

移動制御可能な Flying Router を用いた情報指向ネットワーク

北川 拓[†] 阿多 信吾^{††} オムスーヨン[†] 村田 正幸[†]

[†] 大阪大学 大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 1-5

^{††} 大阪市立大学 大学院工学研究科 〒558-8585 大阪府大阪市住吉区杉本 3-3-138

E-mail: [†]{t-kitagawa,suyong,murata}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}ata@info.eng.osaka-cu.ac.jp

あらまし ICN (Information Centric Networking) は名前で経路制御を行うネットワークアーキテクチャであり、名前を活用した柔軟な制御が可能であることから IoT の通信基盤として注目されている。ICN を用いた既存の制御としては、エンドデバイスのデータ処理や物理制御などが検討がされているが、中継ノードの物理制御についてはあまり検討されていない。本稿では ICN の柔軟な制御の有用性を向上させるために、中継ノードの物理制御として「移動」に着目し、ドローンを用いた移動制御可能なルータ (FR: Flying Router) を導入する。そして、直接的な接続性を有さない無線ノード間の通信を FR の移動を介して実現する手法として RMICN (Router-Movable ICN) を提案・設計し、ルータの移動制御を ICN で行う設計上の利点を示す。また、RMICN が分断ネットワーク間の通信手法としてコンテンツ取得時間において優れていることを計算機シミュレーションにより示す。

キーワード 情報指向ネットワーク, NDN (Named Data Networking), ネットワーク内制御, 移動可能なルータ, パス・プランニング

Mobility-Controlled Flying Routers for Information Centric Networking

Taku KITAGAWA[†], Shingo ATA^{††}, EUM SUYONG[†], and Masayuki MURATA[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University
1-5 Yamadaoka, Suita, Osaka, 565-0871, Japan

^{††} Graduate School of Engineering, Osaka City University

3-3-138 Sugimoto, Sumiyoshi-ku, Osaka-shi, Osaka 558-8585, Japan

E-mail: [†]{t-kitagawa,suyong,murata}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}ata@info.eng.osaka-cu.ac.jp

Abstract ICN (Information Centric Networking) performs routing control by name of contents, and it is expected as a communication platform for IoT, because names can be used not only for information retrieval but also for physical controls of devices. In this paper, we focus on "movement" of routing nodes by ICN, and consider a mobility-controllable router (FR: Flying Router), which has a capability of physical movement controlled by *names* of ICN. Then, we propose RMICN (Router-Movable ICN) as networking to realize disjoint-networks communication with FRs. We also show mobility-controlled routers in which content retrieval time can be shorten in RMICN by computer simulation.

Key words ICN (Information Centric Networking), NDN (Named Data Networking), in-network processing, movable router, path planning

1. まえがき

IP に変わる新たなネットワーク基盤として ICN (Information-Centric Networking) / NDN (Named Data Networking) [1] が注目されている。ICN はコンテンツ指向のネットワークアーキテクチャとして設計されており、これまでの IP にはない多くの利点がある。特に近年注目されているのは ICN の名前を活用した「制御」であり、単なるデータ処理だけでなく、物理的な制御を含めた柔軟なネットワーク内処理が可能であることから、

様々な機器連携が必要となる IoT の通信基盤として期待されている。

しかしながら、これまでの研究ではエンドデバイスに対する物理制御については検討されているが、中継ノードに対する物理制御についてはあまり検討されていない。本研究では ICN の柔軟な制御の有効性を向上させるため、中継ノードの物理制御として「移動」に着目し、ドローンの上に ICN ルータを搭載した移動制御可能なルータ (FR: Flying Router) を考える。そして、分断ネットワーク間の通信を FR の移動を介して実現する

手法として RMICN (Router-Movable ICN) を提案・設計し、ルータの移動制御を ICN で行うことの利点を示す。

2. 関連研究

ICN の IoT 利用の期待が高まる中、その利用例の一つとして名前を用いたエンドデバイスの物理制御が考えられている。文献 [2] では、スマートホームにおける照明の制御がその例として挙げられており、名前に照明の点灯または消灯を指定することにより照明の電源を切り替えることが可能なことを示している。このように、既存の研究では ICN を用いたエンドデバイスに対する物理制御については検討されているが、中継ノードに対する物理的な制御はあまり検討されていない。これは、中継ノードはあくまで通信を中継するだけのネットワーク層のノードであり、アプリケーション層をサポートするエンドデバイスに比べて応用が限定されているためである。本稿では、ICN を用いた中継ノードに対する物理制御に着目し、具体的な制御としてルータの移動制御に着目する。ルータの移動制御を行うことで、距離が離れているために互いに接続されていない分断ネットワーク間に接続性を提供することが可能となる。

