SYSTEMY MRÓWKOWE

dr inż. Jacek Czerniak

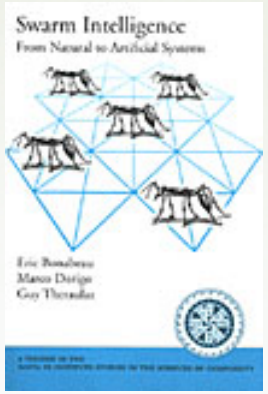
prof. dr hab. Marco Dorigo

- ur. 1961 r. Milano, Włochy
- Żonaty, ojciec dwójki dzieci
- Od 2000 r. koordynował projekty na ok. 6 mln EUR
- wypromował 6 doktoratów, i obecnie 13 doktorantów
- Autor ACO, 4 książek, edytor kilku innych
- Autor ok. 100 publikacji, wielu rozdziałów w książkach, niezliczonej ilości tutoriali
- Dyrektor i założyciel IRIDIA lab

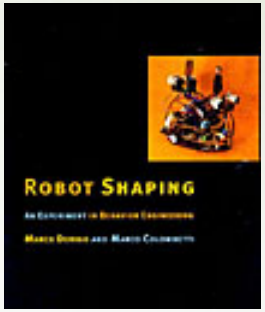
Autor i Edytor

Ant Colony Optimization
MIT Press, 2004

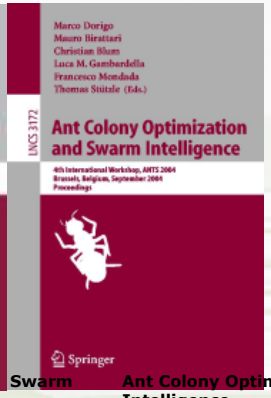
Swarm intelligence
Oxford University Press, 1999



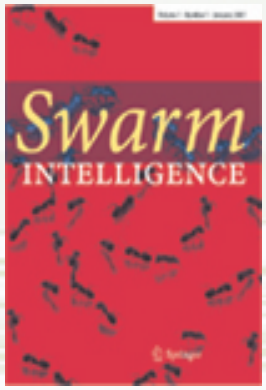
Robot Shaping
MIT Press, 1998



Swarm Intelligence
Springer, 2006

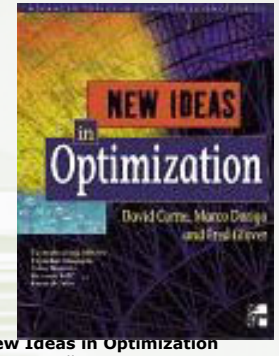


Ant Colony Optimization and Swarm Intelligence
Springer, 2004



Swarm Intelligence: a new journal Published by Springer.

Ant Algorithms
Springer, 2002

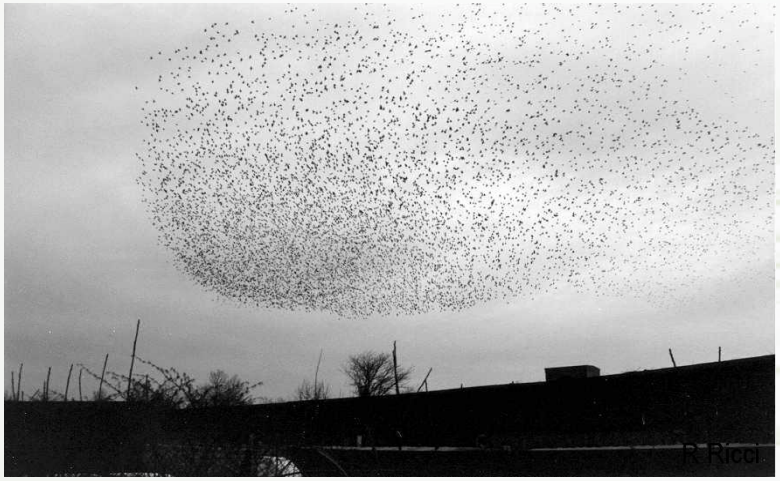


New Ideas in Optimization
McGraw-Hill, 1999

Mrówki

- Mrówki jako pojedyncze owady mają stosunkowo ograniczone możliwości, jednakże jako kolonia, dzięki sprawnej współpracy pomiędzy wszystkimi należącymi do niej jednostkami, są w stanie bardzo dobrze funkcjonować w złożonych warunkach swego otoczenia.
- Obserwacja kolonii mrówek i termitów nasunęła naukowcom pomysł aby zastosować mechanizmy wypracowane przez te owady w symulacjach komputerowych.

