

情報指向ネットワークにおける ネーミングスキームを用いた 移動可能ルータの実現

大阪大学大学院情報科学研究科
村田研究室
高 宇豪



第5世代移動通信システム (5G:5th Generation)

- ノードの物理的移動 = モビリティを考慮した通信システム
 - 移動中の安定な通信が可能
 - 大容量化：有限なバッテリー、ガソリンなどのエネルギー制約の下で、より多くのデータを運搬



自動運転



ドローン宅配便

2

新たな IoT デバイス：移動可能ルータ

- ドローンや基地局車などの移動可能な機器にルータを搭載することで、機器全体が中継ルータとしてパケットを運搬可能なデバイス
 - ルータはドローンや基地局車の制御で移動を実現
 - 有限なバッテリー、ストレージ、電波強度などの制約が存在
 - 基地局などの中継装置がなく、接続していないノードのネットワークを想定
 - ・ アプリケーション：農業センサネットワーク、災害時ネットワーク



ノードの間で往復することでパケットを運搬可能

3

移動可能ルータを用いたアプリケーション

- センサと IoT デバイス(e.g. エアコン、収穫機)との連携で自動農業を実現可能な農業センサネットワーク
 - 基地局がなく、広大な地域で圃場間の接続がない環境を想定
 - 移動可能ルータは作物の温度、水分などのセンサデータを IoT デバイスに運搬し、デバイスがそのデータに基づいて自動的な農作業を実現可能



4

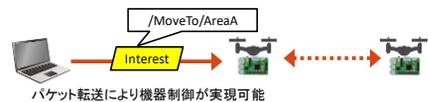
中継ノードのモビリティ・サポートにおける課題

- エンドノードの移動についての研究が活発に行われているが、中継ノードの移動についてはあまり検討されていない
 - 大容量化：IoT デバイスのバッテリー制約の下で、より多くのパケットを転送すべき
 - ・ データ構造、通信手順の簡約 → 通信プロトコル に依存
 - ・ 中継ノードの移動経路の短縮 → ルーティング・アルゴリズム に依存

5

情報指向ネットワーク (ICN: Information-Centric Networking)

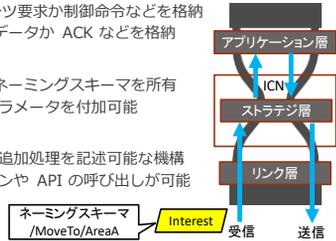
- IoT モビリティ環境において柔軟な制御が可能なネットワーク
- コンテンツや制御命令を名前で表現
 - ICN のパケットは IP アドレスではなく名前によって転送先が決定
 - ・ IP アドレスが高頻度に変化するモビリティ環境では容易に通信可能
 - 制御命令とパラメータを名前に持つ Interest パケットを転送することで、エンドノードに対する制御可能
 - ・ ICN を用いればノードの機器制御を実現可能



6

柔軟な制御が可能な ICN の構造

- パケットは Interest と Data 二種類
 - Interest はコンテンツ要求か制御命令などを格納
 - Data はコンテンツデータか ACKなどを格納
- ネーミングスキーマ
 - パケットは名前 = ネーミングスキーマを所有
 - 名前に制御命令とパラメータを付加可能
- ストラテジ層
 - パケットの受信後の追加処理を記述可能な機構
 - 他のアプリケーションや API の呼び出しが可能

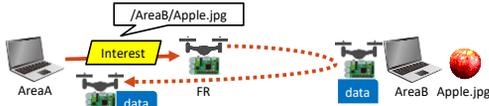


大容量化の実現における ICN のメリット

- 通信処理のオーバーヘッドを削減することで、電力を節約可能
 - IP アドレス変化が頻発する環境で、IP アドレスは必須情報ではなく、コンテンツのみ取得したい
 - ICN では IP アドレスではなくコンテンツの名前でコンテンツ取得可能で、IP アドレスによるオーバーヘッドを削減可能
- 中継ルータの移動経路を短縮することで、電力を節約可能
 - コンテンツ・キャッシングによるメリット