一方で、分断ネットワーク間の通信を提供する既存技術の一つとして DTN (Delay Tolerant Networking) がある。DTN には本稿と同様に中継ノードを移動させて分断ネットワーク間に接続性を提供する手法が存在するが、近年では関連する研究テーマとして、中継ノードの移動戦略を決定する Path Planning 手法の検討が行われている [3]。しかしながら、DTN では中継ノードは流通するメッセージやコンテンツの特性によって移動経路を決定することはせず、ほとんどがノードの位置のみを考慮したロケーション指向の Path Planning を行っている。一方で本稿で提案する RMICN はメッセージ駆動でルータの移動制御が可能なることから DTN とは本質的に異なることに加え、ICN を用いたコンテンツ指向の移動制御を適用することにより分断ネットワーク間通信にコンテンツ指向による経路制御の実現が可能となる。また、ICN は IP と異なりネットワークアーキテクチャとしてコンテンツの位置に依存しない構造となっているため、移動可能なルータとの親和性が高い。これは、IP アドレスのようなロケーション識別子を用いたルーティングがルータの移動によりその効果を失いやすい一方で、コンテンツの名前を用いたルーティングはロケーションに依存しないため、ルータの移動による影響を受けにくいためである。

3. RMICN (Router-Movable ICN)

本章では提案する RMICN のユースケースおよびネットワークの構築手法、そして設計上の利点を示す。

3.1 ユースケース

RMICN は互いに接続不可能な複数のネットワークが存在するケースに適用することができる。本稿において移動可能なルータとして用いるドローンが効果的なケースとして、センサネットワークと災害ネットワークでの実現例を示す。

センサネットワークにはさまざまな用途があり、IoT の主要技術として考えられている。中でもユースケースとして注目さ

れているのはセンサネットワークを農業に応用したスマート農業である。スマート農業は ICT を活用して農業の低コスト化、高品質化を目指すものであり、農作物に関わる情報（温度や湿度など）を収集する目的で図 1 のようなセンサネットワークが構築される。しかしながら、農業は広大な土地や通信インフラの乏しい過疎地に展開される場合が想定され、広範囲に分布されたセンサノード間で広く接続性を有するためには、設置ノード数やコスト、メンテナンスなどの観点から容易ではない。RMICN では、ルータ自身の物理的移動によって接続性を補間することが可能であるため、このような事例に有用であると考えられる。

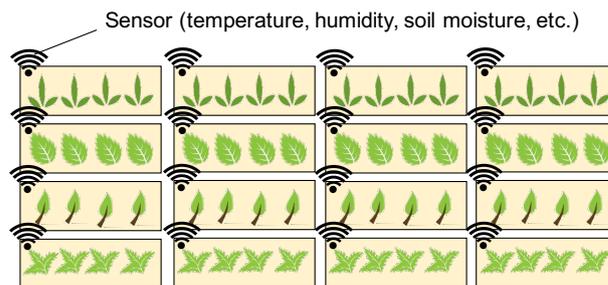


図 1 センサネットワーク (スマート農業)

また、災害によって通信インフラの機能が停止・破壊されることにより、ネットワーク同士が分断されることによって生じる分断ネットワーク間の通信にも RMICN が適用できると考えられる。災害時のケースでは人々は大きな建物に避難し、災害の情報を得たり、安否情報のやり取りを行う必要性が考えられるが、RMICN では図 2 のような分断された避難場所や自治体、被災者等との間に接続性を提供することが可能である。

