

区域分割を含むACOに基づく迅速再接続ルーティングアルゴリズム

関 心[†] 中里 秀則[†]

[†] 早稲田大学大学院基幹理工学研究科 〒169-0072 東京都新宿区大久保3-14-9

E-mail: †guanxin@toki.waseda.jp, ††nakazato@waseda.jp

あらまし 移動端末が多数を占める現状のインターネットの利用を鑑みれば、情報指向ネットワーク (Information-Centric Networking: ICN) においても、モビリティの問題は解決する必要がある。特にコンテンツ提供者の移動に対して、現在は効率的なソリューションがない。既存の手法で、コンテンツ提供者が移動した場合、ネットワーク全体のルーティング情報を更新する必要があり、通信経路の切断、パケット損失や遅延の増大、ネットワーク規模に対しオーバーヘッドが大きくなるなどの問題がある。この論文では、コンテンツ提供者の移動に対して、早めにコンテンツ提供者と要求者の間の経路を見つけ、通信のリンクを回復して、コンテンツ提供者の移動による損失を小さくするために、区域分割を含む Ant Colony Optimization (ACO) に基づく迅速再接続ルーティングアルゴリズムを提案した。分割した区域の情報を持ちながら、ACO ルーティングアルゴリズムの利点を利用し、コンテンツ提供者の移動後、コンテンツ要求者への経路の発見率をあげて、再接続の速度を向上させる。

キーワード ICN, コンテンツ提供者, モビリティ, ACO, 区域分割

Rapid Reconnect Routing Algorithm Based on ACO with Area Division

Xin GUAN[†] and Hidenori NAKAZATO[†]

[†] Graduate School of Information Engineering, Waseda University Okubo 3-14-9, Sinjuku-ku, Tokyo, 169-0072 Japan

E-mail: †guanxin@toki.waseda.jp, ††nakazato@waseda.jp

Abstract Mobile terminals share the majority in the current Internet usage. In this environment, the mobility need to be supported even Information-Centric Networking (ICN). In particular, there is no efficient solution for the movement of the content provider. In existing methods, when the content provider moves, the entire network should update the routing table, and there are some problems such as disconnection of communication link, packet loss, high latency, or increasing overhead with network scale. In this paper, in order to solve the problem of content provider mobility, we try to find a new route between content provider and content requester faster to recover the communication, in which it can reduce the loss due to the movement of the content provider. We propose a rapid reconnect routing algorithm, which is based on Ant Colony Optimization (ACO) and makes use of area division. Using the information of divided areas and taking the advantage of the ACO routing algorithm, after the content provider moved, the route discovery rate is raised, and the speed of reconnecting to the content requester is improved.

Key words ICN, Content Provider, Mobility, ACO, Area division

1. はじめに

従来の TCP/IP ネットワークアーキテクチャには解決すべき問題が多い。これらの問題を根本的に解決するために、情報指向ネットワーク (Information-Centric Networking, 以下では ICN とする) が提案された。ICN では、コンテンツを中心として、ネットワークのルータやキャッシュの構造を再設計し、

ネットワークのパフォーマンスを向上させる。しかし、現在の ICN では、コンテンツ提供者のモビリティの問題に対して、適切な解決策がない。コンテンツ提供者が移動した場合、一般的にネットワーク全体のルーティング情報を更新しなければいけない。この更新で、通信経路の切断、パケット損失や遅延の増大、ネットワーク規模に対しオーバーヘッドが大きくなるなどの問題がある。

この研究では、コンテンツ提供者の移動先とコンテンツ要求者の間の新しい経路をより短時間に効率的に見つけることを目標とする。区域分割の考えを含め、Ant Colony Optimization (ACO) 技術 [1] を利用して、迅速再接続ルーティングアルゴリズムを提案した。

以下、2. でコンテンツ提供者のモビリティの問題に関する研究について述べ、3. で提案手法について説明する。4. シミュレーションと結果の分析を行い、5. で結論を述べる。

2. コンテンツ提供者の移動に関する研究

コンテンツ提供者の移動に対処するさまざまな提案がある。

Lee らは間接ノードに基づく集中的なモビリティデバイス管理のソリューションを提案した [3]。間接ノードという特別なノードで全てのコンテンツ提供者の情報を維持して、パケットの伝送を処理する。この方法で、間接ノードの管理は複雑で、ネットワーク全体の遅延も大きくなる。