情報指向ネットワークにおける自律移動可能なルータを用いた情報取得 [1]

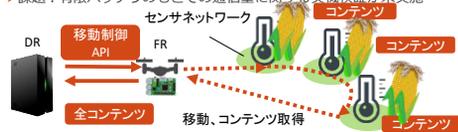
- ドローンを用いた移動制御可能なルータ (FR: Flying Router) を擁する ICN を提案
 - FR: ドローンに装着した ICN ルータで移動を制御し、中継ノードとして他のノードの間を往復しパケット運搬を行う移動可能ルータ
 - ICN を用いた移動可能な中継ノードの制御を実現
- この制御は移動戦略を持たずコンテンツ要求に従う受動的制御
 - 移動戦略: 最短の移動経路の計算、複数の FR の連携が可能なアルゴリズム
 - 移動戦略に基づいた制御 = 能動的制御



[1] T. Kitagawa and S. Aka and M. Murata, "Retrieving information with autonomously flying routers in information-centric network," In Proceedings of 2016 IEEE International Conference on Communications (ICC), pp. 1-6, May 2016

移動制御可能なルータを用いたセンサネットワーク間通信手法 (RMICN: Router-Movable ICN) [2]

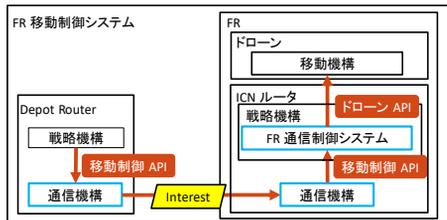
- センサネットワーク間通信の移動戦略を実現するプロトコル RMICN の FR 通信制御システムを設計
 - Depot Router (DR) と呼ばれるネットワークの中心ノードが戦略に基づいて FR の移動経路を算出し、FR に経路を巡回させることでコンテンツを収集
 - 貢献: シミュレーションで移動量について、類似手法の DTN (Delay Tolerant Networking) のメッセージフェリ方式^[3]と比較
 - ・メッセージフェリ方式より移動量が少ないことを判明
 - 課題: 有限バッテリーのもとでの通信量に関する実機検証が未実施



[2] T. Kitagawa, "Mobility-controlled flying routers for information-centric networking," Master's thesis, Osaka University, Feb. 2017
 [3] W. Zhao and M. H. Ammar, "Message ferrying: proactive routing in highly-partitioned wireless ad hoc networks," In Proceedings of The Ninth IEEE Workshop on Future Trends of Distributed Computing Systems, pp. 308-314, May 2003.

RMICN における実機検証の課題

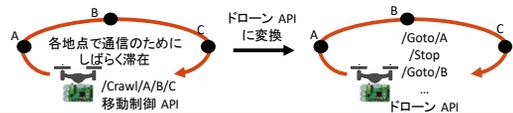
- 通信プロトコルに従って中継ノードの移動制御機構が未実装
 - 中心ノード発行の移動制御 API をドローン提供の API (ドローン API) に変換する戦略機構内の FR 通信制御システムが未実装



[2] T. Kitagawa, "Mobility-controlled flying routers for information-centric networking," Master's thesis, Osaka University, Feb. 2017

移動制御 API 実行における課題

- ドローンは移動制御 API を直接実行することが不可能
 - 移動制御 API: FR の移動の一連の制御を実現する API
 - 例) Crawl: 複数の分断ネットワークへの巡回移動および各地点における滞在
- 移動制御 API のドローン API への変換が必須
 - ドローン API: 実際にドローンの移動を制御可能な API
 - 例) ドローンの離着陸、指定地点への移動、滞在、速度変更など



[2] T. Kitagawa, "Mobility-controlled flying routers for information-centric networking," Master's thesis, Osaka University, Feb. 2017

研究目的とアプローチ

目的 **移動可能ルータを用いた通信の大容量通信の実現**

アプローチ



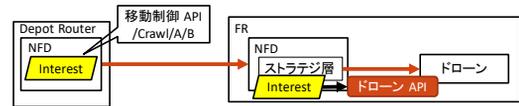
[2] T. Kitagawa, "Mobility-controlled flying routers for information-centric networking," Master's thesis, Osaka University, Feb. 2017.