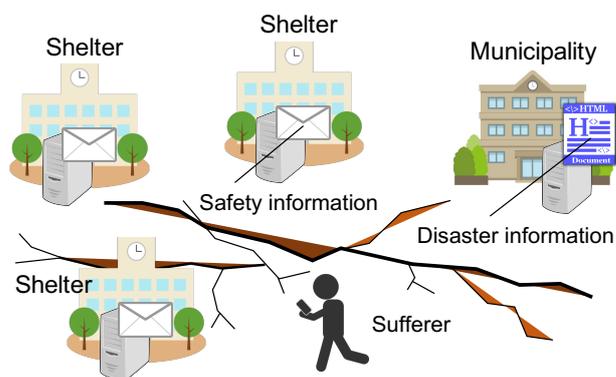


図 2 災害ネットワーク

3.2 FR を用いたネットワークの構築手法

RMICN では ICN でルータの移動制御を実現するため、ICN のアーキテクチャとして NDN, FR の移動体としてドローンを用いる。RMICN は分断ネットワーク環境において複数の FR を用いて接続性を提供する手法を定義する。対象とする環境モデルと、ルータの移動を伴うネットワークを図 3 に示す。

RMICN では対象エリアをハニカムセル構造で定義し、相互に接続性を持たない分断ネットワークがエリア内に分散して存

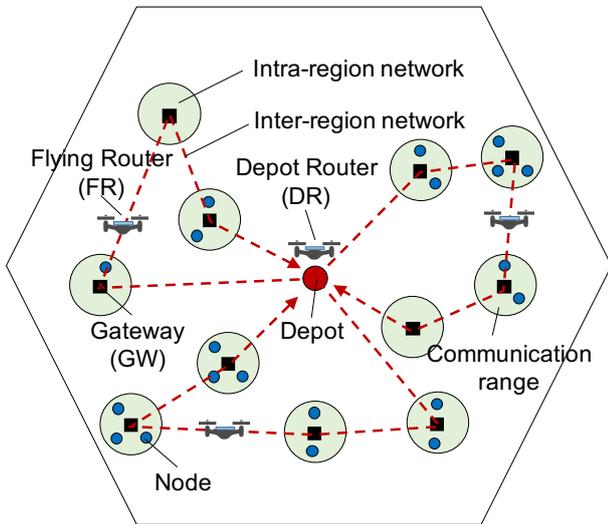


図3 ネットワークモデル

在している状況を想定する。本稿では分散して存在する分断ネットワークを独立ネットワーク (Intra-region network) と呼び、FR の移動によって構築される独立ネットワーク間のネットワークを地点間ネットワーク (Inter-region network) と呼ぶ。独立ネットワークは一つ以上の無線ノードから構成され、必ずいずれか一つのノードが Gateway (GW) となって FR との通信を担う。また、図中の Depot は FR の移動における発着点を意味し、各 FR は Depot において RMICN の中心ノードである Depot Router (DR) を中継することで互いに情報を交換する。RMICN では地点間ネットワークを以下の4点により構築する。

- (I) DR は Depot を発着点とする複数の経路を移動させる FR の数だけ生成する。ここで生成した各経路を巡回することで構成されるネットワークを地点間サブネットワークと呼ぶ。
- (II) DR は各 FR に対し地点間サブネットワークを一つずつ設定し、その経路を巡回させる。
- (III) FR は移動することで接続可能となった GW または DR に対しメッセージを送受信する。
- (IV) FR は地点間サブネットワークを一回巡回する度に Depot に戻って DR と接続し、収集したメッセージの交換を行う。

RMICN では上記の FR の移動制御を NDN の名前とストラテジ層を活用することで行う。ストラテジ層は NDN のプロトコル・スタックにおいてコンテンツ層の下位レイヤとして定義されており、コンテンツ毎に Interest や Data をどのように転送するか、またその際にどのような処理を介在させるかを決定可能なレイヤである。具体的には名前に移動制御の詳細を明示し、それによって移動制御を行うストラテジを定義することで、ルータの移動制御を Interest によって行う。なお、本稿では RMICN における移動ルータによる情報取得の有効性について明らかにするため、文献 [3] 等のように下位レイヤの無線ノ

