

平成25年度 特別研究報告書

# MANETにおけるノード探索法の改良

龍谷大学 理工学部 情報メディア学科

学籍番号 T100402 田北賢人

指導教員 三好 力 教授

## 内容梗概

携帯端末の通信においてマルチホップ通信がある。通信可能範囲内に通信先が存在しない場合、通信可能範囲内の他のノードを利用し、そのノードを中継ノードとして通信先へパケットを送信するというものである。マルチホップ通信を行うには、まずはじめに送信元ノードと送信先ノードの間の通信経路を探索するルーティングを行う必要がある。この通信の形態の一つに拡張リング法というものがあり、TTL 値を変数として考え、送信元ノードから送信先ノードを探索する。消費電力を低下するため、拡張リング法におけるパケット送信の重複を無くした先行手法がある。先行手法では転送停止パケットの送信により、送信先までのノードの数によっては消費電力が大きくなってしまふ恐れがある。更なる消費電力低下のため、先行手法とフラッティングを用いてパケットを送信する手法を提案する。

## 目次

第一章 はじめに.....	1
第二章 既存手法.....	2
2.1 マルチホップ無線通信.....	2
2.2 MANET.....	3
2.3 ルーティング.....	3
2.4 ルーティングプロトコル.....	4
2.5 拡張リング法.....	4
2.6 拡張リング法の改良手法.....	7
第三章 提案手法.....	10
3.1 概要.....	10
3.2 動作アルゴリズム.....	10
第四章 実験.....	12
4.1 実験概要.....	12
4.2 実験結果.....	14
第五章 まとめ.....	18
謝辞.....	19
参考文献.....	20

## 第一章 はじめに

近年、スマートフォンの普及に伴い、携帯端末は国民のほとんどが利用している。そして、図1. 1より、2012年度以降のスマートフォン出荷台数(スマートフォン出荷台数比率)は2012年度:2,790万台(68.7%)、2013年度:3,080万台(75.1%)、2014年度:3,340万台(79.3%)、2015年度:3,355万台(81.9%)、2016年度:3,555万台(83.4%)となり、更なるスマートフォンの普及が進むと予測されている。

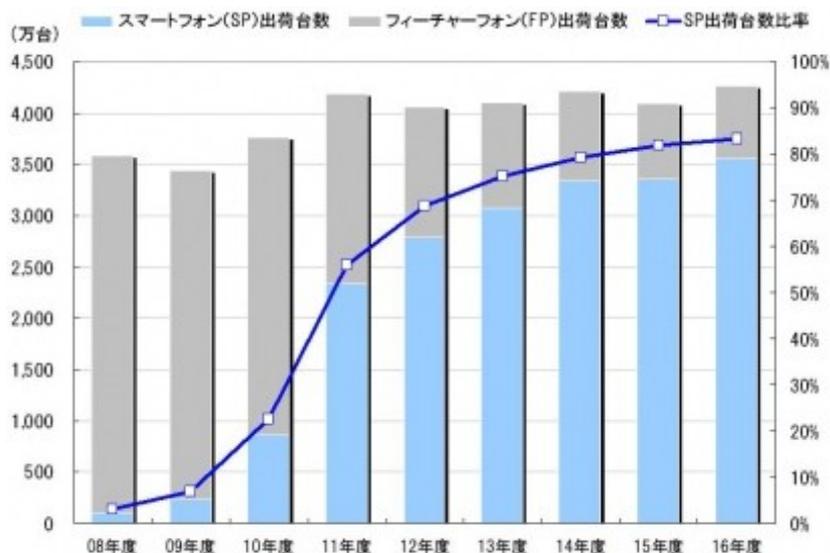


図 1.1 スマートフォン出荷台数の推移・予測(2012年3月予測)

携帯電話は、何世代もの進歩を得て、現在では一般的なコンピュータに匹敵するほどの能力を備えている。また、無線 LAN 技術においても、通信速度向上やセキュリティ面など多くの進歩が見られる。もはや、無線通信技術は現在のネットワーク社会においてなくてはならないものである。