Farahat らは最適なキャッシング (Optimal Caching) というロケーション予測子とデータ要求のパタンを利用して、コンテンツ提供者が移動する前にデータをキャッシュする手法を提案した [4]。この方法で、遅延が小さくなり、データ転送の効率の低下も避ける。しかし、この方法も計算が複雑で、スケラビリティも悪い。

Inayat らは位置予測によるアンカーレスモビリティ管理ソリューションを提案した [5]。この方法では、位置予測の精度が低くても、遅延が減少できて、ネットワークのオーバーヘッドも低くなる。しかし、モビリティ管理に対する位置予測技術はまだ不安定で複雑である。

Kim らはトンネルに基づく分散制御のソリューションを提案した [7]。コンテンツ提供者は移動した後、トンネルでコンテンツ提供者の元の位置をリンクする。この方法で、再構築した経路は遠回りすることがあり、効率が悪い。

Li Jiangxu はコンテンツ提供者の移動の問題を分析して、移動する前の経路を「キー経路」として利用する手法を提案した [8]。ルーティング情報を更新する部分は全体のネットワークではなく、キー経路上の必要なノードだけで済む。この方法では、ネットワークの混雑を避けるが、処理は複雑である。

Li Zhiyan はドメインエージェントの処理方法を提案した [9]。ネットワーク全体を複数の独立なドメインに分割し、各ドメインの中一つのドメインエージェントを設置して、ドメインエージェントでネットワークの情報を処理する。この方法では、パケット損失が減少するが、キャッシュメカニズムとドメイン間の通信にまだ問題がある。

過去の研究を参照し、コンテンツ提供者が移動する前の通信経路を利用して、コンテンツ提供者の移動先から、コンテンツ要求者への経路を再構築すれば、通信は回復でき、コンテンツ提供者の移動の影響も小さくなると考えた。本論文では、ACO を用い、コンテンツ提供者が移動した後、元の通信経路の情報を持つ「アリ」を発生させて、コンテンツ提供者からコンテンツ要求者への経路を探す。また、ネットワークを複数の区域を分割し、その情報を利用して、経路探索の効率を上げる。

3. 提案手法

3.1 H_ACO アルゴリズム

本論文では ACO に基づく最短ホップルーティングアルゴリズム (H_ACO) [2] を利用し、区域と「キー経路・キー区域」の概念を入れて、区域分割を含む ACO に基づく迅速再接続ルーティングアルゴリズム (以下では RR_ACO とする) を提案する。ここでは、RR_ACO の基となる、H_ACO について概説する。

ACO ルーティングアルゴリズムは、経路を決定するための有効な手法である [1]。ACO では、アリ (ant) が動く時に経路にフェロモンを残す。アリが移動を繰り返した後、フェロモンの最も多い経路が最短経路となるというルーティングアルゴリズムである。ICN において、特定のコンテンツに対して、まず Interest ant をランダムに送信し、データ (Data ant) が返ってきたら、その遅延時間やホップ数をもとに、フェロモン値を計算し、フェロモン値の高い経路に通常の Interest を転送する。ACO を利用して、コンテンツ提供者の移動先から、コンテンツ要求者への経路を効率的に探すことができると考える。しかし、ACO では、収束速度が遅いことや局所最適に陥る可能性があるなどの欠点がある。また、ノード数が多い場合、ACO の欠点がパフォーマンスに大きな影響を与える。

H_ACO では、アリの移動を開始するノードと目的地のノードを決めたあと、目的地に到達するまで、あるいは一定の最大回数までアリの移動を繰り返す。アリの移動は、経路に設定された「フェロモン値」を基に求める、各経路へ進む確率 (転移確率) によって決定される。すべてのアリが目的地に到達するあるいは最大回数に達するなど移動ができなくまで移動を繰り返す。これが一回の試行であり、これを 1 ジェネレーションと呼ぶ。1 ジェネレーションが終わると、そのジェネレーションの結果に基づきフェロモン値の更新を行う。フェロモン値により、転移確率を更新して、次のジェネレーションが始まる。設定したジェネレーションの上限を達するまで、アリの探索を繰り返して、最短ホップ経路を探す。