Optymalizacja grupowa



Mrówki

- Dzięki zastosowaniu wielu prymitywnych agentów, mogących w odpowiedni sposób przekazywać sobie pewne informacje, algorytmy mrówkowe są interesującą metodą rozwiązywania wielu problemów optymalizacyjnych.
- Po raz pierwszy zostały zaprezentowane przez **Marco Dorigo** w 1992 roku i zastosowane z powodzeniem do rozwiązywania problemu komiwojażera

Systemy mrówkowe

Istnieje kilka określeń opisujących rozwiązania bazujące na zachowaniach mrówek;

Systemy mrówkowe

Algorytmy mrówkowe

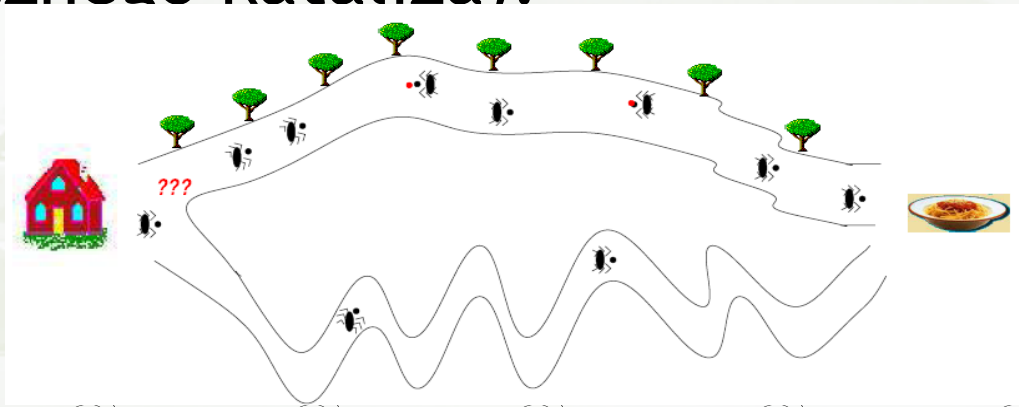
- Ant System (AS), *Systemy mrówkowe*
- Ant Colony System (ACS), *Systemy mrówkowe*
- Ant Colony Optimization (ACO), *Optymalizacja kolonią mrówek*
- Ant Algorithms (AA), *Algorytmy mrówkowe*

System mrówkowy

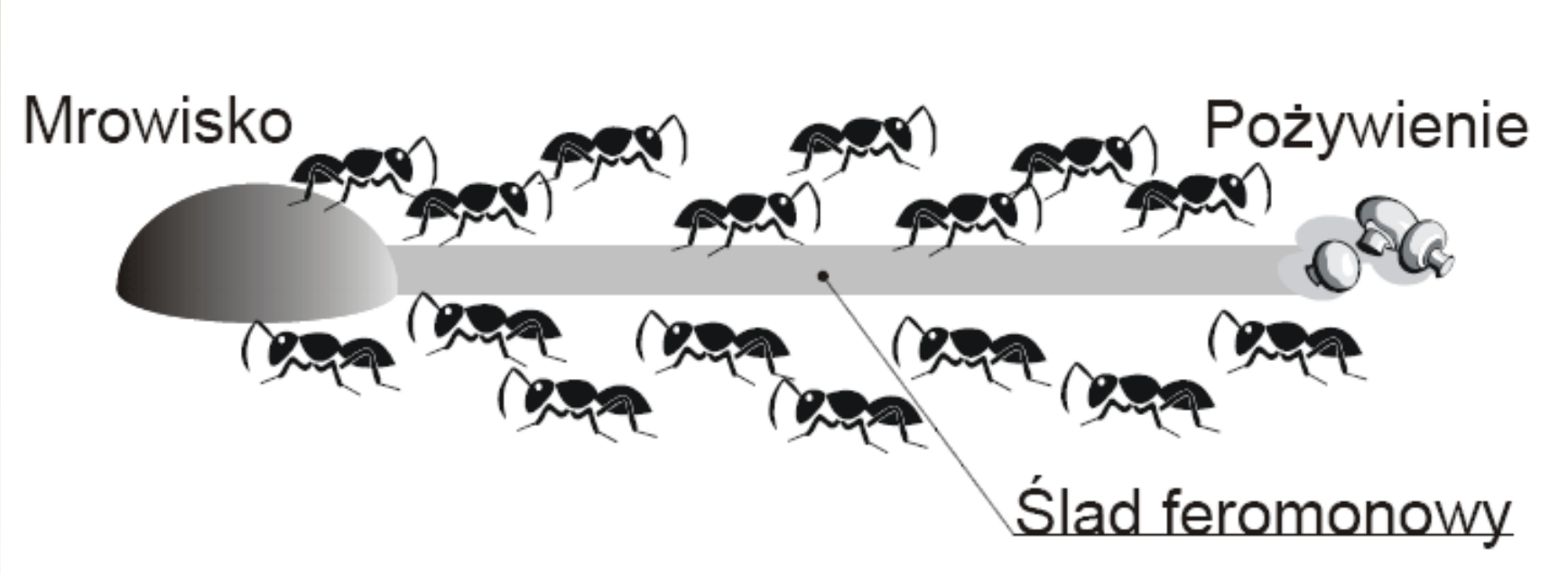
SM można zatem zdefiniować jako system informatyczny, który realizuje algorytmy równoległe. Działają one na analogicznych zasadach, co odpowiadające im procesy w świecie rzeczywistym. Wiele z nich bazuje na procesach dobrze poznanych przez neurologów, zoologów, czy fizyków molekularnych.

