Západočeská univerzita v Plzni

Agent-based-modeling a

Axelrodův model šíření kultury

Semestrální práce KMA/MM

Anežka Švandová, Jan Půlpán

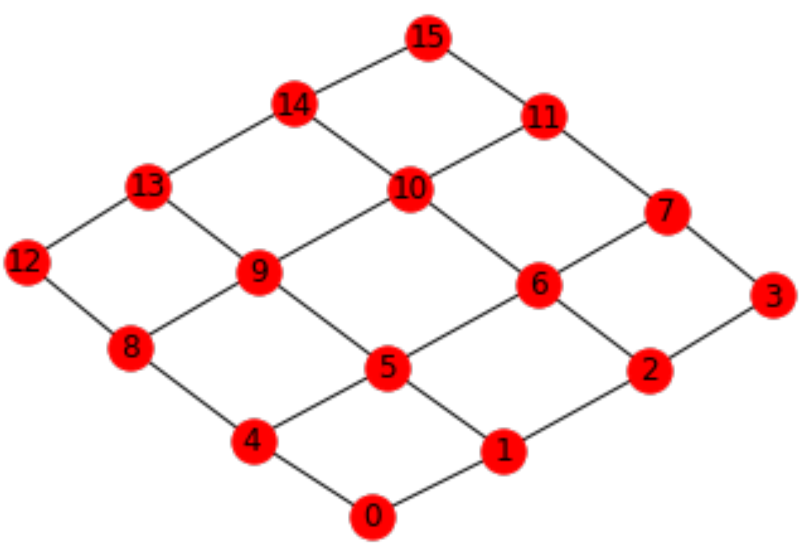
Co je Agent-based-modeling (ABM)

- metoda simulace chování "společenství" agentů
- agentem rozumíme samostatnou entitu, jejíž chování určují sousední agenti případně i okolní prostředí
- ABM zkoumá kromě ekvilibria (klidových stavů) i vývoj celého systému
- označujeme jako modelování odspoda nahoru - z chování jednotlivých agentů odvozujeme chování systému

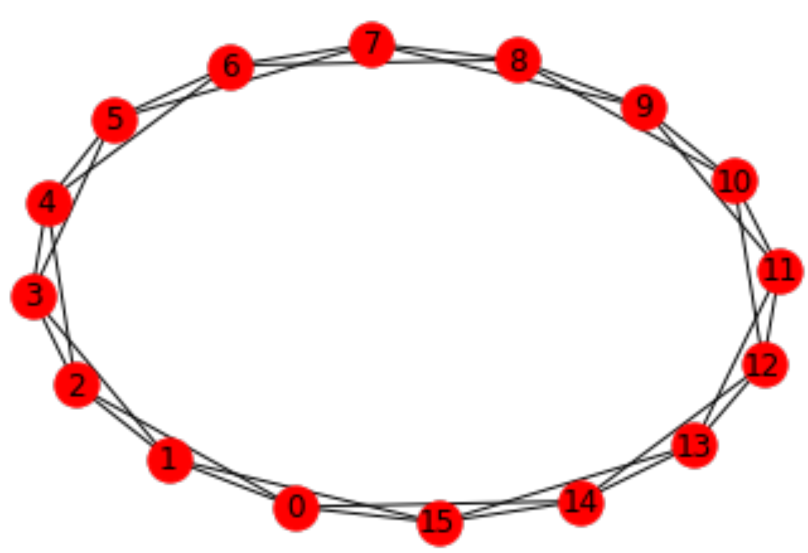
Propojení agentů

- agenti jsou propojeni do sítě
- různé typy sítí: mřížka, malý svět, náhodný graf apod.

Mřížka



Malý svět



- v rámci sítě mohou agenti i cestovat

Obecná implementace

- lze popsat pomocí Markovova procesu, případně řetězce - jen pro malé sítě
- nejčastěji se zkoumá pomocí simulací
- existují nástroje: NetLogo, Repast, MASON, Mesa

Obecná implementace

- simulace probíhá v diskrétním čase po jednotlivých iteracích
- síť je reprezentována neorientovaným grafem
- vrcholy = agenti, hrany = jejich propojení
- výpočetní čas může být extrémní, záleží na implementaci a také typu sítě
- my jsme zvolili obecnou a proto pomalou implementaci

Axelrodův model šíření kultur [1]

> "If people tend to become more alike in their beliefs, attitudes, and behavior when they interact, why do not all such a differences eventually dissapear?"