ードの通信レンジまで考慮した Path Planning は対象としない。

また、RMICN は対象とする分断ネットワーク間通信の規模に合わせてスケールすることが可能である。図4に広域エリアへの適用方法について示す。RMICN はエリア面積に対して容易にスケールすることができる。具体的な実現方法として、Rendezvous Router と呼ばれる Flying Router をそれぞれ六角形で構成したエリアの隔頂点毎に設置し、Rendezvous Router によって六角形のエリア間の通信を行うことが考えられる。そして、Rendezvous Router の挙動は GW と等しく、移動を行わずに FR と接続した際にメッセージの交換を行う。単純に RMICN の対象エリアを広くするのではなく、複数の六角形のエリアをつなぎ合わせて構成することで、地点間ネットワークの計算時間が指数関数的に増加するのを防ぐことが可能なほか、局所的な通信の頻度が高いユースケースにおいてコンテンツ取得時間が比較的短縮されることが利点として挙げられる。

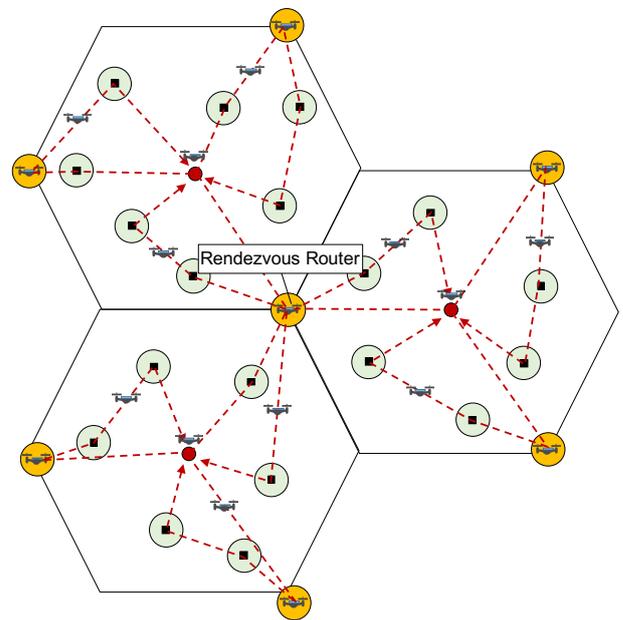


図4 RMICN の広域エリアへの適用方法

3.3 RMICN の利点

3.2 節で述べたように、RMICN は ICN にルータの移動制御と接続駆動の通信を追加したシームレスな ICN の拡張であるといえる。したがって、RMICN は ICN の通信プロトコルとは独立しているため、ICN で実現可能な機能は RMICN においても実現可能であることが利点である。また、RMICN はコンテンツベースの特徴を用いて移動制御を行うことから分断ネットワーク間通信において、以下に示す利点を有する。

3.3.1 シームレスな拡張による利点

本節では ICN のシームレスな拡張による RMICN の利点をセキュリティとプッシュ通信の観点から示す。分断ネットワーク間通信ではノードが移動と無線接続を繰り返すためセキュリティ対策が必須であり、また要求型だけでなく通知型の通信を行う必要性も十分にあるためプッシュ通信の実現方法についても検討する必要がある。

セキュリティについては、ICN は IP ネットワークと異なり

標準でコンテンツ自体を鍵によってセキュアにし、通信経路や通信プロトコルによらず高いセキュリティを提供可能である。RMICNにおいてもこの特性は変わらず、さらに分断ネットワーク間通信のように切断接続を繰り返すネットワークでは、経路をセキュアにするのはオーバーヘッドの観点でコストが高いため、ICNにおけるセキュリティ機能はRMICNの用途に適しているといえる。

一方でプッシュ通信においても、ICNでは標準でサポートしないものの僅かな拡張でPub/Sub型のプッシュ通信を実現している研究がある。文献[4]ではSubscriberを管理するテーブルとPublish/Subscribe messageを新たにNDNに追加し、Pub/Sub通信を管轄するノードとしてRendezvous Node (RN)を導入することでプッシュ通信を実現している。RMICNにおいても、同様の拡張を行った上で、DRをRNとして用いることで、プッシュ型通信を容易に実現可能となる。

3.3.2 コンテンツベースの移動制御による利点

RMICNはコンテンツベースの特徴として名前による制御、コンテンツベースの指標、コンテンツ・キャッシュを活用した移動制御を行っており、これにより分断ネットワーク間通信に利点をもたらしている。

