F-046

コストの変動する重み付きグラフにおけるヒューリスティック経路探索手法の評価

Evaluation of Heuristic Path Search Method for Weighted Graph with Weight Changes

島影 秀征† 山口 崇志† マッキン ケネス ジェームス† 永井 保夫†
Hideyuki Shimakage Takashi Yamaguchi Kenneth James Mackin Yasuo Nagai

1. はじめに

近年、カーナビゲーションシステムや乗り換え案内サービスなど、地点間の経路決定を支援するシステムが広く普及している。

本稿では、テーマパークやイベント会場を回る際に、限られた時間内に目的の場所を如何に効率的に巡るかという問題に対する経路探索手法について検討する。ここで取り扱う問題は地点間の移動時間を最小にするという、最短経路問題の様な側面と、如何に多くの目的地を巡る事が出来るかという、ナップサック問題の様な側面を持っている。提案する手法による定式化では、実問題を対象とした場合には粒度が細かい為に頂点の数が増加し、探索すべき問題空間が大きくなり、経路探索においては計算量が膨大になるという問題が考えられる。

コストの変動する重み付きグラフにおいて最短経路探索を行う場合、コストが変動する度に最短経路が変わることがあり、既存の手法による全探索では非常に時間が掛かってしまう。その為本稿では実時間で問題を解決する為にヒューリスティックな探索手法として群知能手法の一つである AntNet を用いることを提案し評価を行った。

$$
\begin{array}{ll}
V=\{v_1,v_2,\cdots,v_m\} & \\
E=\{e_{ij}\} & i,j=1,2,3\cdots,|V|;i\neq j \\
W=\{w_{ij}\} & i,j=1,2,3\cdots,|V|;i\neq j \\
e_{ij}=\{v_i,v_j\} & v_i,v_j\in V \\
w_{ij}(t) & t=1,2,3,\cdots,t_{\max}
\end{array}
$$

2. コストの変動する重み付きグラフ

施設、広場、分岐点、入口、出口等を頂点 v の集合 V、各頂点間を繋ぐ通路を辺 e の集合 E、各頂点間の混雑具合(混雑度)を考慮し、移動するのに掛かる時間を辺の重み(コスト)w の集合 W とした重み付き無向グラフ $G=(V,E,W)$ を作成する。この時、時間 t の経過によって混雑度がランダムに変動するグラフを、コストの変動する重み付きグラフと呼ぶ。ただし、頂点と辺の追加及び削除は発生しないものとし、グラフのトポロジーは変化しないこととする。

また、出発頂点 s から目的頂点 d を結ぶグラフを道と呼び $P_{sd}=(V',E',W')$ と表す。更に、道 P_{sd} における重み $w\in W'$ の総和を T_{sd} と表す。ここで、V と V' で用いている添え字は異なるものであり、例えば V' において図 1 のグラフの頂点 $v\in V$ の添え字と必ずしも一致するわけではない。

図 1 は時間 t の経過によって、頂点 v_1、v_2 間の辺 $e_{1,2}$ の

$$
\begin{aligned}
V'&=v_1\rightarrow v_2\rightarrow\cdots\rightarrow v_k \\
E'&=e_{1,2}\rightarrow e_{2,3}\rightarrow\cdots\rightarrow e_{k-1,k} \\
W'&=w_{1,2}\rightarrow w_{2,3}\rightarrow\cdots\rightarrow w_{k-1,k} \\
T_{sg}&=\sum_{w\in W'} w
\end{aligned}
$$

重み $w_{1,2}$ が 2 から 13、頂点 v_7、v_8 間の辺 $e_{7,8}$ の重み $w_{7,8}$ が 10 から 5 に変動している様子を示している。時間 t において、頂点 v_5 から頂点 v_3 への最短経路 $P_{5,3}$ は $V'=v_5\rightarrow v_2\rightarrow v_3$、$T_{5,3}=5$ であるのに対し時間 $t+1$ においては $V'=v_5\rightarrow v_6\rightarrow v_3$、$T_{5,3}=10$ と最短経路が変動しているのが分かる。

