

Studio di un Ant System per la Risoluzione del Central Place Foraging Problem

Nicola Dalpasso, *Studente LM in Informatica, Università di Bologna*

Sommario—Le formiche utilizzano un feromone per la comunicazione, che rilasciano mentre camminano. Queste tracce vengono utilizzate dalle altre formiche per trovare il cibo, sfruttando in questo modo il lavoro svolto dalle compagne. Questo comportamento ha ispirato una nuova famiglia di algoritmi denominata *Ant System*. Algoritmi di questo tipo vengono utilizzati in diversi campi, come ad esempio per problemi di scheduling, problema del commesso viaggiatore e routing dei pacchetti in una rete. Viene qui utilizzata la tecnica del *Ant System* per risolvere il problema del *central place foraging*.

I. INTRODUZIONE

Molte specie di formiche rilasciano una traccia di feromone sul loro percorso mentre camminano. Una formica inizialmente si muoverà in maniera casuale, ma quando incontra una traccia di feromone la seguirà con molta probabilità, rafforzando a sua volta la traccia. Da questa interazione nasce un comportamento autocatalitico in cui più sono le formiche che seguono una traccia, maggiormente essa risulterà attrattiva per altre formiche. Dato che singolarmente le formiche hanno scarse capacità, per sfruttare appieno il meccanismo di feed-back positivo derivante dal feromone, è necessaria la presenza di una collettività di formiche. Una colonia è infatti maggiormente in grado di esplorare lo spazio circostante che non un numero esiguo di esemplari. Un ulteriore meccanismo che entra in gioco è l'evaporazione del feromone, in funzione di feed-back negativo. Questo permette la limitazione della quantità di feromone presente sul terreno (che tenderebbe altrimenti ad esplodere) e soprattutto permette di dimenticare le decisioni passate prese dalla colonia. In questo modo si riduce il rischio di convergenze verso soluzioni non ottimali.

Queste caratteristiche permettono la progressiva costruzione della soluzione, cioè la scoperta del fonte di cibo da parte delle formiche. Anche nel caso in cui vengano trovati più percorsi, il processo di feed-back positivo premia la strada più breve. Ipotizziamo che il percorso si biforchi in due rami a e b e che il ramo a sia quello più breve. Se inizialmente hanno lo stesso livello di feromone, verranno scelti con pari probabilità. Le formiche del ramo a torneranno indietro prima, in virtù della minor strada percorsa, rinforzando con ulteriore feromone il ramo a che quindi verrà scelto con probabilità più alta. Il risultato finale è il progressivo aumento del feromone sul ramo a a discapito del ramo b che verrà infine abbandonato [1].

La famiglia di algoritmi che prende ispirazione da questo comportamento delle formiche, prende il nome di *Ant System* e possono essere utilizzati per la risoluzione di diversi problemi, come ad esempio problemi di scheduling, problema del commesso viaggiatore e routing dei pacchetti in una rete [3].

Lo scopo di questo lavoro è stato lo studio e l'implementazione di un *Ant System*. Il problema che è stato affrontato riprende molto da vicino il comportamento reale delle formiche e consiste nella ricerca del cibo e il conseguente ritorno della formica al nido utilizzando il percorso più breve. Questo tipo di problema è noto con il nome di *central place foraging*.

L'algoritmo sviluppato si basa sul lavoro svolto da Panait e Luke in [2]. Si è cercato inoltre di mantenere l'algoritmo semplice, per concentrarsi sulle caratteristiche essenziali del sistema e mettendo in secondo piano quelle che, pur aumentandone le prestazioni, lo avrebbero reso più complesso.

Il resto dell'articolo è organizzato come segue. Nella sezione II viene offerta una visione d'insieme dell'algoritmo. Nella sezione III viene descritto e illustrato l'algoritmo sviluppato e successivamente (sezione IV) vengono analizzati i parametri del modello e mostrati alcuni esempi di esecuzioni. Nella sezione conclusiva (V) si considerano alcuni aspetti oggetto di eventuali sviluppi.