名前による制御の活用については、3.2節で述べたFRの移動制御を容易に実現可能なこともその一つであるが、その他にもコンテンツの特性によって移動制御を変更したり、移動制御以外の応用制御をFRにおいて行うことが、独自のストラテジを導入するだけで可能になることが挙げられる。これにより、例えば緊急性の高いコンテンツを運搬する際に移動速度を上げる制御や、スマート農業などにおいてFRに任意の地点の画像を撮影させたり、気温や湿度等をセンシングさせたり、肥料や除草剤を散布させたりするなどの応用制御が名前空間を切り分けるだけで実現可能となる。

コンテンツベースの指標の活用については、ユーザにとって価値の高いコンテンツの取得時間等を指標として用いてFRの移動制御を行うことが可能である。本稿ではその一例として、コンテンツ取得時間の目安を設定し、その時間以内にコンテンツを配送するようなPath Planningを設計する。RMICNではコンテンツの取得から要求までを「Interest収集」「Data収集」「Data配送」の三段階のフェーズに分けて考えることができる。3.2節では、DRによって算出された地点間サブネットワークを巡回するFRが一回の巡回毎にDRとメッセージ交換することを述べたが、ここで、全てのFRを一回の巡回毎にDepotで待ち合わせさせることを考えると、どのようなコンテンツもユーザ視点で4回の巡回を行うことでその取得が完了することが分かるため、コンテンツの取得時間の目安をユーザに通知することが可能である。さらにRMICNでは、FRが巡回時においてより効率的な巡回パスが発見された場合、Depotでの待ち合わせ時間以内の範囲で巡回パスを変更することを提案し、コンテンツ取得時間の平均値が短縮されるように、FRの近くに取得可能なコンテンツがあればそのコンテンツの取得を優先する自律的なパス変更を行う。これはNDNにおける通信プリミティブがコンテンツであり、InterestとDataの1:1の交換であるこ

とから実現可能な制御である。

最後に、RMICNのコンテンツ・キャッシュの活用について述べる。上述した地点間ネットワークの構築方法により、RMICNではユーザ視点で次のキャッシュ効果（フェーズの省略）を得ることができる。DRにキャッシュがある場合、フェーズを一段階（Data収集）、また自身が属する地点間サブネットワークを構成するFRにキャッシュがある場合はフェーズを二段階（Data収集、Data配送）省略することができる。さらに、自身が属する独立ネットワークを構成するGWにキャッシュがある場合は全てのフェーズ（Interest収集、Data収集、Data配送）を省略することができる。

4. RMICNの設計

RMICNはNDNのシームレスな拡張によって実現されると述べたが、具体的には、RMICNは全てのNDNノードに独自のデータ構造とマネージャ、及びストラテジを追加することにより実現される。ここで、データ構造はRMICNで通信を行うために必要なデータを格納する構造、マネージャはそのデータ構造を用いて実際にRMICNにおける通信を実現する機能を提供するものを意味する。そして、独自に定義したストラテジにおいてこのマネージャの機能呼び出すことで、RMICNにおけるルータの移動制御等の処理とNDN通信の連携を実現する。本章では、4.1節にてこれらのコンポーネントを用いたメッセージ交換手法について、4.2節にて地点間ネットワークの構築アルゴリズムについて設計の概要を示す。

4.1 RMICNにおけるメッセージ交換手法

RMICNではメッセージ交換を実現するために、主にデータ構造として宛先ノード（Face）毎のメッセージを格納するBuffer Store、マネージャとしてノード（Face）毎の接続を監視するConnection Manager、ストラテジとしてメッセージ交換機能を行うMessage StrategyとFRの移動制御を行うFRControl Strategyを実装する。なお、Message Strategyはプレフィックスが"/"である全てのメッセージに対応し、FRControl Strategyはプレフィックスが/FRControl/であるメッセージに対応する。また、FRControl Strategyでは指定したGW（独立ネットワーク）のリストを巡回する制御を示す名前として"/FRControl/{Name}/Crawl/{GW1}/{GW2}/..."を提供する（{Name}は制御対象のFRの名前、{GW1}/{GW2}/...は指定したGWをその順で巡回させることを意味する）。