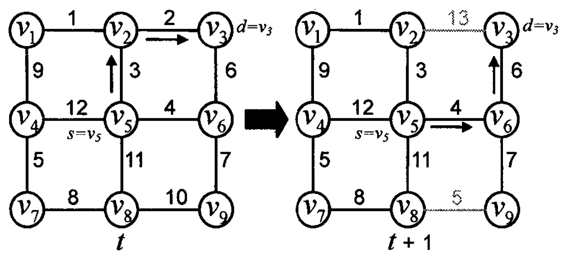

図 1: コストの変動する重み付きグラフ

3. 提案

3.1. AntNet

動的ネットワークのルーティングにおいて、ACO メタヒューリスティクスの考えを応用して提案された AntNet という、ロバストでかつ効率的な手法がある[1][2]。

AntNet の大まかな処理の流れとしては、ネットワーク上の各ノードからランダムな宛先ノードへ向けて蟻エージェントを放ち、ネットワークの負荷情報を収集し、フェロモンに基づくルーティングテーブルを構築するというものである。

3.2. 提案手法

本稿ではコストの変動する重み付きグラフにおける経路探索手法として AntNet を用いることを提案する。

AntNet を用いる理由としては、本稿で検討するコストの変動する重み付きグラフにおける経路探索問題が、動的ネットワークのルーティングに似ており、そちらについて AntNet を用いることで良い結果が得られた実績がある為である。具体的な処理の流れを以下に示す。

まず、各頂点から蟻エージェントが放たれる。このとき、各蟻エージェントは出発頂点 s からランダムな目的頂点 d を目指して移動を続ける。現在の頂点 i から目的頂点 d へ向かう際に辺 e_{ij} を選択することの望ましさをフェロモン τ_{ijd} と表し、このフェロモン情報を基に式(1)に従って次に移動する頂点を確率的に決定する。

$$p_{ij}=\frac{\tau_{ijd}}{\sum_{n\in N_i}\tau_{ind}} \tag{1}$$

†東京情報大学 総合情報学部 情報システム学科
Department of Information Systems, Tokyo University of Information Sciences

式(1)において、N_i は頂点 i から辺で接続されている近傍頂点の集合である。基本的に図 2 左のように、式(1)に従って蟻エージェントが頂点を選択していき、訪れた頂点とその際に辿った辺の重みをメモリーに記録しておく。もし、一度訪れた頂点を再度選択してしまった場合には、近傍頂点集合から一様な確率で選択しなおす。それでも移動経路が閉路になってしまった場合には、メモリーから閉路となった部分のデータを削除する。

目的頂点 d に到着したら、辿ってきた経路を出発頂点 s に到着するまで逆向きに移動する。その際各頂点で保持されている変数の更新を行う(図 2 右)。各頂点 i で保持される変数は頂点 i から他の頂点 j までに辿った経路の合計コストの平均値 μ_{ij}、その分散 σ_{ij}、フェロモン τ_{ijd} である。

逆向きに移動を行う際、頂点 j から頂点 i に移動したとき、頂点 i から目的頂点 d に到着するまでに通過した各頂点 l 間の μ_{il}、σ_{il} を重みの合計 T_{il} により更新する。また、T_{id} を基に近傍頂点 $n \in N_i$ に対するフェロモン情報を式(2)のように更新する。

$$\tau_{ind} \leftarrow \tau_{ind} + \begin{cases} (1-r)(1-\tau_{ind}) & if \quad n=j \\ -(1-r)\tau_{ind} & otherwise \end{cases} . \qquad (2)$$

ここでは $0 \leqq r \leqq 1$ であり、頂点 i から頂点 j へ移動したときにフェロモン τ_{ijd} は強化され、τ_{ijd} 以外の τ_{ind} に対するフェロモンが弱められることを意味している。式(2)において r は、頂点 i から目的頂点 d へ向かう際に辺 e_{ij} を選択することが望ましいほど値を小さくする。

具体的に r は以下の式(3)、(4)、(5)、(6)を経て計算する。

$$r_1 = \begin{cases} \dfrac{T_{id}}{c\mu_{id}} & if \quad \dfrac{T_{id}}{c\mu_{id}} < 1 \\ 1 & otherwise \end{cases} . \qquad (3)$$

$$r_2 = r_1 + sign(u - r_1) sign\left(\frac{\sigma_{id}}{\mu_{id}} - \varepsilon\right) f(\sigma_{id}, \mu_{id}) \qquad (4)$$

$$f(\sigma, \mu) = \begin{cases} e^{-a\frac{\sigma}{\mu}} & if \quad \dfrac{\sigma}{\mu} < \varepsilon \\ 1 - e^{-a'\frac{\sigma}{\mu}} & otherwise. \end{cases} \qquad (5)$$