II. PANORAMICA DELL'ALGORITMO

Lo scenario è composto da un terreno e una colonia di formiche.

Sul terreno è posizionato un solo e unico nido, almeno una fonte di cibo ed eventualmente degli ostacoli. Le formiche partono tutte dal nido con lo scopo di raggiungere il cibo e tornare al punto di partenza. Gli ostacoli costituiscono ovviamente punti del terreno non attraversabili. Per semplicità, il terreno è rappresentato da una griglia rettangolare, in cui ogni casella può essere il nido, un ostacolo, del cibo oppure essere libera. Ogni casella libera o di cibo può essere attraversata dalle formiche durante l'esplorazione. Non è presente alcun limite al numero di formiche che possono esistere allo stesso istante nella medesima casella. I bordi del terreno costituiscono inoltre un limite invalicabile.

La colonia fa uso di un solo tipo di feromone, il cui significato è indicare la via verso la fonte di cibo. Quando una formica si trova nella stessa posizione in cui si trova il cibo, la sua ricerca termina. Il problema di come ritornare al nido è stato risolto dotando ogni formica di una memoria che conserva l'intero percorso effettuato. Il viaggio di ritorno ripercorre a ritroso esattamente quello di andata e nel contempo la formica vi rilascia una quantità costante di feromone. L'evaporazione del feromone presente sul terreno, avviene su base percentuale.

Ogni formica presente sul terreno è caratterizzata da uno degli otto orientamenti possibili: N, NE, E, SE, S, SW, W, NW. Quando bisogna stabilire in quale posizione la formica

Parametro	Valore
Dimensione terreno	100x100
Posizione nido	(20,20)
Posizione cibo	(70,70)
Massimo numero formiche	1000
Vita massima formiche	500
Formiche nate per ogni passo	4
QF (feromone depositato)	α
	2
	β
	2
$EVAP$ (tasso evaporazione)	1%

Tabella I
PARAMETRI DEL MODELLO

dovrà spostarsi, vengono inizialmente considerate le sole tre posizioni frontali rispetto l'orientamento attuale. Ad esempio se l'orientamento è E, le posizioni frontali sono NE, E, SE; se l'orientamento è NE, le posizioni frontali sono N, NE, E. Se nessuna delle posizioni frontali è attraversabile dalla formica, allora vengono prese in considerazione tutte le otto posizioni adiacenti alla formica.

III. ALGORITMO

Viene qui illustrato l'algoritmo utilizzato. Alcune parti marginali sono state solo descritte e omesse dallo pseudocodice per non appesantire eccessivamente il listato.

Il ciclo principale consiste in una alternanza di "passi della colonia" e processo di evaporazione del feromone.

L'evaporazione del feromone avviene attraverso la definizione del tasso di evaporazione $EVAP$. Per ogni casella del terreno, il nuovo livello di feromone f viene calcolato con la seguente formula:

$$f \leftarrow f \cdot (1 - EVAP) \quad (1)$$

Il "passo della colonia" consiste nell'esecuzione dell'algoritmo 1 per ogni formica attiva (cioè presente sul terreno ed in cerca di cibo o di ritorno al nido). Si occupa inoltre (non mostrato nello pseudocodice) di far nascere nuove formiche dal nido. È stato utilizzato un limite massimo al numero di formiche che posso nascere dal nido nello stesso passo. Le nuove formiche vengono collocate sopra il nido.

