

Zellularautomat zur Simulation von Personenbewegungen

3. Projekt zu Modellierung und Simulation

Sommersemester 2015

Ausgabe: 17.05.2015, Abgabe 21.06.2017

1 Hintergrund: Modellierung von Personenströmen

Personenstromsimulatoren werden heute z.B. bei der Gebäudeplanung eingesetzt, um eine möglichst schnelle Räumung bei Feueralarm zu erreichen, bei der Planung von Events und als Trainingswerkzeug. Zu den kommerziell erfolgreichsten Modellen zählen Zellularautomaten.

1.1 Basisregeln eines Zellularautomaten zur Modellierung von Personenbewegungen

1. Die Welt in Zellen:

- (a) Die Welt wird in Zellen eingeteilt: hier Quadrate.
- (b) Jede Zelle hat einen Zustand: Sie ist leer oder sie ist besetzt – von genau einer virtuellen Person oder einem Hindernis. Sie kann auch ein Ziel oder eine Personenquelle enthalten.
- (c) Jede Person bewegt sich von Zelle zu Zelle auf ihr Ziel hin. Sie kann die 8 Nachbarzellen betreten, die mit der derzeitigen Zelle eine Seite oder eine Ecke teilen (Moore-Umgebung).
- (d) Nur freie Zellen können betreten werden.

2. Ziele sind attraktiv:

- (a) Jede Person erhöht ihren Nutzen, wenn sie sich ihrem Ziel nähert. Dieser wird über eine skalare Funktion, $-\Phi$, ausgedrückt. Wegen der Analogie zur Physik wird Φ auch Potenzial genannt. Im Fall von freier Sicht zwischen Ziel und Person ist der Nutzen der negative euklidische Abstand zwischen Person und Ziel.
- (b) Bewegung bei freier Bahn: Wenn die Person sich bewegt, wählt sie die benachbarte Zelle in Richtung des steilsten Nutzenanstieges (oder Potenzialabstiegs): $(\max_{x, \|x\|=1} \langle -\nabla \Phi, x \rangle)$. Dabei wird der Gradienten genähert durch $\frac{\Delta \Phi}{\Delta x}$.

3. Personen halten Abstand voneinander:

- (a) Personen verringern ihren Nutzen, wenn sie sich zu nahe kommen.
- (b) In der physikalischen Analogie „trägt“ jede Person ein Abstoßungspotenzial mit sich herum.
Am besten geeignet sind glatte Funktionen auf kompakten Träger, d.h. hinreichend oft differenzierbare Funktionen, die außerhalb eines beschränkten und abgeschlossenen Gebiets komplett verschwinden. Warum? Hinweis: Ein typisches Beispiel ist der Glättungskern von Friedrichs (Friedrich's mollifier).
In [4] und [2] wird folgende Funktion vorgeschlagen, die nur von den zwei Parametern w (width) und h (height) abhängt, die Stärke und Reichweite der Funktion kontrollieren. Die Funktion ist inspiriert durch die bekannten Glätter von Friedrich (Friedrich's mollifier).

$$u_p(d) = \begin{cases} -h \exp\left(\frac{1}{(d/w)^2 - 1}\right) & \text{if } |d| < w \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

In [7] wird eine noch wesentlich feinere Funktion vorgeschlagen, die das unter Psychologen anerkannte Modell für „personal space“ von Hall [3] abbildet. Macht diese Verfeinerung für Ihren Zellularautomaten Sinn? ([Gute Diskussion gibt Zusatzpunkte](#))