- agenti jsou popsáni seznamem features a jejich možných traits
- dimenzi kultury (počet features) značímě F, počet traits q
- agenti jsou uspořádáni do mřížky
- každý kromě krajních má 4 sousedy

[1] Axelrod R, (1997) The dissemination of culture - A model with local convergence and global polarization. Journal of Conflict Resolution 41(2), pp. 203-226.

Features (česky vlastnosti) - např. jazyk, náboženství, styl oblékání

Axelrodův model šíření kultur

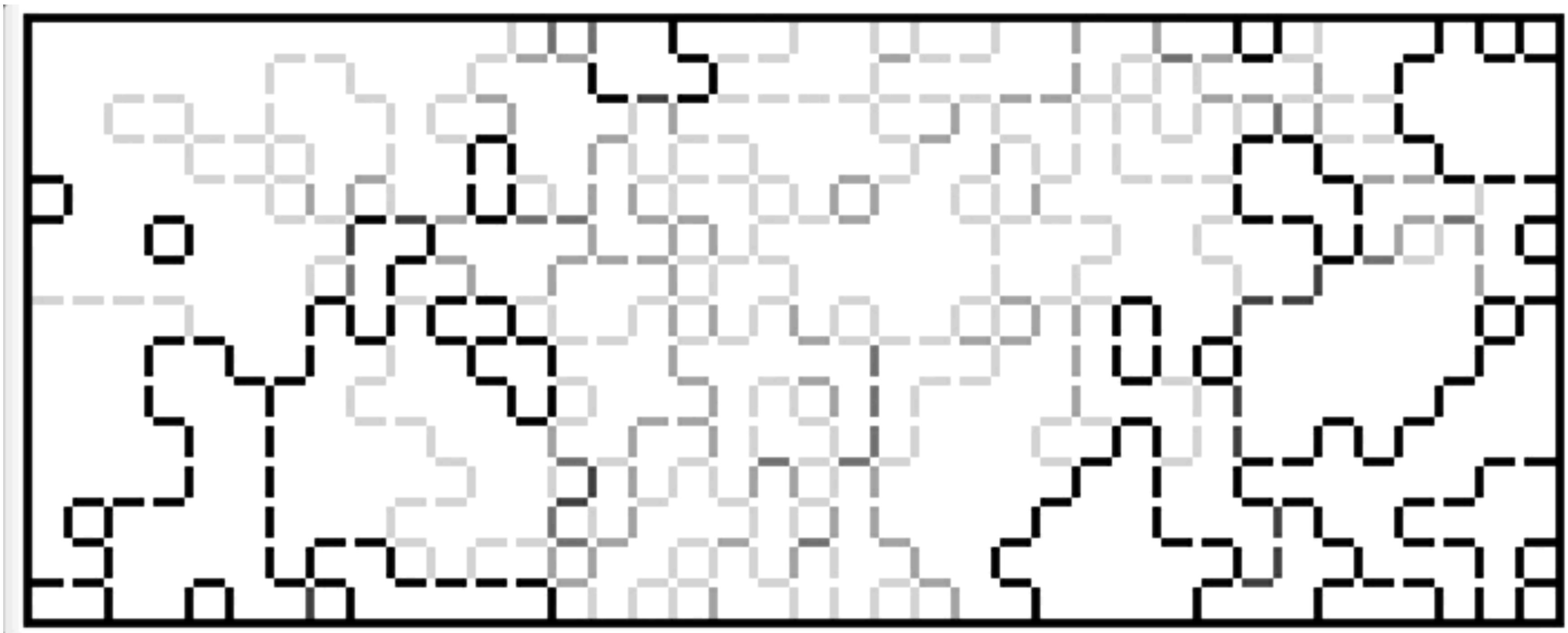
- síť inicializujeme náhodnými hodnotami z uniformního diskrétního rozdělení
$$X(x) = [X^1(x), X^2(x), \dots, X^F(x)] \text{ kde } X^i(x) \in \{1, 2, \dots, q\}$$
$$\text{pro } i = 1, 2, \dots, F.$$
- sousední agenti interagují s pravděpodobností dannou funkcí similarity
$$f(x, y) = \frac{1}{F} \sum_{i=1}^{F} \delta_{X^i(x),\, X^i(y)}, \quad \text{kde} \quad \delta_{k,l} = \begin{cases} 0 \text{ pro } k \neq l \\ 1 \text{ pro } k = l \end{cases}$$
- agenti neinteragují pokud $f(x, y) = 0$ nebo $f(x, y) = 1$

