

Automaty komórkowe

[http://home.agh.edu.pl/malarz/dyd/ak/
v. 2.718281828459045235360287](http://home.agh.edu.pl/malarz/dyd/ak/v.2.718281828459045235360287)
Modelowanie ruchu ulicznego

Krzysztof Malarz

12 czerwca 2024

Terry Pratchett, *Straż! Straż!*, Prószyński i S-ka (Warszawa, 1989)

Kapitan Vimes biegł ulicą Krótką — najdłuższą w mieście, co ukazuje słynne z subtelności poczucie humoru w Morpork.

Spróbujmy zamodelować komputerowo ruch pojazdów. Zakładamy:

- samochody ($j = 1, \dots, N$);
- prędkości ($v_j = 0, \dots, v_{\max}$);
- każda komórka „drogi” może być pusta bądź zajęta przez **dokładnie jeden** pojazd;
- w przeciwieństwie do rozmiaru $40 \times 40 \text{ cm}^2$ dla ściskanego tłumu to teraz to około 7,5 metra.

Automat elementarny 184 [1, 2]

Najprostszy automat komórkowy, który symuluje przepływ typu ruchu pojazdów na jednokierunkowej i jednopasmowej drodze (lub też przepływ cząstek w rurze o średnicy równej rozmiarowi cząstki) należy do klasy elementarnych automatów zdefiniowanych przez Wolframa i odpowiada regule **numer 184**.



■ 1 | □ 0

Droga, po której poruszają się cząstki (samochody) reprezentowana jest przez łańcuch komórek. Każda z nich może przyjmować jeden z dwóch stanów: **pusta lub zajęta**.

Automat elementarny 184 [1, 2]

Wszystkie obiekty poruszają się w jedną stronę (na przykład w prawo) zgodnie z następującymi zasadami:

- w każdym kroku pojazd może zostać przesunięty o jedno miejsce lub pozostać na poprzedniej pozycji;
- przesunięcie następuje wtedy, gdy komórka docelowa jest pusta;
- wszystkie pola są uaktualniane jednocześnie.

Automat elementarny 184 [1, 2]


 $t = 0$

 $t = 1$

 $t = 2$

Rysunek: Ilustracja przepływu opisywanego elementarnym automatem Wolframa nr 184.

Zakładając, że ruch odbywa się w prawą stronę, można napisać

$$n_i(t+1) = n_{i-1}(t) [1 - n_i(t)] + n_i(t)n_{i+1}(t), \quad (1)$$

gdzie: $n_i(t)$ — stan i -tej komórki w chwili t : wartość 0 odpowiada pustej komórce, 1 — zajętej

Model Nagela–Schreckenberga [2, 3] I

przyspieszanie:

$$v_j(t) \rightarrow v_j(t + 1/3) = \min\{v_j(t) + 1, v_{\max}\}$$

zwalnianie:

$$v_j(t + 1/3) \rightarrow v_j(t + 2/3) =$$

$$\begin{cases} d_j(t) & \Leftrightarrow v_j(t + 1/3) > d_j(t), \\ v_j(t + 1/3) & \Leftrightarrow v_j(t + 1/3) \leq d_j(t), \end{cases}$$

gdzie $d_j(t)$ jest liczbą pustych komórek przed samochodem j w chwili t

Model Nagela–Schreckenberga [2, 3] II

losowanie:

$$v_j(t + 2/3) \rightarrow v_j(t + 1) = \max\{0, v_j(t + 2/3) - 1\}$$

z prawdopodobieństwem p

ruch: j -ty samochód rusza się $v_j(t + 1)$ komórek do przodu
jeśli $\Delta t = 1$ [s] to “długość” komórki drogi wynosi ok. $\Delta x \approx 7.5$ [m]