Własności SM

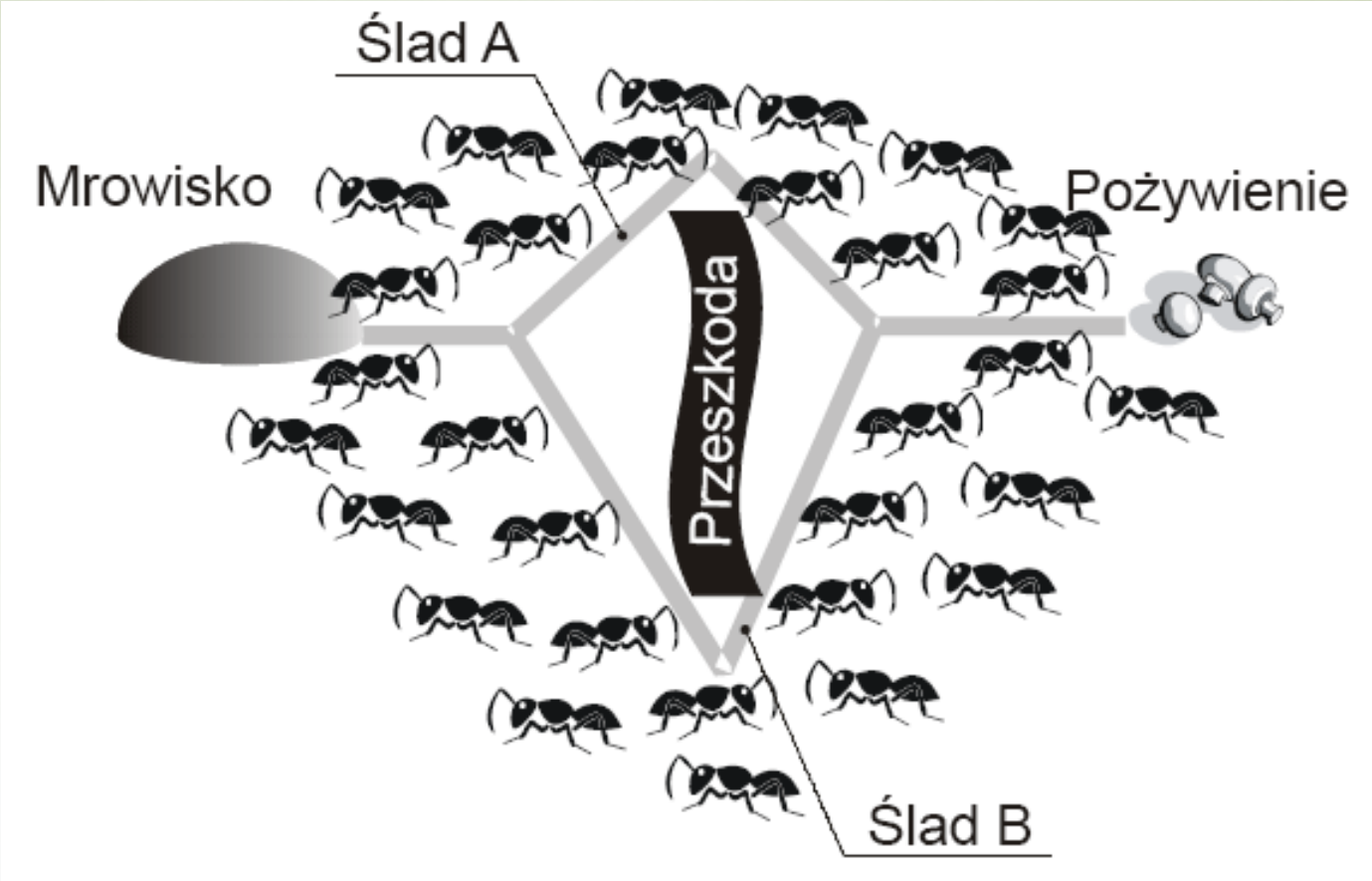
- system ten jest rozproszony, wieloagentowy
- probabilistyczny (inaczej stochastyczny)
- czas w tym systemie symulowany jest w sposób dyskretny
- jest to system z dodatnim sprzężeniem zwrotnym (autokatalitycznym - od procesu chemicznego kataliza).



