

# Рачунарска интелигенција

Интелигенција ројева

Александар Картељ

[kartelj@matf.bg.ac.rs](mailto:kartelj@matf.bg.ac.rs)

Ови слајдови представљају прилагођење слајдова:  
Eric Bonabeau, O'Reilly emerging technology conference, 2003.

Датум последње измене: 18.12.2019.

# Пчеле



# Пчеле

- Кооперација у оквиру колоније
- Регулација температуре унутар саћа
- Ефикасност се постиже специјализацијом: подела рада у оквиру колоније
- Комуникација: извори хране се користе у складу са њиховом близином саћу и квалитетом

Oce



# Осе (2)

- Трагачи за храном, трагачи за водом, градителии
- Сложена гнезда
  - Хоризоналне колоне
  - Заштитне опне
  - Централни улазни хол

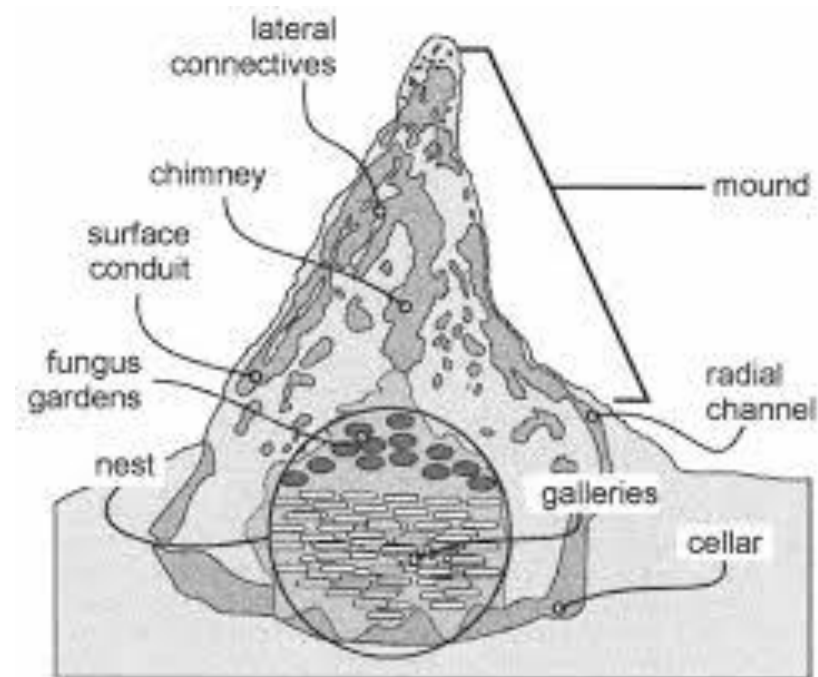


# Термити



# Термити (2)

- Конусни спољни зидови и вентилациони отвори
- Легла у централној кошници
- Спирални вентилациони отвори за хлађење
- Потпорни стубови



# Мрави





# Мрави (2)

- Праве „аутопутеве“ до места са храном тако што остављају траг феромона
- Формирају ланце својим телима у циљу прављења моста преко лишћа и слично
- Подела посла између више и мање битних мрави



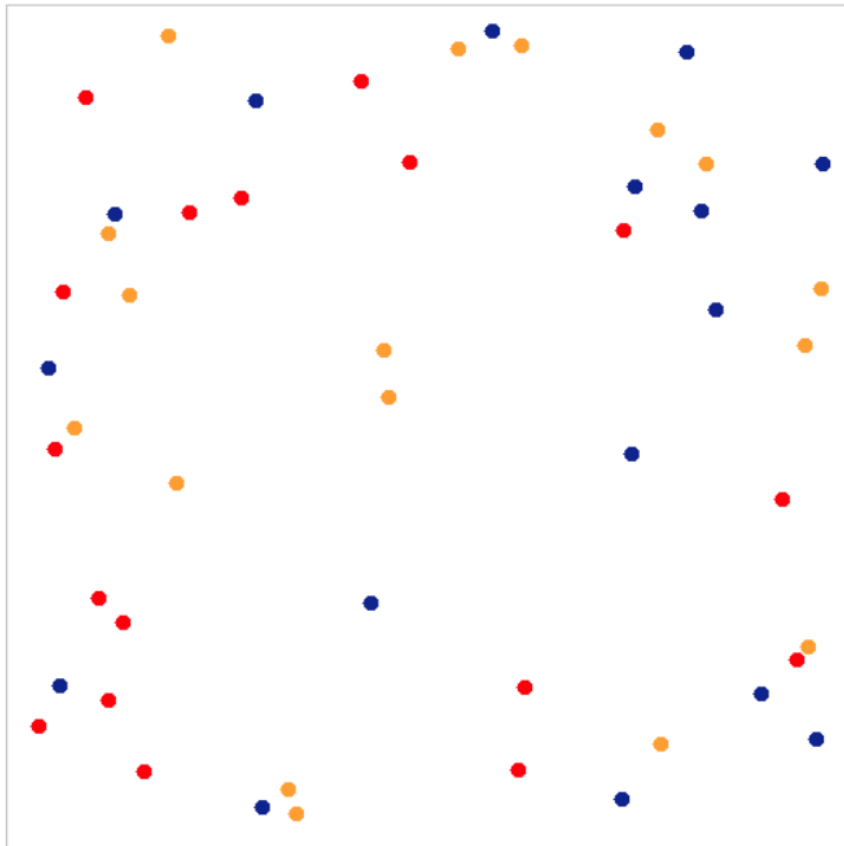
# Социјални инсекти - карактеристике

- **Флексибилност:**  
колонија савладава унутрашње претурбације, као и спољне изазове
- **Робусност:**  
задачи се завршавају иако неке индивидуе закажу
- **Децентрализованост:**  
не постоји централни механизам контроле нити концепт лидера
- **Самоорганизованост:**  
путеви до решења временом искрсну, нису унапред предефинисани

# Икоситем симулација

- На адреси <http://www.icosystem.com/labsdemos/the-game/> се може преузети једноставна симулација
- Циљ симулације је представљање популације у којој се сви чланови воде истим правилима

# Икосистем симулација (2)



## Aggressor Rule

A ---- B ---- X

Each agent has chosen two random opponents, A and B. A is the "aggressor" and B the "defender". As an agent, you try to have B in between A and yourself, so that B "protects" you from A.

What would happen if you were the defender, placing yourself between A and B? Switch to defender to see!