## 第二章 既存手法

### 2.1 マルチホップ無線通信

通信可能範囲内に通信先が存在しない場合、通信可能範囲内の他のノードを利用し、そのノードを中継ノードとして通信先へパケットを送信するというものである。

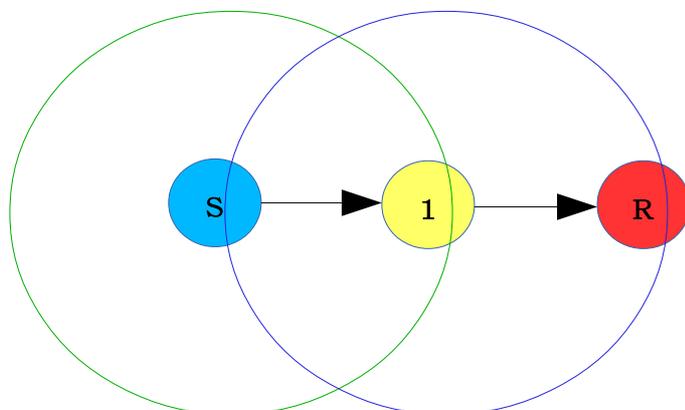


図 2.1 マルチホップ無線通信のイメージ

図 2.1 より、**S** (送信元ノード)、**R** (送信先ノード)、**1** (中継ノード) が存在する。S と R が通信を行いたい、それぞれ通信範囲内に存在しない場合を想定している。初めに、S は通信範囲内 (緑の円形) のノード 1 へ R へ送りたい情報を送信する。次にノード 1 は通信範囲内 (青い円形) にいる R へ情報を転送することで、S と R との通信が可能となる。通信範囲内のノードを中継ノードとして利用することで、通信範囲を拡大することができる。マルチホップ通信の形態として、アドホック通信というものがある。その通信の際に構築されるネットワークとしてモバイルアドホックネットワーク (MANET) というものがある。

#### 2.1.1 マルチホップ無線ネットワークの課題

現在、インターネットで用いられているプロトコルは、マルチホップ無線ネットワークでそのまま利用することができない。例えば、データを送受信するのに標準的な TCP というプロトコルは、マルチホップ無線ネットワークにはなじまないプロトコルである。マルチホップ無線ネットワークでは、通信障害や通信速度の変化が起こりやすい。その原因は、人が横切っただけなど、電波状況が一時的に悪くなった場合が多い。しかし、TCP は、それを深刻な状態ととらえて通信速度をわざと半分にしてしまったり、それ以降の通信速度をほんの少しずつしか上げていかないという動作をする。この仕組みは、インターネット上では効率よく機能するのだが、マルチホップ無線ネットワークでは逆効果となってしまう。

#### 2.1.2 MANET

従来の無線ネットワークは、インターネットに接続した無線ルータに各ノードが接続することで各ノードがインターネットに接続し、互いに通信したり、インターネット上のサービスを利用することが可能であった。しかし、MANET はノード間で直接無線通信をする形態をとるために、従来の無線ネットワークとは異なった特徴を持つ。MANET は基地局やアクセスポイントを介さずに携帯端末同士が独自に通信を行いデータのやり取りをすることができる。地震などの緊急災害時の救助や、山岳における仲間との通信などで期待できる。

### 2.1.3 MANETにおける問題点

このアドホック通信での問題点は二つある。一つ目は、携帯端末が移動可能であり、ネットワークの環境が変化しやすいため、通信経路の保持、経路の決定方法が難しいということである。二つ目は、MANETは外部から電力を供給できない場合、各端末のバッテリーのみで稼動することになるため、他の端末の中継ノードとして稼動、データの送受信による稼動により、電力を使い果たしてしまうことである。

このような問題点からMANETでは従来のインターネットで使われていたルーティングアルゴリズムは適用することができない。そのため、これまでMANET向けのルーティングアルゴリズムとして様々なプロトコルが提案されてきた。

## 2.2 ルーティングプロトコル

コンピュータネットワークでは、案内標識のようなものを使い、絶え間なく送られてくるデータ(パケット)の行き先を振り分けている。その案内標識を経路表、または、ルーティングテーブルという。経路表は各ノードに記憶されており、宛先とその宛先がパケットを届けるために送り出すべき転送先の組が表になったものである。パケットが自分のノードに届いたとき、それが自分宛なら受け取るが、そうでなければ経路表を見て、宛先に適したノードへ転送していく。これをルーティングと呼ぶ。

