

# Robotické roje



# Roj



⌘ ODKAZY:

⌘ **Swarm Robotics: Beware The Swarm (videos)**

<http://singularityhub.com/2009/06/05/swarm-robotics-beware-the-swarm/>

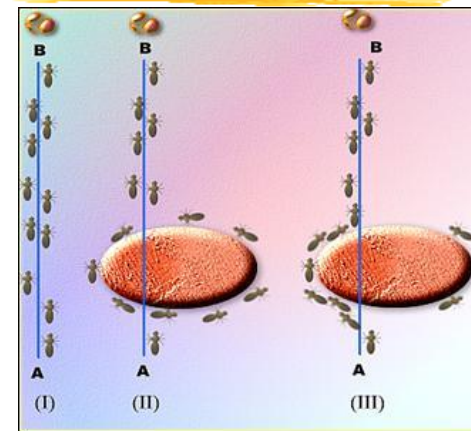
⌘ Companion slides for the book *Bio-Inspired Artificial Intelligence: Theories, Methods, and Technologies* by Dario Floreano and Claudio Mattiussi, MIT Press

# Obsah



1. Prečo rojová inteligencia?
2. Príklady využitia
  - i. Koordinovaný prieskum
  - ii. Premiestňovanie a zhlukovanie
  - iii. Rekonfigurovateľné roboty
3. zhrnutie

# Zdroje inšpirácie



# Príklad



# Hlavné znaky robotických rojov

- ⌘ Zložené z veľkého množstva jedincov
- ⌘ Jedince sú relatívne homogénne
- ⌘ Jedince sú relatívne jednoduché
- ⌘ Vzájomné interakcie medzi jedincami sú založené na jednoduchých pravidlách, ktoré využívajú iba lokálne informácie
- ⌘ Celkové správanie je výsledkom samoorganizácie



# Technologické motivácie



- ⌘ Robustnosť
- ⌘ Škálovateľnosť
- ⌘ Všestrannosť/flexibilita
- ⌘ Superlineárnosť
- ⌘ Nízka cena?

## 2i) Úloha – koordinovaný prieskum

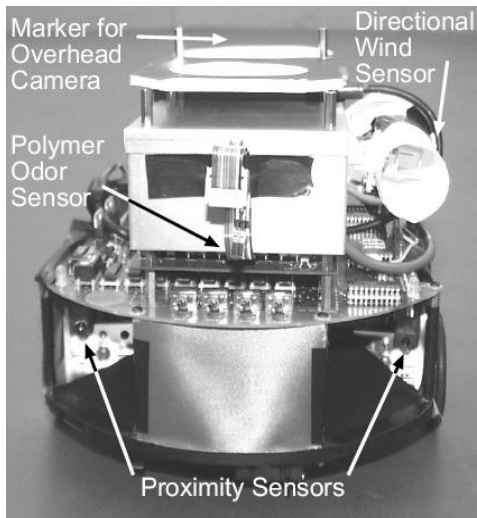


- A. Monitorovanie prostredia
- B. Feromónová robotika
- C. Reťazenie

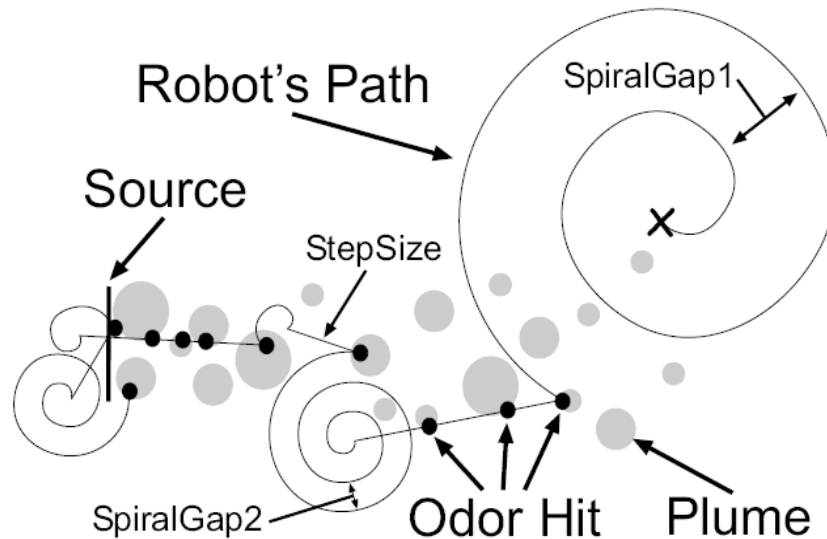


## 2i) A: monitorovanie

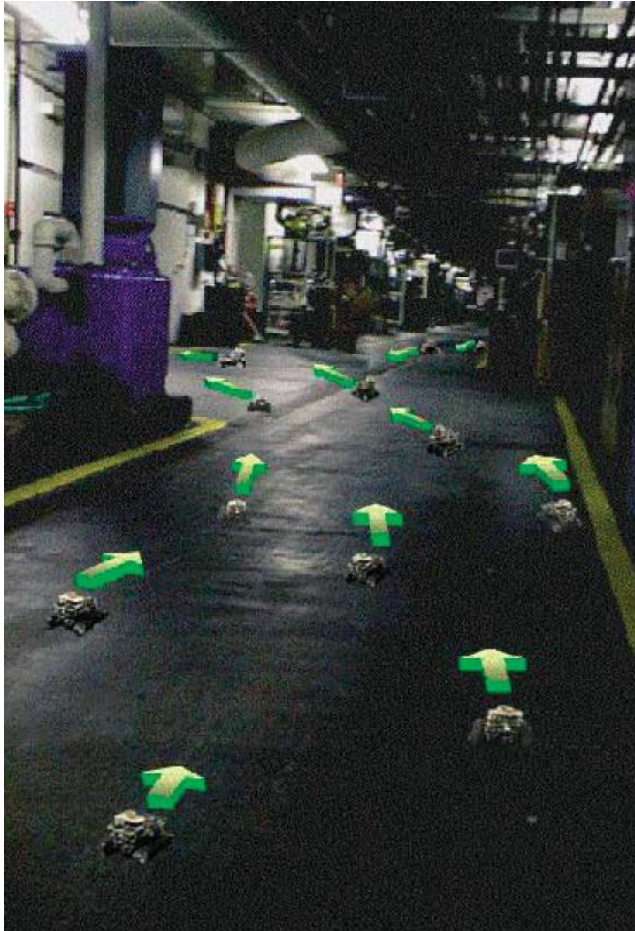
- ⌘ Robotický roj pre lokalizáciu zdroja vône/zápachu
- ⌘ Jednoduché správanie založené na detekcii zápachu a vetra
- ⌘ Komunikácia môže zlepšiť efektívnosť



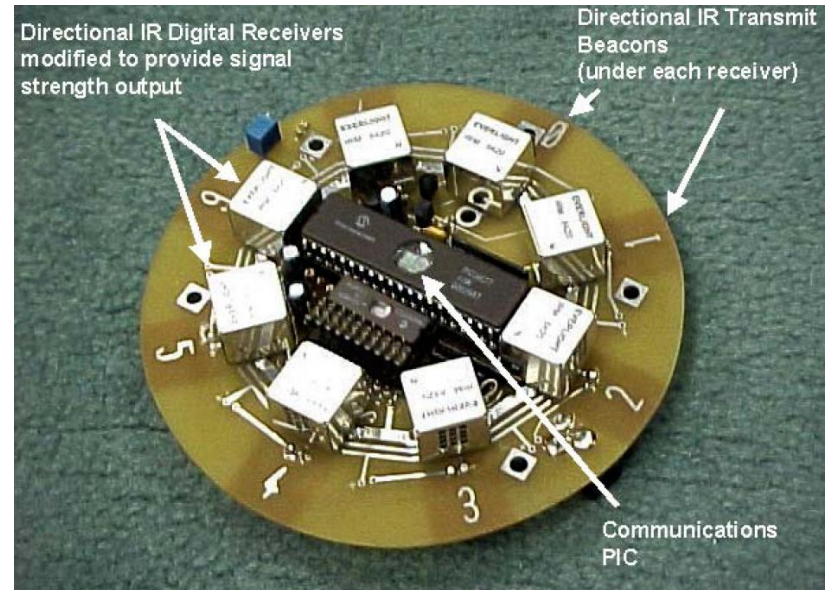
Hayes et al., 2002



## 2i) B: feromónová robotika



Payton et al., 2005



- ⌘ Rozptýlenie robotov
- ⌘ Gradient ako počet preskočení
- ⌘ Najkratšia cesta
- ⌘ Difúzia feromónu, odparovanie (slabnutie)