DRはまず独立ネットワークの位置とFRの数から後述するアルゴリズムにより地点間ネットワークを算出し、各FRにそれぞれ一つの地点間サブネットワークを巡回させる。図5に地点間サブネットワークにおけるメッセージ交換の概要図を示す。

DRは最初にFRに対して地点間サブネットワークを巡回させるInterestを送信し、そのInterestにより呼び出されたFRのFRControl Strategyは指定されたGWのリストをその順番で巡回するようドローンの移動制御を行う。そして、FR、DR、GWのConnection ManagerはFRの巡回の過程でノードとの接続を検知すると、Buffer Store内のそのノードを宛先とするメッセージを全て送信する。また、全てのノードは通常のメッセージを

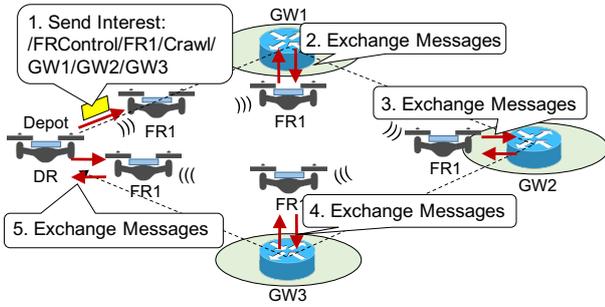


図5 地点間サブネットワークにおけるメッセージ交換

受信したとき、Message Strategy を呼び出し、FIB により得られた宛先ノードが接続されていればそのままメッセージを送信し、接続されていなければ Buffer Store のそのノードを宛先とするバッファにそのメッセージを格納する。そして、全ての FR は Depot で待ち合わせを行い、地点間サブネットワーク間のメッセージ交換を行う。DR は全ての FR が Depot に戻ったことを確認したら再び FR に対して地点間サブネットワークを巡回させる Interest を送信する。

4.2 Path Planning のアルゴリズム

本章では DR が地点間ネットワークを算出するアルゴリズムと FR が地点間サブネットワークを巡回中に自律的にパスを変更するアルゴリズムを説明する。

4.2.1 地点間ネットワークの算出方法

本節では地点間ネットワークを算出するアルゴリズムについて述べる。地点間サブネットワークは地点間ネットワークを構成する全ての FR の総移動距離を最小にするよう構成されることが望ましい。そこで本稿ではこの問題が VRP (Vehicle Routing Problem) [5] に極めて類似していることに着目し、VRP を解くことで地点間ネットワークを算出することを提案する。

VRP とは地理的に離れた顧客の集合を、拠点である Depot から複数の車両を用いて最短距離で巡回し、それらが再び Depot に戻ってくるまでのパスを求める問題である。つまり、顧客を独立ネットワーク、車両を FR と捉えることで本研究における地点間ネットワークを算出する問題を VRP によりモデル化可能であるといえる。そこで本稿では NP 困難である地点間ネットワークを算出する問題を解くメタヒューリスティックな手法として IACO (Improved Ant Colony Optimization) [6] を用いる。

ACO は蟻の集団が餌を探すふるまいをシミュレートすることにより経路を算出するアルゴリズムであり、蟻を FR、餌を独立ネットワーク、蟻の巣を Depot と見立てることで RMICN に対しシンプルに適用することができる。IACO [6] は ACO に遺伝的アルゴリズムにおける突然変異の考えを導入したものであり、VRP の他のメタヒューリスティックな解法と比較して高い精度が得られているため、本研究では地点間ネットワークを算出するアルゴリズムとして IACO を採用する。

4.3 FR の自律的なパス変更方法

DR の指示によって巡回する FR はルータならではのメッセージベースの移動制御として地点間サブネットワークの GW の位置に到着する度に自律的なパス変更を試みる。具体的には、FR

は次の手順によって自律的にコンテンツの平均取得時間を短縮するより良いパスを発見する。

- (1) ある GW_x に到着した FR は自身が巡回する地点間サブネットワークに属しており、当該巡回において訪問済みの GW のリストから、Depot での待ち合わせ時間に遅れない範囲で GW_x から往復移動が可能な GW_y のリストを求める。なお、 GW_y を宛先とする Buffer Store のメッセージ数 M_y が 0 の場合はリストから除外する。
- (2) 得られたリストのうち、 M_y が最も大きい GW_y を新たな移動先として選択し、 GW_x と GW_y の往復経路を次の移動経路として登録する。なお、リストが空の場合は自律的なパス変更を行わない。