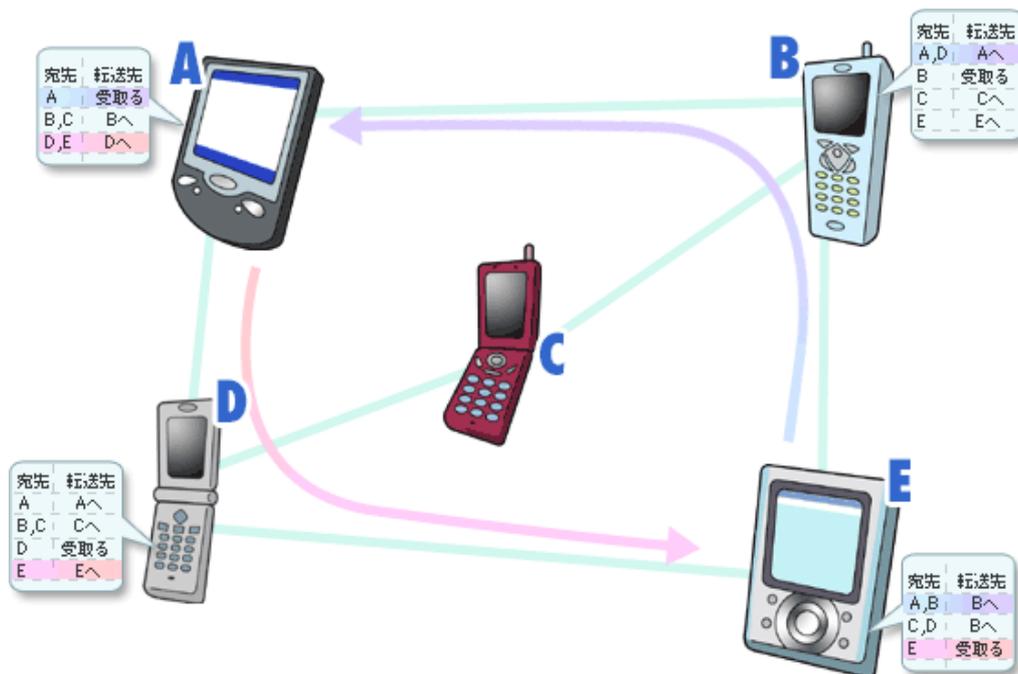


図 2.2 経路図とルーティングの例

ルーティングプロトコルとは、複数のノードを選択し、経路設計することで各ノードのルーティングテーブルを作成するための通信規約である。MANETではノードの資源が限られているため、ルーティングに関わるメッセージ量を抑制する必要がある。このような問題を解決するために、MANET上におけるルーティングプロトコルが多数提案されてきた。MANET上のルーティングプロトコルは大きく分けて次の3つに分類できる。

### 2.2.1 プロアクティブ型

通信要求があったときのみ経路を計算するため、普段は余計な経路制御パケットを送信せず、電力効率が良い。しかし、経路が確定するまで時間がかかるため、通信が開始されるまでに遅延がある。

### 2.2.2 リアクティブ型

常に最新の経路を保持しておき、中心要求があったときにすぐに通信を開始できるようにしている。そのために、経路制御パケットを常時送信しているので、電力効率は悪い。

### 2.2.3 ハイブリッド型

プロアクティブ型、リアクティブ型のそれぞれの欠点を補ったプロトコルである。距離が近いノードとの通信はプロアクティブ型のアルゴリズムを用い、距離があるノードとの通信はリアクティブ型のアルゴリズムを用いる。

MANET は携帯端末同士の通信なので、通信状況が変化してしまうため、静的な環境でのルーティングプロトコルは対応できない。MANET において有効な動的なルーティングプロトコルとして、拡張リング法という手法がある。