- f(x,y) = 0 znamená že nemají nic společného
- f(x,y) = 1 znamená že nemají všechno společné a nemají co synchronizovat

Axelrodův model šíření kultur

Opakuj pokud je možná interakce, nebo není dosaženo maximálního počtu iterací:

1. Vyber náhodně aktivního agenta x a jeho náhodného souseda y
2. Agenti interagují s pravděpodobností $f(x, y)$. Pokud interagují, předá soused y aktivnímu agentovi x jednu náhodně vybranou vlastnost X^i , ve které se neshodují.



Axelrodův model šíření kultur

- simulace vytváří **kulturní regiony**
  - skupiny sousedních agentů s $f(x, y) = 1$

Dospěje model k jednotné kultuře? Na čem je to závislé?

Naše simulace

- jednoduchá knihovna v Pythonu
- implementuje mřížku a malý svět (včetně náhodných propojení)
- síť popisujeme maticí sousednosti M_{adj} , stav modelu pomocí matice global similarity M_{gs}
- je poměrně pomalá

- M_{adj} ... 1, pokud jsou agenti sousedé
- M_{gs} ... obsahuje hodnoty funkc similarity pro všechny sousední agenty

Naše simulace

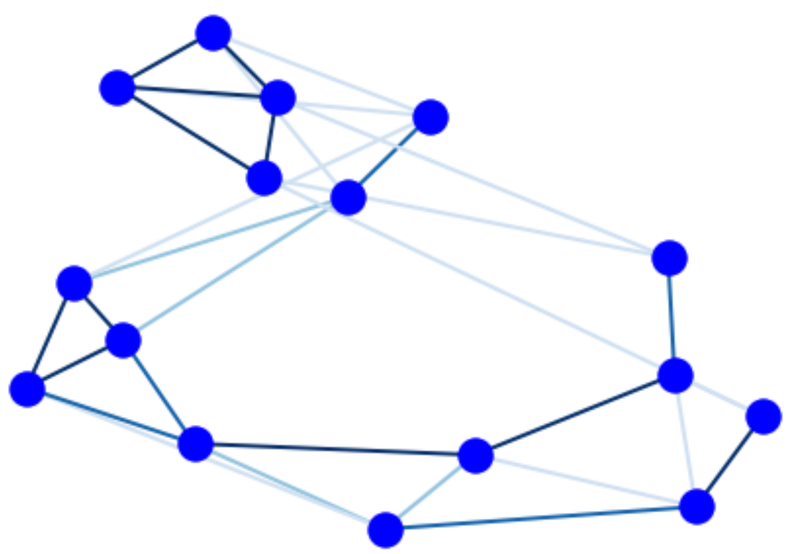
In [60]:

```
from culture import Culture, Simulation

c1 = Culture(16, 0, 5, 5, 50000, random_con=False)
c1.simulate(save_progress=200)
c1.analyze()
```