Switch to Defender

Show/Hide relationships

Population : 50



Sight : 22



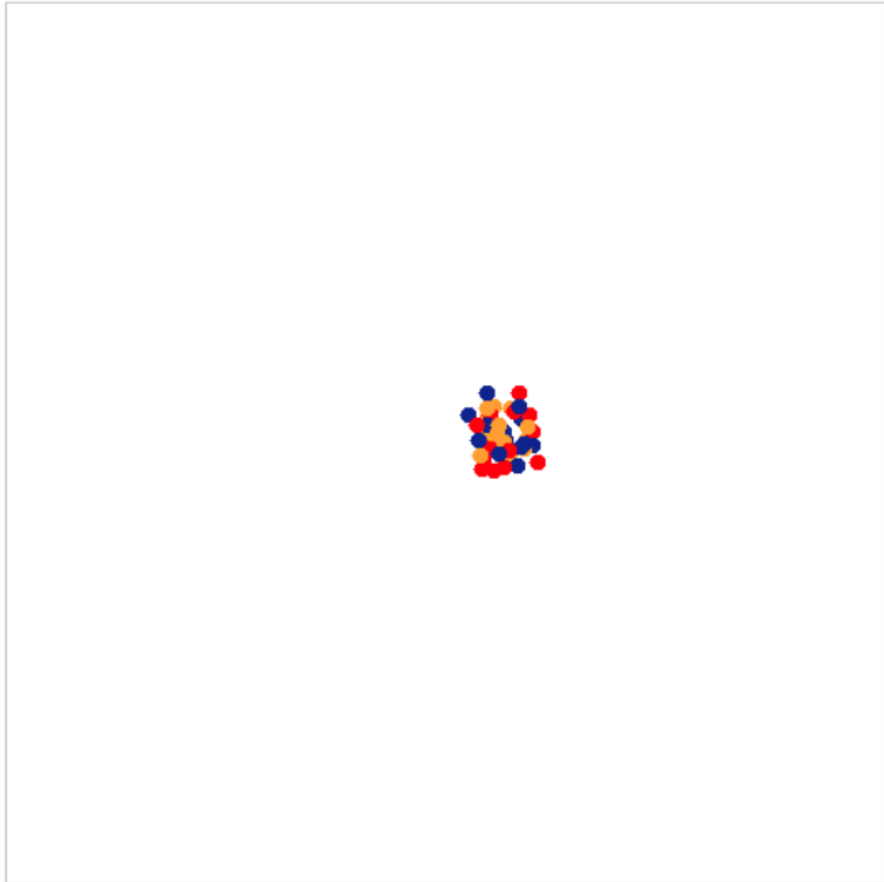
Simulation speed : 58



Restart

- Сваки агент X има додељена два насумична противника A и B
- Правило за X је да се поставља тако да B буде на путу између A и X

# Икосистем симулација (3)



## Defender Rule

A ---- X ---- B

Each agent X has chosen two random opponents, A and B. A is the "aggressor" and B the "defender". As an agent, you try to be between A and B, so that you "protect" B from A.

A small change in the rules has led to a completely different result.

Switch to Aggressor

Show/Hide relationships

Population: 50



Sight: 22



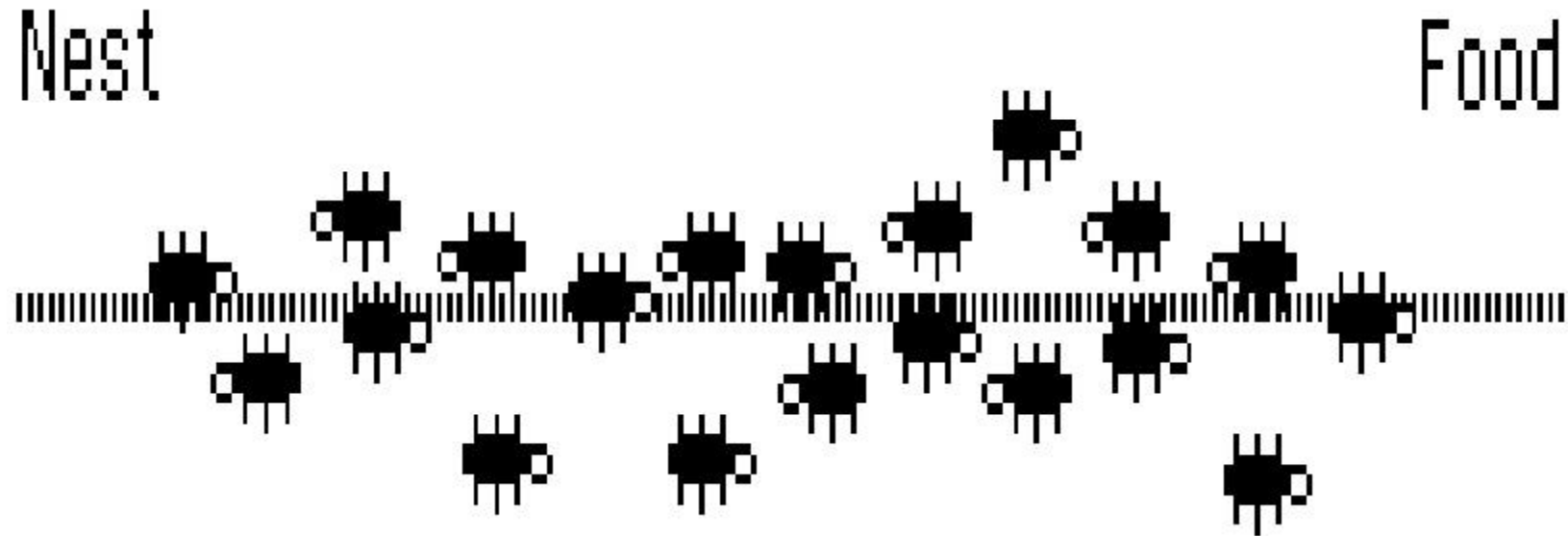
Simulation speed: 58



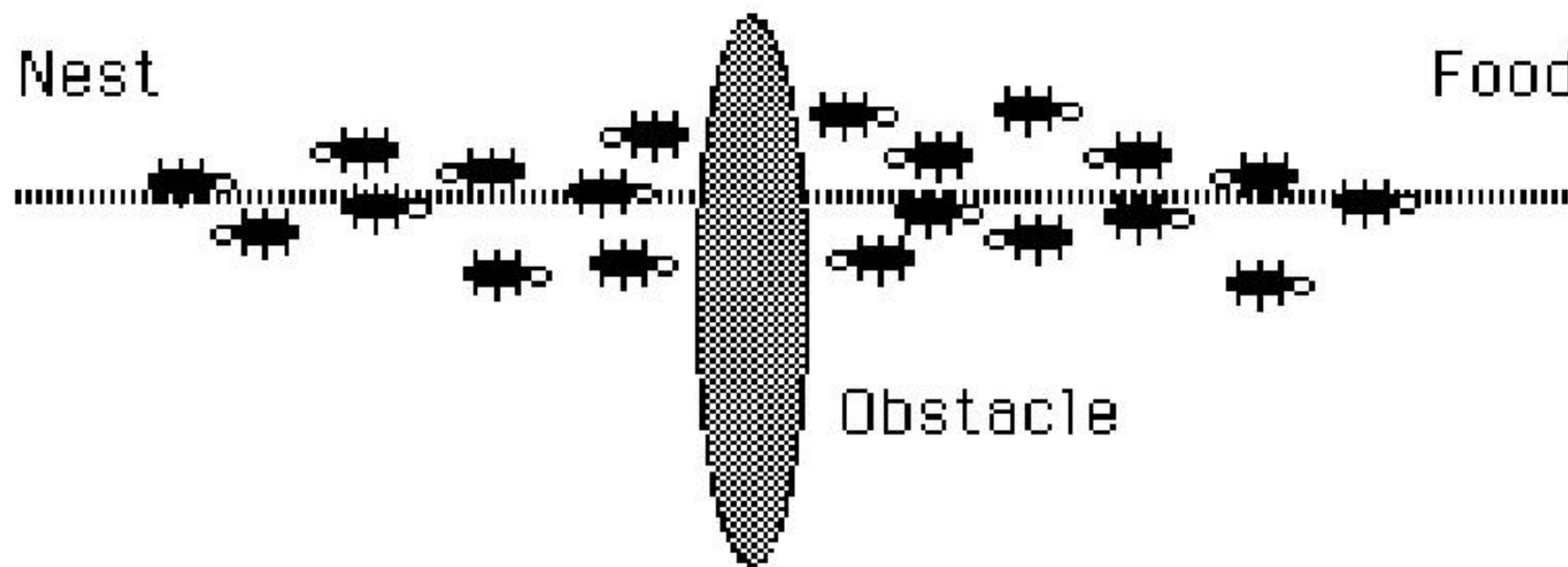
Restart

- Правило за X је промењено тако да се он сада поставља између A и B
- Видимо да је мала промена правила драстично утицала на колективно понашање!

