

# 経路情報の変更頻度による動的メッシュネットワーク用 ルーティングプロトコルの検討

浅井信吾<sup>†</sup> 毛利元昭<sup>‡</sup> 打矢隆弘<sup>†</sup> 船瀬新王<sup>†</sup> 内匠逸<sup>†</sup>

名古屋工業大学大学院工学研究科情報工学専攻<sup>†</sup> 愛知大学経営学部経営学科<sup>‡</sup>

## 1 はじめに

近年, Internet of Things (IoT) が活用されたスマートホームや工場・ビルのモニタリングなどにより, 我々の生活は安全かつ豊かになっている. IoT で使用される小型デバイスは, 通信品質が低くリソースに制限がある. そのため, IoT デバイスで構成されるネットワークは Low Power and Lossy Networks (LLN) と呼ばれる. LLN 環境下では, 従来のルーティングプロトコルは適切な経路構築が困難である. そこで IETF は, IPv6 protocol for low power and lossy networks (RPL)[1] を LLN の標準ルーティングプロトコルとして提案した.

RPL は, Destination Oriented Directed Acyclic Graph (DODAG) と呼ばれるメッシュネットワークを軽量に構築可能である. 一方で現状の RPL には, 経路選択に関して不十分な点が存在する. RPL は経路選択に用いるメトリックに, ノード間の送信の期待値 (ETX) を用いることで通信の信頼性を考慮している. しかし IoT 環境では, エネルギー消費量や経路の安定性など複数の指標を同時に考慮する必要がある. また RPL はネットワーク内に動的ノードが存在する際, 通信の信頼性が低下することが確認されている[2]. 本研究では, より最適な経路を選択し動的ノードに対応可能なルーティングプロトコルの考案を目標とする.

本稿では, Fuzzy logic によって 3 つのメトリックを複合させ, 複数の指標を考慮した RPL を構築する. メトリックには ETX とエネルギー変動に加えて, 動的ノードに対応するために経路情報の更新に用いる DODAG Information Object (DIO) の回数を導入することを提案する. さらに, 複合したメトリックを用いた RPL の性能評価を行う.

A study on routing protocol for dynamic mesh network based on frequency of routing information change

<sup>†</sup>Shingo Asai, <sup>‡</sup>Motoaki Mouri, <sup>†</sup>Takahiro Uchiya,

<sup>†</sup>Arao Funase, <sup>†</sup>Takumi Ichi,

<sup>†</sup>Nagoya Institute of Technology

<sup>‡</sup>Aichi University

## 2 提案手法

本稿では, 複数のメトリックを使用したルーティングプロトコルを提案する. メトリックは, ETX・Residual Energy (RER)・DIO Count (DC) の 3 つを用いる. さらに Fuzzy logic によって 3 つのメトリックを複合させる. 複合させたメトリックの値を比較し経路選択を行う.

### 2.1 メトリック

#### ETX

ETX はノード間のパケット送信の期待値を表す. すなわち, パケットが宛先で受信されるために必要な再送信の平均値を示す. ETX は式 (1) で表される. ここで,  $dr$  は通信先からのパケット到達率,  $df$  は通信先へのパケット到達率を表す.

$$ETX = \frac{1}{dr \cdot df} \quad (1)$$

#### Residual Energy (RER)

RER は, ノードの初期エネルギーと現在のエネルギーの変化の割合である (式 (2)). RER を導入することで, 各ノードのエネルギーの負荷分散が期待できる.

$$RER = \frac{Current\_Energy}{Initial\_Energy} \quad (2)$$

#### DIO Count (DC)

DC は通信相手からの 1 分間の DIO 受信回数を表す. DIO は経路情報の更新に用いられる制御メッセージである. RPL は, DIO に含まれるメトリック値や近隣ノード情報に変更がない場合, 次の DIO 送信間隔が 2 倍になる. すなわち, 経路情報の更新がない通信の安定した経路は, DIO の回数が減少する. また, 動的ノードはノードの移動により, 経路情報の更新が頻繁に発生し DIO の回数が増加する. したがって DC を導入することで, 安定性の高い経路が選択されやすくなり, 通信の信頼性が向上することが期待できる.