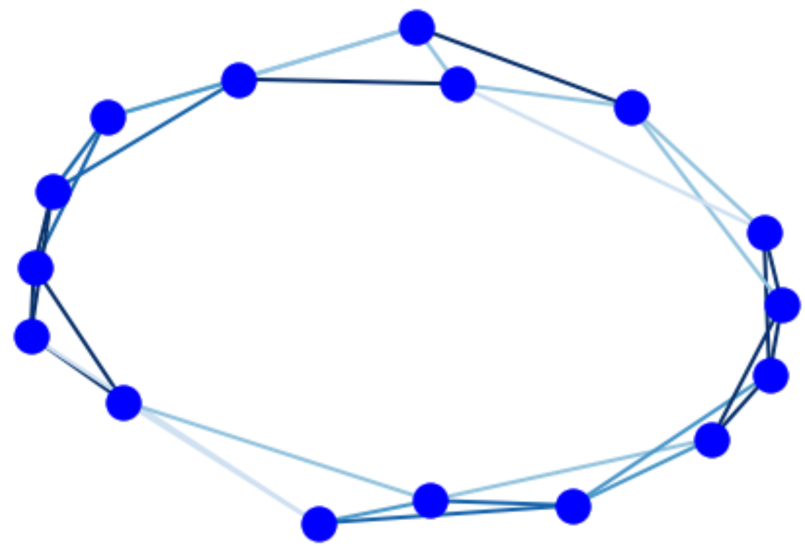
```
Počet agentů: 16 (f:5, t:5)
Počet všech propojení: 64
Počet propojení která mohou interagovat (0 < similarity < 1): 0
Počet komponent/kultur: 1

Maximální počet iterací: 50000
Model konvergoval v 707 iteracích
```