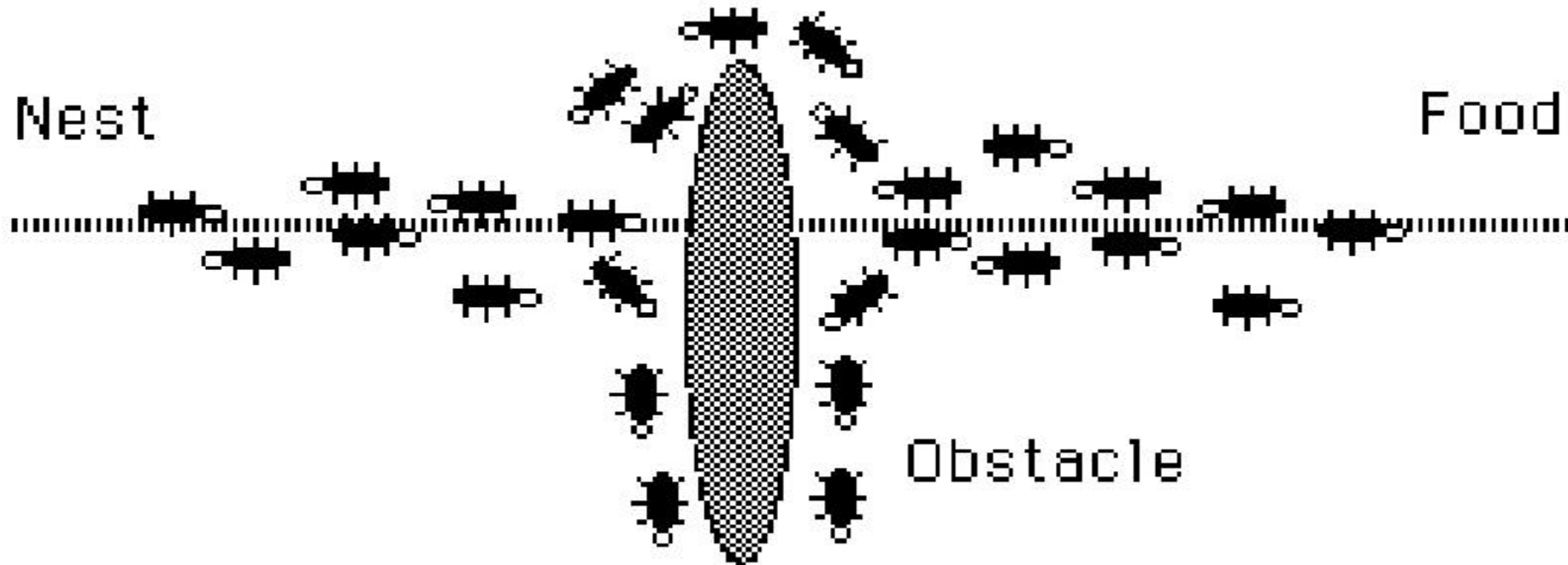
# Кретање мрава од гнезда ка храни



# Кретање након увођења препреке

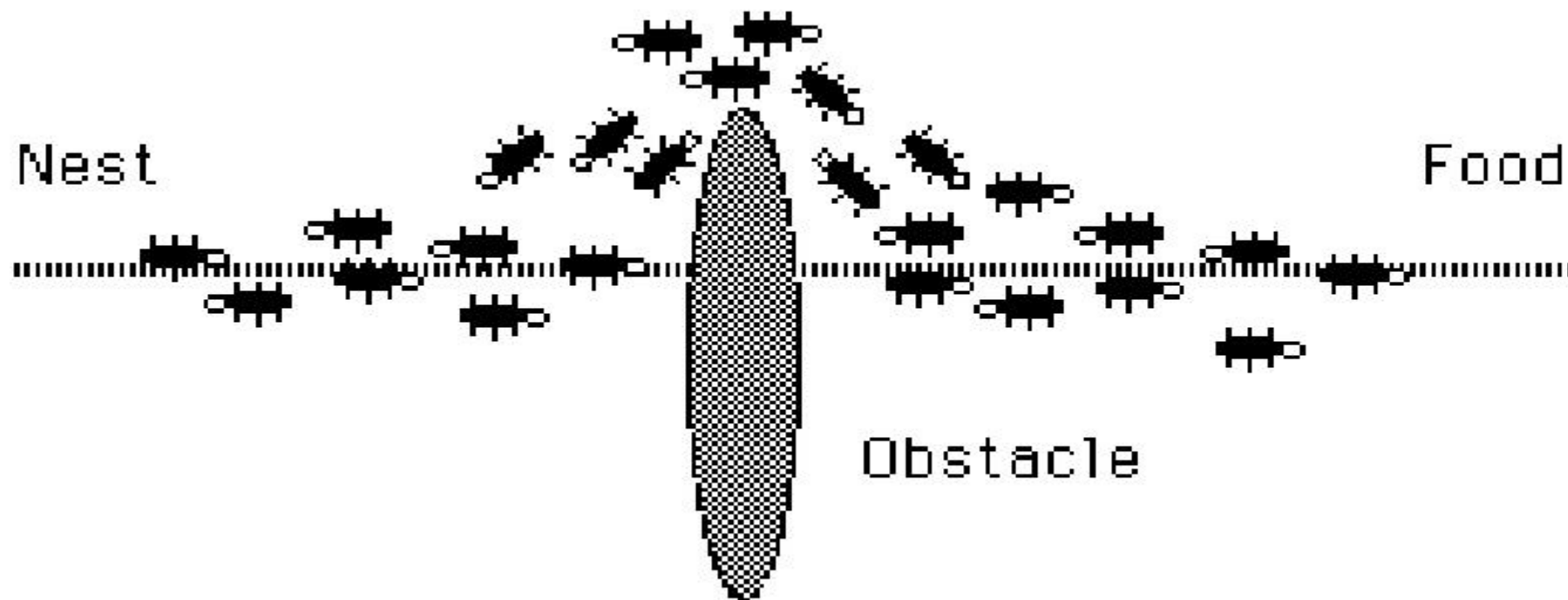


# Путања се проширује!

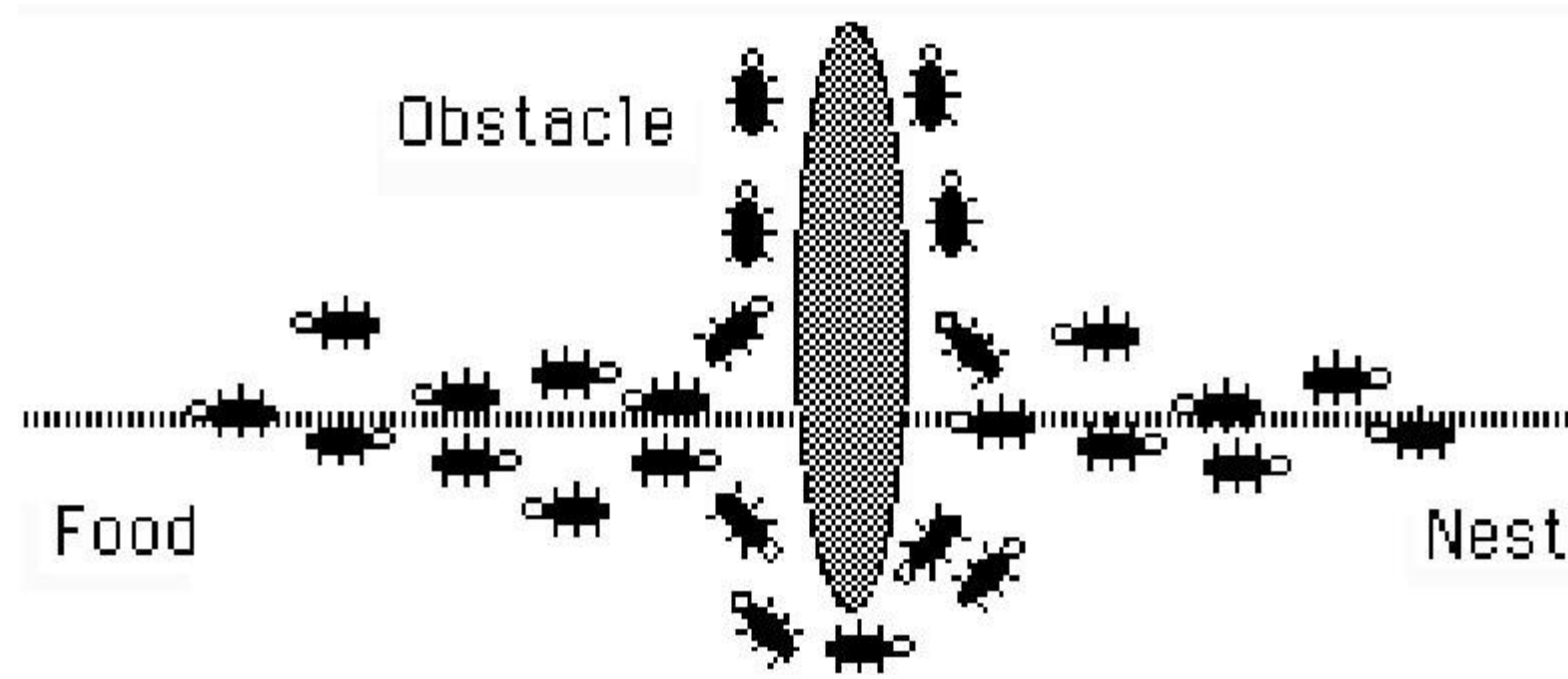




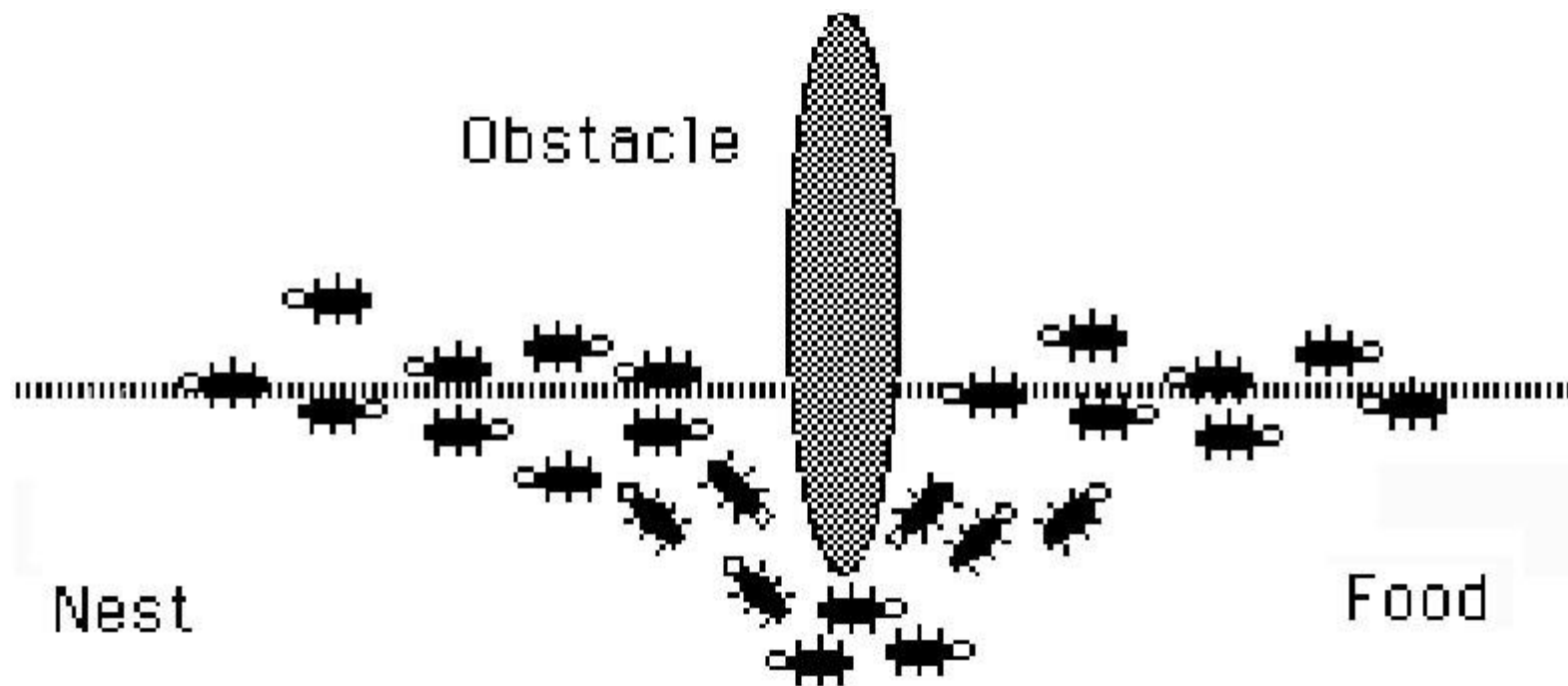
# Нови најкраћи пут



# Прилагођавање новој ситуацији (ретестирање актуелних путања)



# Прилагођавање новој ситуацији (2)



# Проблеми са интелигентним ројевима

- Овакви системи се тешко програмирају, јер је проблеме које решавамо тешко пребацити на језик интелигентних ројева
  - Решења искрсну унутар система
  - Решења су резултат понашања и интеракција између појединачних агената (јединки) унутар система