## 2i) B: feromónová robotika



### ⌘ Pokrytie grafu

Na začiatku sú  $u$ -hodnoty všetkých uzlov  $u(s)$  nulové

1.  $s :=$  štartovacia pozícia
2.  $s' :=$  susedný uzol  $s$  minimálnou  $u$ -hodnotou
3.  $u(s) := u(s)+1$
4. presuň sa na uzol  $s'$
5. pokračuj krokom 2

1. Zaručuje pokrytie súvislého grafu, ale v exponenciálnom čase!

## 2i) B: feromónová robotika

### ⌘ Pokrytie grafu

Na začiatku sú  $u$ -hodnoty všetkých uzlov  $u(s)$  nulové

1. 1.  $s := \textit{štartovacia pozícia}$

2. 2.  $s' := \textit{susedný uzol s minimálnou } u\text{-hodnotou}$

3. 3. varianty

a)  $u(s) := u(s)+1$

b)  $u(s) := u(s')+1$

c) if  $u(s) \leq u(s')$  then  $u(s) := u(s)+1$

d)  $u(s) := \max(u(s)+1, u(s')+1)$

**Koenigovo pravidlo** exptime

**Korfovo pravidlo** polytime

**Wagnerovo pravidlo** polytime

**Thrunovo pravidlo** polytime

4. 4. presuň sa na uzol  $s'$

5. 5. pokračuj krokom 2

## 2i) B: feromónová robotika



Node Counting



Korf's LRTA\*



Wagner's Update Rule



Thrun's Update Rule

# Feromónová robotika

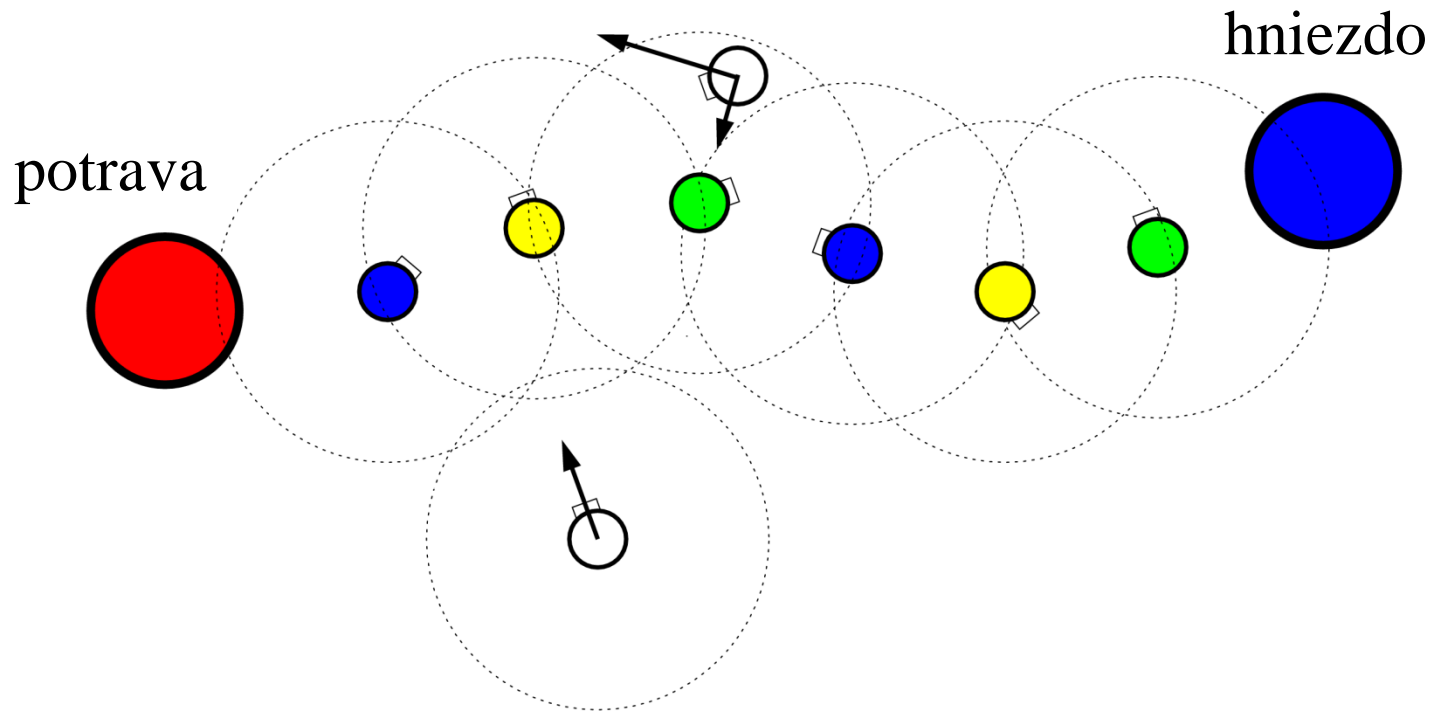


## ⌘ EAW – edge ant-walk

1. Všetkým uzlom grafu nastav  $\text{next}(u) := 0$
2. Z aktuálneho uzlu  $u$  opakuj
  1.  $e := \text{next}(u)$
  2.  $\text{next}(u) := (\text{next}(u) + 1) \bmod \text{deg}(u)$
  3. choď do  $e - u := e$
1. Ak je v jednom uzle viacej mravcov, tak ich nech vykonať svoje kroky sekvenčne

## 2i) C: reťazenie

- ⌘ Obmedzený dosah senzorov
- ⌘ Signalizácia farbami

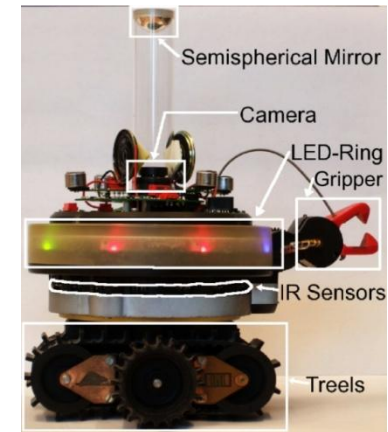


Nouyan et al., 2009

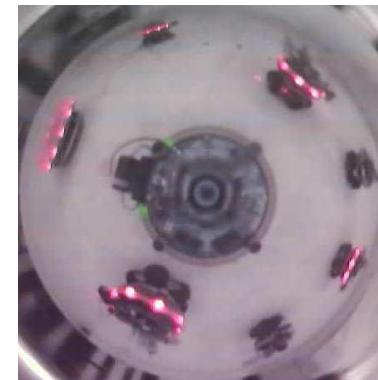
## 2i) C: ret'azenie (2)