## 2.6 拡張リング法

MANET における動的なルーティングプロトコルにメッセージフラッティングがある。メッセージフラッティングは、無作為にメッセージを送信、転送を繰り返すことで、いつかはメッセージが送信先ノードに到達するという考えに基づいた手法である。通常は TTL を設定し、転送回数に制限を設けることで必要以上にメッセージが転送されることを防ぐ。しかし、一般に送信元ノードは、送信先ノードまで何ホップ必要となるかは知り得ない。TTL を小さく指定することによって、送信先ノードまでメッセージが到達しない可能性がある。

拡張リング法とは、メッセージフラッティングの問題点を改善したものである。TTL 値を変数にすることで、送信先ノードを確実に発見できる。移動型のノードだが、通信時間、接続時間は十分に短いものとし、ノードを固定して経路設計を考える。図 2.3 のようにノードが並んでいる。以下に、拡張リング法でのパケット送信例を示す。

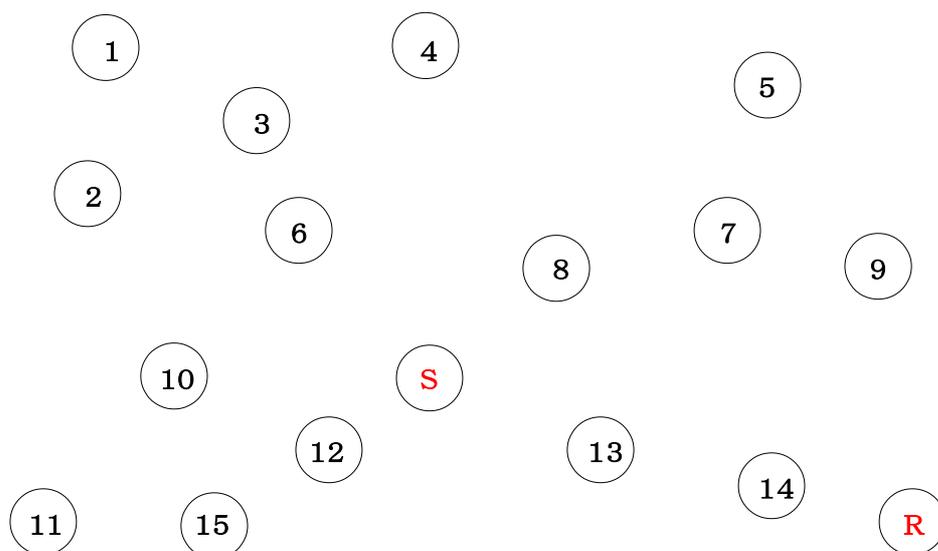


図 2.3 ランダムに配置したノードの例 (TTL=0)

送信元ノードをS、送信先ノードをRとする。Rがパケットを受信すると、受信した経路通りに返信メッセージを送り、この返信をSが受信することで経路探索終了となる。今回の例では、1ホップ間の接続時間はすべて同じと考え、ノード間に障害物や電波送信における抵抗は考えないものとする。

図2.3では、ランダムに配置された計17個の携帯端末(ノード)があるとし、SとRが通信をしようと想定している。送信元Sが通信を行っていないので、TTL値は0である。