5. RMICN の評価

3.3 節では RMICN の利点を述べたが、本章では RMICN が設計上の利点をもたらすだけでなく実環境においてどの程度の効用を与えるか示すために、FR の自律的なパス変更とコンテンツ・キャッシュの効果によるコンテンツ取得時間の短縮について評価を行う。

5.1 評価手法

本稿では計算機上で実環境を想定したシミュレーションを行うことで RMICN のコンテンツ取得時間の平均を評価する。比較対象としては分断ネットワーク間通信を実現する手法の一つである DTN (メッセージフェリー) とし、公平性のために巡回パスとしては RMICN で用いる地点間ネットワークを与える。そして、独立ネットワークを構成する GW の位置には実環境を想定した五パターンの無線ノードの配置情報 (500 [m] 四方、ノード数 15 個前後) を用い、巡回させる FR の数を三台とする。そして、トラヒック・パターンとしては FR の自律的なパス変更とコンテンツ・キャッシュの効果を評価するためにリアルタイム性の高いコンテンツが存在する (つまり、キャッシュヒットが生じない) センサネットワークと災害情報など多くのユーザから要求されるコンテンツが存在する (つまり、キャッシュヒットが生じる) 災害ネットワークの二通りのシナリオを想定したパターンを用いる。なお、どのノードからどのコンテンツが要求されるかはランダムに決定されるとし、災害ネットワークでは同じコンテンツを要求する確率を 0.1 とする。

5.2 評価結果

本節では実施したシミュレーションの結果について示す。センサネットワークにおけるコンテンツ取得時間の平均値を表 1 と図 6、災害ネットワークにおけるコンテンツ取得時間の平均値を図 2 と図 7 に示す。

表 1 コンテンツ取得時間の平均 (センサネットワーク)

Method	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
DTN [s]	179.6	120.6	164.5	199.6	164.3
RMICN [s]	165.9	111.0	157.4	164.3	165.1
Rate [%]	92.3	92.1	95.7	82.3	100.5

表2 コンテンツ取得時間の平均 (災害ネットワーク)

Method	CASE1	CASE2	CASE3	CASE4	CASE5
DTN [s]	184.5	119.6	165.7	190.7	161.2
RMICN [s]	157.3	101.6	150.1	151.2	147.9
Rate [%]	85.2	84.9	90.7	79.3	91.7

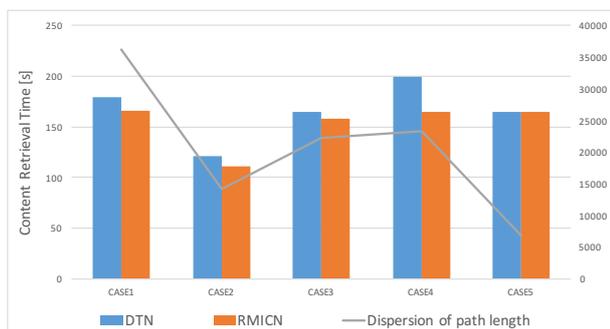


図6 コンテンツ取得時間の平均 (センサネットワーク)

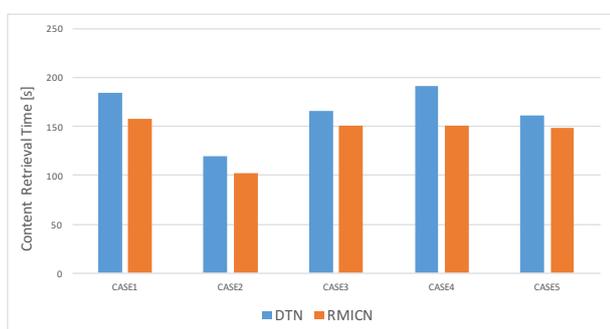


図7 コンテンツ取得時間の平均 (災害ネットワーク)