Chains in prey retrieval (division of labor)  
Nouyan et al., 2009



Mondada et al., 2005





## 2ii) Premiestňovanie a zhukovanie



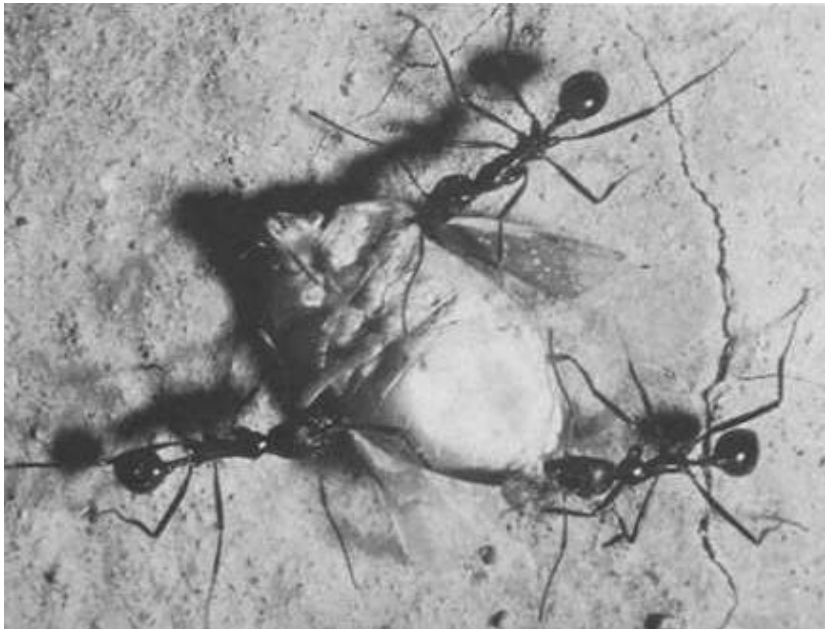
- A. Koordinované premiestňovanie objektu
- B. Slepé hrnutie
- C. Zhukovanie
- D. Kooperatívna manipulácia

## 2ii) A: koordinované premiestňovanie objektu

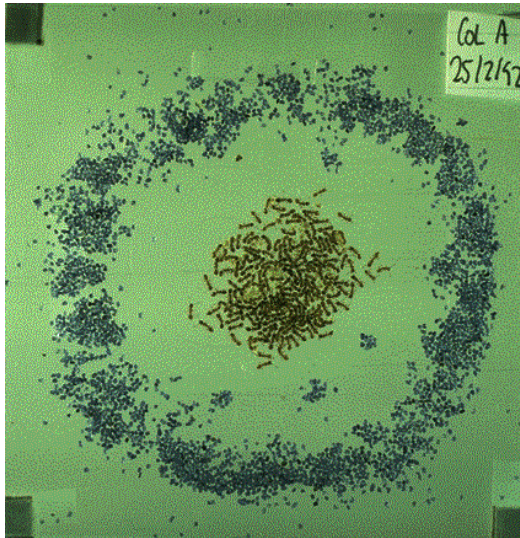
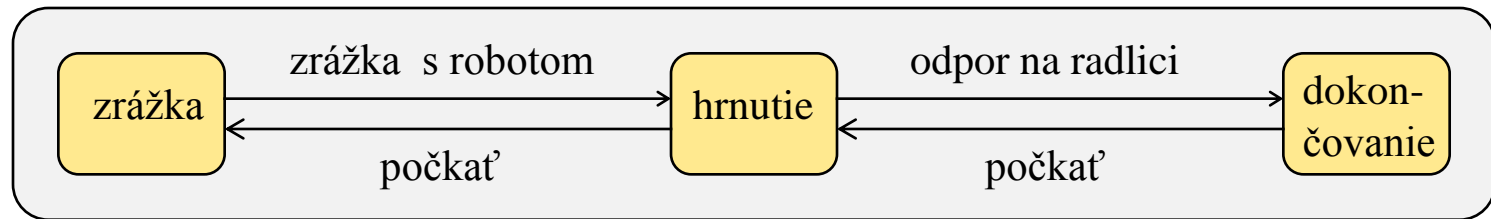
- ⌘ Vyžaduje spoluprácu
- ⌘ Bez explicitnej komunikácie
- ⌘ Prístup založený na správaniach
- ⌘ Zotavenie zo stagnácie inšpirované od mravcov

Kube and Zhang, 1993;  
Kube and Bonabeau, 2000

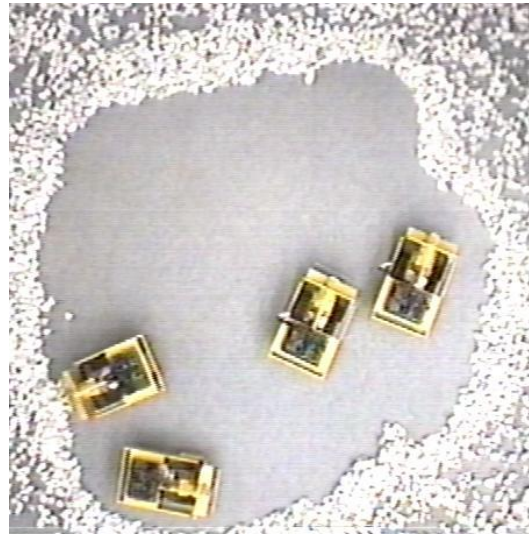
Hoelldobler et al., 1978



## 2ii) B: slepé hrnutie (bulldozing)

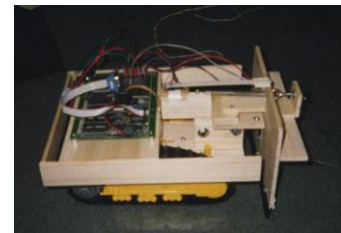


Nest construction by ants  
Franks et al., 1992



Nest construction by robots  
Parker et al., 2003

Radlica s  
detekciou sily  
odporu

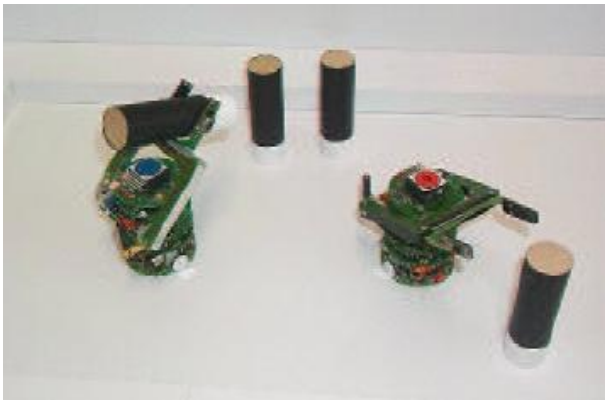


## 2ii) C: zhlukovanie

- ⌘ Zhlukovanie a zoradovanie bolo pozorované u niekoľkých druhov mravcov
- ⌘ Dôležité mechanizmy:
  - ☒ Komunikácia
  - ☒ Pozitívna a negatívna spätná väzba

Príklad pravidla ( $N$  = počet objektov vnímaných v krátkom časovom intervale)