以下では、H_ACO のフェロモン値と転移確率の更新式について、説明する。H_ACO では、ノード i とノード j を結びリンクの、 t 回目の移動後のフェロモン値 $\tau_{ij}(t)$ は

$$\tau_{ij}(t) = \rho * \tau_{ij}(t-1) + \sum_{k=1}^m \Delta\tau_{ij}^k$$

で与えられる。ここで、 ρ はフェロモンの蒸発率に係わる係数、 m はアリの数である。 $\Delta\tau_{ij}^k$ は各ジェネレーションでアリが目的ノードを見つけたかどうかによって、以下のように定義される。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{H_{ij}^*}, & \text{アリ } k \text{ が辺 } (i, j) \text{ を経由して目的ノードに} \\ & \text{到達した場合;} \\ 0, & \text{上記以外.} \end{cases}$$

ここで、 Q は定数、 H_{ij}^* はアリ k が目的地に到着した経路で

通過したホップ数である。

アリがノード i から j に移動する転移確率は以下で与えられる。

$$p_{ij}(t) = \begin{cases} \frac{[\tau_{ij}(t)]^\alpha * [\frac{1}{H_{ij}}]^\beta}{\sum [\tau_{il}(t)]^\alpha * [\frac{1}{H_{il}}]^\beta}, & \text{辺 } (i, j) \text{ が存在する;} \\ 0, & \text{上記以外.} \end{cases}$$

ここで、 l はノード i の隣接ノードであり、 H_{ij} は以下の式で与えられる。

$$H_{ij} = \begin{cases} \text{ノード } i \text{ からノード } j \text{ までのホップ数,} \\ \text{経路が見つけれられた場合;} \\ n \text{ (ノード数), 経路が見つけれなかった場合.} \end{cases}$$

3.2 提案アルゴリズム (RR_ACO)

RR_ACO では、まずネットワークを一定の数の区域に分割して、各区域に番号を割り当てる。次に、コンテンツ提供者が移動する前に、コンテンツ提供者とコンテンツ要求者の間の経路の情報を計算し、記録する。これらの経路を「キー経路」とする。各キー経路上のノードが所属する区域を記録して、所属するノードが最も多い区域をそのキー経路の「キー区域」とする。ここで、キー経路は必ずしもノード間の最も短い経路ではない。また、経路情報の計算に必要なコンテンツ要求者は、通信しているコンテンツ要求者、あるいはまもなく通信するコンテンツ要求者というアクティブなコンテンツ要求者とする（全部のコンテンツ要求者ではない）。

コンテンツ提供者が移動した後、コンテンツ要求者がコンテンツ提供者の移動先の情報を取ることや移動先の情報を予測することは難しい。そのため RR_ACO では、移動したコンテンツ提供者の移動先（コンテンツ提供者が移動してから、アクセスするノード）から、経路探索を行うアリを発生させる。発生されるアリは自分の目的地（コンテンツ要求者が所在のノード）のキー経路とキー区域の情報を持って経路の探索を行う。アリが目的地のノードを探している時、キー経路を見つければ（キー経路上の任意の一つのノードに到着する）、目的地を見つけることになる。

以下、RR_ACO の実行の流れを説明する。

3.3 初期化

初期化で、区域の分割と番号の割当、キー経路とキー区域の処理、またパラメータの初期化をする。ネットワークポロジが与えられると、設定した区域の分割の条件でネットワークをいくつかの区域に分割して、各区域に番号を割り当てる。この番号はアルゴリズムの実行中に変わらない。そして、ネットワークポロジにより、全てのノードと他の全てのノードの間の経路を計算して、キー経路とキー区域の情報を記録する。次に H_ACO の実行に必要なパラメータの初期化として、ノード（ルータ）の数 n 、また、H_ACO に関するパラメータ（アリの数 m とジェネレーションの上限 g など）を設定する。ここで、ジェネレーションは、全てのアリが一回で経路探索を行う時間を表し、全てのアリが目的地に辿り着く、あるいはアリが移動できない場合（全ての次のホップはループあるいはデッ