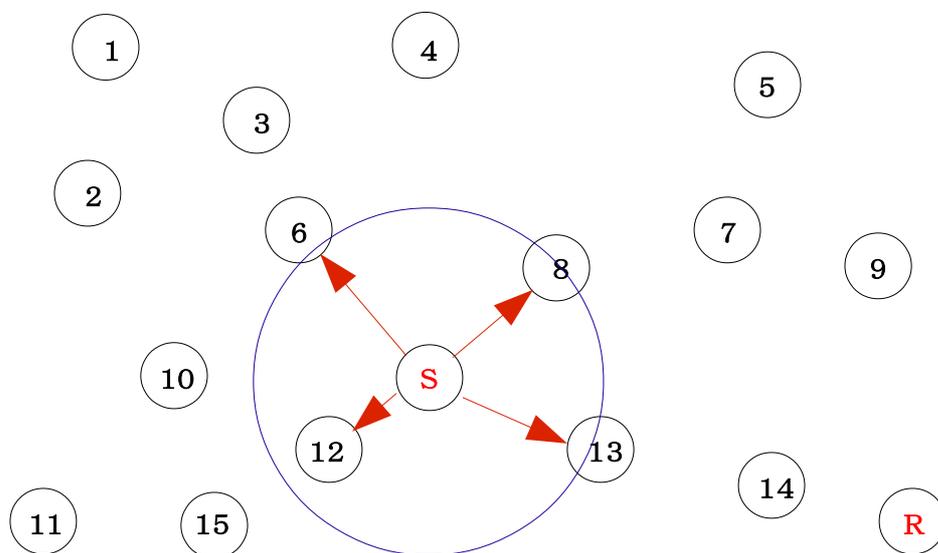


図2.4 隣接ノード探索例(TTL=1)

図2.4は送信元ノードからTTL=1でパケットを送信している。SはTTL=1でパケットを送信し、指定半径範囲内(青い円形)に送信先ノードが存在するかを探索する。該当ノードは6,8,12,13が存在している。送信回数合計は送信元Sの発信のみの1である。SはTTL=1内にRがあった場合に返信にかかる1ホップ分を加えた2ホップ分の待ち時間でRへパケットを送信できたかを判断できる。この場合、2ホップ分待ってもRからの返信がないため、再度Sより隣接するノードへTTL=2でパケットを送信する。

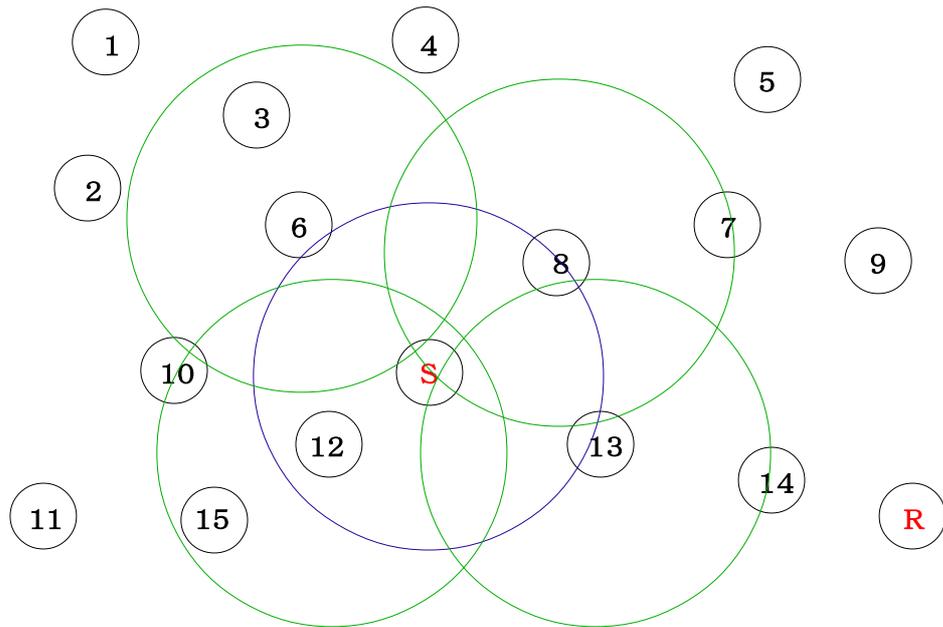


図 2.5 隣接ノード探索例 (TTL=2)

図 2.5 は TTL=2 でパケットを送信している。Sからパケットを送信し、ノード 6,8,12,13 がそれらのノードは TTL=1 でパケットを送信 (緑の円形) し、隣接ノードがRであるかを探索する。送信回数合計は送信元Sの発信+ノード 6,8,12,13 の発信 = 1+4=5 である。Sは TTL=2 内にRがあった場合に返信にかかる 2 ホップ分を加えた 4 ホップ分の待ち時間でRへパケットを送信できたかを判断できる。今回、2+4=6 ホップ分待ってもRからの返信がないので、再度Sより隣接するノードへ TTL=3 でパケットを送信する。