Naše simulace

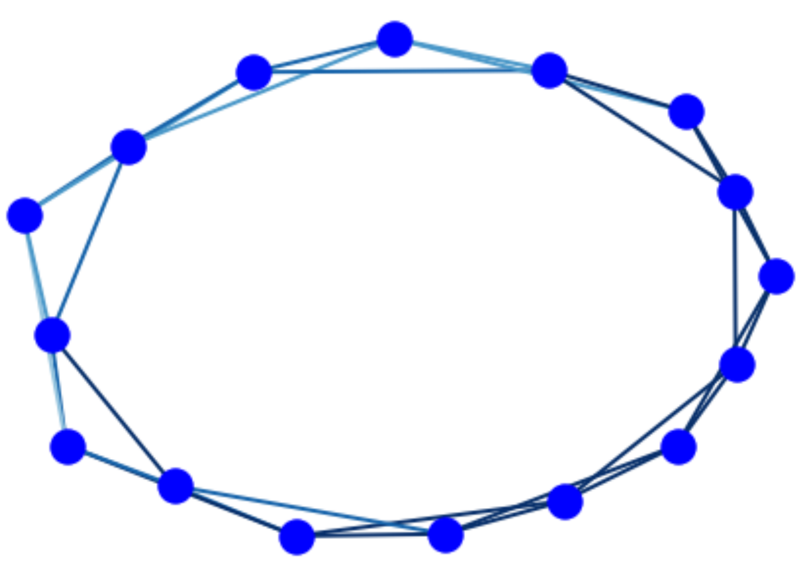
200 iterací



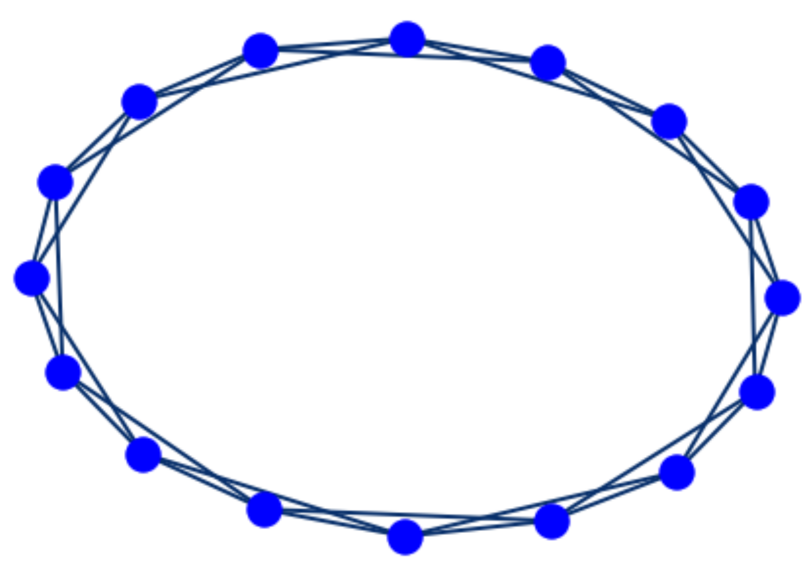
400 iterací



600 iterací



ekvilibrium



Počet stabilních regionů

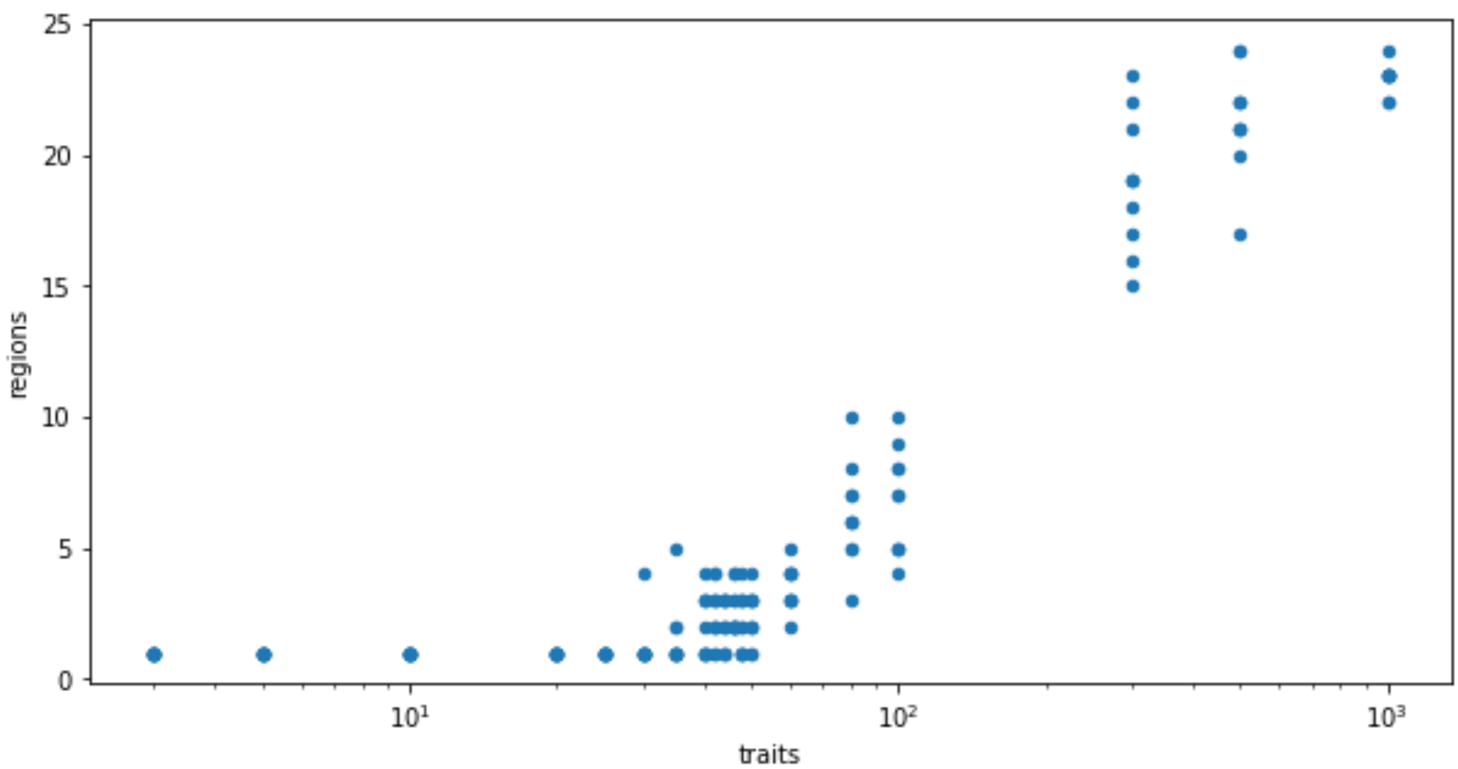
Na čem je závislý počet stabilních regionů?