ドエンド）、一つのジェネレーションが終わる。

3.4 アリの移動

各ジェネレーションの最初に、アリは設定されたコンテンツ提供者の移動先（出生地）のノードで発生される。全てのアリはコンテンツ要求者（目的地）を探して移動する。アリは各時刻 t に移動し、ノード間の移動には単位時間、すなわち、時間 1 かかるものとする。ノード数は n であるので、各アリが自分の目的地のノードに到着するには最大で時間 $t = n$ が必要になる。

以下は時刻 t でのアリの動きを例として説明する。まずアリは自分の現在の状態をチェックする。もしアリが目的地に到着した状態や袋小路に陥った状態である場合、このアリは移動しない（できない）。もしこのアリがこれらの状態ではなかったら、次の行動をする。もしアリが現在いるノードの隣接ノードの中に目的地のノードがあれば、直接に目的地のノードに移動する。もし目的地のノードがなかったら、先に今到着しているノードのインタフェース（以下ではフェイスとする）を自身が持っている情報と照合する。これまで（このジェネレーション中に）まだ訪れていない隣接のノードの中に、出生地から目的地へのキー経路上のノードがあれば、そのノードに移動し、このアリは目的ノードに到着したものとする。

もしキー経路上のノードがなかったら、キー区域に所属するノードがあるかどうかをチェックする。キー区域に所属するノードがあれば、そのノードに移動する。もしキー区域上のノードがなかったら、H_ACO に従い、転移確率 p_{ij} [2] が最大のノードに移動する。キー区域に所属するノードや転移確率は最大のフェイスが複数ある場合、ランダムにこれらのノードの中の一つに移動する。

3.5 フェロモン更新式の修正

一つのジェネレーションが終わると、フェロモンの値と転移確率を更新する。H_ACO のフェロモン値の計算式の内 $\Delta\tau_{ij}^k$ の計算式を以下の様に修正する。

$$\Delta\tau_{ij}^k = \begin{cases} \frac{Q}{H_{ij}^* + (k_a \cdot j_{key})}, & \text{アリが辺 } (i, j) \text{ を通過して目的} \\ & \text{ノードを見つけた場合;} \\ 0, & \text{上記以外.} \end{cases}$$

ここで、 Q は定数で、 H_{ij}^* はアリ k が目的地に到着した経路で通過したホップ数である。 k_a は係数で、 j_{key} はこのアリが通過した経路の内キー区域に所属するノード数である。この修正により、キー区域とキー経路の影響がフェロモンに強く反映される。次のジェネレーションで、もしコンテンツ提供者は再度移動しない場合、アリはより大きい確率で、キー区域に移動して、キー経路と目的地を見つける確率も高くなる。

フェロモン値の更新後、もしジェネレーションがジェネレーション数 g （シミュレーションの回数上限）に達していなければ、以上の経路探索を繰り返す（3.4 に戻る）。

4. シミュレーションと結果の分析

シミュレーションでは、コンテンツ提供者は、一定のジェネレーションが経過してから、再度移動するものとする。コンテ

ンツ提供者が再び移動する場合、アリはキー経路とキー区域の情報を利用することができる。現実には、コンテンツ提供者が移動する前に、自分のキー経路の情報を計算して、それをアリに与えることができる（キー経路とキー区域の情報は常に存在するわけではなく、必要な時に計算する）。アリが探すコンテンツ要求者はいつもアクティブであり、コンテンツ提供者が移動する前に通信している、あるいはまもなく通信するものと仮定する。また、各コンテンツ提供者に対するコンテンツ要求者の数はランダムである（コンテンツ要求者の数 ≥ 1 ）。各ジェネレーションの最後に、フェロモンと転移確率を更新してから、そのジェネレーションでの経路発見率を計算する（経路発見率の計算の詳細は 4.2 で説明する）。

4.1 初期化の処理とパラメータの設定

初期化では、まずネットワークポロジを発生して、区域を分割する。そしてパラメータを設定する。

ネットワークポロジは、[2] と同じように、Waxman ら [10] [11] [12] [13] のネットワークポロジ発生器を参考にして、発生させる。辺が存在する確率は以下の式で計算する。

$$P(u, v) = \beta' * k * \frac{\epsilon}{n} * \exp\left(-\frac{d}{L * \alpha'}\right)$$