# Главни састојци за самоорганизацију

- Позитивна повратна спрега (енг. Positive Feedback)
- Негативна повратна спрега (енг. Negative Feedback)
- Појачавање и смањивање случајности
- Ослањање на међусобне интеракције агената

# Својства самоорганизације

- **Креирање структура**
  - Гнезда, трагови, социјално уређење (хијерархија)
- **Промене су резултат постојања вишеструких путева развоја**
  - Некоординисане & координисане фазе
- **Постојање више стабилних стања**
  - На пример два једнако добра извора хране

# Типови интеракције међу социјалним инсектима

- **Директна интеракција**

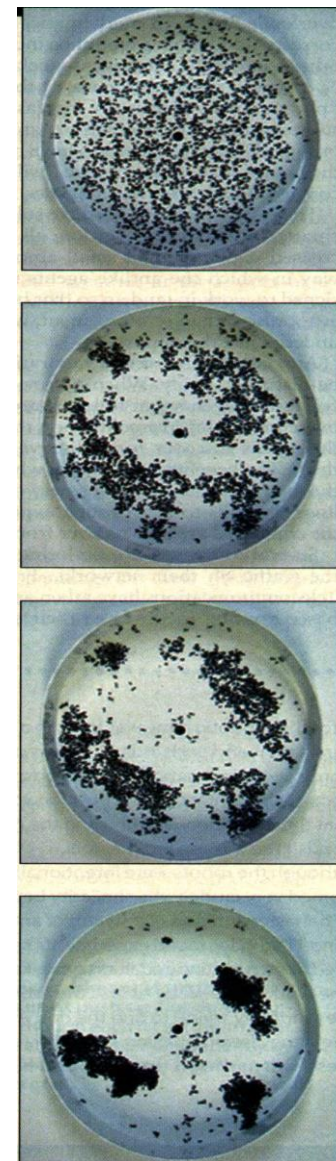
- Размена течности и хране, визуелни контакт, хемијски контакт (феромони)

- **Индиректна интеракција – стигмергија (енг. Stigmergy)**

- Индивидуално понашање мења окружење, које после изазива промену понашања других индивидуа

# Стигмергија

- На пример, код мрава, стигмергија елиминише потребу за директном међусобном комуникацијом
- Ефекат је да мрави спроводе координисане активности без обраћања један другом као што то раде људи





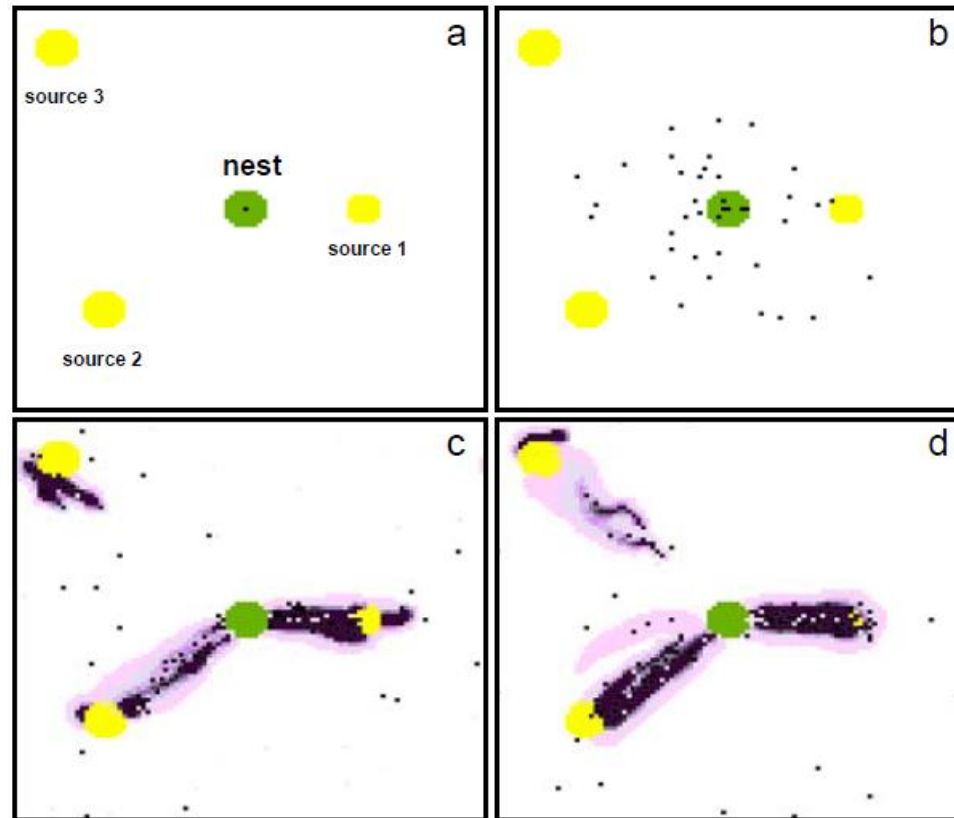
# Решавање проблема интелигенцијом ројева

- Неке од популарнијих примена су:
  - Оптимизација рута
  - Кластеровање и сортирање
  - Подела посла
  - Кооперативни транспорт
  - Изградња сложених структура (гнезда)

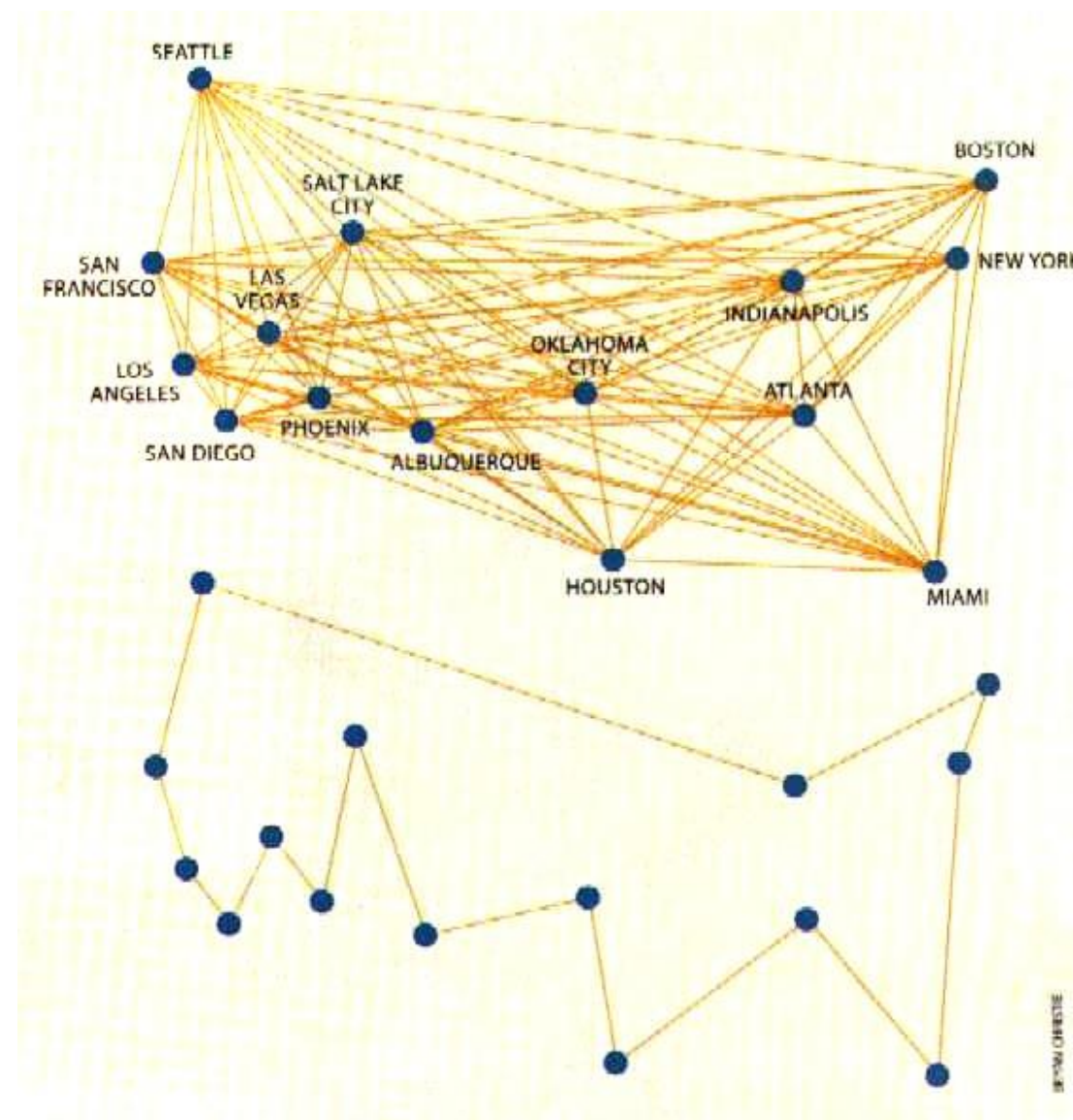
# Оптимизација рута мравима (TSP)