- dělali jsme sadu simulací s parametry:
  - počet features F
  - počet traits q
  - velikost sítě (počet agentů)
  - tvar sítě (mřížka vs. malý svět)

Počet features F a traits q

In [61]:

```
sQ1 = Simulation(a_cnt=[25,], c_net=1, f_cnt=[5,20,50],
                t_cnt=[3,5,10,20,25,30,35,40,42,44,46,48,50,60,80,100,300,500,1
000],
                sim_cnt=10, maxiter=100000, file='simul_q25_mrizka.csv')
sQ1.traits_regs_plot(a_cnt=25, f_cnt=20)
```

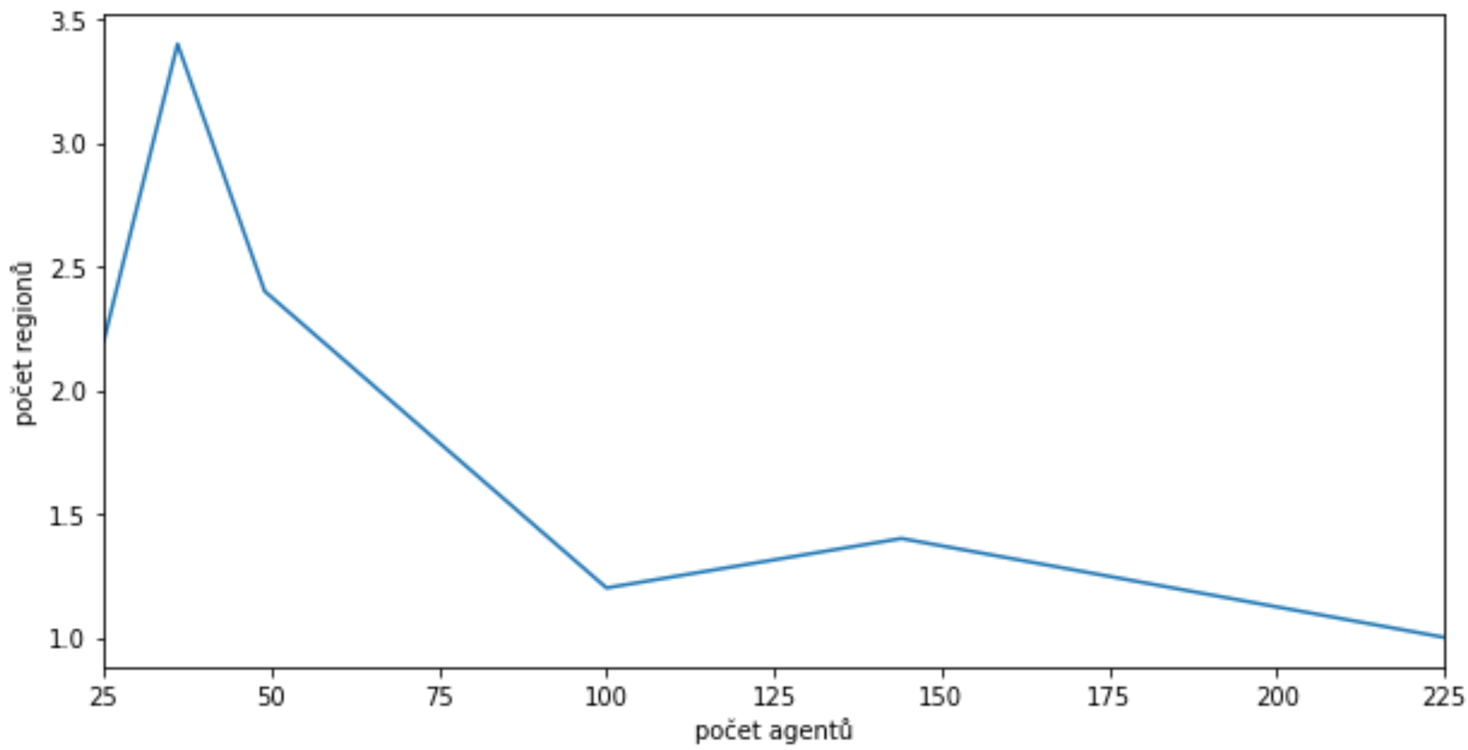


Od určitého kritického bodu q_c počet regionů roste až každý agent vytvoří svůj vlastní region.