α', β', d, L の意味は [10] における表記と同様で、 α' と β' はパラメータ、 d はノード間の距離、 L は地図の最大距離、 k は定数、 ϵ は制御因子、 n はノード数である。具体的には、 $\alpha' = 0.3$ 、 $\beta' = 0.1$ 、 $k = 25$ 、 $\epsilon = 4$ とする。もし一部のノードが分離して孤立した場合、それを次数の最も小さいノードと接続させる。

シミュレーションを行う対象とする場所としては正方形の平面を仮定し、その平面を s^2 の区域に分割する（ s は区域の分割数とする）。区域には、左上から順に 0 から順番に番号を与える。そして、アリの数 m 、 ρ （ ρ は係数で、 $(1 - \rho)$ はフェロモンの蒸発率である）、 α 、 β と定数 Q 、初期のフェロモンの値 c 、転移確率 p_{ij} を設定する。これらは H_ACO のパラメータである。ここでのパラメータの設定は、[2] と同様の設定を用いた。具体的には、 $m = n$ （ノード数）、 $\rho = 0.6$ 、 $\alpha = 1$ 、 $\beta = 2$ 、 $Q = 1$ 、 $c = 1.0$ とする。

4.2 アルゴリズムのパフォーマンス

RR_ACO のパフォーマンスを、以下に述べるいくつかの観点から評価する。

RR_ACO では、主に経路発見率で評価する。経路発見率は、移動したコンテンツ提供者から出発したアリの内、コンテンツ要求者を見つけるアリの割合である。

シミュレーションでは、全てのコンテンツ提供者は移動すると設定する。経路発見率は各ジェネレーションでアリが経路を見つける確率であると理解することができる。一回のシミュレーションの経路発見率は、そのシミュレーションの全てのジェネレーションでの経路発見率の平均値である。以下の結果で使われた経路発見率は、同じ条件で十回シミュレーションした平均値である。

経路を見つける過程でかかった実行時間についても評価する必要がある。ACO のメカニズムにより、経路を探す過程で使うジェネレーションの数を実行時間として評価する。ノード数

が多くなると、要求したパフォーマンスを得るために、必要なジェネレーションの数も増加する。このシミュレーションでは、パラメータ設定の時、ジェネレーションの上限 g を設定する。シミュレーションはジェネレーションが g になるまで繰り返す。一方、 g が大きくなると、使われる時間が多くなって、経路発見率も高くなる。経路発見率と g のバランスはこの研究の課題の一つである。

4.3 経路発見率の達成に必要なジェネレーション数

まず目標とする経路発見率を設定して必要なジェネレーションの数 g を測った。目標経路発見率と g を設定して、シミュレーションをする。この実験で、RR_ACO の実行速度を評価することができる。必要な g が小さくなると、実行速度が速い。具体的な設定としては、ノード数が 30, 50, 100 の場合について、それぞれジェネレーション数 g の上限を 3500, 8000, 20000（この設定は [2] の結果を参考とした）としてシミュレーションを行った。ここで、実際の経路発見率が目標とする経路発見率に達すると、シミュレーションを停止して、かかったジェネレーション数を記録する。もし制限される経路発見率に達しない場合、すなわち設定したジェネレーション数の上限を超えた場合、シミュレーションを停止して、その時点での経路発見率を求める。シミュレーションの結果は、以下の図 1 と図 2 で示す。

図 1 により、目標経路発見率を 95% に設定した場合、実質経路発見率は 95% に達せず、ノード数が 30, 50 の場合、実質経路発見率が 93% 程度、ノード数が 100 の場合、91% 程度となった。目標経路発見率を 90% と設定した場合、ノード数が 50 と 100 の場合は 90% に達せず、89% 程度となった。この結果により、RR_ACO は、ある程度のジェネレーション数で、90% 以上の経路発見率を達成できる。

図 2 により、目標経路発見率を 95% とした場合、ノード数が 30 のとき、ジェネレーション数の上限以内で目標経路発見率を達成できていることがわかる。ノード数が 50 の場合、半数の結果ではジェネレーション数の上限を超え、またノード数が 100 の場合、9 割の結果でジェネレーション数の上限を超えて