- $d_{ij}$  = удаљеност између градова  $i$  и  $j$
- $\tau_{ij}$  = количина феромона на луку  $(i,j)$
- $m$  агената (мрава), сваки гради независну путању
- У сваком кораку, вероватноћа одласка од града  $i$  до града  $j$  је сразмерна  $(\tau_{ij})^a(d_{ij})^{-b}$
- Феромон испарава по формули:  $\tau (1-\rho) \tau$

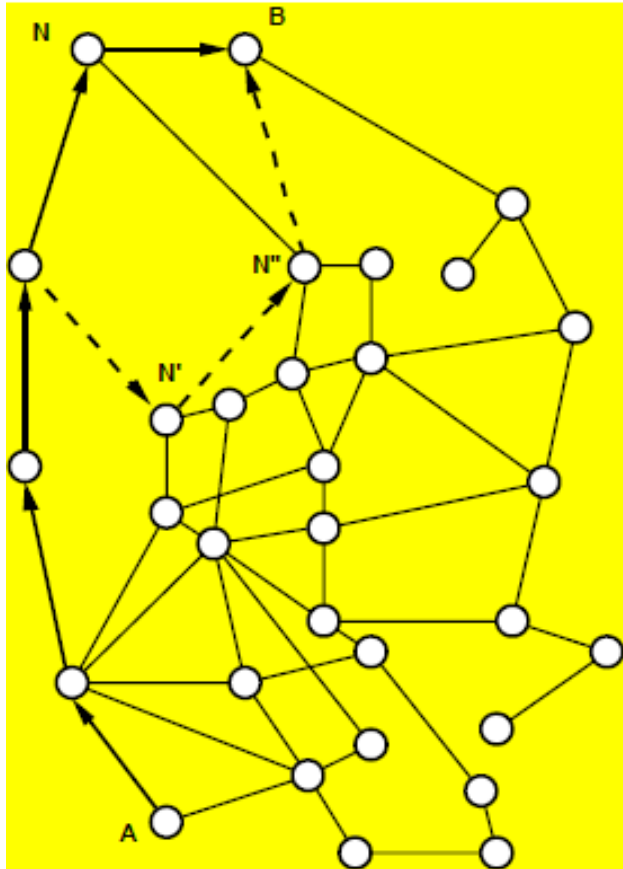
# Испаравање феромона



# TSP – скуп решења

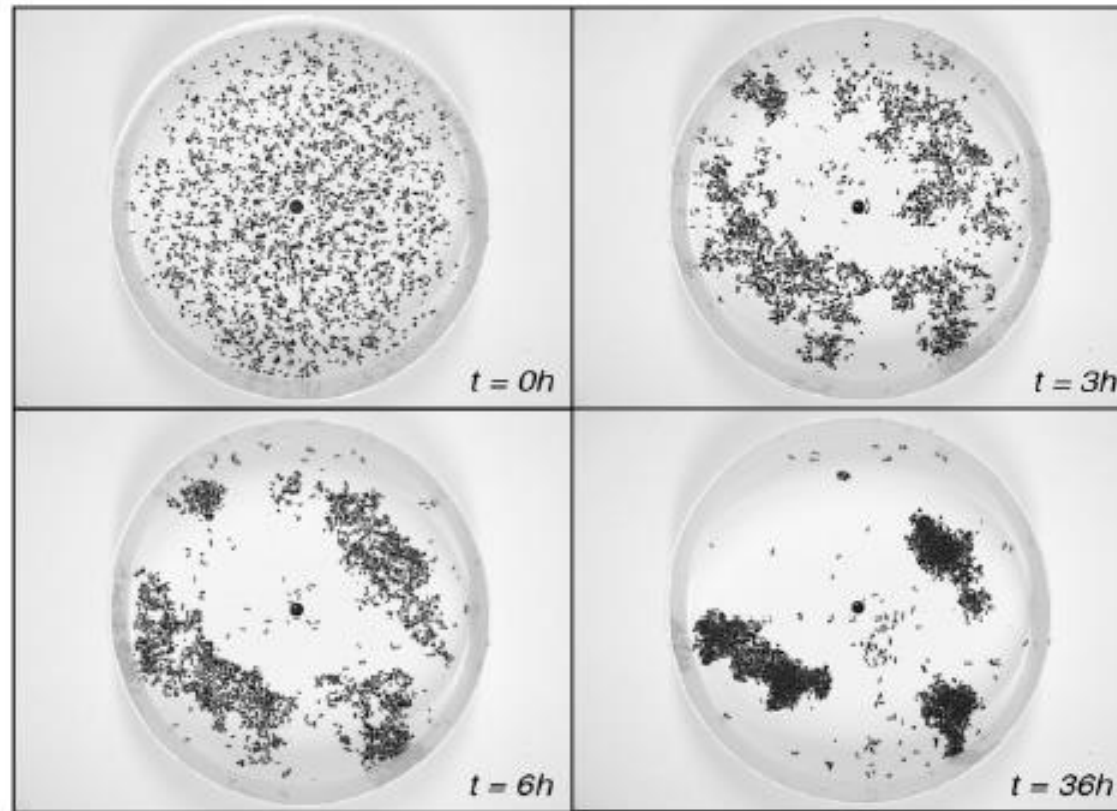


# Рутирање у комуникационим мрежама



- Агенти започињу свој пут од полазног чвора ка циљном
- Сваки агент ажурира своју табелу рутирања и комуницира са осталима
- Идеја:  
„Ако идеш ка циљном чвору коју у којем сам ја већ био раније, даћу ти савет куда да идеш“
- Утицај агента (валидност савета) се смањује са старењем
- Агенти се вештачки успоравају на загушеним чворовима (гранама) – симулација реалности