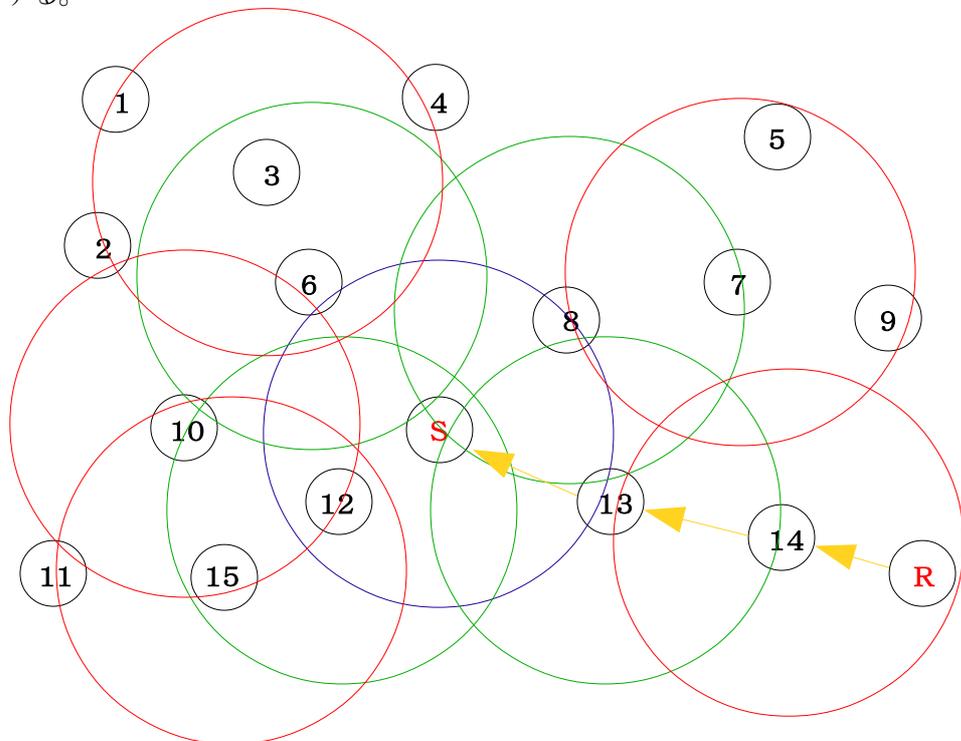


図 2.6 隣接ノード探索例 (TTL=3)

図 2.6 は TTL=3 でパケットを送信している。Sからパケットを送信し、ノード 6,8,12,13 がそれらのノードは TTL=2 でパケットを送信 (赤い円形) する。更にその隣接ノードである 3,7,10,14,15 は TTL=1 でパケットを送信し、隣接ノードにRが存在するかを探索する。送信回数合計は送信元Sの発信+ノード 6,8,12,13 の発信+ノード 3,7,10,14,15 の発信=1+4+5=10 である。Sは TTL=3 内にRがあった場合に返信にかかる 3 ホップ分を加えた 6 ホップ分の待ち時間でRへパケットを送信できたかを判断できる。

今回はRへの経路が発見された。図 2.4 のように、RがSへ受信した経路通り(黄色の矢印)にSへ返信が到達すると、経路探索は終了する。今回の例では、TTL=3 で接続完了し、送信回数の全合計は 1+5+10+3 (黄色い矢印)=19 回、探索時間は 2+4+6=12 ホップ分である。

## 2.6 拡張リング法を改良した先行手法

### 概要

拡張リング法では送信先ノードが未発見の状態では送信先ノードからの送信の際、TTL=2 以降、現在接続完了している全ノードにパケットを再送信している。これではノード数が増加すればするほど送信の重複が起こり、コスト的に無駄が生じてしまう。拡張リング法を改良した先行手法は、送信の重複をなくした探索法である。送信先ノードからの返信がなかった場合、そのまま隣接ノードからパケットを送信するというものである。

拡張リング法と同じように通信時間、接続時間は十分に短いものとし、ノードを固定して経路設計を考える。送信先ノードRが隣接ノードからパケットを受信すると、送信元ノードまでの経路情報通りに送信元ノードに向かって返信メッセージを送る。この返信をSが受信すると送信元ノードはRまでの経路以外の接続している経路へ更なる隣接ノードへの転送をやめさせるため、転送停止パケットを送信し、全体的な経路探索は終了となる。