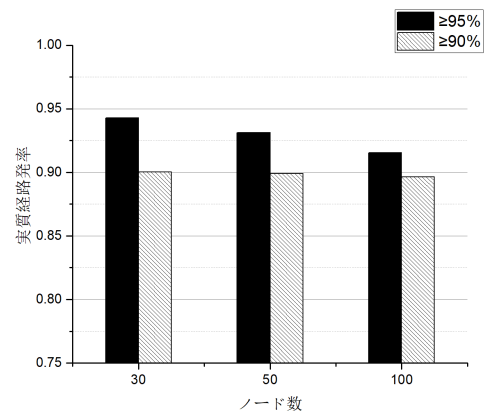


図 1 目標経路発見率を設定した場合の実質経路発見率
Fig. 1 Actual route discovery rate when route discovery rate goal is set

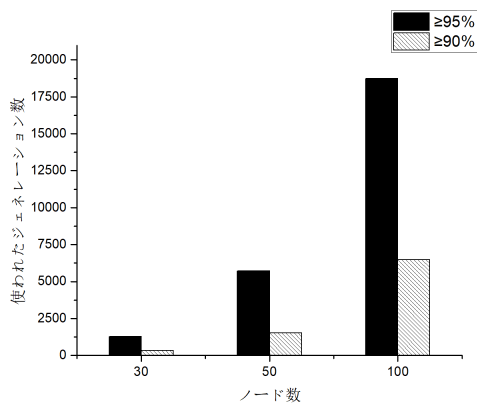


図2 目標経路発見率を設定した場合の必要ジェネレーション数
Fig.2 Number of generations used when route discovery rates goal is set

いる。ノード数を増加すると、必要なジェネレーション数はより多くなる。一方、目標経路発見率を90%に制限した場合、必要なジェネレーション数は、目標経路発見率95%の場合と比べて、著しく減少した。

図1と図2の結果から、RR_ACOでは、経路発見の成功率を高くすると必要なジェネレーション数が急激に増加し、実行時間が著しく増加する。ある程度の失敗を許容することによって、実行時間を抑えることができる。経路探索の失敗に対して、特にノード数が多い場合、局所最適の問題がある可能性があり、フェロモンと転移確率の値をリセットして、改めてアルゴリズムを実行することも有効であると考えられる。

4.4 RR_ACOとH_ACOのパフォーマンスの比較

RR_ACOと他のアルゴリズムの実質経路発見率を比較する。4.3の結果により、ノード数が30, 50, 100の場合、ジェネレーション数の上限 g を4.3でのジェネレーション数の平均値に設定する。具体的には、ノード数は30, 50, 100の場合、 g は800, 3600, 12600と設定する。この平均値の条件で、各ノード数の場合、経路発見率は90%以上を達成でき、必要なジェネレーション数も少ないと考える。

同じパラメータの条件でシミュレーションをし、RR_ACOとH_ACO、また、フェロモンの更新式を導入しないRR_ACO(ただアリの動き方を変えるアルゴリズム、以下ではRR_ACOPとする)のパフォーマンスを比較した。H_ACOでは、特別な処理をしなく、直接にコンテンツ提供者の移動先から、コンテンツ要求者への経路を探す。RR_ACOとRR_ACOPでは、アリは分割した区域の情報とキー経路などの情報を持って、コンテンツ要求者への経路を探す。RR_ACOでは、フェロモンを更新する場合、キー経路とキー区域の情報を利用する。その結果を図3に示す。

図3により、RR_ACOの経路発見率はRR_ACOPとH_ACOよりも高いことがわかる。ノード数が大きくなると、全てのアルゴリズムのパフォーマンスが悪化するが、RR_ACOの経路発見率の減少は最も少ない。特にノード数が100の場合、H_ACOの経路発見率は45%以下になり、RR_ACOPの経路発見率は60%以下になるが、一方、RR_ACOの経路発見率は

92%以上を達した。H_ACOでは、経路全体を通常のACOのメカニズムで探すため、効率が悪い。RR_ACOPでは、アリがより多くの情報(キー経路など)を持って経路を探して、効率が良くなる。RR_ACOでは、RR_ACOPに加えて、新しいフェロモンの更新式を使って、区域の情報を次の(ジェネレーションでの)探索に反映させるため、経路発見率を上げることができる。

4.5 RR_ACOに対する区域数の影響

区域の分割はRR_ACOの重要な特徴である。区域の数がパフォーマンスにどのような影響を与えるかについて検証する。異なる区域数を設定して、30, 50, 100ノード数の場合、同じ条件でシミュレーションをした。シミュレーションの結果を図4に示す。