Idea systemu mrówkowego



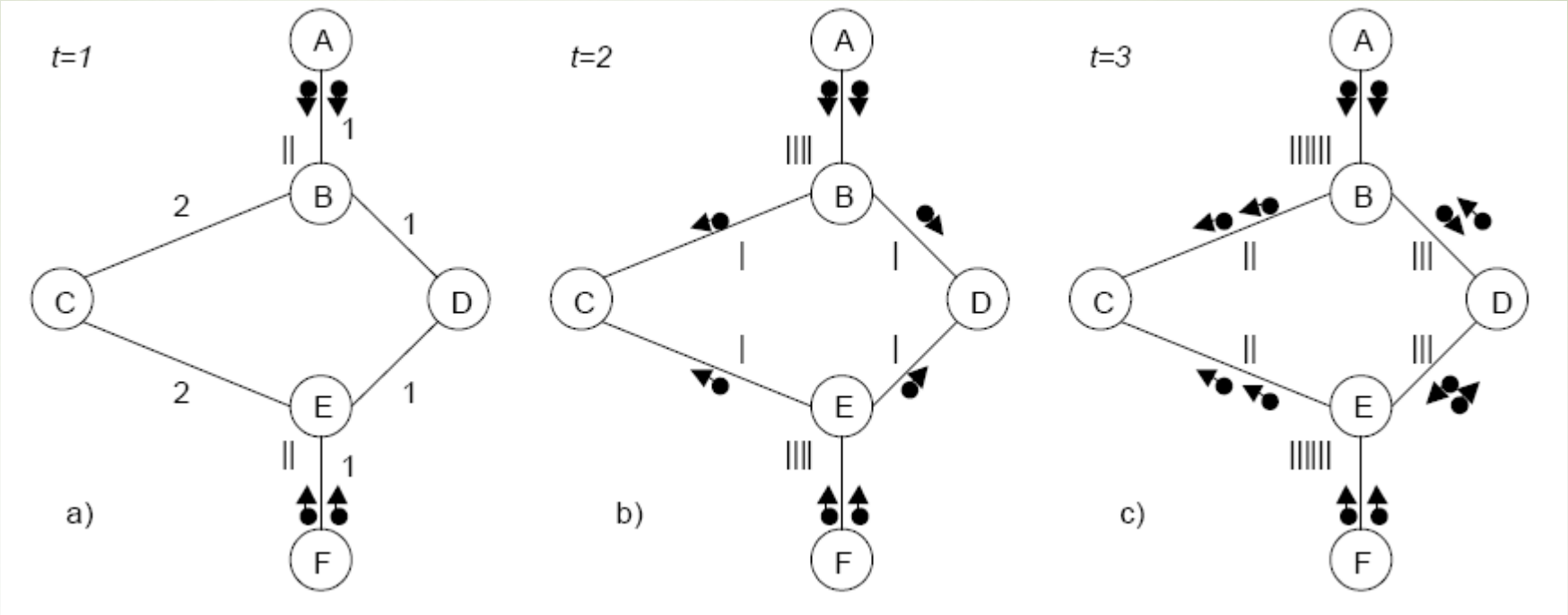
Mrówki starają się dojść do pokarmu najkrótszą drogą, a następnie jak najszybciej wrócić do mrowiska. Na trasie swej wędrówki pozostawiają ślad **feromonowy**.



Wraz z pojawieniem się przeszkody na drodze owady muszą rozwiązać dylemat, ‘którą drogą iść dalej?’

Pozostawiony **ślad feromonowy** jest najsilniejszy na drodze najczęściej uczęszczanej

Zasada działania algorytmu mrówkowego



Uproszony schemat działania algorytmu mrówkowego dla grafu składającego się z 6 węzłów, przy uwzględnieniu trzech pierwszych cykli pracy.

Algorytm mrówkowy (1)

```
procedure ACO_meta_heuristic()
  while (termination_criterion_not_satisfied)
    schedule_activities
      ants_generation_and_activity();
      pheromone_evaporation();
      deamon_actions();  {optional}
    end schedule_activities
  end while
end procedure

procedure ants_generation_and_activity()
  while (available_resources)
    schedule_the_creation_of_a_new_ant();
    new_active_ant();
  end while
end procedure
```

Algorytm mrówkowy (2)

