フェロモンによる行動モデルと組み合わせに関する考察

三神佳岳[1]　但馬康宏[2]　小谷善行[3]

東京農工大学工学教育部

[1]mikayoshi@fairy.ei.tuat.ac.jp　[2]ytajima@cc.tuat.ac.jp　[3]kotani@cc.tuat.ac.jp

概要

グラフの問題やパズルなどの探索問題、いわゆる組み合わせ問題の一つであるナップサック問題について、蟻の行動概念を導入することを考える。社会性昆虫と呼ばれる蟻は、自身の分泌するフェロモンと呼ばれる物質を途中の経路に残しておくことで、他の蟻と間接的に意思表明を行うことができ、それぞれが特に意識していなくても全体として高度な群行動をとることが知られている。その行動の特徴である単純な設計、動的変化に対する有効性をナップサック問題に適用させることを考え、パラメータの1つであるランダム確率の変動によってその効果がどのように変化するか検証する。

Consideration of a Model Based on Making Multiple Behavior Using Pheromones

Yoshitaka Mikami　Yasuhiro Tajima　Yoshiyuki Kotani

Department of Computer, Information and Communication Sciences

Tokyo University of Agriculture and Technology

Abstract

We introduce a concept of the behavior of ants to a knapsack problem which is a type of combinational problem, e.g. graphs and puzzles. Social insects e.g. ants are known by using their own pheromones that are secreted to express their intention indirectly with other ones and making collective behaviors highly on the whole. In this paper we think of applying it to the knapsack problems that is a characteristic of the simple design and the effectiveness of dynamic changes, and we verify how the effect can change by the random probability.

1. はじめに

グラフの問題やパズルなどの探索問題、いわゆる組み合わせ最適化問題などには、題意を満たす中で最適な解を導くためのアルゴリズムも多く存在する。たとえば巡回セールスマン問題では動的計画法などで解を導くことができ、もし要素数が多くても遺伝アルゴリズムなどで近似解を得ることが可能になる[1]。迷路やペントミノなどでは再帰的に調べることによって完成させる手法もある。しかし、各問題にしたがって仕様を大きく変更する必要があり、場合によって局所解に陥る可能性も多い。たとえば迷路では序盤の分岐によって実行時間が大きく変わってくることもある。このような問題に対し、昆虫の蟻の行動モデルに当てはめて解く手法について考える。

自然界では動物たちは群れのような集団を形成して生活するものが多いが、その中でも、蟻や蜂などの昆虫は他の生物（鳥類や哺乳類など）と比較しても特に脳細胞をわずかしか持っていないにもかかわらず、自身の分泌するフェロモンという化学物質によって、他の蟻と集団で行動したり、異性を誘引したりすることができる。そしてこのような行動は、Colorni らによって提唱された蟻エージェントを用いた巡回セールスマン問題に対するアルゴリズムに対しても広く用いられている[2]。

昆虫の蟻が作り出す最適な経路と計算問題などの最適解、この2つをうまく組み合わせられないだろうか、

また他のアルゴリズム以上に多様な解を導くことができ、かつその中から最もよい解を得ることができるというフェロモンコミュニケーションを他の問題にも適用できないか、蟻の行動設定はそのままに、基本ルールなどの外部の設定を変更するだけで済まないか、と考え、特に（餌などの要素の）組み合わせとその選択のしかたに着目した。

2. フェロモンコミュニケーション

ここでいうフェロモンとは、他のエージェントと間接的にコミュニケーションを行う道標フェロモン[3]のことを指す。

社会性昆虫とも呼ばれている蟻は、個々としては単純に移動しているようにも見えるが、その蟻が複数匹集まって群としてまとまると、フェロモンによって単体ではできないことが可能になる。このようなフェロモンを用いたエージェント同士の通信手段をフェロモンコミュニケーションと呼ぶ[4]。図1にフェロモンコミュニケーションの流れを示す。ここでは巣から出たエージェントはフェロモンの道筋をたどって餌までたどり着き、餌を運びながら巣までたどり着く様子を表している。

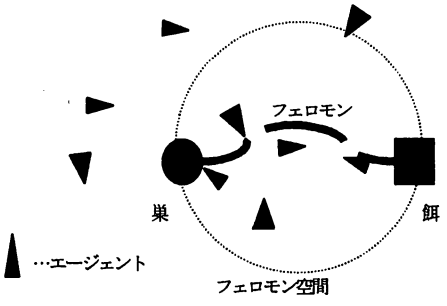


図1 フェロモンコミュニケーションの流れ

また、ここで考えるエージェントの行動の概略を以下に示す。

(i) 巣から出る
(ii) 周りを適当にうろつく（場合によっては直接(v)へ）
(iii) 周辺のフェロモンに反応する
(iv) フェロモンの濃度の濃い方向へ移動する
(v) やがて餌のある場所に到着する
(vi) 餌を獲得し、巣に向かって（巣フェロモンの濃度の濃い方向へ）移動する。このとき、移動途中でフェロモンを残す
(vii) 巣にたどり着いたら餌を離し、(i)へ戻る