La ricerca del cibo (algoritmo 2) prevede innanzitutto il caso particolare in cui la formica sia appena nata e posizionata sul nido. In questo caso viene scelto un orientamento iniziale fra tutti gli otto possibili orientamenti. Dopodiché l'algoritmo è il medesimo sia per le formiche appena nate che per quelle già sul terreno. La posizione successiva della formica viene scelta inizialmente fra le posizioni frontali, ma se queste sono tutte non attraversabili dalla formica, allora vengono prese in considerazione tutte le posizioni adiacenti. Quest'ultimo caso restituisce sempre una posizione valida, perché al limite la formica può sempre tornare sui propri passi. Viene quindi aggiornato l'orientamento, la posizione e verificato che la formica abbia trovato il cibo. L'array *percorso* viene utilizzato per memorizzare il tragitto effettuato dalla formica durante la ricerca del cibo e *iPerc* è l'indice utilizzato per scorrerlo. Non mostrato nello pseudocodice, è presente anche il controllo del raggiungimento della vita massima della formica, calcolata

sulla base dello spazio percorso. È considerato uno spazio percorso di 1 per gli spostamenti orizzontali e verticali e di $\sqrt{2}$ per quelli in diagonale.

Dato un insieme di n possibili posizioni in cui la formica può spostarsi partendo dalla posizione attuale, la probabilità p_k che la formica si sposti nella posizione k è calcolata con la seguente formula:

$$p_k = \frac{(\alpha + f_k)^\beta}{\sum_{i=1}^{i \leq n} (\alpha + f_i)^\beta} \quad (2)$$

dove f_k è la quantità di feromone presente della posizione k ; α rappresenta il livello di attrazione base delle caselle prive di feromone; β rappresenta la non linearità nella decisione.

La procedura dell'algoritmo 3 prende come input un insieme di possibili posizioni di destinazione e, dopo aver eliminato quelle non attraversabili, ne seleziona una con probabilità definita dalla formula (2).

L'algoritmo di ritorno al nido (algoritmo 4) si occupa di ripercorrere a ritroso i passi memorizzati in *percorso* e di depositare il feromone lungo il tragitto.

Il feromone viene depositato nella sola posizione in cui è presente la formica e in quantità costante definita da QF (algoritmo 5).

Algoritmo 1 Passo della formica

```

if haCibo = true then
    TORNAAALNIDO
else
    RICERCACIBO
end if

```

Algoritmo 2 Ricerca del cibo usando le tracce di feromone

```

procedure RICERCACIBO
    if formica sul nido then
         $S \leftarrow$  posizioni adiacenti
         $x \leftarrow$  SELEZIONAPOSIZIONE( $S$ )
        orientamento  $\leftarrow$  nella direzione di  $x$ 
        percorso[0]  $\leftarrow$  posizione corrente
        iPerc  $\leftarrow$  1
    end if
     $S \leftarrow$  posizioni frontali
     $x \leftarrow$  SELEZIONAPOSIZIONE( $S$ )
    if  $x = \text{null}$  then
         $S \leftarrow$  posizioni adiacenti
         $x \leftarrow$  SELEZIONAPOSIZIONE( $S$ )
    end if
    orientamento  $\leftarrow$  nella direzione di  $x$ 
    percorso[iPerc]  $\leftarrow$   $x$ 
    iPerc  $\leftarrow$  iPerc + 1
    sposta la formica in  $x$ 
    if formica posizionata sul cibo then
        raccogli il cibo
        haCibo  $\leftarrow$  true
        iPerc  $\leftarrow$  iPerc - 1
    end if
end procedure

```

Algoritmo 3 Dato un insieme di posizioni, ne seleziona una usando le probabilità calcolate con l'equazione (2)

```

procedure SELEZIONAPOSIZIONE(insieme)
    insieme  $\leftarrow$  insieme – posizioni proibite
    x  $\leftarrow$  seleziona una posizione fra quelle presenti in
    insieme, dove ogni posizione è scelta con probabilità
    definita dalla formula (2)
    return x
end procedure

```

Algoritmo 4 Ritorna al nido percorrendo a ritroso il tragitto iniziale e rilasciando il feromone

```

procedure TORNAALNIDO
    DEPOSITAFEROMONE
    iPerc  $\leftarrow$  iPerc – 1
    sposta la formica in posizione percorso[iPerc]
    if formica posizionata sul nido then
        rilascia il cibo
        rimuovi la formica dal terreno
    end if
end procedure

```

Algoritmo 5 Deposita una quantità costante di feromone

```

procedure DEPOSITAFEROMONE
    deposita  $QF$  feromone nella posizione attuale
end procedure

```

IV. PARAMETRI DEL MODELLO ED ESPERIMENTI

La messa a punto dei parametri del modello ha avuto come obiettivo la ricerca del percorso nido-cibo con lunghezza minima, anche se ciò ha comportato inevitabilmente una minor velocità di convergenza. I risultati mostrati nelle prossime tabelle, sono state ottenute eseguendo 20 run e utilizzando i parametri della tabella I.