# Померање мрава у правцу хране (кластеровање)



# Поставка модела за кластеровање

- Изолована храна има већу шансу да буде покупљена од стране агента који не носи товар. Вероватноћа узимања товара:

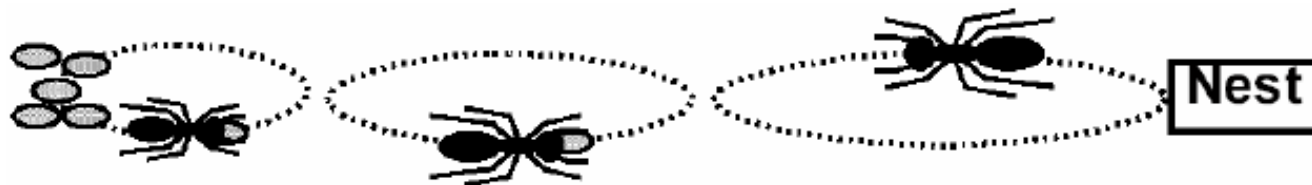
$$P_p = [k_1 / (k_1 + f)]^2$$

- Где је  $f$  густина хране у датој околини
- Агент који носи товар има већу шансу да испусти товар уколико у близини постоје и други товари:

$$P_d = [f / (k_2 + f)]^2$$

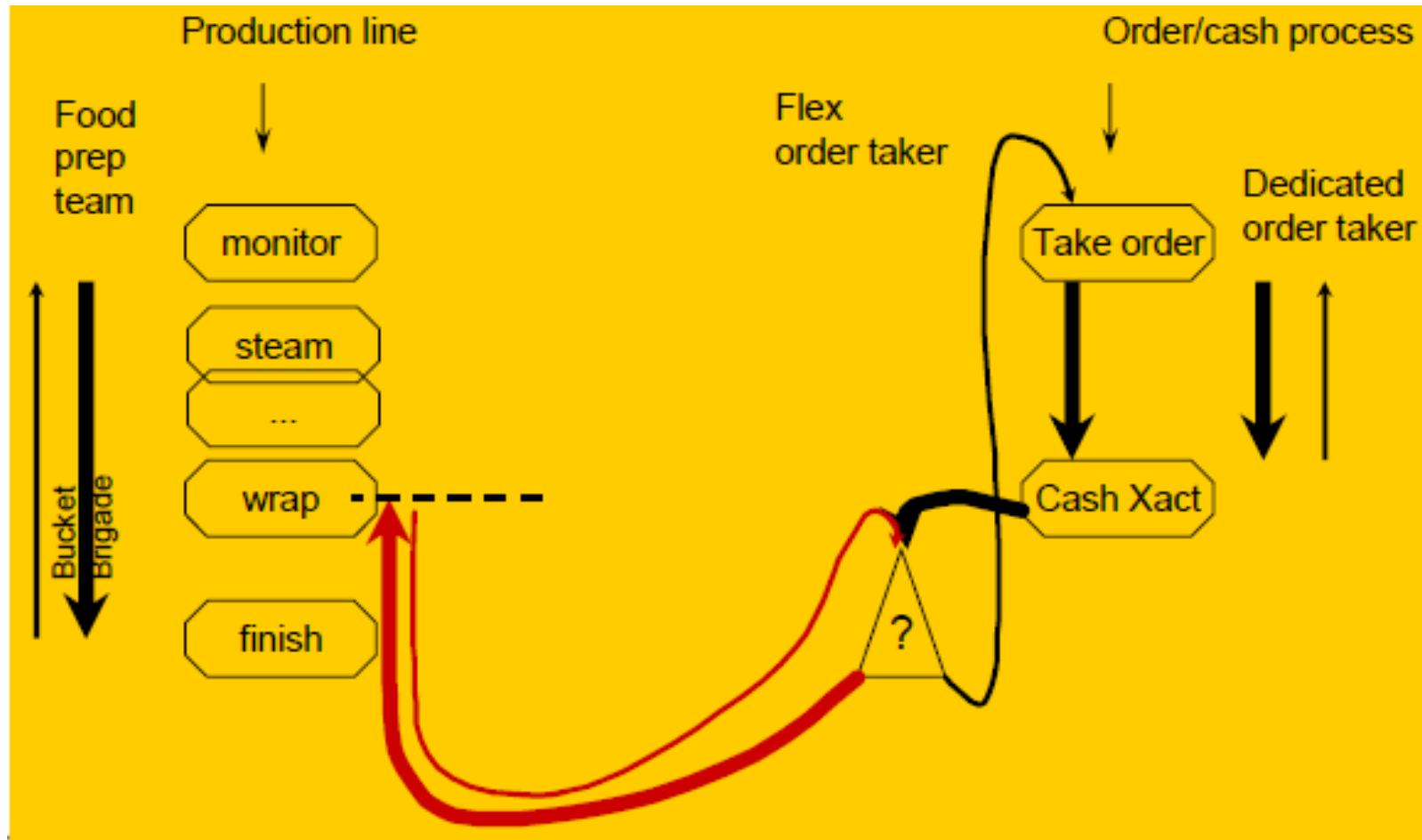
# Подела посла

- *Messor barbarous* мрави који живе у југоисточној Шпанији, доносе храну од извора ка гнезду у бригаама од до шесторо радника
- Најпре, најмањи мрави узимају храну са извора и носе је дуж пута док не сретну веће раднике
- Већи радници преузимају храну и носе је даље, док се мањи враћају назад до извора





# Слична организација у Таско Велл



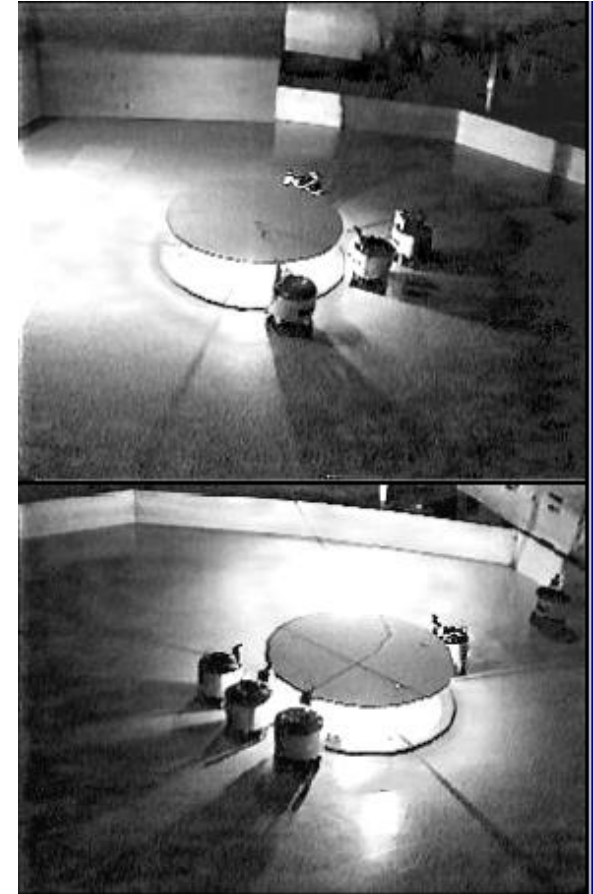
# Кооперативни транспорт

- Када појединачни мрав не може да носи велики комад хране, неколико мрава се активира
- Током почетног периода, мрави мењају позицију без очигледног напретка
- Након неког времена, успевају да помере плен и онда настављају да раде сличну активност која даје резултате