拡張リング法を改良した先行手法のパケット送信例を以下に示す。

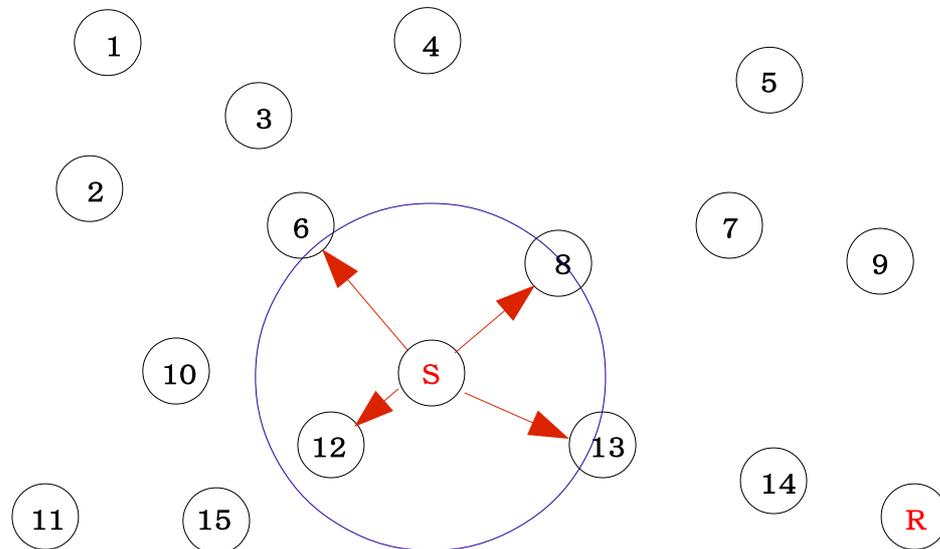


図 2.7 隣接ノード探索法 (TTL=1)

図 2.7 は TTL=1 でのパケット送信例である。拡張リング法と同様に、S は TTL=1 でパケットを送信し、指定半径範囲内(青い円形)に送信先ノードが存在するかを探索する。該当ノードは 6,8,12,13 が存在している。送信回数合計は送信元Sの発信のみの 1 である。S は TTL=1 内にRがあった場合に返信にかかる1ホップ分を加えた 2 ホップ分の待ち時間でRへパケットを送信できたかを判断できる。ここで改良点として、TTL=1 でRの返信があった場合にSは TTL=1 内の隣接ノードに転送停止パケットを送るようになる。よって、TTL=1 での全体の待ち時間は 3 ホップ分である。拡張リング法とは異なり、送信元ノードSの隣接ノードのみがパケットを送信している。TTL=2 でのパケット送信例の以下の図 2.8 に示す。