図4により、各ノード数の場合で、区域の数はパフォーマンスに影響があることがわかる。区域数の増加に伴い、まず経路発見率は増加し、さらに区域数を増加すると経路発見率は減少する。区域数が少なすぎると、RR_ACOは最も良いパフォーマンスを達せできない。一方、区域数が多すぎると、パフォーマンスも悪化する。異なるノード数に対して、最適な区域数が存在すると考えられる。例えば、図4の結果によれば、ノード数が30, 50, 100の場合、各ノード数で同じジェネレーション

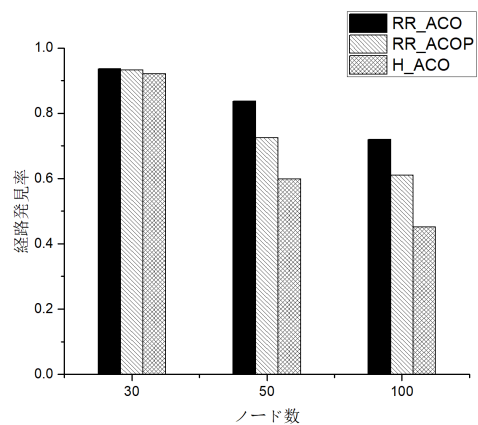


図3 RR_ACOらのパフォーマンスの比較
Fig.3 Performance comparison between RR_ACO algorithms

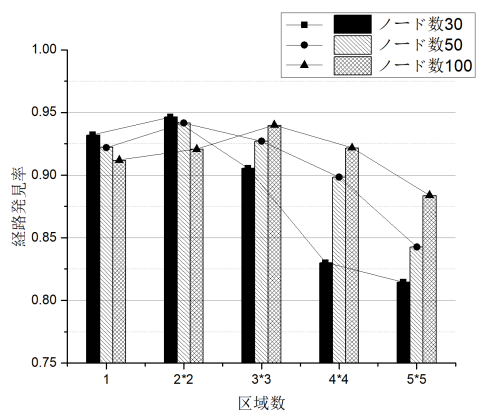


図4 区域数が経路発見率に対する影響
Fig.4 Impact on route discovery rate by different area quantities

数上限の条件で、最も高い経路発見率に対する区域数は4, 4, 9である。区域の分割がある場合(区域数 ≥ 1)、適切な区域分割により、経路発見率が区域を分割しない場合より高くなる。

区域数の影響を更に正確に分析するために、一つの区域内のノード数(以下では平均ノード数とする)を調整して、シミュレーションをした。平均ノード数は、区域数でノード数を割った値である。平均ノード数は、一つ区域の中に含まれる、ノード数の多少を反映する。平均ノード数が1から10までの場合についてシミュレーションをし、その結果を図5に示す。

図5により、平均ノード数は5以上の場合、経路発見率は高くなって、安定する。平均ノード数が1から4までの場合、平均ノード数が少なく、経路発見率が低い。原因として、一つの区域の中のノードが少なすぎて、その区域のノードから、他の区域への経路が少ない。アリがキー区域に到着する確率が低くなり、キー区域とキー経路の利用が減少する。その利用の減少は、フェロモンへの有効なフィードバックも減少して、経路発見率が悪化する。平均ノード数が多くなると、アリはある区域内で探索する時、より高い確率で、キー区域とつながるノードに移動する。しかし、平均ノード数が多すぎると、例えば、図4で区域数が1の場合、アリはキー区域に移動しても、キー経路上のノードを見つける可能性が低くなり、パフォーマンスに悪い影響がある。この結果により、RR_ACOの最適な平均ノード数は5以上であると考えられる。また、図5と図4の結果(経路発見率のピーク)が一致することも確認できる。平均ノード数により、適当な区域数を調整して、RR_ACOのパフォーマンスを向上させることができる。

5. 結 論

本論文では、コンテンツ提供者の移動に対して、コンテンツ提供者の移動先とコンテンツ要求者の間の通信経路を効率的に回復するために、区域分割を含むACOに基づく迅速再接続ルーティングアルゴリズム(RR_ACO)を提案した。RR_ACOは、元の通信経路と区域の情報を利用して、コンテンツ提供者が移動した後、素早く元のコンテンツ要求者にルーティングすることができる。シミュレーションの結果により、短い実行時