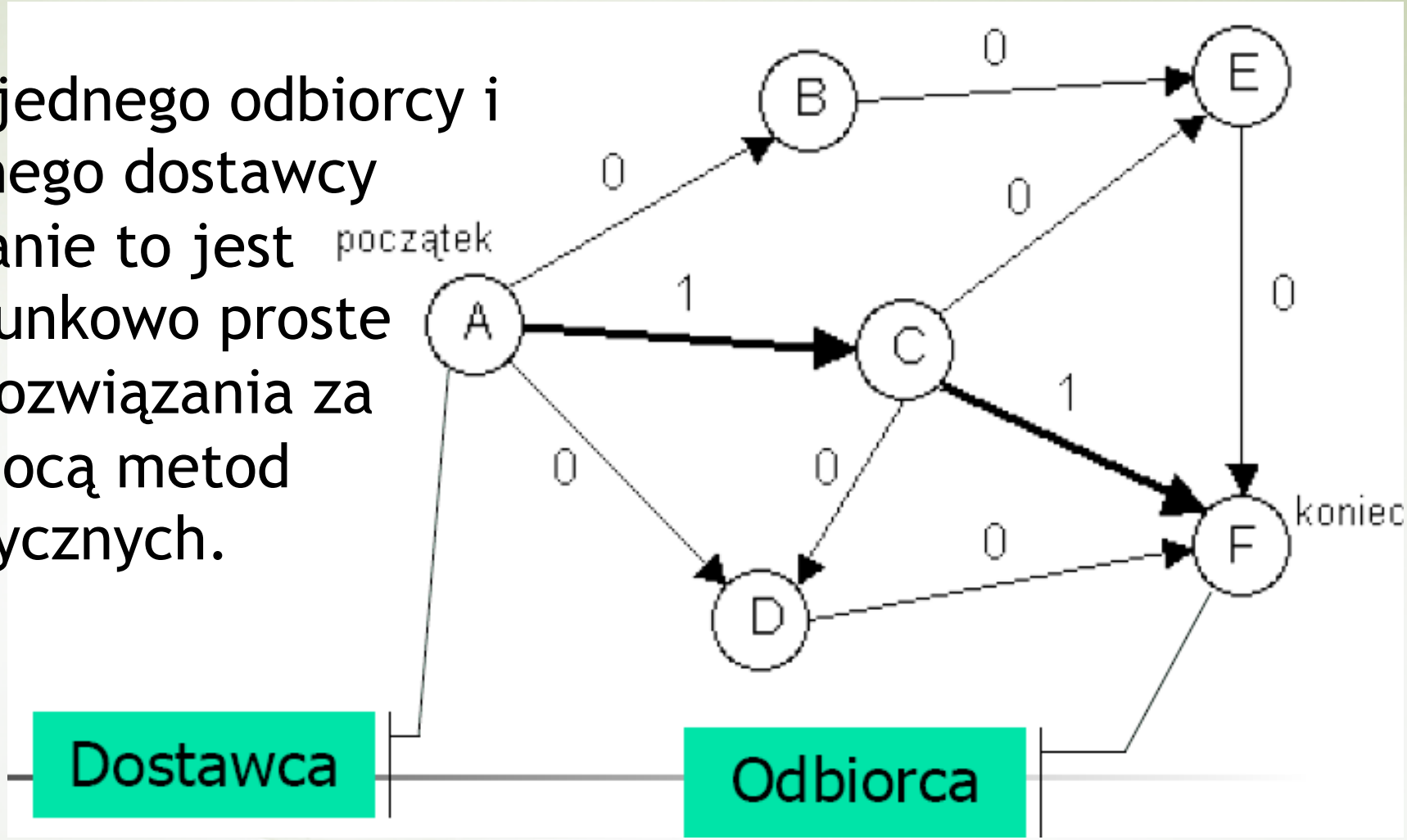
```
procedure new_active_ant() {ant lifecycle}
  initialize_ant();
  M = update_ant_memory();
  while (current_state ≠ target_state)
    A = read_local_ant_routing_table();
    P = compute_transition_probabilities(A,M,Ω);
    next_state = apply_ant_decision_policy(P,Ω);
    move_to_next_state(next_state);
    if (online_step_by_step_pheromone_update)
      deposit_phermone_on_the_visited_arc();
      update_ant_routing_table();
    end if
    M = update_internal_state();
  end while
  if (online_delayed_pheromone_update)
    for each visted_arc do
      deposit_pheromone_on_the_visited_arc();
      update_ant_routing_table();
    end foreach
  end if
  die();
end procedure
```

Przykład: Planowanie sieci dystrybucji

- Podstawowym założeniem w niniejszym przykładzie jest znalezienie takiego układu tras od dostawcy (dostawców) do odbiorcy (odbiorców), aby koszt ich pokonania był jak najniższy.
- Problem ten sprowadza się do **poszukiwania najkrótszych ścieżek w grafie** dla wszystkich kombinacji odbiorców i dostawców.

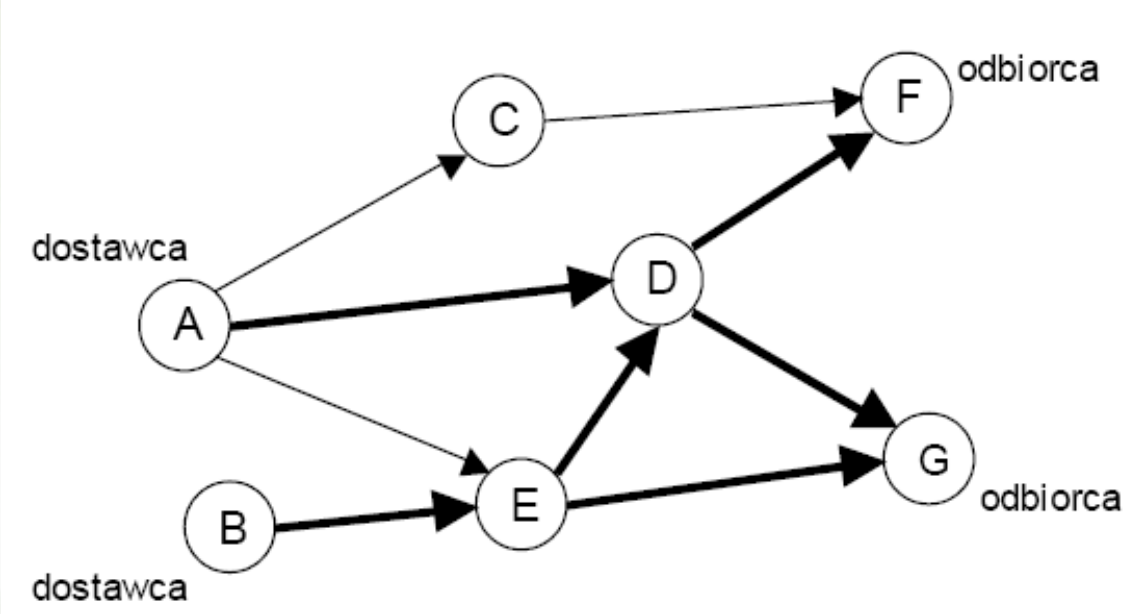
Przykład c.d.