1. Pravdepodobnosť uchopenia predmetu je nepriamo úmerná  $N$
2. Pravdepodobnosť odloženia objektu je priamo úmerná  $N$

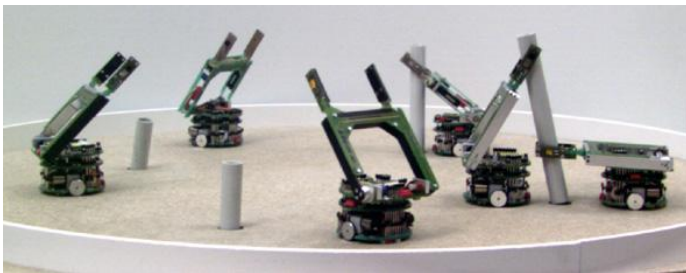


Cemetery clusters  
in *Messor sancta*,  
26 hours in total,  
1500 corpses

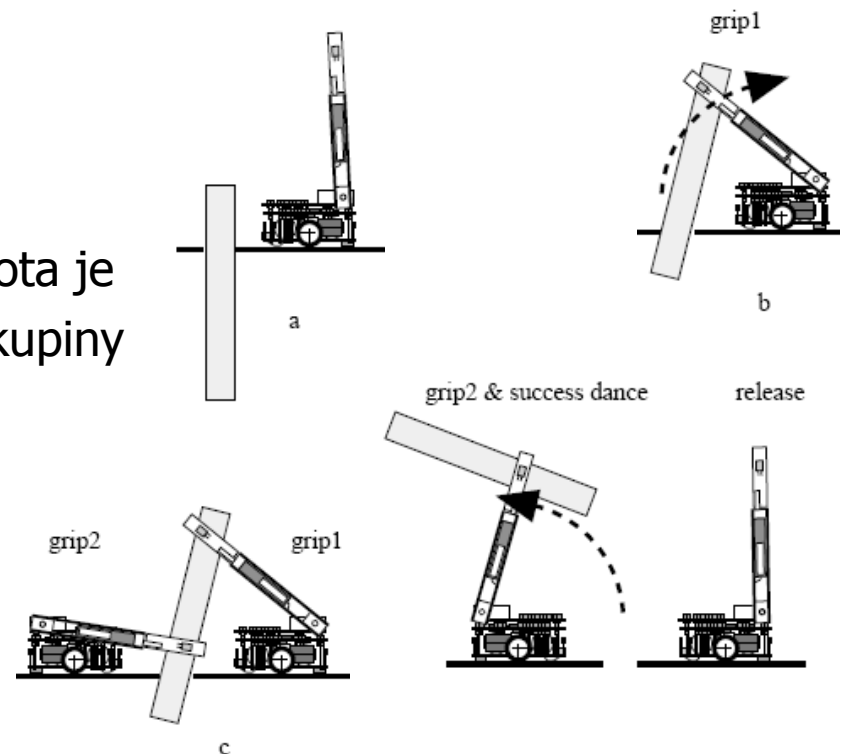


## 2ii) D: kooperatívna manipulácia

- ⌘ Púštne mravce spolupracujú pri vyťahovaní dlhých paličiek z piesku (príliš dlhých pre jedného mravca)
- ⌘ Je možné napodobiť s robotmi
- ⌘ ako dlho čakať na kamaráta?
- ⌘ Super lineárny výkon
  - ☑ Počet vytiahnutých paličiek na robota je optimálny pre približne 6-členné skupiny



Ijspeert et al.,  
2001

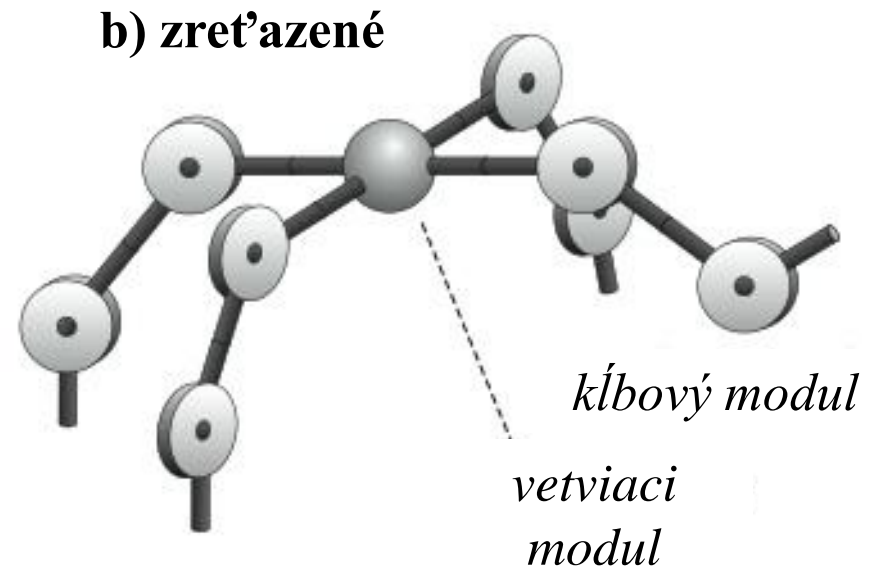
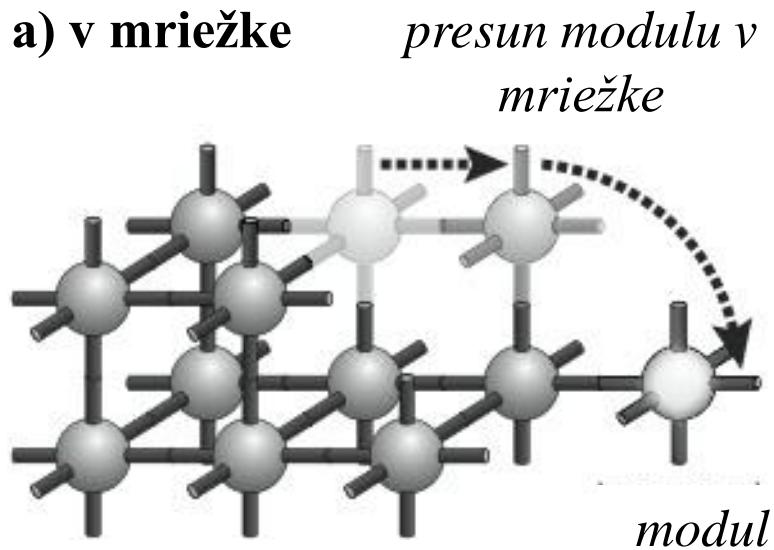


## 2iii) Rekonfigurovatelné roboty

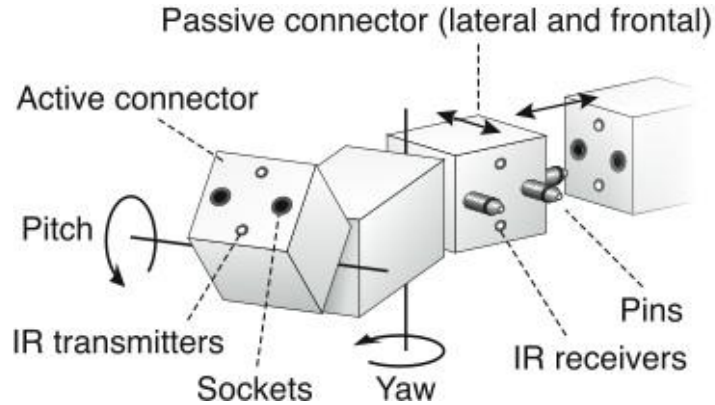
- ⌘ Modulárne roboty skladajúce sa z niekoľkých identických častí, ktoré sa môžu preorganizovať, aby vytvorili tvar (morfológiu) vhodnú pre riešenie danej úlohy
- ⌘ Inšpirácia:
  - ☒ Bunky (celulárne automaty)
  - ☒ Jednotlivce (rojová inteligencia)
- ⌘ Roboty
  - ☒ V tvare reťazca
  - ☒ V tvare mriežky
  - ☒ Mobilné rekonfigurovatelné
  - ☒ Ďalšie typy rekonfigurovatelných robotov