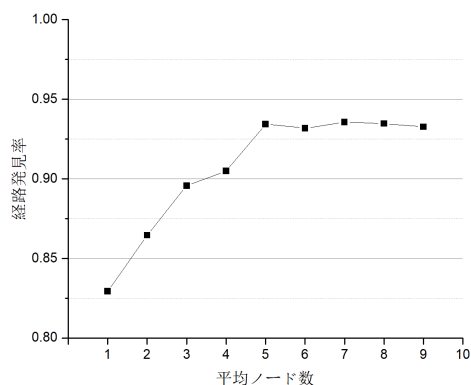


図5 平均ノード数が経路発見率に対する影響

Fig. 5 Impact on route discovery rate by number of average nodes per area

間で、良い経路発見率(90-95%)を達成できる。区域あたりのノード数の最適の値も論じた。RR_ACOはコンテンツ提供者が移動してから、元のコンテンツ要求者への経路を速く見つけ、通信経路を回復して、コンテンツ提供者の移動からの問題を軽減できる。また、RR_ACOでは、過去のコンテンツ提供者の移動についての研究のネットワークのサイズより、大きなネットワークのサイズの場合で適用できて、コンテンツの名前を変えるなどの問題も回避できる。

コンテンツ提供者の移動に対して、更に正確な地図による区域の分割でRR_ACOを改善する可能性があり、今後検討を継続していく予定である。

文 献

- [1] M. Dorigo, V. Maniezzo, and A. Colomi. Ant system: optimization by a colony of cooperating agents. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, Vol. 26, No. 1, pp. 29–41, Feb 1996.
- [2] Guan Xin, Nakazato Hidenori, ACO-based Shortest Hop Routing Algorithm, *IEICE Tech. Rep.*, vol. 120, CS2020-56, pp. 48-53, Nov. 2020.
- [3] J. Lee, S. Cho and D. Kim, Device mobility management in content-centric networking, *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 12, pp. 28-34, December 2012.
- [4] H. Farahat and H. Hassanein, Optimal caching for producer mobility support in Named Data Networks, *2016 IEEE International Conference on Communications (ICC)*, 2016, pp. 1-6, 2016.
- [5] Inayat Ali, Huhnuk Lim, Anchor-Less Producer Mobility Management in Named Data Networking for Real-Time Multimedia, *Mobile Information Systems*, vol. 2019, Article ID 3531567, 12 pages, 2019.
- [6] Rao Ying, Research on Mobility Support Approaches in Information Centric Network, Doctor's thesis, Beijing Jiaotong University, 2015.
- [7] Kim D, Kim J, Kim Y, et al. Mobility support in content centric networks, *Proceedings of the second edition of the ICN workshop on Information-centric networking*, ACM, pp.13-18, 2012.
- [8] Li Jiangxu, Research on Mobility Strategy in Content-Centric Network, Master's thesis, Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [9] Li Zhiyan, Research on the Mobility Management of Information Centric Networks, Master's thesis, Beijing University of Posts and Telecommunications, 2015.
- [10] B. M. Waxman. Routing of multipoint connections. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 6, No. 9, pp. 1617–1622, Dec 1988.
- [11] H. F. Salama, D. S. Reeves, and Y. Viniotis. Evaluation of multicast routing algorithms for real-time communication on high-speed networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol. 15, No. 3, pp. 332–345, April 1997.
- [12] Zhou Ling. Design and implement of random network topology using waxman-salama model. *Journal of Hunan Institute of Science and Technology*, 2008.
- [13] Yang Li. Simulation modeling of network topology. *Journal of Hubei University of Education*, Vol. 25, No. 8, August 2008.
- [14] Xiaoke Jiang, Jun Bi, You Wang, Pingping Lin and Zhao-geng Li, A content provider mobility solution of named data networking, *2012 20th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP)*, 2012, pp. 1-2, 2012.
- [15] Fernando Correia, Teresa Vazão, Simple ant routing algorithm strategies for a (Multipurpose) MANET model, *Ad Hoc Networks*, Volume 8, Issue 8, Pages 810-823, 2010.