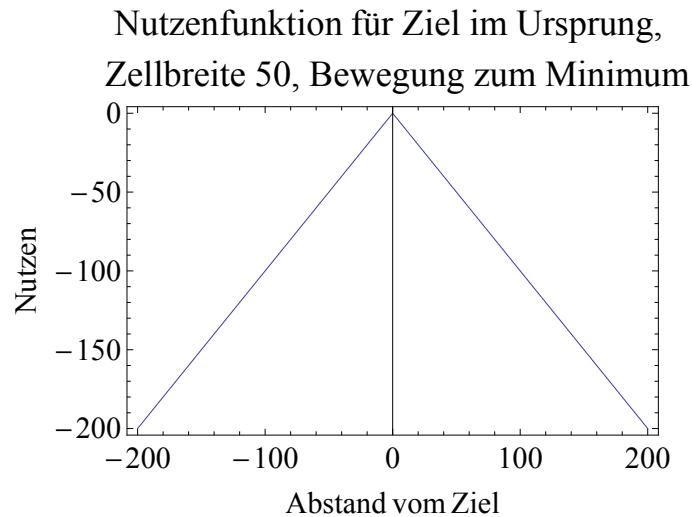
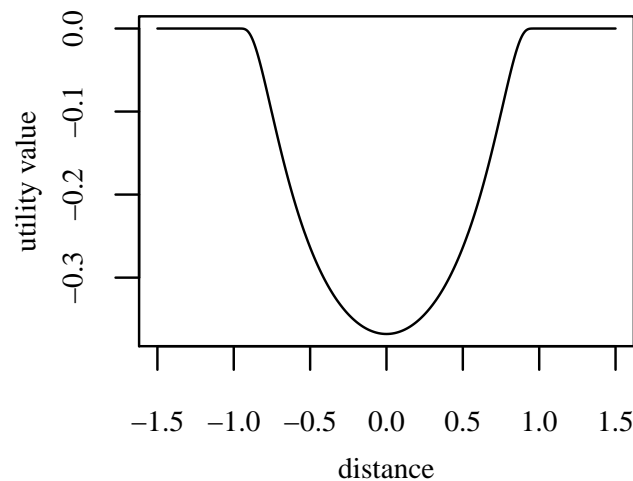


Abbildung 1: Illustration Zielpotenzial (1D)

Abbildung 2: Illustration Nutzendelle die durch einen Nachbarn (1D). Hier $x_0 = 0$ ist die Position des Nachbarn.

- (c) Bewegung in der Menge: Jede Person bestimmt den Nutzen in den Nachbarzellen der von-Neumann-Umgebung. Dabei addiert die Person den Nutzeneinfluss aller Personen in einer geeigneten Umgebung der betrachteten Nachbarzelle zum Zielnutzen in der Nachbarzelle. Eine (erste) geeignete Umgebung besteht aus zwei Ringen um die Nachbarzelle.
- 4. Hindernisse lassen sich nicht betreten.
 - (a) Eine Zelle ist nicht betretbar, wenn ein Hindernis ihren Zellmittelpunkt überdeckt.
 - (b) Nehmen Sie hier vereinfachend an, dass Hindernisse ganze Zellen ausfüllen.
 - (c) Verfahrensverfeinerungen verringern den Nutzen, wenn man dem Hindernis zu nahe kommt [5]. Wir vernachlässigen das hier.
- 5. Geschwindigkeiten
 - (a) Jede Person hat eine individuelle Wunschgeschwindigkeit, mit der sie geht, wenn die Bahn frei ist (free-flow velocity). Die Wunschgeschwindigkeiten seien normalverteilt mit dem Mittelwert und der Varianz aus der ersten Projektarbeit in diesem Semester.
- 6. Zeitmanagement: event-driven oder festes sequenzielles Update
 - (a) Die Personen ziehen hintereinander. Aber wie?

- (b) Schnelle Personen dürfen häufiger ziehen.
- (c) Eine möglicher Ansatz ist wie im Nagel-Schreckenberg-Modell Update-Runden festzulegen. In jeder „Runde“ muss entschieden werden, ob eine Person zieht oder nicht. Eine mögliche Wahl ist, die die virtuellen Personen z.B. in der Reihenfolge ihrer „Geburt“ als Spielfiguren in ihrem Modell abzuarbeiten.
- (d) Besser ist ein Event-Driven-Update, wie in [5] beschrieben.
- (e) Tipp: Ein „Konto“ kann helfen zu entscheiden, ob virtuelle Person einen Schritt gehen darf oder nicht bzw. welche Person am „dringendsten“ ziehen sollte.
- (f) Finden Sie einen Korrekturmechanismus, so dass jede Person im Mittel bei freier Bahn und in jede beliebige Richtung ihre Wunschgeschwindigkeit realisiert. Zum einen machen Personen bei Bewegung in der Diagonalen zu den Gitterachsen einen größeren „Schritt“ als in Richtung der Gitterachsen. Zum anderen sind sie zu einem Zickzackkurs gezwungen, wenn ihr Ziel nicht in Achsenrichtung oder diagonal dazu liegt. Der Korrekturmechanismus für letzteres Problem ist komplexer und bringt Sonderpunkte.

7. Zielnutzen bei Hindernissen (keine freie Sicht)

- (a) Mit dem negativen euklidischen Abstand als Zielnutzen bleiben Personen in U-förmigen Hindernissen hängen.
- (b) Statt des Euklidischen Abstands nimmt man deshalb als einfache Lösung die Anzahl der notwendigen Hüpfen von einer Zelle zur Zielzelle – so genanntes Floor-Flooding mit dem Dijkstra-Algorithmus.