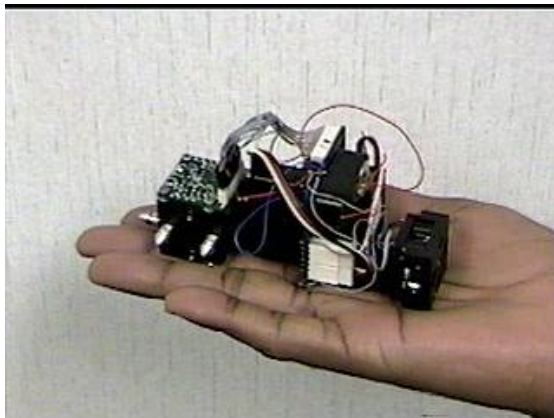
## 2iii) Rekonfigurovatel'né roboty



# Príklad robota reťazcového typu: CONRO



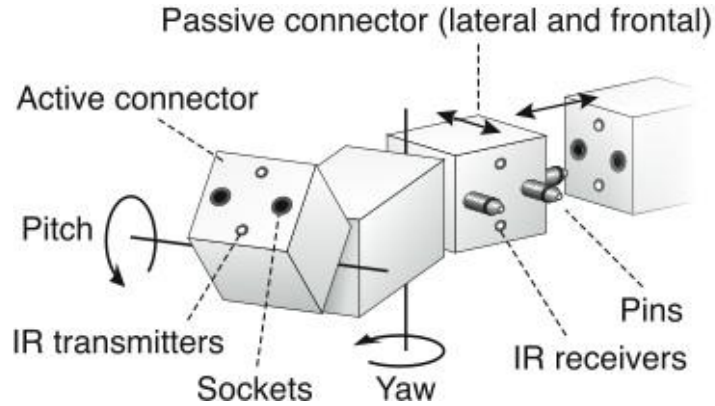
- ⌘ Samostatné
- ⌘ Spojenie zásuvky so západkami
- ⌘ Infračervené navádzanie
- ⌘ Zložité skladanie
- ⌘ Dobrá mobilita



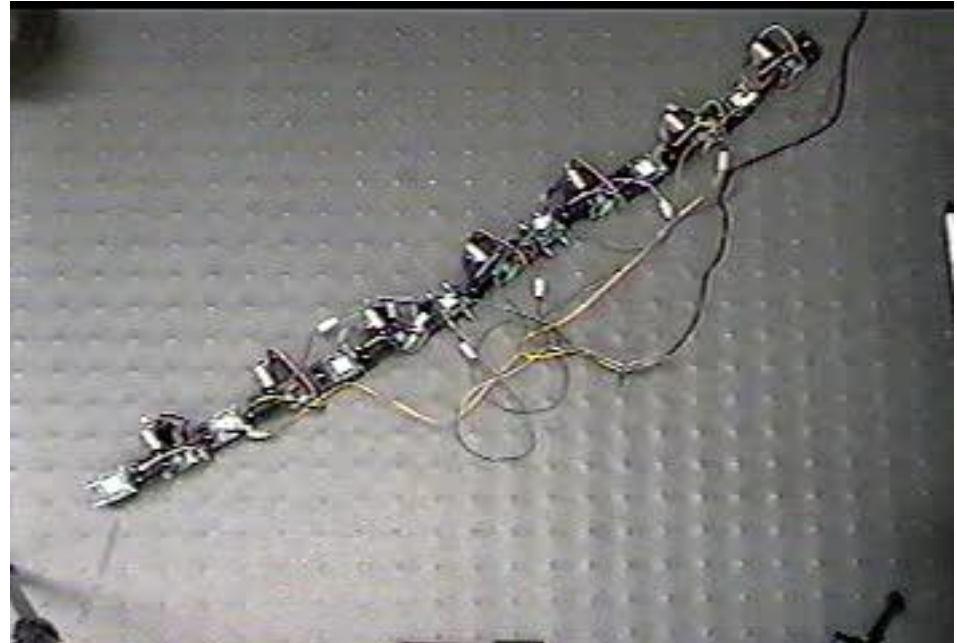
ISI, USC; Castano et al., 2000



# Príklad robota reťazcového typu: CONRO



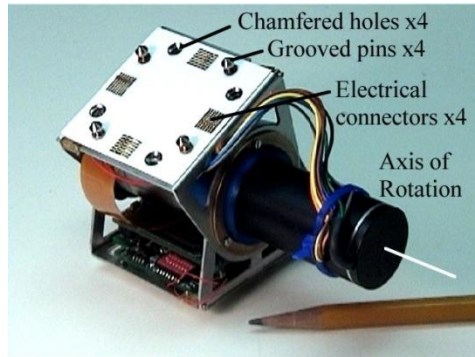
- ⌘ Riadenie sa dokáže vyrovnat' s náhlymi zmenami morfológie robota



AdapTronics Group & ISI, USC

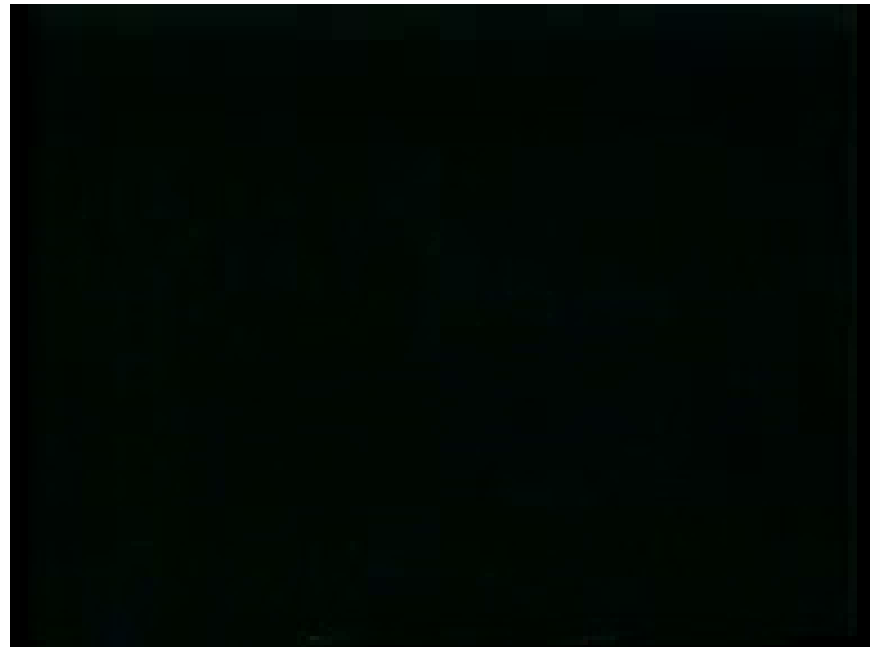
# Príklad robota reťazcového typu: PolyBot

