Kacheln)



2. Erstellen der Welle

2. Erstellen der Welle

- Ein Wellen-Element repräsentiert den Zustand einer Kachel in der Ausgabe
- Jedes Wellen-Element hat für jedes $N \times N$ -Muster im Input einen zugehörigen booleschen Koeffizienten
- Die Koeffizienten legen fest, ob die Kachel das dem Koeffizienten zugehörige Muster annehmen kann

2. Erstellen der Welle

- Ein Wellen-Element repräsentiert den Zustand einer Kachel in der Ausgabe
- Jedes Wellen-Element hat für jedes $N \times N$ -Muster im Input einen zugehörigen booleschen Koeffizienten
- Die Koeffizienten legen fest, ob die Kachel das dem Koeffizienten zugehörige Muster annehmen kann

3. Initialisierung der Welle

4. Schleife:

- a) Kachel mit der kleinsten 'Entropie' größer als 1 suchen
- Haben alle Kacheln eine Entropie von 1 sind wir fertig
 - Hat eine Kachel eine Entropie von 0, brechen wir ab und fangen von vorne an

4. Schleife:

- a) Kachel mit der kleinsten 'Entropie' größer als 1 suchen
 - Haben alle Kacheln eine Entropie von 1 sind wir fertig
 - Hat eine Kachel eine Entropie von 0, brechen wir ab und fangen von vorne an
- b) Wave Function Collapse: Der Kachel gemäß ihrer Koeffizienten und der Verteilung von $N \times N$ -Mustern in der Eingabe einen konkreten Zustand geben

4. Schleife:
 - a) Kachel mit der kleinsten 'Entropie' größer als 1 suchen
 - Haben alle Kacheln eine Entropie von 1 sind wir fertig
 - Hat eine Kachel eine Entropie von 0, brechen wir ab und fangen von vorne an
 - b) Wave Function Collapse: Der Kachel gemäß ihrer Koeffizienten und der Verteilung von $N \times N$ -Mustern in der Eingabe einen konkreten Zustand geben
 - c) Propagation: gewonnene Information an die restlichen Kacheln weitergeben

4. Schleife:
 - a) Kachel mit der kleinsten 'Entropie' größer als 1 suchen
 - Haben alle Kacheln eine Entropie von 1 sind wir fertig
 - Hat eine Kachel eine Entropie von 0, brechen wir ab und fangen von vorne an
 - b) Wave Function Collapse: Der Kachel gemäß ihrer Koeffizienten und der Verteilung von $N \times N$ -Mustern in der Eingabe einen konkreten Zustand geben
 - c) Propagation: gewonnene Information an die restlichen Kacheln weitergeben

Nach Beendigung der Schleife ist das Output-Array mit konkreten Kacheln gefüllt, die Wellenfunktion ist auf konkrete Zustände reduziert.

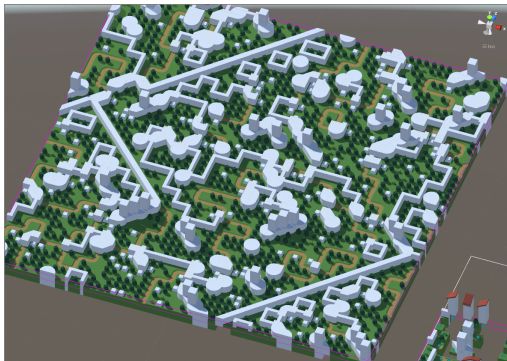
- Prinzipiell äquivalent zu Constraint Satisfaction
- Vorgehensweise ist je nach Anwendung adaptierbar
- Verschiedene Modelle existieren: mit/ohne mögl. Rotation der Muster, 3D-Version, Überlappungen

- Prinzipiell äquivalent zu Constraint Satisfaction
- Vorgehensweise ist je nach Anwendung adaptierbar
- Verschiedene Modelle existieren: mit/ohne mögl. Rotation der Muster, 3D-Version, Überlappungen
- Versatil: Sogar Gedichte wurden mit WFC generiert

```
Cried Alice was not here before she found  
Herself before she found herself which way.  
For when she got to. There were doors all round  
The hall but they were nice grand words to say.  
Down down down down. Let me see that would be  
Of very like a candle. I wish you  
Were down here with me. For you see as she  
Fell past it. There was nothing else to do  
So Alice had been all the way to hear  
The Rabbit hole. The Rabbit hole went straight  
On like a candle. Alice was not here  
Before said Alice. I shall be a great  
Deal too far off. I must be kind to them  
Thought Alice soon began to cry again.
```

Einsatzmöglichkeiten des WFC Algorithmus

- Wofür kann der WFC Algorithmus verwendet werden?
 - Erstellen von Bildern.
 - Erschaffen von ganzen Städten und Welten in 2D oder 3D. zu Beispiel für ein Videospiele oder eine Simulation.



Einsetzungsmöglichkeiten des WFC Algorithmus

- Eine sehr fortgeschrittene Version gibt es bereits.
- Es ist möglich sich beliebig viele komplett unterschiedliche 3D Welten basierend auf dem WFC Algorithmus zu erschaffen
- Wer Lust bekommen hat, die komplette Anleitung gibt es hier: <https://marian42.itch.io/wfc>



- Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit !

Wave Function Collapse Algorithmus

- Quellen:
 - <https://youtu.be/DOQTr2Xmlz0>
 - <https://github.com/mxgmn/WaveFunctionCollapse>
 - <http://oskarstalberg.com/game/wave/wave.html>
 - <https://robertheaton.com/2018/12/17/wavefunction-collapse-algorithm/>
 - <http://www.procjam.com/tutorials/wfc/>
 - https://en.wikipedia.org/wiki/Wave_function_collapse