Dla jednego odbiorcy i jednego dostawcy zadanie to jest stosunkowo proste do rozwiązania za pomocą metod klasycznych.



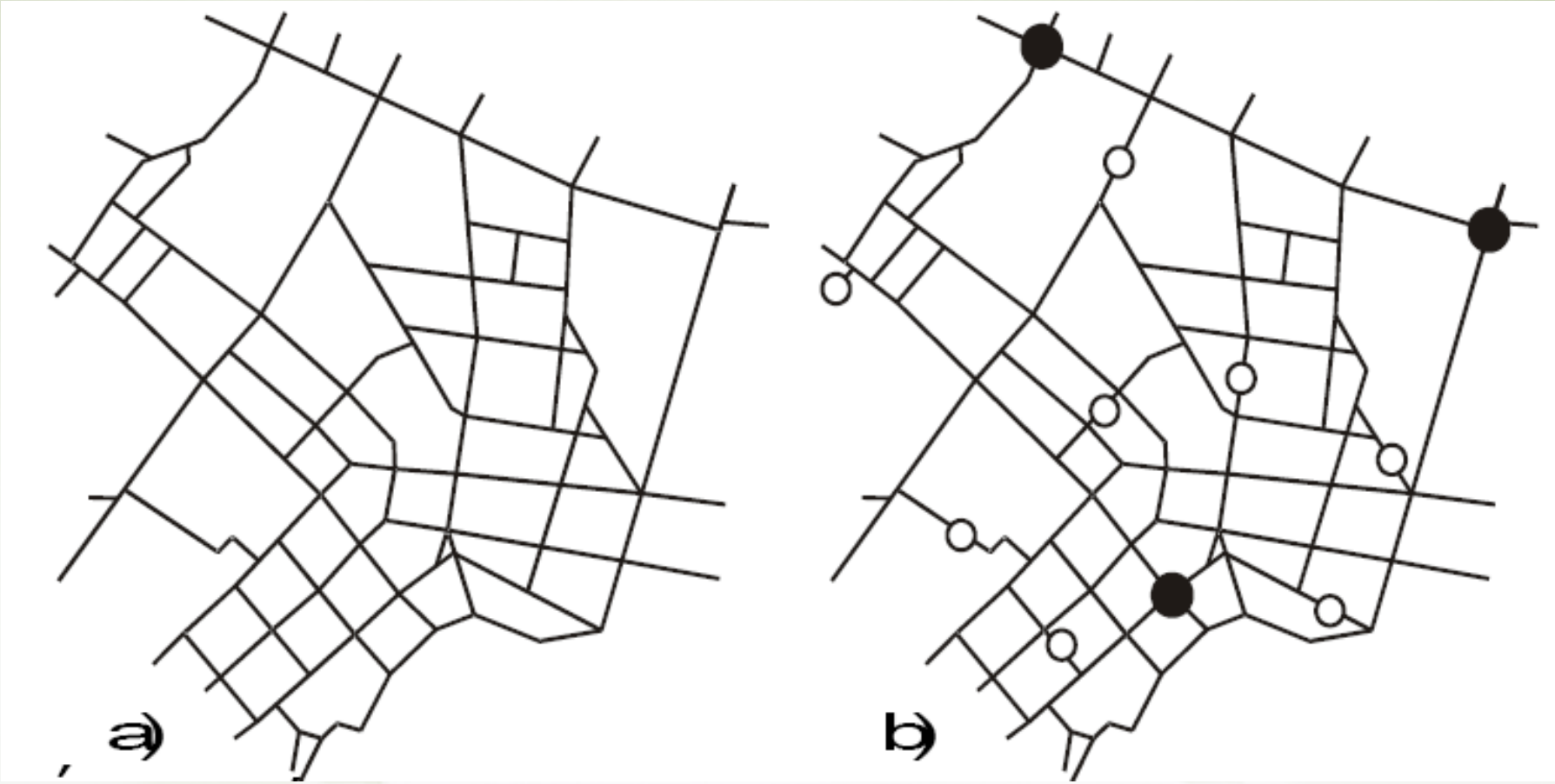
Sieć dystrybucji dla wielu dostawców i wielu odbiorców

Zadanie staje się bardziej skomplikowane gdy dotyczy większej liczby dostawców i odbiorców, a konieczne jest znalezienie wszystkich najkrótszych połączeń.