I parametri del modello sono molteplici, ma al fine di comprenderne i meccanismi, il loro numero può essere ridotto. Per quanto riguarda il terreno non sono stati individuati particolari vincoli. Riguardo la popolazione di formiche così come la loro vita massima, devono essere in proporzione alla dimensione del terreno. Valori troppo bassi riducono infatti la capacità di esplorazione del terreno. Infine l'uso di un limite di poche unità al numero di formiche che possono nascere per ogni passo, permette di avere una popolazione attiva con una vita residua variegata. Questo evita la “morte” in massa delle formiche e la perdita parziale delle tracce di feromone fino a quel momento accumulato, dal momento che servirà un certo lasso di tempo affinché l'intero terreno venga nuovamente esplorato.

Di maggiore importanza sono i rimanenti parametri. I parametri QF e α permettono di definire rispettivamente i pesi delle nuove scie di feromone e del terreno sprovvisto di feromone nel calcolo delle probabilità della formula (2). Ciò che è rilevante non è il loro valore assoluto, ma il loro rapporto $\frac{QF}{\alpha}$. I parametri sono quindi stati ridotti a tre.

QF/α	Media	Dev. Std.
0.8	89.45	9.98
1.0	79.45	2.39
6.0	84.53	5.14

Tabella II
MEDIA E DEVIATION STANDARD DEL PERCORSO MINIMO AL VARIARE DEL RAPPORTO QF/α

β	Media	Dev. Std.
2	79.45	2.39
4	84.86	5.14
8	89.26	7.71

Tabella III
MEDIA E DEVIATION STANDARD DEL PERCORSO MINIMO AL VARIARE DI β

QF/α definisce l'importanza del feromone rispetto al terreno “vergine”. Per valori minori di 1 la convergenza diventa rapidamente sempre più lenta, mentre per valori maggiori di 1 si ha maggior velocità a discapito della capacità di esplorazione del terreno. La tabella II mostra il comportamento del sistema per vari valori di QF/α . Per $QF/\alpha = 0.8$, oltre ad aver una media più elevata, si crea difficilmente un percorso stabile. Lo si può capire dalla quantità media di cibo raccolto, che in questo caso è 3241 con una deviazione standard di 5227, contro valori rispettivamente di 17146 e 5967 per $QF/\alpha = 1$.

β definisce la sensibilità delle formiche alle variazioni di quantità di feromone. Deve essere maggiore o uguale a 1 per avviare il processo di autocatalizzazione, meglio se almeno pari a 2 per non avere convergenze estremamente lente. Valori maggiori permettono una veloce convergenza a discapito dell'esplorazione del terreno. La tabella III mostra i risultati per differenti valori di β .

Il tasso di evaporazione $EVAP$ permette di “dimenticare” i passati percorsi scoperti dalle formiche evitando la convergenza verso percorsi non ottimali. Inoltre controbilancia il processo di autocatalizzazione che, altrimenti, porterebbe ad una esplosione della quantità di feromone presente nel terreno. È possibile usare valori anche molto bassi, ma un valore elevato causa la mancata creazione di tracce stabili di feromone. La definizione di un valore elevato o basso per $EVAP$ dipende anche da QF/α e β . Usando i valori della tabella I, il limite superiore è di circa 1%, che può essere diminuito anche di 1 o 2 ordini di grandezza al costo di una più lenta convergenza e la creazione di percorsi multipli. Nella tabella IV sono mostrati i risultati per differenti tassi di evaporazione. Per $EVAP = 10\%$ si ottiene una media di cibo raccolto di appena 101, a dimostrazione della mancata avvio del processo di autocatalizzazione.