これらの結果が示す通り、RMICNではセンサネットワークのシナリオ及び災害ネットワークのシナリオの双方において、多くのケースでDTNよりもコンテンツの取得時間が短縮されていることが分かる。センサネットワークのシナリオでは、CASE5においてコンテンツ取得時間が僅かに短縮されていないことが示されているが、これは地点間サブネットワークのパス長の分散が他のケースと比べて著しく小さいためであると考えられる。RMICNにおけるFRの自律的なパス変更は巡回時のDepotでの待ち合わせ時間に対し余裕がある際に行われるため、待ち合わせ時間が短い、すなわち地点間サブネットワークのパス長の分散が小さいとその効果が限定的となるためである。しかしながら、地点間サブネットワークのパス長の分散が大きいつきは効果が発揮されるため、例えば独立ネットワークの数が増えて地点間ネットワークの構築精度が低下した場合などに有用であると考えられる。

災害ネットワークのシナリオでは、全てのケースにおいてコンテンツ取得時間の短縮が確認された。また、センサネットワークと災害ネットワークにおけるRMICNのコンテンツ取得時間は全てのケースを平均して7.3%短縮されており、キャッシュの効果が単独で現れていることも確認された。今回のシミュレーションでは、同一コンテンツの要求確率を0.1としているが、この値が大きくなるようなケースではコンテンツ取得時間はさらに短縮されると考えられる。

最後にFRのPath Planningの計算コストについて述べる。なお、シミュレーションで使用した計算機のCPUはIntel Core i7 (3GHz)である。地点間ネットワークの算出にかかった計算時間は平均1.73[s]であった。また、FRの自律的に変更するパスを検索するのにかかる時間は平均して0.1[ms]オーダであり、コンテンツ取得時間と比較すると無視できる小ささであるといえる。

6. おわりに

本研究ではICNの名前を活用した柔軟な制御に着目し、移動制御可能なルータを擁するICN(RMICN)を提案・設計することで、ルータの移動制御をICNで行うことの利点を明らかにした。設計上の利点としては、RMICNがICNのシームレスな拡張であることからICNの特徴をそのまま引き継げるもののほか、名前を活用した様々な制御、コンテンツベースの指標やコンテンツ・キャッシュを活用した移動制御が可能であることを述べた。また、RMICNの利点の一つであるコンテンツ取得時間の短縮については、実環境を想定した計算機シミュレーションによりその効果が発揮されることを確認した。

今後の課題としては、地点間ネットワークの構築手法及び自律的なルータのPath Planningに対してさらにコンテンツベースの情報を活用することを検討している。具体的には、FRによってコンテンツやコンテンツ要求の分布を作成し、その分布に従ってFRの移動パスを変更することにより、より柔軟なコンテンツ配送を実現すること等が考えられる。

謝辞 本稿を書き上げるにあたり、評価用データを提供して頂いた日立製作所 横浜研究所の中野様に深く感謝致します。また、本研究開発は総務省SCOPE(受付番号165007007)の委託を受けたものです。

文 献

- [1] L. Zhang, D. Estrin, J. Burke, V. Jacobson, J. Thornton, D. K, et al., "Named data networking (NDN) project," Technical Report NDN-0001, PARC, Oct. 2010. <http://named-data.net/wp-content/uploads/TR001ndn-proj.pdf>
- [2] W. Shang, A. Bannis, T. Liang, Z. Wang, Y. Yu, et al., "Named data networking of things," Proceedings of 2016 IEEE First International Conference on Internet-of-Things Design and Implementation (IoTDDI), pp.117-128, Apr. 2016.
- [3] R. Sugihara and R.K. Gupta, "Path planning of data mules in sensor networks," ACM Transactions on Sensor Networks, vol.8, no.1, pp.1-27, Aug. 2011.
- [4] J. Chen, M. Arumathurai, L. Jiao, X. Fu, and K. Ramakrishnan, "Copss: An efficient content oriented publish/subscribe system," Proceedings of 2011 Architectures for Networking and Communications Systems (ANCS), pp.99-110, Oct. 2011.
- [5] G. Laporte, "The vehicle routing problem: An overview of exact and approximate algorithms," European Journal of Operational Research, vol.59, no.3, pp.345-358, Jun. 1992.
- [6] B. Yu, Z.-Z. Yang, and B. Yao, "An improved ant colony optimization for vehicle routing problem," European Journal of Operational Research, vol.196, no.1, pp.171-176, Jul. 2009.