



Ant Colony Optimization (ACO) e Swarm Intelligence

Seminario per il corso di Sistemi Intelligenti
Prof. N. Alberto BORGHESE

Relatore: Roberto GHIZZOLI
22/10/2004



Sommario

- ACO (problemi di ottimizzazione combinatoria)
- Scheduling sfruttando tecniche di Swarm-Intelligence
- Swarm-Robotics

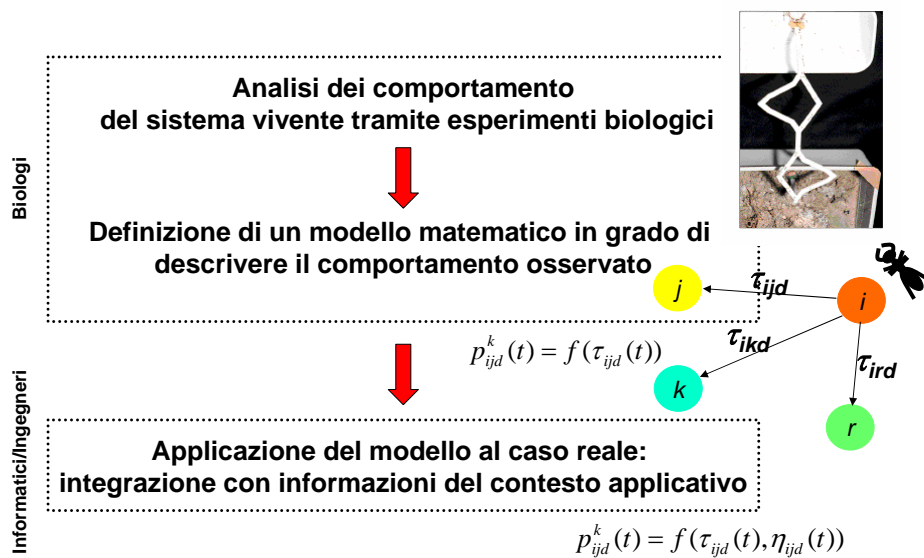


Ant Colony Optimization (ACO)

Corso di Sistemi Intelligenti
Prof. N. Alberto BORGHESE
Relatore: Roberto GHIZZOLI

Pagina: 3/17

Dalla natura ai sistemi intelligenti



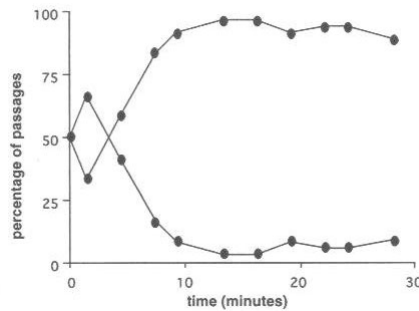
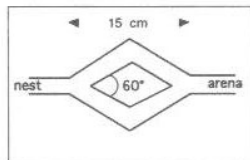
Pagina: 4/17

Strategie di ricerca del cibo tra formiche

Binary bridge

Goss et al., 1989, Deneubourg et al., 1990

Specie: *Linepithema humile*



Dato che le formiche depositano **feromone** mentre camminano, maggiore è il numero di formiche che passa per un arco, maggiore feromone viene depositato e maggiore è l'attrazione ad utilizzare quell'arco dalle formiche successive.



Pagina: 5/17

Strategie di ricerca del cibo tra formiche

Binary bridge – Modello (Deneubourg et al. 1990)

- La quantità di feromone in un arco è proporzionale al numero di formiche che utilizzano quell'arco per attraversare il ponte.
- Non si considera l'evaporazione del feromone in quanto la durata dell'esperimento è breve

A_i = numero di formiche che hanno usato l'arco A dopo che i formiche hanno usato il ponte