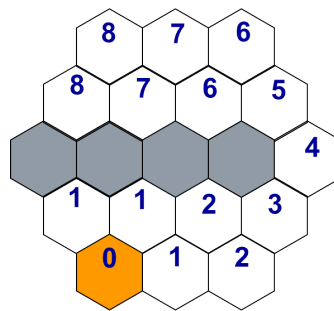


Abbildung 3: Flutung für ein Hexagongitter

- (c) Verbindlich für Vierergruppen sonst Zusatzpunkte: In einer verbesserten Version der Flutung, löst man die Eikonal-Gleichung, die die Ausbreitung einer Welle beschreibt. Dazu verwendet man den Fast-Marching-Algorithmus, einen der durchschlagendsten neuen Algorithmen der letzten 15 Jahre. Eine gute Beschreibung finden Sie in [1] auf <http://en.wikipedia.org/wiki/Fastmarchingmethod>.

2 Aufgabe

Schreiben Sie ein Java-Programm, bei dem Sie das obige Modell implementieren, testen und visualisieren. Ergänzen Sie (sparsam) mit eigenen Regeln, wo das nötig ist. Beschreiben Sie Ihr Modell gründlich. Sie arbeiten insgesamt 4 Wochen an der Aufgabe. In jeder Woche ist eine Zwischenabgabe fällig. Bei der letzten Abgabe halten Sie ein Referat und diskutieren untereinander ihre Lösungswege. Demonstrieren Sie dazu den Erfolg Ihrer Umsetzung an den Testfällen 2.2.

2.1 Bewertung des Fortschritts

Laden Sie in jeder Woche den jeweiligen Status Quo Ihres Codes und Ihrer Berichte auf das Repository hoch. Jede Woche erfolgt eine Mini-Abnahme. Bewertet wird erst die letzte Abgabe. Ein gutes Referat geht positiv in die Bewertung ein (**Zusatzpunkte**).

2.2 Testfälle – angelehnt an die Tests des RiMEA e.V.

Sie testen Ihren Test natürlich auf logische Korrektheit und weitgehende Freiheit von „Bugs“. Um Ihr Modell zu validieren, stellt die Personenstrom-Community einige „standardisierte“ Testfälle zur Verfügung. Sie finden diese unter www.rimea.de. Eine Auswahl davon setzen Sie im Rahmen dieser Studienarbeit ein:

2.2.1 Freier Fluss

Bei freier Bahn bewegen virtuelle Personen sich mit konstanter Geschwindigkeit (=Wunschgeschwindigkeit) geradewegs auf das Ziel zu (Abweichungen nur soweit das Gitter dies erzwingt). Demonstrieren Sie für alle Achsenrichtungen, die Diagonalen und geeignete Zwischenwinkel, dass ihre virtuellen Personen diese Anforderung erfüllen. Gibt es Abweichungen? Wenn ja, warum?

2.2.2 Hühnertest

„Hühnertest“: Virtuelle Personen bewegen sich auf ein Ziel zu. Die Sichtlinie ist von einem U-förmigen Hindernis verdeckt. Hühner bleiben in einem solchen Hindernis hängen, wenn sie das Ziel nur sehen– z.B durch einen Drahtzaun. Schon Hunde finden leicht den Weg um das Hindernis. Was passiert, wenn Sie

- den euklidischen Abstand zur Nutzenberechnung verwenden?
- den Nutzen über die Flutung nach Dijkstra bestimmen?

2.2.3 Evakuierung eines Raums mit 2 bzw. 4 Türen

Ein mit Personen gefüllter quadratischer Raum habe erst zwei, dann vier Türen (pro Seite maximal eine Tür). Wie lang sind die Evakuierungszeiten für 2 und für 4 Türen im Vergleich?

2.2.4 Fundamentaldiagramm - Rimea-Test 4

Fundamentaldiagramm: Virtuelle Personen laufen einen Gang entlang (65 m lang, 12 m breit). Variieren Sie die Dichte, indem Sie unterschiedlich viele Personen laufen lassen. Sie können z.B. über eine Endlosschleife die Personen die den Gang rechts verlassen haben gleich wieder links einspeisen. Plotten Sie die mittlere Geschwindigkeit der virtuellen Personen in Abhängigkeit von der Dichte. Plotten Sie auch die Anzahl von Personen, die pro Sekunde eine 1m lange Standardlinie überschreiten: Fluss (Personen/m/s). Was stellen Sie fest? Vergleichen Sie mit dem Fundamentaldiagramm, dass Weidmann in [8] vorschlägt. Den Datensatz und weitere Fundamentaldiagramme finden Sie unter <http://www.asim.uni-wuppertal.de/datenbank.html>.