PARC, 2000; Yim et al.,  
2002

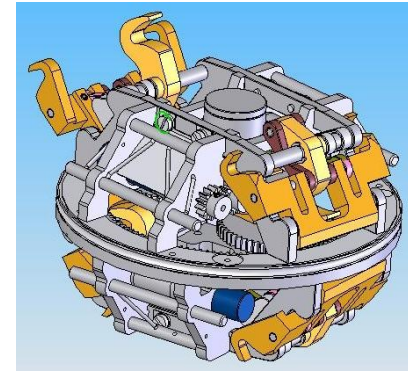


## Self-reconfiguration of PolyBot

- ⌘ Modul s jediným stupňom voľnosti
- ⌘ Pwer PC 555
- ⌘ Externý zdroj napájania

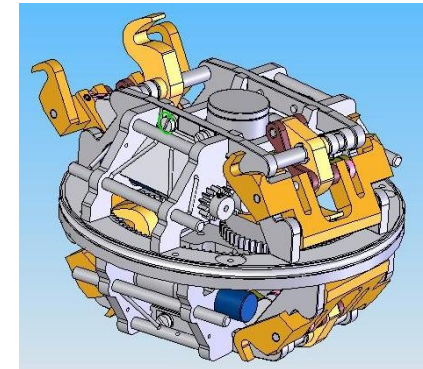
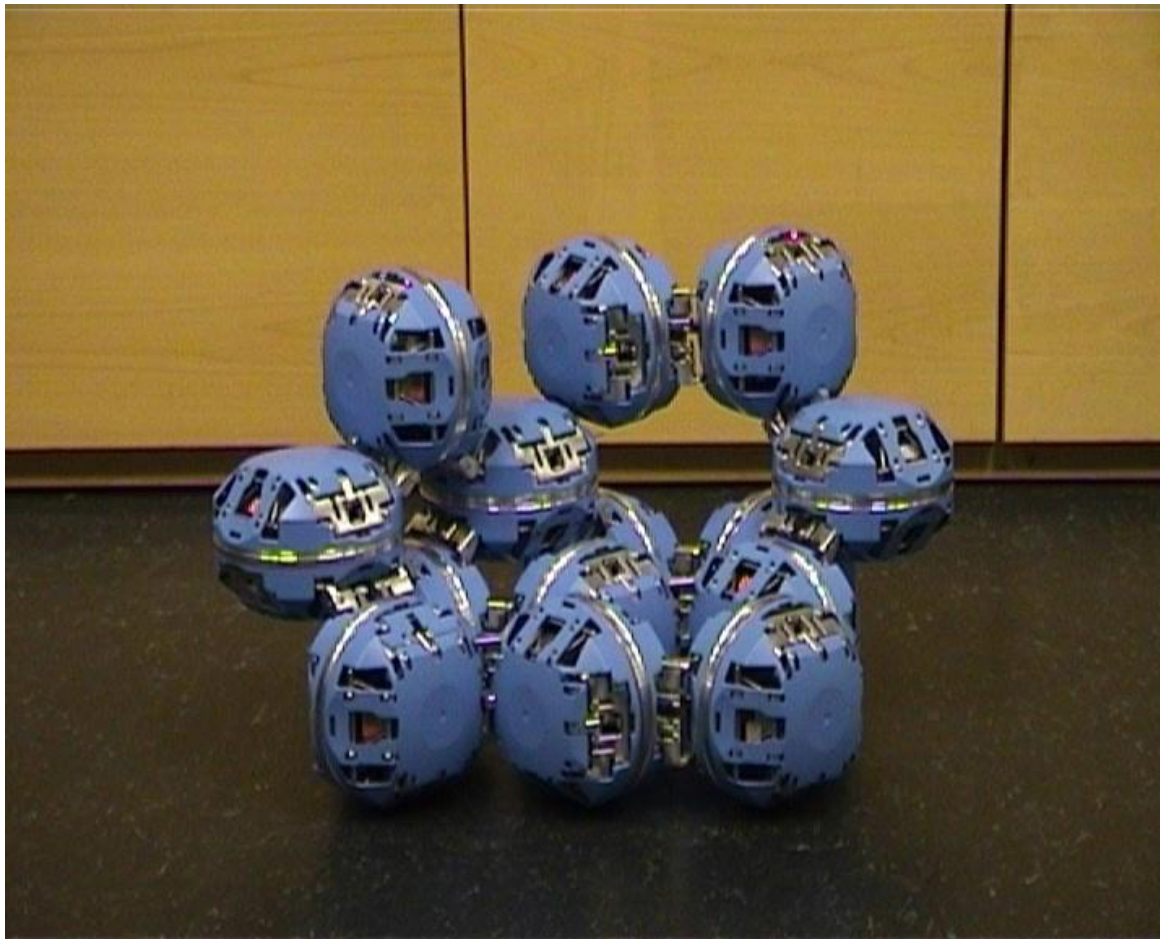


# Príklad robota mriežkového typu: A-TRON



- ⌘ Dve pologule
- ⌘ 4 samčie a 4 samičie konektory
- ⌘ Samo-spojovanie relatívne jednoduché
- ⌘ Samo-rekonfigurácia vyžaduje mnoho krokov

# Príklad robota mriežkového typu: A-TRON (2)

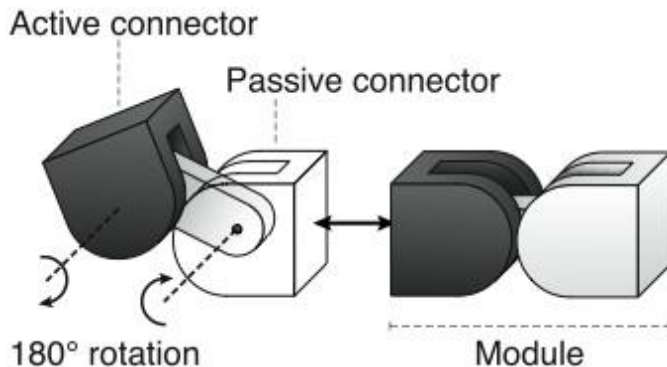
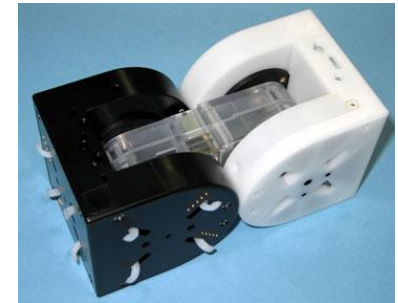


The Maersk McKinney Moller Inst., Univ. of Southern Denmark

# Príklad hybridného robota: M-TRAN

- ⌘ Hybridný mriežkový a reťazcový typ
- ⌘ Magnety alebo mechanické háčiky
- ⌘ Pravidlá pre celulárne automaty

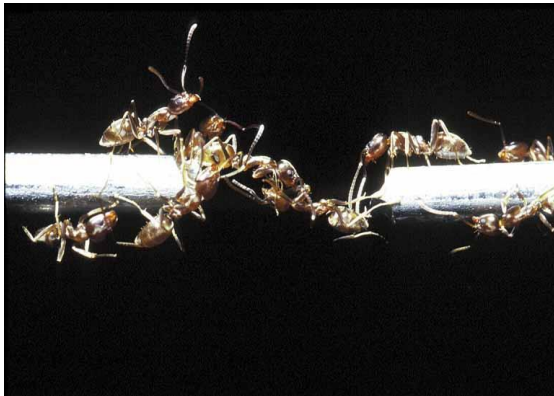
M-TRAN III (2005 -)