W przypadku tym metody klasyczne, z uwagi na swoją znaczną wrażliwość na strukturę grafu, stają się stosunkowo mało elastyczne. Dla bardziej rozbudowanych sieci istotnym utrudnieniem jest fakt, iż dla różnego rozmieszczenia dostawców i odbiorców, mogą ulec zmianie kierunki przepływu na łukach grafu.

Przykład z mapą



- o odbiorcy,
- ● dostawcy.

Każda mrówka (agent) po dotarciu do węzła docelowego pozostawia na wszystkich odwiedzonych wcześniej łukach ślad feromonowy liczony wg wzoru:

$$\Delta\tau_{i,j}^{k}(t) = \begin{cases} \dfrac{Q}{L^{k}(t)} & \text{jeśli łuk i - j był użyty przez mrówkę k} \\ 0 & \text{w przeciwnym wypadku} \end{cases}$$

gdzie:

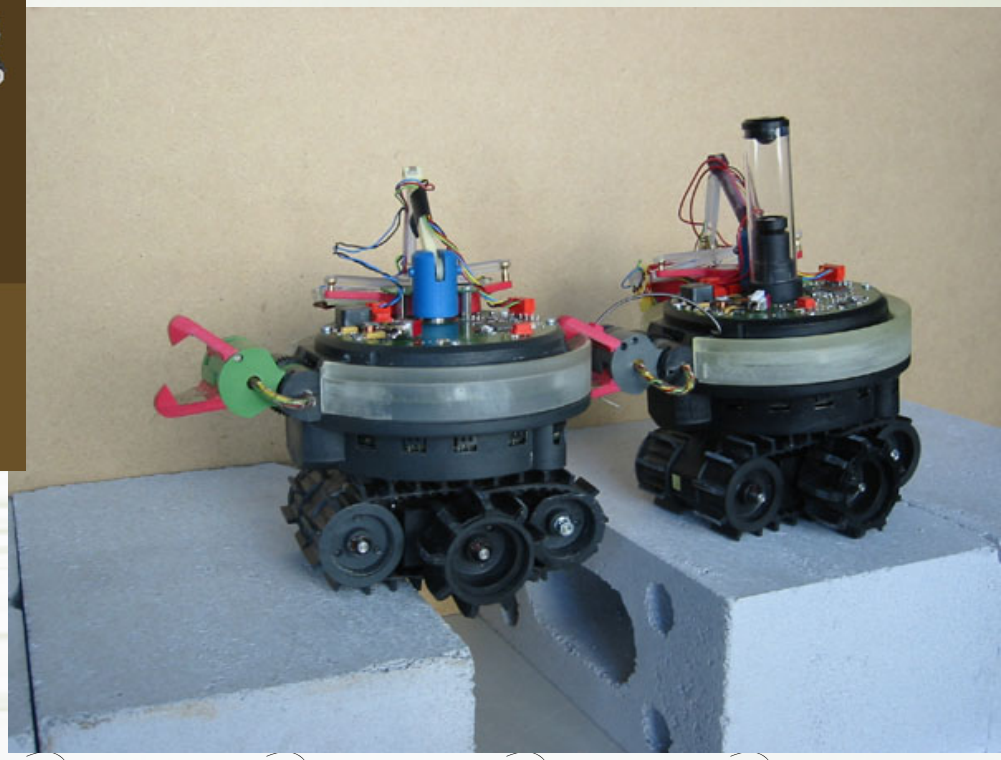
$\Delta\tau_{i,j}^{k}(t)$ - dawka feromonu pozostawionego przez *k*-tą mrówkę, na trasie pomiędzy węzłami *i-j*, w czasie *t*;

$L^{k}(t)$ - długość trasy przebytej przez *k*-tą mrówkę.

Jeżeli mrówka znajdzie się w punkcie, z którego nie ma wyjścia, a nie jest to punkt docelowy – ginie. Liczba cykli określona jest ilością wypuszczanych z każdego węzła startowego mrówek-agentów, ustalaną na początku uruchamiania algorytmu.

Sprzętowe implementacje

- Projekt Swarm-bot (2005)



Projekt Swarm-bot

- Głównym postulatem badawczym projektu *Swarm-bots* było przeprowadzenie studium możliwości w projektowaniu i implementacji samoorganizujacych się i samobudujących się społeczności. Te nowe rozwiązania zaczerpnięto bezpośrednio obserwacji zachowań kolonii insektów lub stad zwierząt. Postanowiono zbudować grupę robotów działających zespołowo.