3. ナップサック問題

組み合わせ問題の一つであるナップサック問題について考える。

3.1 問題の定義

まず、ナップサック問題の定義を以下に示す。なお、この定義は[5]に基づいており、単純に総当たりで解いた場合、要素数を n としたときに組み合わせの数は 2^n 通りになるため、計算時間が指数関数的に増大する問題としても知られている。主な方法にとしては動的計画法（DP : Dynamic Programming）や遺伝アルゴリズム（GA : Genetic Algorithm）を用いたものが挙げられる。

> N 種類のそれぞれ異なる大きさ $m_1, m_2, m_3, \cdots, m_N$ と価値 $v_1, v_2, v_3, \cdots, v_N$ $(v_i > 0)$ がそれぞれ定められている荷物 i $(1 \le i \le N)$ について、それらの荷物を容積 M のナップサックに詰め込むとき、添字の集合 $J \subset \{1, 2, \cdots, N\}$ で制約条件
> $$\sum_{j \in J} m_j \le M \qquad (1)$$
> のもとで総価値
> $$V = \sum_{j \in J} v_j \qquad (2)$$
> を満たす荷物の組み合わせ（添字 J）を求める

この問題に関して、蟻の概念を用いて組み合わせを考えたもの、蟻の概念は用いるが組み合わせは考えないもの、およびほかのアルゴリズム、それぞれについて同じモデルを用いて比較する。

3.2 アプローチ

ナップサック問題とフェロモンコミュニケーションとの対応付けを表1のように行った。

表1　2種類のモデルとの対応

ナップサック問題	フェロモンコミュニケーション
ナップサック	巣
荷物	餌
荷物の大きさ m_i	餌の大きさ

組み合わせを考慮する場合の概念図を図2に示す。

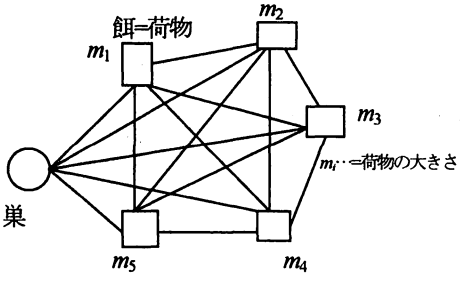


図2　組み合わせを考慮する場合のナップサック問題のモデル概念図（$N=5$）

図2のように、ある空間内に巣とN個の餌があり、巣と餌間、および任意の餌同士には移動するための経路が存在し、各経路には一定量のフェロモンが分泌されている。任意の経路の初期フェロモン量を$\tau(0)$とする。

2節の概略で示したように、エージェントは最初すべて巣の位置にいる。システムが開始されると、エージェントはナップサックの容積を超えない範囲で餌の地点を通過し、最後に再び巣穴に戻ってくる。どの経路を通過するかは、途中の経路のフェロモンの濃度によって確率的に計算される。あるエージェントkが巣穴（または任意の荷物）iから任意の荷物jへ移動する確率p_{ij}^kを、途中の経路のフェロモン濃度τijを用いて以下の式で求める。

$$p_{ij}^k = \frac{\tau_{ij}}{\sum_{l \in \mathrm{allowed}^k} \tau_{il}} \qquad (3)$$

$$\sum_{l \in \mathrm{allowed}^k} \tau_{il} = 0 \text{ ならば } p_{ij}^k = \frac{1}{\left|\mathrm{allowed}^k\right|}$$

なお、$\mathrm{allowed}^k$はエージェントkが移動できる荷物のリストを表し、一度通過した荷物、大きさの総和がMを超える荷物、および巣穴はリストから除外される。

移動先の餌場がなくなって（$\left|\mathrm{allowed}^k\right| = 0$のとき）エージェントが巣穴に戻ったときにこのリストはリセットされる。

また、局所解に陥るのを防ぐため、ある確率p_rで式(3)を無視して餌場を選択できるようにする。これにより、ナップサックの容積を超えない限りフェロモンがまかれていない餌場も選択できるようになる。ここでは$p_r = \frac{1}{100}$とした。

すべてのエージェントがこの一連の行動をとり終わるまでを1ループとする。1ループが終わると各エージェントはこれまで獲得した荷物の総価値を解とし、解に応じた量のフェロモンを、これまで通過した経路に分泌する。また、フェロモンはループごとに蒸発・消失するが、ループ数sにおいてある経路(i, j)間のフェロモン量$\tau_{ij}(s+1)$は、蒸発係数αを用いて以下の式で表される。

$$\tau_{ij}(s+1) = (1-\alpha)\tau_{ij}(s) \qquad (4)$$

各エージェントについて、Lループの間における最大の解を求め、その解を得ることができたエージェントの数を調べ、得られた値から1体あたりにおける最適解の獲得回数を求める。

以上の処理をさらにF回繰り返し、F回の中で最適解を何度獲得できたかを出力する。

3.3　検証実験

これまでのアプローチにおいて、以下に示すナップサック問題において、性能の評価を行う。

$(m, v) = (3,3), (4,4), (5,5)$、$M=7$、$N=3$　　(*)