13

中継ノードの移動制御実装のアプローチ

● ICN フレームワーク

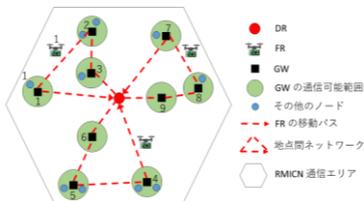
- NDN (Named Data Networking) [4] Project 開発の API を使用
- パケットフォワード NFD (NDN Forwarding Daemon) を使用
- Interest パケットのネーミングスキーマを API として使用
- NFD のストラテジ層で移動戦略と通信制御の処理を記述



14

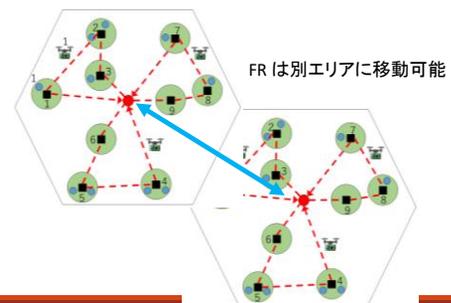
FR 通信制御システムの概観

- 集中管理ノード Depot Router (DR)、複数のFRと GateWay (GW) から構成
- FR のみ移動可能で、それ以外のノードは固定



15

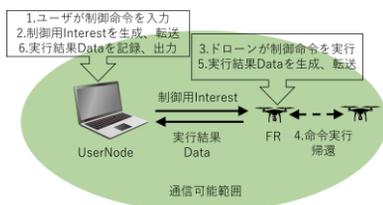
スケーラビリティ



16

FR 通信制御システムの概観

- 一台のアクセスポイントとなるユーザノードは複数台のFRと接続



17

FR 通信制御システムの packets

- FR の移動を制御する **制御用 Interest パケット**
 - ネーミングスキーマに API の名前などの制御用情報を格納
 - e.g. /FRControl/{FRName}/{APIName}/{Parameter}
 - プレフィックスが FRControl ではない Interest パケットはコンテンツデータを要求するパケットに識別
- 移動制御の実行結果を格納する **実行結果 Data パケット**
 - 名前空間は制御用 Interest と同様
 - Interest パケットの ACK に相当

18

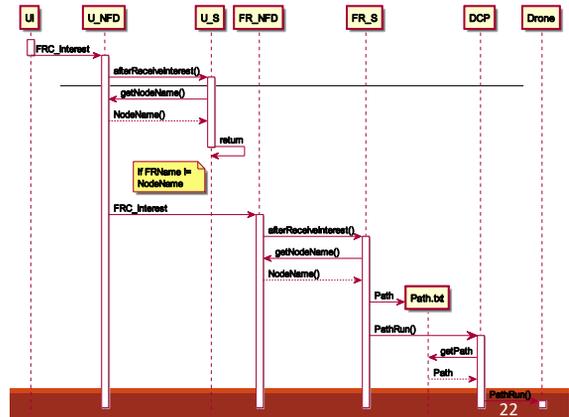
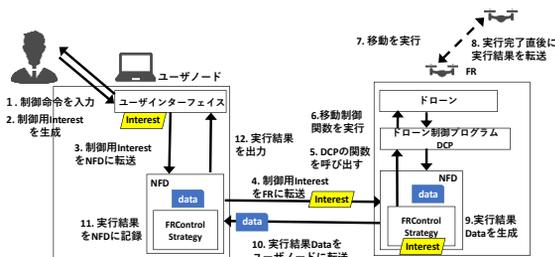
FR 通信制御システムが提供する移動制御 API