Wyodrębniono cztery główne obszary robocze projektu:

- projekt i wykonanie sprzętu,
- projekt i implementacja symulatora,
- projekt i implementacja układów sterowania *swarm-bot*,
- integracja, testowanie i wprowadzanie poprawek

Podsumowanie

- **Poszukiwanie najkrótszej drogi w grafie** jest najbardziej naturalnym problemem dla algorytmu mrówkowego, wynikającym bezpośrednio z obserwacji świata przyrody.
- **Algorytmy mrówkowe** ze względu na swój sposób działania, a w szczególności z uwagi na fakt, iż **pozwalają na przeszukiwanie grafów nieskierowanych**, wydają się być interesującą alternatywą

Zastosowanie ACO

- Rutowanie
  - Problem komiwojażera (Traveling Salesman Problem)
  - Logistyka transportu (Vehicle Routing)
  - Protokoły routingu (Network Routing)
- Kolorowanie grafu (Graph Coloring)
- Przydział zadań
  - Podział pracy (Job Shop Scheduling)
  - Klienci w kasach (Flow Shop Scheduling)
- Uczenie maszynowe (Machine Learning)
  - Reguły (Classification Rules)

Zastosowanie w szczegółach

Problem name	Authors	Algorithm name	Year
Traveling salesman	Dorigo, Maniezzo & Colorni	AS	1991
	Gamberdella & Dorigo	Ant-Q	1995
	Dorigo & Gamberdella	ACS &ACS 3 opt	1996
	Stutzle & Hoos	MMAS	1997
	Bullnheimer, Hartl & Strauss	AS_{rank}	1997
	Cordon, et al.	BWAS	2000
Quadratic assignment	Maniezzo, Colorni & Dorigo	AS-QAP	1994
	Gamberdella, Taillard & Dorigo	HAS-QAP	1997
	Stutzle & Hoos	MMAS-QAP	1998
	Maniezzo	ANTS-QAP	1999
	Maniezzo & Colorni	AS-QAP	1994
Scheduling problems	Colorni, Dorigo & Maniezzo	AS-JSP	1997
	Stutzle	AS-SMTTP	1999
	Barker et al	ACS-SMTTP	1999
	den Besten, Stutzle & Dorigo	ACS-SMTWTP	2000
	Merkle, Middenderf & Schmeck	ACO-RCPS	1997
Vehicle routing	Bullnheimer, Hartl & Strauss	AS-VRP	1999
	Gamberdella, Taillard & Agazzi	HAS-VRP	1999

Zastosowanie w szczegółach

Problem name	Authors	Algorithm name	Year
Connection-oriented	Schoonderwood et al.	ABC	1996
network routing	White, Pagurek & Oppacher	ASGA	1998
	Di Caro & Dorigo	AntNet-FS	1998
	Bonabeau et al.	ABC-smart ants	1998
Connection-less	Di Caro & Dorigo	AntNet & AntNet-FA	1997
network routing	Subramanian, Druschel & Chen	Regular ants	1997
	Heusse et al.	CAF	1998
	van der Put & Rethkrantz	ABC-backward	1998
Sequential ordering	Gamberdella& Dorigo	HAS-SOP	1997
Graph coloring	Costa & Hertz	ANTCOL	1997
Shortest common supersequence	Michel & Middendorf	AS_SCS	1998
Frequency assignment	Maniezzo & Carbonaro	ANTS-FAP	1998
Generalized assignment	Ramalhinho Lourenco & Serra	MMAS-GAP	1998
Multiple knapsack	Leguizamon & Michalewicz	AS-MKP	1999
Optical networks routing	Navarro Varela & Sinclair	ACO-VWP	1999
Redundancy allocation	Liang & Smith	ACO-RAP	1999
Constraint satisfaction	Solnon	Ant-P-solver	2000

Literatura

- Alexandrov D., Kochetov Y. Behavior of the Ant Colony Algorithm for the Set Covering Problem, Proc. of Symposium. on Operations. Research., Springer Verlag, 2000
- On the MAX/MIN Ant system, Thomas Stützle, 2001.
- Hybrid Ant System for the Sequential Ordering Problems, Luca Gambardella, 2002.
- Parallelization Strategies for Ant Colony Optimization by Thomas Stützle. In Proceedings of PPSN-V, Amsterdam, Springer Verlag, LNCS 1998
- Improvements on the Ant System: Introducing the MAX-MIN Ant System by Thomas Stützle. Proceedings of Artificial Neural Nets and Genetic Algorithms 1997
- The Ant System Applied to the Quadratic Assignment Problem by Maniezzo, Colorni and Dorigo. Tech. Rep. IRIDIA/94-28, Université Libre de Bruxelles 1994

Literatura

- Dorigo, M., Maniezzo, V., Colorni, A., The Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics-Part B, v26,n1, 1996
- Rafael S. Parpinelli and Heitor S. Lopes and Alex A. Freitas, An Ant Colony Based System for Data Mining: Applications to Medical Data, Proceedings of the Genetic and Evolutionary Computation Conference ({GECCO}-2001)
- Nicolas Monmarché, Mohamed Slimane, Gilles Venturini, AntClass: discovery of clusters in numeric data by an hybridization of an ant colony with the kmeans algorithm, 1999

On-Line Resources

- http://www.swarm.org/
- http://www.swarm-bots.org/
- http://dsp.jpl.nasa.gov/members/payman/swarm/
- http://www.engr.iupui.edu/~shi/pso.html
- http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html
- http://www.cs.technion.ac.il/~wagner/
- http://ants.gsfc.nasa.gov/

Pytania?

Dziękuję za uwagę

dr inż. J.Czerniak
jczerniak@ukw.edu.pl