Nella figura 1 è mostrata una tipica esecuzione. Il nido è collocato in alto a sinistra, mentre il cibo in basso a destra. Il feromone è rappresentato con una sfumatura che va dal bianco (assenza di feromone) al verde, fino al blu. I puntini rappresentano le formiche. Si può notare come nelle prime fasi le formiche si disperdano sull'intero terreno con una concentrazione decrescente all'aumentare della distanza dal nido. Variando il numero di formiche e la loro vita massima è

<i>EVAP</i>	Media	Dev. Std.
0.1%	80.94	3.15
1%	79.45	2.39
10%	100.83	6.78

Tabella IV

MEDIA E DEVIAZIONE STANDARD DEL PERCORSO MINIMO AL VARIARE DI *EVAP*

possibile regolare quanto le formiche si allontanano dal nido e la loro concentrazione.

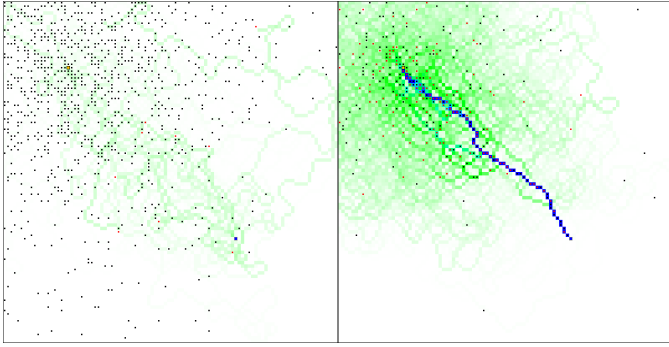


Figura 1. Tipica esecuzione. A sinistra dopo 3000 passi; a destra dopo 5000 passi.

A. Percorso non ottimale

La figura 2 mostra un esempio di risultato non ottimale ottenuto cambiando i parametri $QF/\alpha = 2$ e $\beta = 5$. La convergenza è molto più rapida, ma a scapito della lunghezza maggiore del percorso trovato: la figura 2 mostra un percorso lungo 77.74, quello di figura 1 lungo 91.74, a fronte un percorso minimo ottimo di 70.71.

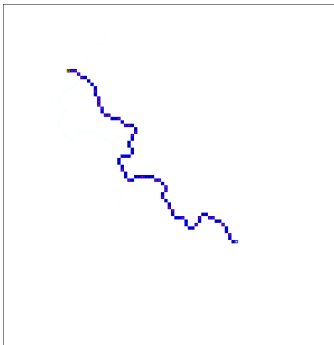


Figura 2. Percorso non ottimale ottenuto modificando alcuni parametri: $QF/\alpha = 2$, $\beta = 5$. Risultato dopo 2000 passi.

B. Formazione di cicli

È stata osservata la formazione occasionale di cicli nel cammino delle formiche, come mostrato in figura 3. Oltre ad allungare il percorso presentano anche l'effetto collaterale di diminuire, anche in modo rilevante, la quantità di cibo raccolto. Questo risulta evidente nell'immagine di sinistra della figura, in cui il percorso verso il cibo è azzurro, indicando

un basso livello di feromone come conseguenza di essere un tratto poco frequentato. A contrario, il ciclo vicino al nido è blu scuro, indicando un alto livello di feromone e una elevata frequentazione da parte delle formiche che percorrono più volte il ciclo prima di uscirne.

Si tratta comunque di un comportamento osservato anche nelle formiche reali e non di un problema insito nell'algoritmo.