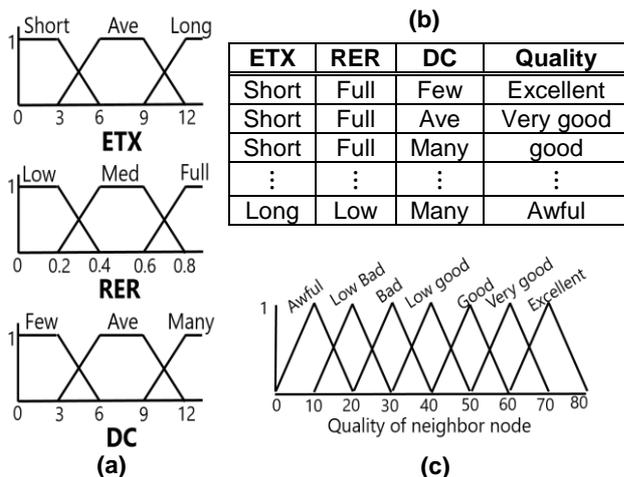


図 1 Fuzzy logic

(a) Fuzzification (b) Fuzzy Rules (c) Defuzzification

## 2.2 Fuzzy logic

Fuzzy logic は、様々な特性を持つ情報集合を組み合わせるために用いられる。本稿では、複数のメトリックを組み合わせるために用いる。Fuzzy logic によって、各メトリックの重みの均一化やメトリックの曖昧性が表現可能となる。

### Fuzzification

Fuzzification では、メンバーシップ関数を用いて各メトリックの値を言語変数に変換する。図 1 (a)は各メトリックのメンバーシップ関数を表す。例として、ETX は Short・Average・Long の 3 種類の言語変数に分類される。

### Fuzzy Rules

Fuzzy Rules では、Fuzzification で変換した各メトリックの言語変数に応じて、新たな言語変数 Quality を定める。例として、ETX が Short, RER が Full, DC が Few のとき、Quality は Excellent となる (図 1 (b))。

### Defuzzification

Defuzzification では、Fuzzy Rules で定められた Quality に応じて出力値が与えられる (図 1 (c))。言語変数から数値に変換することで、定量的な比較が可能となる。

## 3 性能評価シミュレーション概要

Cooja を用いてシミュレーション実験を行う。シミュレーションにおける条件を表 1 に示す。また、提案手法と従来の RPL との性能比較を行う。従来の RPL にはメトリックがホップ数である OF0 と、メトリックが ETX である MRHOF を使用する。評価指標は、パケット到達率 (PDR) とノードの 1 分間の平均エネルギー消費量 (AEC) に着目する。パケット到達率とは、パケットの総送信回数に対して受信した回数の割合を示す。

表 1 Simulation Condition

Parameters	Value
Simulator	Cooja in Contiki 3.0 OS
Radio environment	Unit Disk graph medium
Deployment area	100m × 100m
Number of nodes	Sink node:1 Static node:50/80
Metric	Hop Count, ETX, DC, RER
Simulation time	1 hour

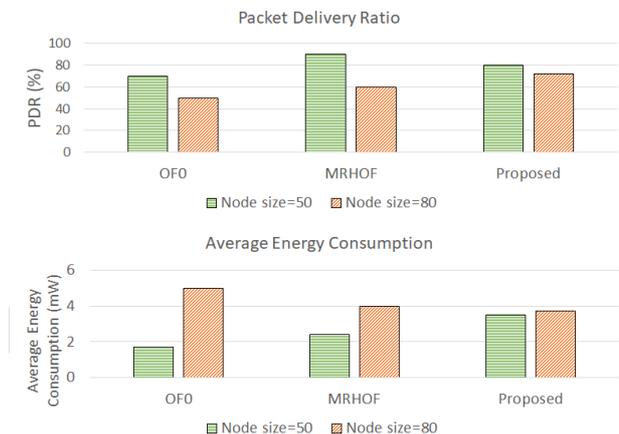


図 2 Simulation result in PDR and AEC

## 4. シミュレーション結果及び考察

実験結果を図 2 に示す。PDR は、全ての手法でノード数が増加すると低下している。また、ノード数が 50 の場合は MRHOF が最も PDR が高く、ノード数が 80 の場合は提案手法が最も高くなっている。AEC は、全ての手法でノード数が増加すると増加している。また、ノード数が 50 の場合は OF0 が最も AEC が低く、ノード数が 80 の場合は提案手法が最も低くなっている。

PDR では各手法において、ノード数の増加による PDR の低下に大きな差があった。従って、PDR においては各手法に適したノード数があると考えられる。次に、ノード数の増加による AEC の増加に各手法に大きな差があった。これは、各手法の PDR の低下率が影響していると考えられる。すなわち、PDR が低いほど AEC が増加すると考えられる。

## 5 まとめ

本稿では、DIO の回数をメトリックに導入した Fuzzy logic 型 RPL の性能評価を行った。各手法に適したネットワークサイズがあることを推測した。今後は動的ノードを配置して提案手法の性能評価を行う。

### 参考文献

- [1] T. Winter et al., RPL: IPv6 Routing Protocol for Low power and Lossy Networks, RFC 6550 (2012).
- [2] H. Lamaazi et al., A comprehensive survey on enhancements and limitations of the RPL protocol: A focus on the objective function, Ad Hoc Net (2020).