このモデルでは、ナップサックの容積が7なので次の2種類の解が生成されることが予想される。

(i)　$(m, v) = (3,3), (4,4)$　解7

(ii)　$(m, v) = (5,5)$　解5

また、同様の問題を[6]の組み合わせを考えないモデルに対しても適用し、解の性能を比較する。

個々のパラメータの値は、表2の通りとする。また、エージェント数は荷物数$N=3$と等しい数とおく。

表2　実験のパラメータの値

$\tau(0)$	F	L
10	1000	20000

両解法による検証結果を表3に示す。表3は、F=1000回の試行にいてそれぞれの組み合わせがどのくらいの回数で得られるかを示している。

表3　組み合わせの有無による獲得種類と回数の比較

(m, v)	(3,3),(4,4)	(5,5)
組み合わせなし	109回	891回
組み合わせあり	785回	215回

次に、フェロモンとは無関係の餌場に移動する確率p_rについて、どの値であればより総価値の高い解を獲得することができるか調べる。(*) で示したモデルに対して、ランダム確率p_rを0%から10%の範囲で変化させ、1000回の試行のうち(m, v)=(3,3),(4,4)の組み合わせを何度選択できるかを調べた。p_rによる獲得回数の変化の様子を図3に示す。

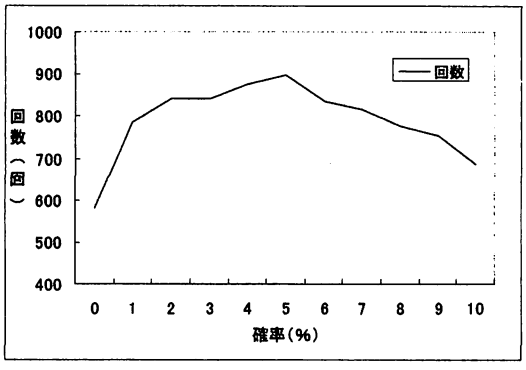


図3　ランダム確率と獲得回数の変化

また、ランダム確率が1%のとき、あるループ内において(m, v)=(3,3),(4,4)の組み合わせが何度選択されているかを表したグラフを図4に示す。

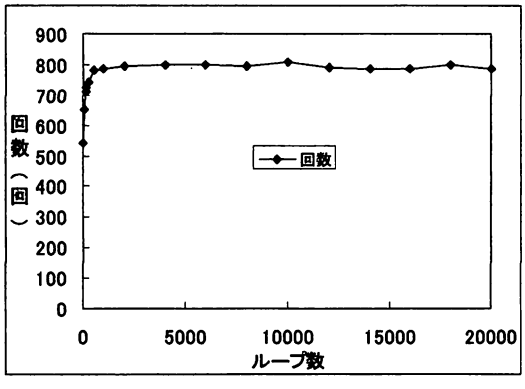


図4　ループ数と獲得回数の変化

3.4　考察

表3の結果を見ると、総価値5の荷物単体を高頻度で選択する[6]のモデルと比べ、単体として価値は低いが組み合わせることにより総価値7を獲得できる本手法の方が性能を上回ることになった。

一方、ランダム確率が1%における、ループごとの獲得回数は、780回獲得した500ループ目以降横ばいとなり、800回付近で収束してしまっている。回数をできる限り1000回に近づける手法として、動的なランダム確率の導入について考える。具体的には序盤のループでは確率を大きくして何種類もの解を見つけ出し、終盤のループではより良い解へ絞り込むために確率を小さくしていくなどが考えられる。これについては今後の課題とする

4.　おわりに

本稿では組み合わせ問題の一つであるナップサック問題について、組み合わせの概念の有無における比較、確率やループ数を変動させたときの最適解の獲得回数について検証した。

今後は考察で示した課題や、環境が周期的に変化する場合、さらに他のパズル問題などの組み合わせ問題への適用について考えていきたい。

参考文献

[1] 「Wikipedia‥巡回セールスマン問題」
http://ja.wikipedia.org/wiki/%E5%B7%A1%E5%9B%9E%E3%82%BB%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%82%B9%E3%83%9E%E3%83%B3%E5%95%8F%E9%A1%8C
[2] Marco Dorigo, Vittorio Manizzo, Alberto Colorni: Positive Feedback as a Search Strategy, Technical Report 91-016, 1991
[3] 斎藤哲夫、平嶋義宏、中島敏夫、松本義明、久野英二：新応用昆虫学、朝倉書店、1996
[4] 大内東、山本雅人、川村秀憲：マルチエージェントシステムの基礎と応用、コロナ社、2002
[5] 懸谷耕、坂本明雄：ナップサック問題における動的計画法と遺伝アルゴリズムの比較・評価、高知工科大学情報システム工学科学士論文、2003
http://www.kochi-tech.ac.jp/library/ron/2003/2003info/1040277.pdf
[6] 三神佳岳：フェロモンによる集団行動の形成に基づいたモデルの考察、Game Programming Workshop 2005、pp.118-121、2005