Velikost sítě

In [27]:

```
s1 = Simulation(a_cnt=[25, 36, 49, 100, 144, 225], c_net=1,
               f_cnt=[2, 6, 10], t_cnt=[2, 6, 10, 14, 18],
               sim_cnt=5, maxiter=500000, file='simulations_lattice.csv')

s1.agents_regs_plot(6,14)
```



Počet stabilních regionů klesá s rostoucí velikostí sítě.

Výsledky

- stupeň polarizace = počet rozdílných kulturních regionů
- polarizace se zvětšuje pro kultury menší dimenze s velkým rozsahem traits
  - *Toto ukazuje, že složitější rozdíly, které by se měly vyřešit sociální interakcí jsou ty, kde problémů je málo, ale je hodně možností jak je vyřešit.*
- polarizace se snižuje pro větší sítě

Výsledky

- výsledky se výrazně neliší pro mřížku nebo malý svět
  - v obou se projevuje vliv kritického bodu q_c na polarizaci
  - u malého světa pokud roste podíl náhodných vzdálených propojení, roste i q_c
  - malý svět tíhne více ke globalizaci

Otázky ... ?

Děkujeme za pozornost.

Algebraizace modelu

- Hinkelmann, Murrugarra a Jarrah [2] navrhli rozšíření ODD protokolu popisující ABM model pomocí polynomů
- nechť $\mathbb{F}$ je stavový prostor tvořící těleso
- stav celého systému je vektor hodnot (jedna pro každého agenta x_i) z $\mathbb{F}$
- pro každého agenta x_i definujeme lokální přechodovou funkci $f_i : \mathbb{F}^n \longrightarrow \mathbb{F}$, vstupem jsou stavy sousedních agentů
- celý systém popíšeme funkci $f = (f_1, \ldots, f_n) : \mathbb{F}^n \longrightarrow \mathbb{F}^n$, kde všechny $f_i \in \mathbb{F}[x_1, \ldots, x_n]$ jsou polynomy.

[2] Hinkelmann, F., Murrugarra, D., Jarrah, A.S. et al. A Mathematical Framework for Agent Based Models of Complex Biological Networks, Bull Math Biol (2011) 73: 1583. https://doi.org/10.1007/s11538-010-9582-8

Příklad: Conway's Game of Life

- čtvercová síť agentů, $\mathbb{F}_2 = \{\text{mrtvý,živý}\}$
- každý agent má 8 sousedů (vlevo/vpravo, nahoře/dole, diagonálně)
- platí pravidla:
  - každý živý agent s méně než 2 živými sousedy umírá
  - každý živý agent s více než 3 živými sousedy umírá
  - každý živý agent s 2 nebo 3 živými sousedy zůstává naživu
  - každý mrtvý agent s přesně 3 živými sousedy obživne

Příklad: Conway's Game of Life

- definujeme funkci

$$f_x(x, x_1, \ldots, x_8) = \begin{cases} 0 : \sum_{i=1}^{8} x_i < 2 \\ 0 : \sum_{i=1}^{8} x_i = 2 \text{ a } x = 0 \\ 1 : \sum_{i=1}^{8} x_i = 2 \text{ a } x = 1 \\ 1 : \sum_{i=1}^{8} x_i = 3 \\ 0 : \sum_{i=1}^{8} x_i > 3 \end{cases}$$

- algebraický model má tvar

$$f = (f_1, \ldots, f_{n\times n}) : \mathbb{F}_2^{n\times n} \longrightarrow \mathbb{F}_2^{n\times n}, x_i \mapsto f_i(x_1, \ldots, x_{n\times n})$$

- stabilní stavy modelu získáme vyřešením soustavu polynomiálních rovnic

$$f_i(x) - x_i = 0,\ \ i = 1 \ldots n \times n$$

- kde n je dimenze čtvercové mřížky

Příklad: Conway's Game of Life

- na mřížce 4×4 existuje celkem $2^{16} = 65536$ stavů
- model je popsán 16 rovnicemi
- vhodné spíše pro menší sítě, počet stavů a rovnic rychle roste

Takovýto systém lze vyřešit poměrně snadno. Pro větší mřížky stavový prostor rychle narůstá a stejně tak i počet rovnic.

Děkujeme za pozornost.