API 名	動作概要	入力	出力
/PathCreate/{PathName}/{Point}* Point = {North}/{East}/{Height} {PointName}	移動経路の生成	文字列型の移動経路名、ユーザーノードからの北方向、東方向の距離と高さ(北方向、東方向の負値は逆方向、単位m) か文字列型の地点の名前	移動経路の各地点の座標
/PathList	移動経路一覧の表示	なし	全移動経路の各地点の座標
/PathRun/{PathName}	経路に沿う移動の実行	文字列型の移動経路名	次の地点までの距離
/PathPause	移動の一時中止&再開	なし	一時中止&再開のメッセージ
/PathCancel	経路に沿う移動の中止	なし	キャンセルのメッセージ
/SetVehicleSpeed/{Speed}	移動速度の設定	非負実数の移動速度 (単位m/s)	移動速度の値

FR 通信制御システムのコンポーネント

- UserInterface (UI) : ユーザの入力に基づく制御用 Interest の生成
- NFD : NDN パケットのフォワーディングおよび制御用変数の保存
- 制御用 Strategy : 制御用 Interest の名前に基づくドローン制御プログラム (DCP) の関数の呼び出し
- DCP : ドローンの移動制御と API 実行中のメッセージの出力

コンポーネントダイアグラム



コンポーネントの主要動作の実装方法

- UI : 制御用 Interest の生成と転送 ⇒ NDN のライブラリの API
- NFD : 移動経路リストなどの変数の定義 ⇒ NFD の NFDクラスの拡張
- 制御用 Strategy
 - カスタム Strategy の実装 ⇒ NFD の Strategy クラスの拡張
 - ドローン制御プログラムの呼び出し ⇒ C++ ライブラリの API
- ドローン制御プログラム :
 - ドローンの移動制御 ⇒ Dronekit ライブラリの API

使用機材、ツール一覧

機材	型番	説明
ドローン	3D Robotics Solo	プログラムによる制御可能、コントローラ付属、WiFi による通信可能、GPS 搭載
小型コンピュータ	Raspberry Pi 3 Mode B	5V1A で動作可能 (Solo から給電)、WiFi 搭載、NFD 等のツールをインストール済み
ツール	説明	
ndn-ccx 0.5.0	NDN のデータ構造やストラテジ層などを実装したライブラリ	
NFD 0.5.0	NDN パケットフォワーダ、ストラテジ層を実装済	
Dronekit-Python 2.0	ドローン API の言語	
Python 2.7.0	Dronekit-Python の言語	
C++ 11	ndn-ccx と NFD の言語	
Ubuntu 14.04 LTS	ユーザーノードの OS、NFD が正常に動作	
Raspbian Sep 2016	RPI の OS、NFD が正常に動作	

FR の構成方法

- ドローンと Raspberry Pi(RPI) の通信ネットワークはユーザノードにあるコントローラ提供の無線 LAN を使用
- ドローンは RPI にシリアルで電源を供給



25

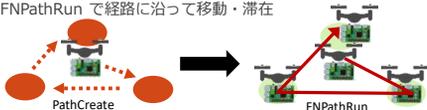
FR の外観



26

実機検証

- システムの各 API 動作を確認することで、ICN で中継ノードの能動的制御が可能であることを示す
- 検証対象
 - 移動経路を生成する PathCreate
 - 経路に沿う移動と経路の各地点での滞在 FNPathRun (PathRun と PathPause の組み合わせ)
- 三角形経路に沿って移動し、三つの頂点に滞在
 - PathCreate で三角形の移動経路を生成
 - FNPathRun で経路に沿って移動・滞在



27

実機検証



- ICN で中継ノードの能動的制御が可能であることを示した

28

まとめと今後の課題

- まとめ
 - ICN は柔軟な制御が可能なネットワーク
 - 柔軟な制御に関する研究の一例として、移動ルータを用いた分断ネットワーク通信の例が挙げられる
 - その例では RMICN の実装は未完成
 - 本研究では FR 通信制御システムを実装
 - API の動作検証により、ICN で中継ノードの能動的制御が可能であることを示した
- 今後の課題
 - 通信プロトコルの実装
 - 他の通信プロトコルとの比較

29