La probabilità P_A che la i -ma formica sceglie l'arco A è:

$$P_A = \frac{(k + A_i)^n}{(k + A_i)^n + (k + B_i)^n} = 1 - P_B$$

n = grado linearità funzione
 k = grado di casualità della scelta

I valori che meglio stimano gli esperimenti reali sono $n=2$ e $k=20$

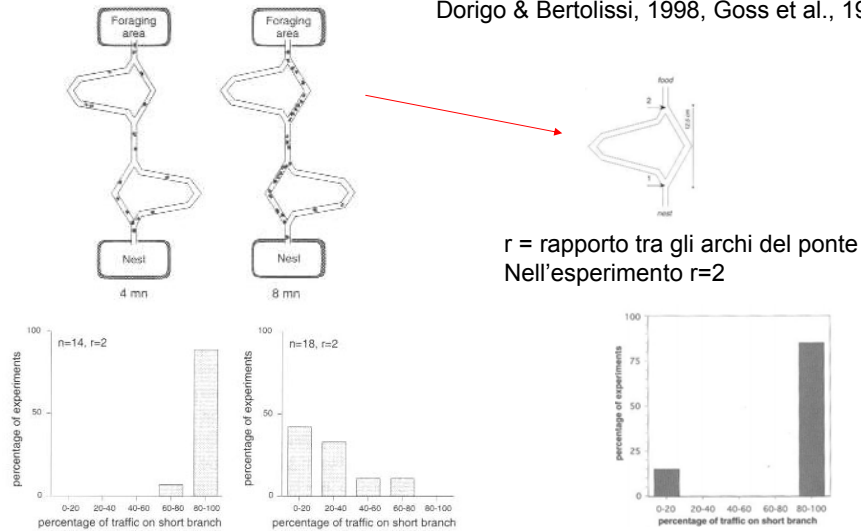


Pagina: 6/17

Strategie di ricerca del cibo tra formiche

Asymmetric bridge

Dorigo & Bertolissi, 1998, Goss et al., 1989



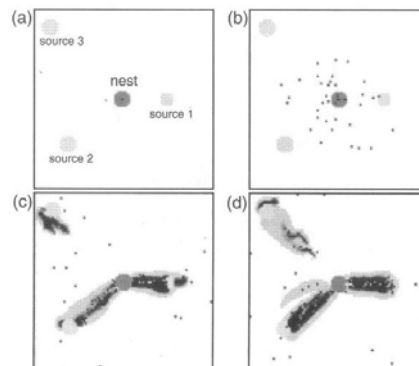
Species: *Linepithema humile*

Species: *Lasius niger*

Pagina: 7/17

Persistenza del feromone

- Formiche reali: da diverse ore a diversi mesi
- Formiche artificiali: l'evaporazione deve avvenire in un tempo sufficientemente breve proprio per evitare che la colonia sia bloccata in soluzioni sub-ottimali.



Pagina: 8/17

Il problema del commesso viaggiatore (TSP)

Definizione

Problema:

Dato un **grafo** (N,E) dove le città rappresentano i nodi e gli archi E le strade che connettono le città, trovare il **cammino di lunghezza minima** per connettere tutte le città visitandole **una ed una sola volta**.

Perché scegliamo questo problema ?

- L'approccio ACO è facilmente adattabile
- E' un problema NP-hard
- E' un problema benchmark nell'ottimizzazione combinatoria
- E' un problema didattico



Pagina: 9/17

Un semplice algoritmo ACO (Dorigo et al., 1992)

Funzionamento generale

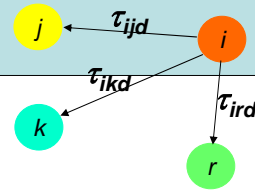
- In una iterazione t dell'algoritmo m formiche costruiscono tours visitando tutte le città del grafo (N,E) .
- La formica k passa dalla città i alla città j tramite una regola probabilistica
- Il percorso più breve viene salvato in T^+ e la relativa distanza in L^+
- Aggiornamento del feromone sugli archi visitati
- Il numero di iterazioni è limitato dall'utente: t_{max}



Pagina: 10/17

Un semplice algoritmo ACO

Scelta del nodo



Basata su:

1. la **città** non è stata ancora visitata (ogni formica k , che si trova nella città i ha una memoria detta *tabu-list* ovvero una lista J_i^k delle città che deve ancora visitare)

2. l'inverso della **distanza** (informazione euristica dipendente dal problema)

$$\eta_{ij} = 1/d_{ij}$$

3. la traccia di **feromone** virtuale

$$\tau_{ij}(t)$$



Pagina: 11/17

Un semplice algoritmo ACO

Scelta del nodo – Regola di transizione

Probabilità che una formica k passa dalla città i alla città j mentre costruisce il t -esimo tour è:

$$p_{ij}^k(t) = \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{ij}]^\beta}{\sum_{l \in J_i^k} [\tau_{il}(t)]^\alpha \cdot [\eta_{il}]^\beta}$$