 $t = 0$  $t = 1$  $t = 2$

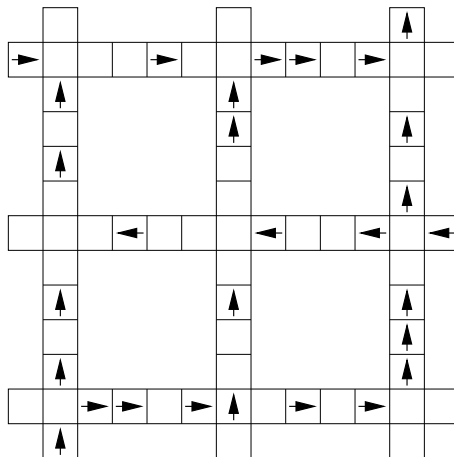
Rysunek: Przykładowy przepływ opisywany modelem Nagela–Schreckenberga

Aplikacja, Krzysztof Halwa

http://orion.fis.agh.edu.pl/~malarz/AK/5_ruch_uliczny_1D_Krzysztof_Halwa/

Model Chowdhuryego–Schadschneidera [4]

- sieć ulic jako kwadratowa siatka $N \times N$ z periodycznymi warunkami brzegowymi
- ulice są równoległe do osi X i Y i pozwalają na ruch w kierunku N i E
- na każdym skrzyżowaniu (węzle sieci) sygnalizacja świetlna
- każdy odcinek między węzłami jest podzielony na D komórek. D wprowadza nową skalę długości
- rozmiar komórki może być interpretowany jako typowa długość pojazdów: komórka jest więc pełna bądź pusta (jeden pojazd na komórkę)
- sygnalizacja jest zsynchronizowana w ten sposób, że jednocześnie ruch w *tylko* jednym kierunku jest możliwy
- światła zmieniają się co T jednostek czasu. T wprowadza nową skalę czasu



- zasady gry $t \rightarrow t + 1$:

przyspieszanie: jeśli $v_n < v_{\max}$ to $v_n \rightarrow v_n + 1$

zwalnianie: d_n do następnego pojazdu, s_n do następnego skrzyżowania:

- czerwone: jeśli $\min(d_n, s_n) \leq v_n$ to $v_n \rightarrow \min(d_n, s_n) - 1$
- zielone:
 - $d_n < s_n$: $v_n \rightarrow d_n - 1$ jeśli $d_n \leq v_n$
 - $d_n \geq s_n$: $v_n \rightarrow \min(v_n, d_n - 1)$ o ile $\min(v_n, d_n - 1) \times \tau > s_n$, gdzie τ jest liczbą kroków jakie pozostały do zmiany świateł na czerwone

losowanie: jeśli $v_n > 0$ to $v_n \rightarrow v_n - 1$ z prawdopodobieństwem $0 \leq p \leq 1$

ruch: każdy pojazd porusza się o v_n komórek w kierunku swojego ruchu, tj:

- $x_n \rightarrow x_n + v_n$ dla poruszających się na E
- i $y_n \rightarrow y_n + v_n$ dla poruszających się na N

Aplikacja Mateusz Gawron

http://orion.fis.agh.edu.pl/~malarz/AK/5_ruch_uliczny_2D_Mateusz_Gawron/

Realizacje modeli dla okolic pawilonu D-10

Aplikacja, mgr inż. Rafał Socha

http://www.zis.agh.edu.pl/app/MSc/Rafal_Socha/

Aplikacja, mgr inż. Kamil Nowak

http://www.zis.agh.edu.pl/app/MSc/Kamil_Nowak/

- [1] B. Chopard, P. O. Luthi, and P.-A. Quelo. “Cellular automata model of car traffic in a two-dimensional street network”. *Journal of Physics A* **29.10** (1996), 2325.
- [2] M. Wołoszyn. “Modelowanie zaburzeń przepływu dyskretnego ośrodka w obecności przeszkód”. M.Sc. thesis. AGH University of Kraków, 2000.
- [3] K. Nagel and M. Schreckenberg. “A cellular automaton model for freeway traffic”. *Journal De Physique I* **2** (1992), 2221–2229.
- [4] D. Chowdhury and A. Schadschneider. “Self-organization of traffic jams in cities: Effects of stochastic dynamics and signal periods”. *Physical Review E* **59** (2 1999), R1311–R1314.