

池田 宗弘

新潟大学大学院自然科学研究科

元木 達也

新潟大学工学部

## 1 はじめに

AntNet [2] はアリの採餌行動にみられる pheromone コミュニケーションの概念をネットワークのルーティング問題に適応した適合型ルーティングである。この手法ではネットワーク上にアリに見立てられたソフトウェアエージェントを放つ。各エージェントは始点と終点を往復する際、経路情報の収集と通過ノードのルーティングテーブルを更新する。

AntNet をはじめとする ant routing 手法はネットワークの安定な状態が続くことによりルーティング確率が1付近に収束し経路が固定化(以下 routing-lock)されてしまうという性質をもつ。このため、ネットワークトポロジーに変化が生じて routing-lock 状態のためなかなか新しい環境に対応できずトラフィックの増大などの問題を引き起こすことがある。この問題に対処するためにエージェントのネクストホップ選択に幅をもたせる方法やルーティング確率に上限値を設け経路の固定化そのものを防ぐ方法など様々な回避手法が提案されている。しかしながら、これらの手法はルーティング確率の更新をすべてエージェントに委ねているためネットワークのトポロジー変化に即座に対応できているとはいえない。

そこで本研究では、多くのルーティングアルゴリズムにみられる flooding を用いてルーティング確率を直接更新する手法を提案し、AntNet のネットワークトポロジー変化に対する適応能力の改善を図る。

## 2 従来の改善手法

routing-lock に関わる従来の改善手法とそれらのトポロジー変化に対する適応能力について次に列挙する。

(従来手法 1. [3]) エージェントのネクストホップ先をある確率でランダムに選択し、エージェントの経路選択に幅を持たせることで経路の固定化を避ける。これにより常にある程度の探求は期待できるが、トポロジー変化に対して迅速に対応することはできない。

(従来手法 2. [1]) ルーティング確率に上限を設けることで固定化そのものを防ぐ。完全に routing-lock 状態は回避できるが、エージェントの探求はそのままルー

ティング確率に依存するので、従来手法 1 ほど安定的な探求は期待できない。

(従来手法 3. [5]) エージェントが長いトリップ時間を経験した際、対応するルーティング確率に対して確率を下げる処理を行う。ルーティング確率更新の方法に幅をもたせることで routing-lock の積極的な解除を行えると考えられるが、長い時間を要すること、エージェントの辿った経路にのみ適応されることなどいくつか気になることもある。

(従来手法 4. [5]) 定期的に各ノードのルーティング確率を同一確率(隣接ノードの選択確率が一樣)に近付けることにより routing-lock の割合を減らす。処理に対してエージェントは直接関与しないが、ルーティング情報を維持するにはエージェントの探索時間から適切に更新間隔を設定しなければならないため間接的にエージェントに依存することとなる。従来手法 3 以上に routing-lock 率を減らすことができるが、その反面、パケットの平均遅延時間が長くなってしまいう傾向がある。

## 3 提案手法: Anti-Pheromone Flooding

従来の改善手法は良くも悪くもすべてがエージェントの探索に依存していたため、適応速度がエージェントの探索間隔に縛られていた。ネットワークトポロジー変化に対する適応能力の改善を図るにはよりタイミングの早い更新手段が必要であると考え。そこで、hello-reply 等によりトポロジー変化を検出したノードが現れたら、ルーティング確率更新の処理をそのノードから周囲のノードに伝播させる。

処理の伝播には制御用パケットを用いる。制御用パケットはエージェントの扱うフェロモンと逆の働き、つまりフェロモンの影響を積極的に打ち消すように振舞う。本研究では便宜上このパケットを anti-pheromone と呼ぶ。anti-pheromone はよりフェロモン堆積量の多いリンクに働きかけ影響を及ぼしていくような一種の方向性をもたせる。この方向性はルーティング確率の大小関係を逆にみることで実現できる [4]。また、anti-pheromone には揮発性をもたせ、更にはエージェントのフェロモンと打ち消し合うことで急速に減衰させる。

これにより、anti-pheromoneは影響を及ぼし過ぎることなくルーティング確率を更新していける。

(Anti-Pheromone Packet の構成) anti-pheromoneとして動作するパケット Anti-Pheromone Packet(以下 app)はターゲットフィールドを識別するためのノード識別子  $l$  と anti-pheromone 量  $\varphi$  で構成される有長限の packets である。これを  $\text{app}(l, \varphi)$  と表す。

(リンク消失検出時の処理) ネットワーク内のノード  $o$  が隣接ノード  $o'$  間のリンク  $l_{oo'}$  の消失を検出したとする。この時、 $o$  はノード  $l$  を目的地としてネクストホップに  $o'$  を選ぶ確率  $P_{o'l}$  が  $P_{o'l} \geq 0.7$  である  $l$  の集合を  $T$  として、各  $l \in T$  に対して  $o'$  から  $\text{app}(l, P_{o'l})$  を受け取ったとして app 受信時の処理を行う。ただし、 $o$  においては hello-reply 処理により  $o'$  への遷移確率が完全に失われるため、ルーティング確率の更新は必要ない。