Für Neugierige gibt es unter

<http://www.fz-juelich.de/ias/jsc/EN/Research/ModellingSimulation/CivilSecurityTraffic/PedestrianDynamics/Activities> Experimente (mit Videos, Trajectories, papers, etc) zu entdecken. Zum theoretischen Hintergrund sei auf [6] verwiesen.

2.3 Abgabe 1. Woche

- Zellaufteilung (Arbeiten Sie mit den Zellmittelpunkten!)
- Erzeugen von virtuellen Personen mit individueller Wunschgeschwindigkeit.
- Nutzengetriebene Personenbewegung auf ein Ziel bei freier Sicht, ohne Hindernisse und ohne gegenseitige Abstoßung.
- Ausgabe (in Datei) von: Zeit („Realzeit“), Person, Ort, momentane Geschwindigkeit (z.B. gleitende Mittel). Gestalten sie die Ausgabe so, dass sie zumindest einen Schnappschuss bekommen, sobald sich eine signifikante Veränderung ergeben hat: Größenordnung 1 sec, denn bei einer mittleren Wunschgeschwindigkeit von z.B. 1,3 m/s wollen ihre Personen sich in einer Sekunde über einen Meter bewegen.
- Erste Visualisierung.

- Test 2.2.1: Laufen Personen bei freier Bahn in den Hauptrichtungen (Grad: 0 , $\frac{\pi}{4}$, $\frac{\pi}{2}$) mit ihrer jeweiligen Wunschgeschwindigkeit?

2.4 Abgabe 2. Woche

- Personenpotenzial
- Bewegung mit Wunschgeschwindigkeit auch abseits der Hauptrichtungen ([Zusatzpunkte](#))
- Tests: bisheriger Test 2.2.1 aber mit beliebigen Richtungen, plotten des Fundamentaldiagramms 2.2.4 und „Hühnertest“ 2.2.2. Was beobachten Sie jeweils?
- Verbesserung der Visualisierung

2.5 Abgabe 3. Woche

- Hindernisse
- Flutung: Floor-Flooding im Vergleich zum euklidischen Abstand.
- Tests: Tests: bisherige Tests 2.2.1 2.2.4, besonders „Hühnertest“ 2.2.2. Was beobachten Sie beim Hühnertest?

2.6 Abgabe 4. Woche

- Floor-Flooding mit dem Fast-Marching-Algorithmus
- Rest der Aufgabe
- Tests: alle – in Berichten dokumentieren
- Abgabe der Berichte, Abgabe der finalen Codeversion
- Referat und Diskussion.

3 Teameinteilung

Wie bisher.

Literatur

- [1] J. Andreas Bærentzen. On the implementation of fast marching methods for 3d lattices. Technical report, Technical University of Denmark, 2001.
- [2] Felix Dietrich, Gerta Köster, Michael Seitz, and Isabella von Sivers. Bridging the gap: From cellular automata to differential equation models for pedestrian dynamics. *Journal of Computational Science*, 5(5):841–846, 2014.
- [3] Edward Twitchell Hall. *The Hidden Dimension*. Doubleday, New York, 1966.
- [4] Michael J. Seitz, Felix Dietrich, and Gerta Köster. A study of pedestrian stepping behaviour for crowd simulation. In *The Conference in Pedestrian and Evacuation Dynamics 2014*, Transportation Research Procedia, pages 282–290, Delft, The Netherlands, 2014.
- [5] Michael J. Seitz and Gerta Köster. How update schemes influence crowd simulations. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2014(7):P07002, 2014.
- [6] Armin Seyfried, Bernhard Steffen, Wolfram Klingsch, and Maik Boltes. The fundamental diagram of pedestrian movement revisited. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, 2005(10):P10002, 2005.
- [7] Isabella von Sivers and Gerta Köster. Dynamic stride length adaptation according to utility and personal space. *Transportation Research Part B: Methodological*, 74:104 – 117, 2015.
- [8] Ulrich Weidmann. *Transporttechnik der Fussgänger*, volume 90 of *Schriftenreihe des IVT*. Institut für Verkehrsplanung, Transporttechnik, Strassen- und Eisenbahnbau (IVT) ETH, Zürich, 2nd edition, 1992.