AIST; Murata et al., 2002

# Kooperácia mobilných jedincov

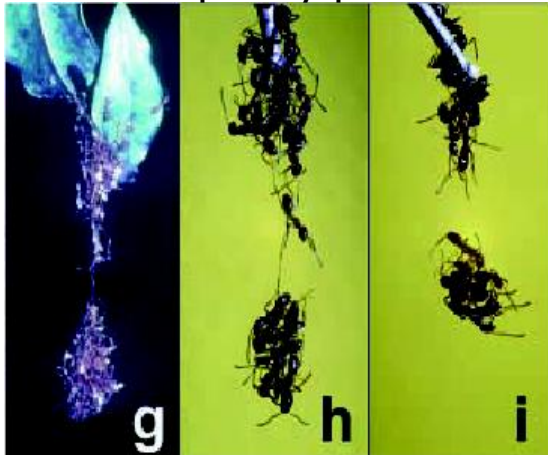
Prekonávanie medzery



Budovanie hniezda



Skupinový pád

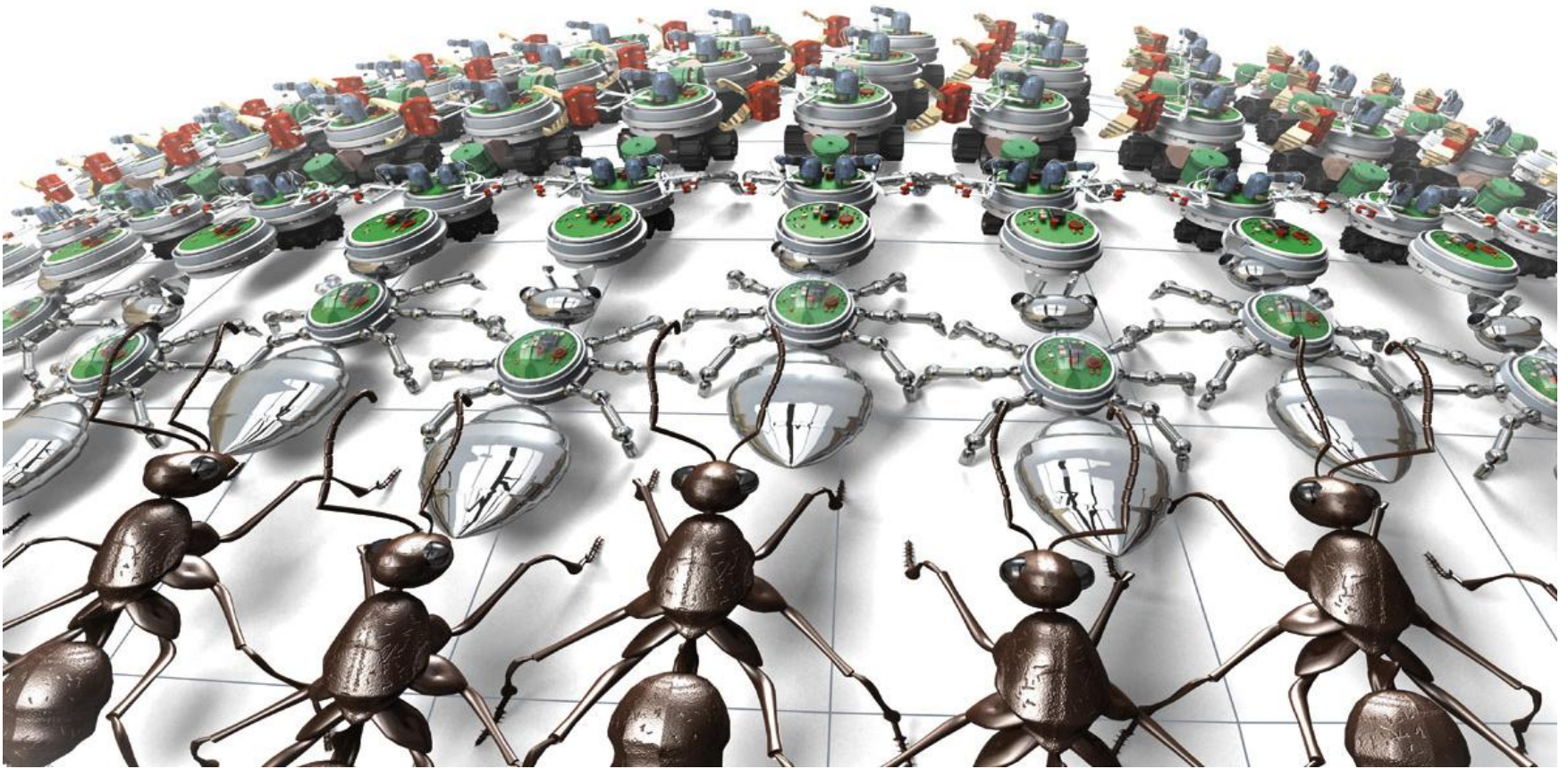


Vyplňovanie dier v cestičke



# From swarming ants to Swarm-bots

Swarm-bots



# Mobilné rekonfigurovatel'né roboty

- ⌘ Mobilné jednotky sa skladajú do spojených objektov, ktoré sú väčšie a silnejšie než jednotlivci



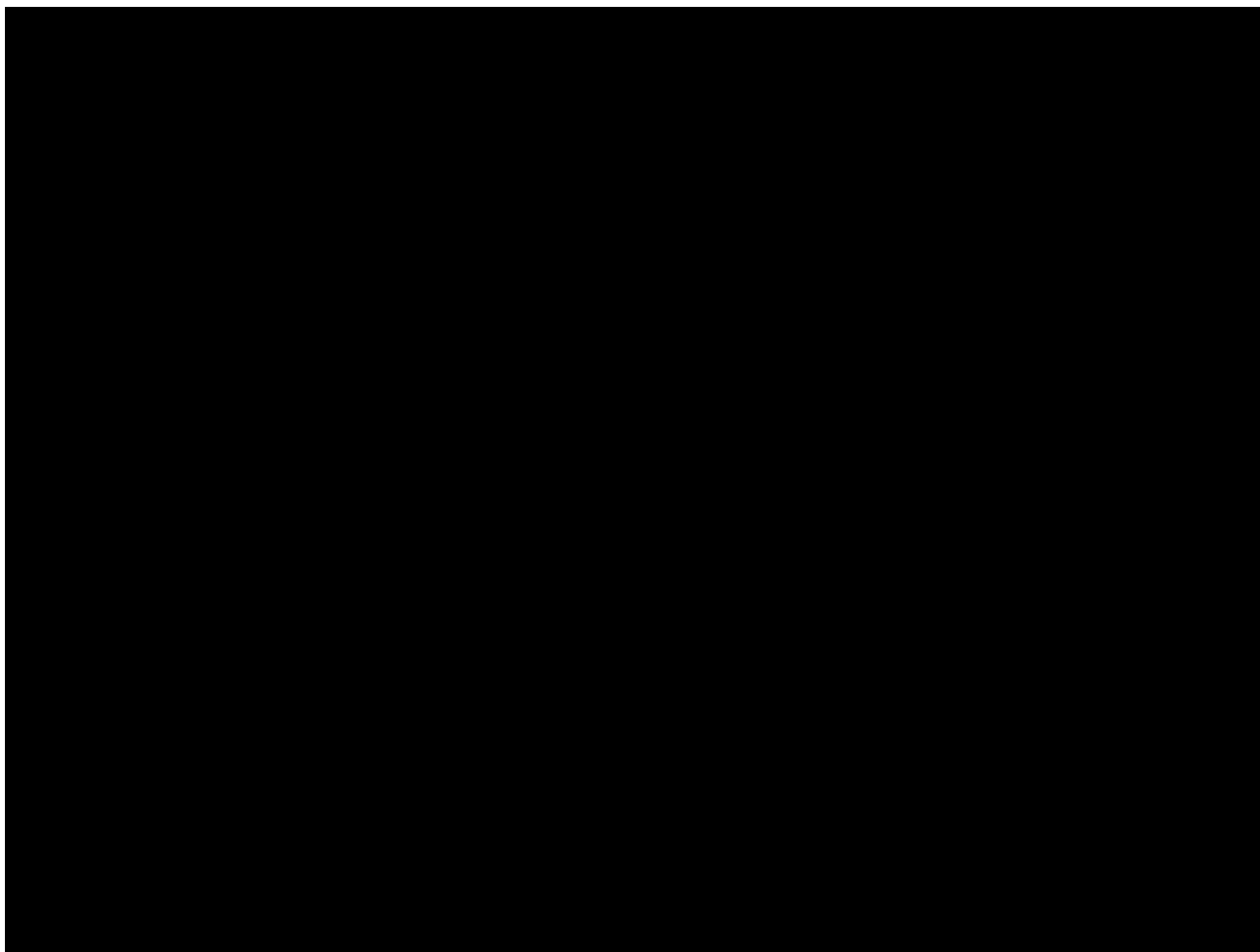
Mondada et al., 2005; Gross et al., 2006