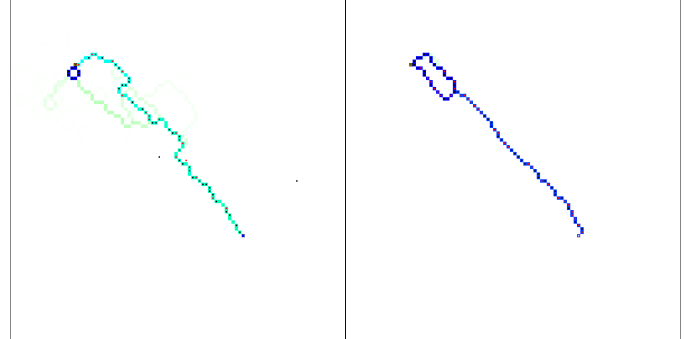


Figura 3. Formazione di cicli. Il colore azzurro chiaro nell'immagine di sinistra indica bassi livelli di feromone.

C. Ostacoli

È stato ripetuto l'esperimento inserendo un ostacolo intermedio fra nido e cibo. La presenza di ostacoli limita la capacità di esplorazione del terreno da parte delle formiche che si traduce in una più lenta velocità di convergenza. Questo comportamento può essere controbilanciato aumentandone sia il numero che la vita massima. Si può agire anche diminuendo il tasso di evaporazione del feromone per rendere più persistenti le tracce delle poche formiche che inizialmente riusciranno a raggiungere il cibo. Per questo esperimento è stata utilizzata una popolazione di 2000 formiche e una vita massima di 600.

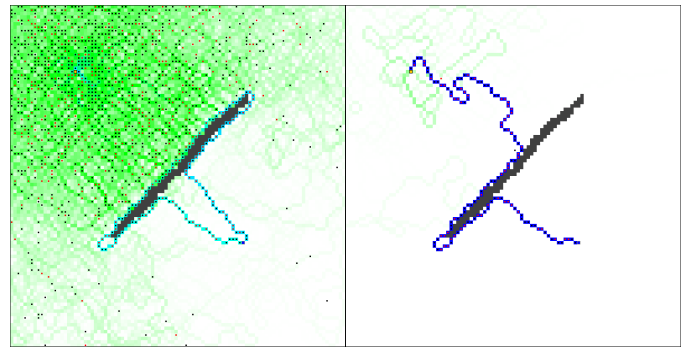


Figura 4. Evoluzione in presenza di uno ostacolo. A sinistra dopo 4000 passi; a destra dopo 8000 passi.

V. CONCLUSIONI

L'obiettivo di implementazione e studio un *Ant System* in grado di risolvere il problema del *central place foraging* è stato raggiunto. Sono stati identificati in QF/α , β e *EVAP* i parametri caratterizzanti del sistema. Attraverso la loro variazione si è ottimizzato il modello per minimizzare la lunghezza del percorso trovato. Si sarebbero comunque potute ottimizzare

altre misure, come la velocità di convergenza o la quantità di cibo raccolto.

Un aspetto che richiede maggiore attenzione è la problematica della creazione dei cicli. Una possibile soluzione è depositare una quantità di feromone maggiore sui percorsi più brevi trovati dalle singole formiche. Le formiche che compiono molteplici giri nei cicli prima di uscirvi risultano in questo modo penalizzate rispetto alle formiche che non sono vi sono rimaste intrappolate.

Nelle figure 2 e 4, ma in minima parte anche in figura 1, si vede come il percorso può essere migliorato per progressivi smussamenti. Tuttavia quando l'algoritmo si stabilizza su un percorso, esso viene seguito da tutte le formiche e l'esplorazione del terreno si ferma. Uno sviluppo interessante è quindi la capacità di ottimizzazione di un percorso precedentemente trovato oppure assicurare sempre un certo grado di esplorazione.

RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- [1] Claire Detrain e Jean-Louis Deneubourg, *Self-organized structures in a superorganism: do ants "behave" like molecules?*, Physics of Life Reviews, 2006
- [2] Liviu A. Panait e Sean Luke, *Ant Foraging Revisited*, George Mason University, Fairfax
- [3] Marco Dorigo e Thomas Stützle, *The Ant Colony Optimization Metaheuristic: Algorithms, Applications, and Advances*, Handbook of Metaheuristics, 2002