式(5)において e は自然対数の底である。

$$r = (r_2)^h \qquad (6)$$

5. 実験

本稿では静的な重み付きグラフに対して AntNet を用いた経路探索と、全探索を比較して解の精度を算出した。全探索には Warshall-Floyd 法を用いて厳密解を求めた。

AntNet において出発頂点 s から目的頂点 d に到着し、変数を更新しながら出発頂点 s に戻るまでを 1 世代とし、2000 世代まで探索を繰り返した。その際、全ての蟻エージェントが 1 世代毎に算出した経路と、コストの合計を保存し、世代毎に厳密解との誤差を計算する。各ユーザパラメータは $c=2$、$a=10$、$a'=9$、$\varepsilon=0.25$、$h=0.04$、$u=0.5$、各フェロモンの初期値 τijd を 0.5 に設定した。

図 3 は 3 つの異なるトポロジーを持つグラフに対して探索を行い、厳密解と比較した結果である。それぞれのグラフは頂点の数は等しく 50 個ずつで、85 個の辺を持つ疎なグラフと、551 個の辺を持つ密なグラフと、1225 個の辺を持つ完全グラフである。

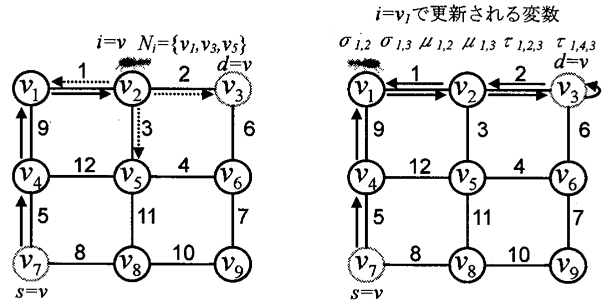

図 2:蟻エージェントの探索(左図)と変数の更新(右図)

グラフが密であるほど誤差は大きくなっているが、どのグラフにおいても 1000 世代を越える頃にはほとんど収束していることが分かる。また、どのグラフについても 1000 世代まで探索を行うのに掛かる時間は数秒だが、密なグラフになるほど若干探索時間が増加した。

これらの結果から、全ての辺の重みが急激に大きく変化したとしても、実時間で収束すると考えられる。また、本稿で検討している問題は、辺の数が少ない疎なグラフで、且つ重みの変化は比較的緩やかであると考えられる為、AntNet を用いることは有効であると考えられる。

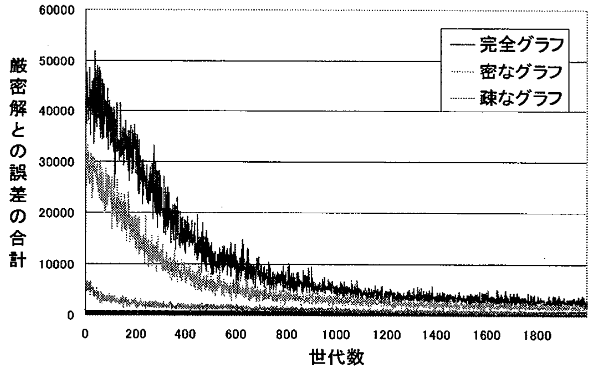

図 3: AntNet を用いた探索結果と厳密解との誤差

6. おわりに

本稿ではコストの変動する重み付きグラフにおいて実時間で経路探索を行う為に、群知能手法の一つである AntNet を用いることを提案した。実験では、3 つの異なるトポロジーを持つ静的な重み付きグラフに対して AntNet を用いた経路探索を行い全探索との比較を行い、実時間で収束することを確認できた。AntNet の高いロバスト性によってコストが変動する環境においても良い結果が得られると考えられる。

今後の課題としてコストの変動する環境に対して AntNet を適用し検証を行う必要がある。

参考文献

[1]Gianni Di Caro , Marco Dorigo, "AntNet: A Mobile Agents Approach to Adaptive Routing", Technical Report 97-12, IRIDIA, Universite Libre de Bruxelles (1997)

[2]大内 東, 山本 雅人, 川村 秀憲, 柴 肇一, 高柳 俊明, 當間 愛晃, 遠藤 聡志, "生命複雑系からの計算パラダイム", 森北出版, (2003)

[3]島影 秀征, 山口 崇志, マッキン ケネス ジェームス, 永井 保夫, "コストの変動する重み付きグラフにおける経路探索の為のグラフ分割手法の提案", 第 8 回情報科学技術フォーラム講演論文集(FIT2009), pp.399-400, (2009)