# Príklad: záchrana ľudí

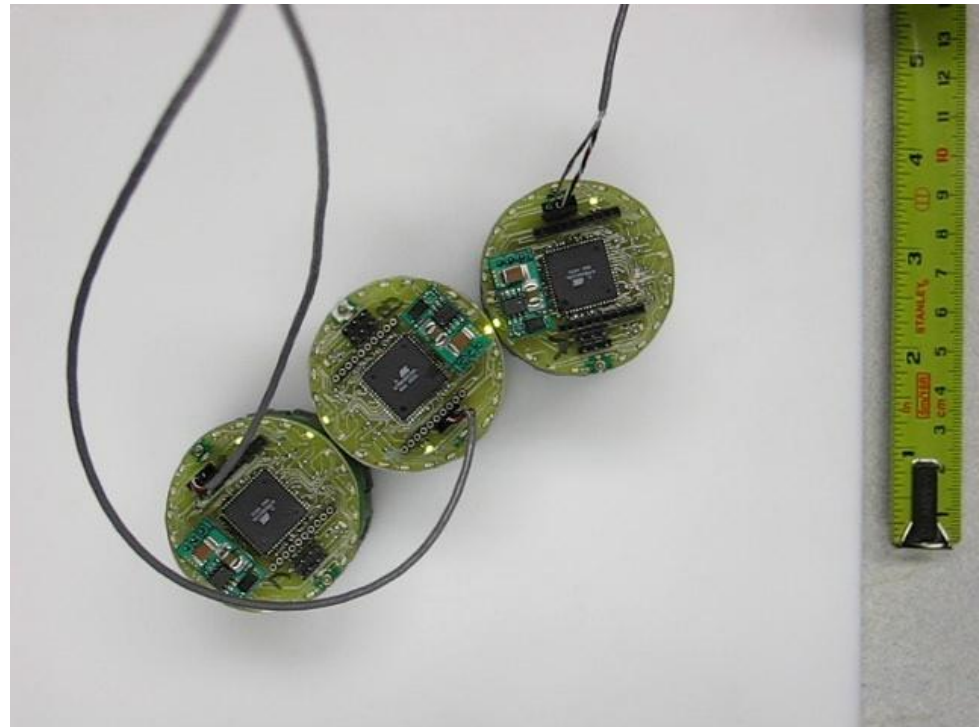


# Príklad: záchrana ľudí



# Ďalšie typy rekonfigurovatelných robotov

- ⌘ Rozmiestňovanie bez pohyblivých častí
- ⌘ Elektromagnetické krúžky
- ⌘ Konverzia elektrickej energie na kinetickú



Claytronics  
Goldstein et al., 2005

# Ďalšie typy rekonfigurovateľných robotov

- ⌘ Stochastická rekonfigurácia pasívnych pohyblivých súčiastok

**Self-Organizing Programmable Parts  
Slow Hexagon Formation**

**Klavins Lab  
University of Washington**

**J. Bishop S. Burden E. Klavins R. Kreisberg  
W. Malone N. Napp T. Nguyen**

 NSF Grant # 0347955 

<http://faculty.washington.edu/klavins>

March 2005

PPT

Univ. of Washington; Klavins et al., 2005

# „Hierarchická“ organizácia

Meta-moduly <sup>1</sup>



Založené na anatómii <sup>2</sup>

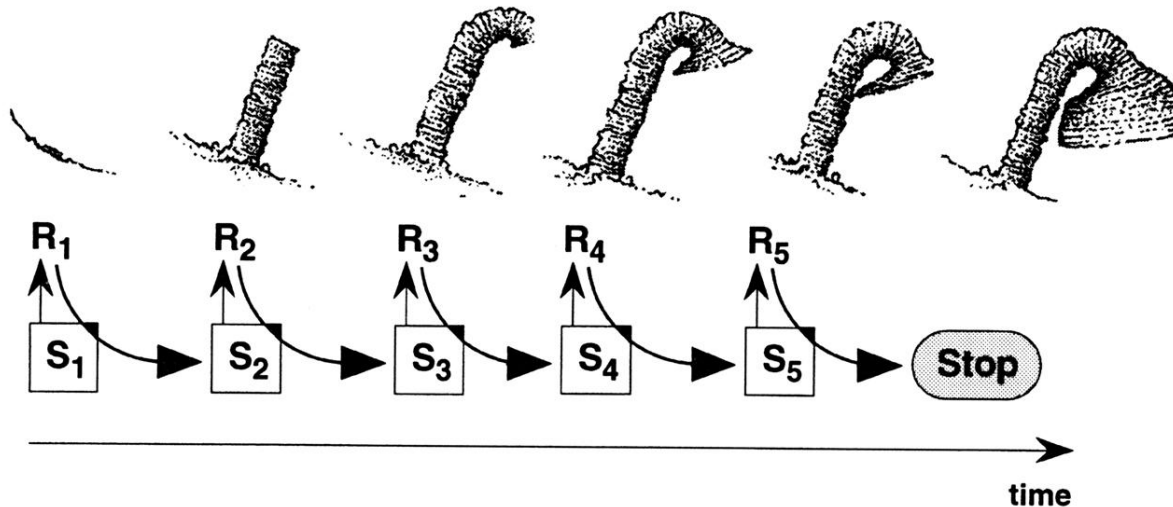


<sup>1,2</sup> The Maersk McKinney Moller Inst., Univ. of Southern Denmark

<sup>2</sup> Intel Research Pittsburgh

# Stigmergia

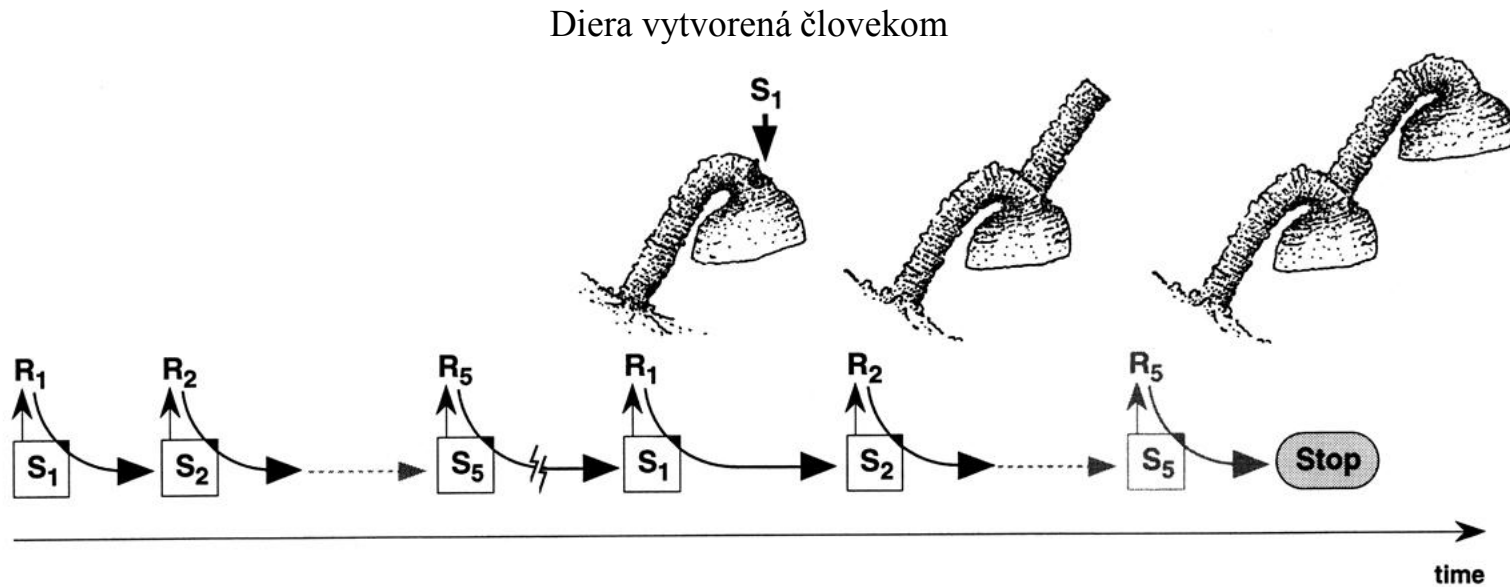
- ⌘ Komunikácia prostredníctvom zmien prostredia.
- ⌘ Výsledok činnosti jedinca zanechá perzistentnú (trvalú) značku, ktorá ovplyvňuje nasledujúce akcie i iných jednotlivcov
- ⌘ Cyklus stimul-reakcia



From Camazine et al., 2001 (Smith, 1978)

# Stigmergia

- ⌘ Testovanie koordinácie pri stavbe
- ⌘ ⇒ redundantné štruktúry



From Camazine et al., 2001 (Smith, 1978)