Se $\alpha=0$ la transizione avviene solo considerando la vicinanza delle città (soluzione non ottenibile in tempo polinomiale)

Se $\beta=0$ la transizione avviene solo considerando la quantità di feromone (soluzione ottenuta non ottimale)

Osservazione:

Due formiche che si trovano nella città i possono avere probabilità diverse per andare su j



Pagina: 12/17

Un semplice algoritmo ACO

Aggiornamento del feromone

Al completamento di un tour ogni formica k lascia su ogni arco una quantità di feromone pari a:

$$\Delta\tau_{ij}^k(t) = Q / L^k(t) \text{ se } (i, j) \in T^k(t), 0 \text{ altrimenti}$$

Q = parametro dell'algoritmo

Notare che se la lunghezza del tour trovata è piccola, la quantità di feromone rilasciata è grande.

Decadimento feromone (rischio di soluzioni non ottimali):

$$\tau_{ij}(t+1) \leftarrow (1 - \rho) \cdot \tau_{ij}(t) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k(t), 0 \leq \rho < 1$$

ρ = parametro che rappresenta il coefficiente decadimento

Notare che se la lunghezza del tour trovata è piccola, la quantità di feromone rilasciata è grande.



Pagina: 13/17

Un miglioramento: l'algoritmo MAX-MIN

Stutzle & Hoos, 1997

1. Solo la formica k che ha ottenuto il miglior tour $L^k(t)$ aggiorna il feromone sugli archi visitati $T^k(t)$

2. il valore del feromone sugli archi è racchiuso tra:

$$[\tau_{MIN}, \tau_{MAX}]$$

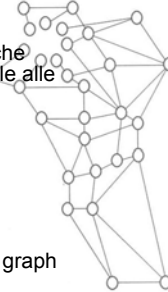
3. Le tracce sono inizializzate al valore massimo



Pagina: 14/17

Altri problemi risolvibili con approccio ACO

- **AntNet**: algoritmo di routing adattativo basato su colonie di formiche che esplorano la rete con l'obiettivo di costruire tabelle di routing ed adattarle alle condizioni di traffico. Algoritmo dinamico e distribuito.
- **TSP-like problems**
 - sequential ordering, vehicle routing
- **Assignment problems**
 - QAP, generalized assignment, frequency assignment, timetabling, graph coloring
- **Scheduling problems**
 - single machine total weighted tardiness, permutation flow shop, job-shop, open-shop, group-shop, resource constrained project scheduling
- **Subset problems**
 - set covering, multiple knapsack, maximum independent set
- **Other problems**
 - learning Bayesian networks, learning fuzzy rules, and
 - many more ...



Pagina: 15/17

Applicazioni reali

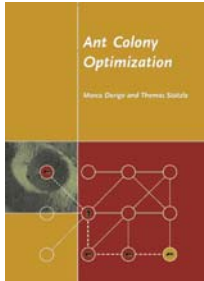
- Vehicle routing with time windows
(AntOptima, Migros Supermarkets, Switzerland)
- Routing of gasoline trucks in Canton Ticino
(AntOptima, in use by Pina Petroli, Switzerland)
- Job-shop scheduling
(EuroBios, in use at Unilever, France)
- Project scheduling
(Dr. Kouranos, in use at Intracom S.A , Greece)
- FaxFactory application
(Prof. Rothkrantz, Delft Universitaet, in use at KPN, Netherlands)
- Water management problems
(Dr. Mariano, Mexican Institute of Water Technology, Mexico)
- Sequential ordering in a production line
(Dr. Gambardella, under evaluation at MCM, Italy)



Pagina: 16/17

Riferimenti

Bibliografia:



Dorigo and Stützle
MIT Press, 2004

Table of contents

1. From real to artificial ants
2. The ACO metaheuristic
3. ACO for the traveling salesman problem
4. ACO theory
5. ACO for NP-hard problems
6. AntNet: An ACO algorithm for data network routing
7. Conclusions and prospects for the future

Internet:

ACO Web Site: <http://www.aco-metaheuristic.org>

ACO mailing-list: aco-list-request@iridia.ulb.ac.be

mail: rghezzioli@iridia.ulb.ac.be, mdorigo@ulb.ac.be

Conferenze:

ANTS 2004 <http://iridia.ulb.ac.be/~ants/ants2004>