(app 受信時の処理) ノード  $k$  がノード  $f$  から  $\text{app}(l, \varphi)$  を受信した場合、 $k$  の隣接ノード集合  $N_k$  から  $f$  を除いた  $N_k - \{f\}$  の中からルーティング確率が  $P_{f_l}$  以下となるノードを抜き出し、その集合を  $N'_k$  とする。これは  $f$  方向へのパケットの流れが  $f$  より流出量の低い  $N'_k$  から発生する可能性が高いという推測による。続いて次のようにルーティング確率を更新する。

$$P_{f_l} \leftarrow P_{f_l} - \varphi P_{f_l},$$

$$P_{n_l} \leftarrow P_{n_l} + \varphi \left( \frac{P_{f_l}}{|N_k| - 1} \right), \forall n \in N_k - \{f\}.$$

ここで  $P_{f_l}$  の減衰量  $\varphi P_{f_l}$  を  $\Delta P_{f_l}$  として保持しておく。もしも、 $|N'_k| = 0$  ならばこの時点で flooding を終了。それ以外ならば、以下のように  $n' \in N'_k$  へ送る anti-pheromone 量  $\varphi''_{n'}$  を計算する。

$$\varphi' \leftarrow \varphi - (\Delta P_{f_l})^2, \quad (1)$$

$$\varphi''_{n'} \leftarrow \left( 1 - \frac{P_{n'l}}{\sum_{i \in N'_k} P_{i_l}} \right) \varphi', \forall n' \in N'_k,$$

ただし、 $|N'_k| = 1$  ならば  $\varphi''_{n'} = \varphi'$ . (2)

式(1)は pheromone の減少に伴う anti-pheromone 減衰、式(2)はリンク数に関する anti-pheromone 減衰である。最後に anti-pheromone 量の下限值  $\varphi_{\text{non}}$  と各  $n' \in N'_k$  への anti-pheromone 量  $\varphi''_{n'}$  を比較し、 $\varphi''_{n'} > \varphi_{\text{non}}$  ならば  $n'$  に向けて  $\text{app}(l, \varphi''_{n'})$  を送信する。

このような  $\text{app}(l, \varphi)$  の伝播によって、 $o$  から広がるようなルーティング確率更新処理を実現できる。また、上述の流れは  $o'$  について考えた場合も同様で  $o'$  から

も広がるようにルーティング確率更新処理が行われていく。

## 4 実験：トポロジー変化に対する適応能力

NTT-net において提案手法のトポロジー変化に対する適応能力を調べる。実験を行うにあたり AntNet に Proactive 型(常時隣接ノードの状態をチェックする)ルーティングにみられる hello-reply 処理を付加する。即ち、定期的に小型のパケットを交換し合うことでリンクが使用可能かどうかを判断する(オリジナル AntNet では開始時の隣接ノード関係確立時のみ hello-reply 処理を行っていた)。

## 5 今後の課題

今回考案した Anti-Pheromone Flooding は hello-reply 判定を切っ掛けに行ったが、ダウン時にルータダウンを伝える制御パケットを送るようにすることで正常なルータダウンに関しては対処できると考えられる。

Anti-Pheromone Flooding はフェロモンを打ち消すように働く負の更新手法である。これに対して自分宛データパケットの受信を切っ掛けに flooding でフェロモンを放出する正の更新手法も考えることもできる。乱用はエージェントによる学習の妨げになるが、Reactive 型(データ送信要求発生時にルーティング処理を行う)ルーティングでバイアスをかける等の利用を考えるとができる。

## 参考文献

- [1] Benjamin Baran and Ruben Sosa, AntNet Routing Algorithm for Data Networks based on Mobile Agents, *Inteligencia Artificial, Revista Iberoamericana de Inteligencia Artificial*, No.12, pp.75-84, 2001.
- [2] Gianni Di Caro, Marco Dorigo, AntNet: Distributed Stigmergetic Control for Communications Networks, *Journal of Artificial Intelligence Research(JAIR)*,9,pp.317-365, 1998.
- [3] Ruud Schoonderwoerd, Owen Holland, Janet Bruten, Leon Rothkrantz, Ant-based Load Balancing in Telecommunications Networks, *Adaptive Behavior*,vol.5,pp.169-207, 1996.
- [4] Ying Zhang, Lukas D.Kuhn, and Markus P.J. Fromherz, Improvements on Ant Routing for Sensor Networks, in *ANTS 2004, LNCS 3172*, pp.154-165, 2004.
- [5] 種田 和正, 片岡 明, ロックフリー AntNet とその適応能力の評価, *電子情報通信学会論文誌*, Vol.J82-B No.7, pp.1309-1319, 1999.