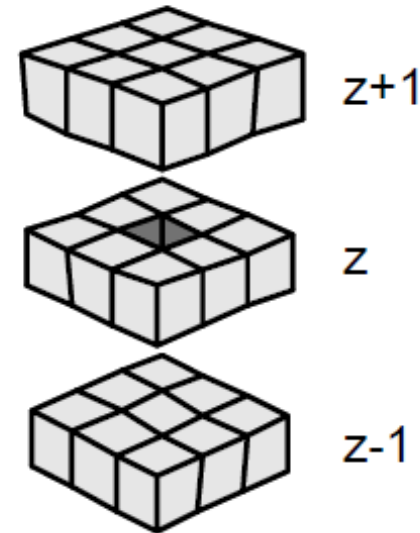
# Колективна роботика

- Научници су успели да репродукују колективну координацију са групом веома једноставних робота
- Роботи су заједнички гурали кутију
- Можда није најефикаснији начин, али је потенцијално флексибилан и могућ да се прилагођава најразличитијим околностима
  - Под условом да се правила дефинишу адекватно
- <http://www.cs.ualberta.ca/~kube/>

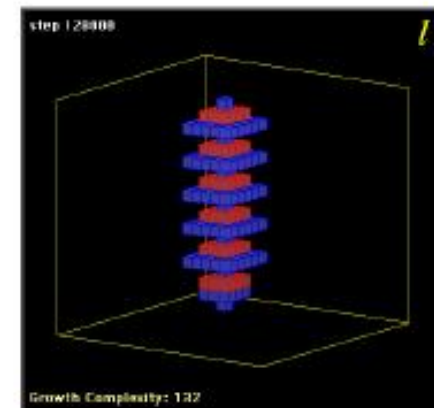
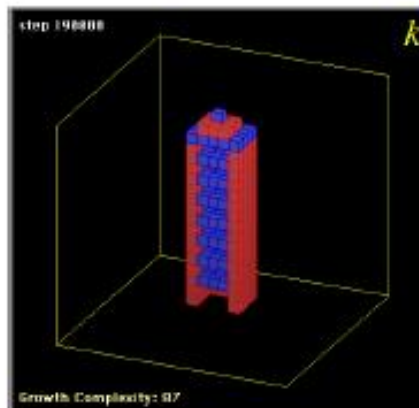
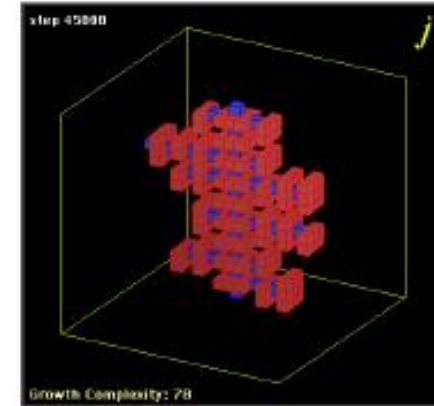
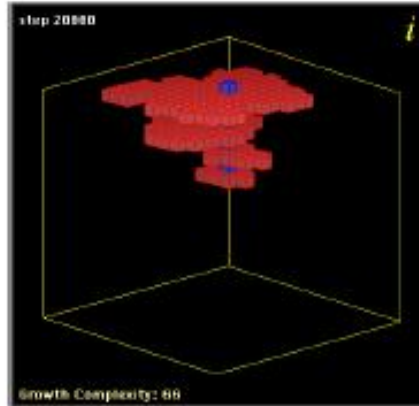
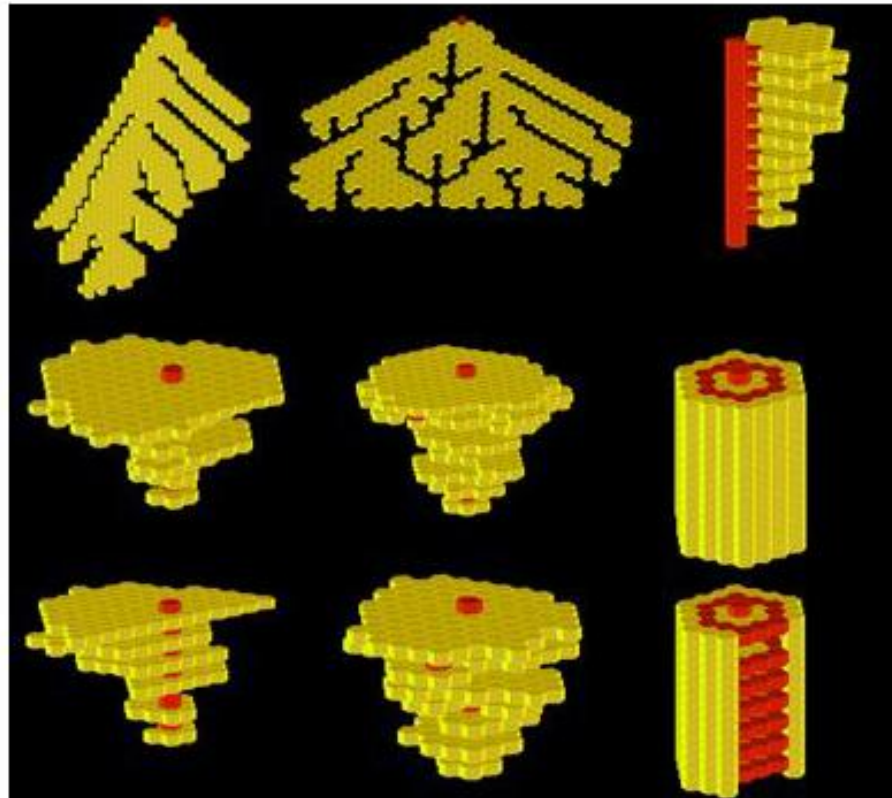


# Изградња сложених структура

- Агенти се померају насумично унутар 3D мреже
- Агент поставља ћелију (циглицу) сваки пут када пронађе стимулативну конфигурацију
- Постоји табела правила за стимулативне конфигурације
- Простор могућности стимулативних изведених конфигурација је огроман!



# Примери конфигурација добијених различитим правилима



# Нека правила могу бити опасна

- Забележен је случај да су мрави ратници применом правила међусобног праћења формирали „круг смрти“
- Круг је био обима 400 метара и сваком мраву је требало око 2 и по сата да га обиђе
- Током неколико дана, великих број мрава је угинуо, јер нису могли да изађу из круга
- Неколико мрава је ипак успело да се избави од стимулативног феромонског трага и да разбије круг