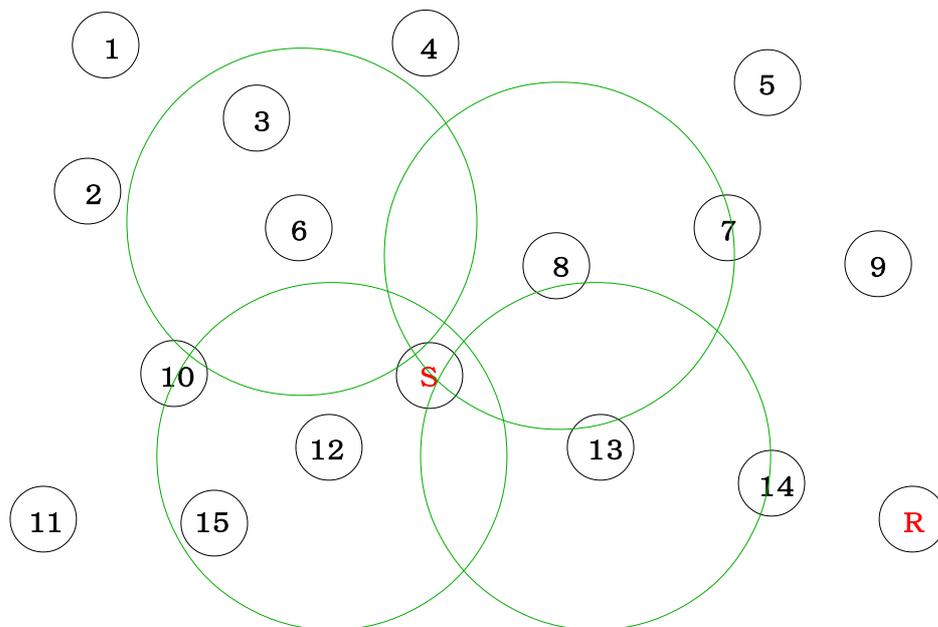


図 2.8 隣接ノード探索例(TTL=2)

Sは待機状態となり、ノード 6,8,12,13 がRを探索する。送信回数合計はノード 6,8,12,13 の発信 =4 である。 Sは TTL=2 内にRがあった場合に返信にかかる 2 ホップ分を加えた 3 ホップ分の待ち時間でRへパケットを送信できたかを判断できる。全体の待ち時間は、転送停止パケット分を含めた5ホップ分である。TTL=2 でもRへの経路が発見されなかったため、再びRを探索する。

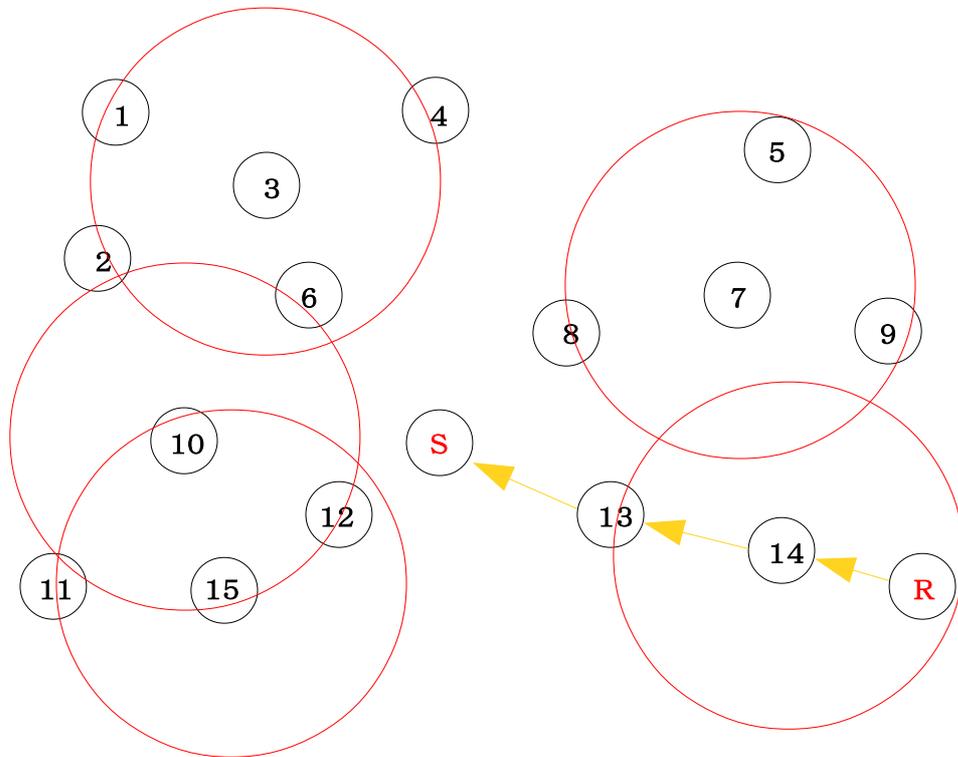


図 2.9 隣接ノード探索例(TTL=3)

図 2.9 に TTL=3 でのパケット送信例を示す。今回はノード 3,7,10,14,15 がRを探索する。送信回数  
の合計はノード 3,7,10,14,15 の発信=5 である。待ち時間は発信のみの 1 ホップ分である。(今  
回ではRの返信があったため、返信、転送停止パケット分は含めていない)

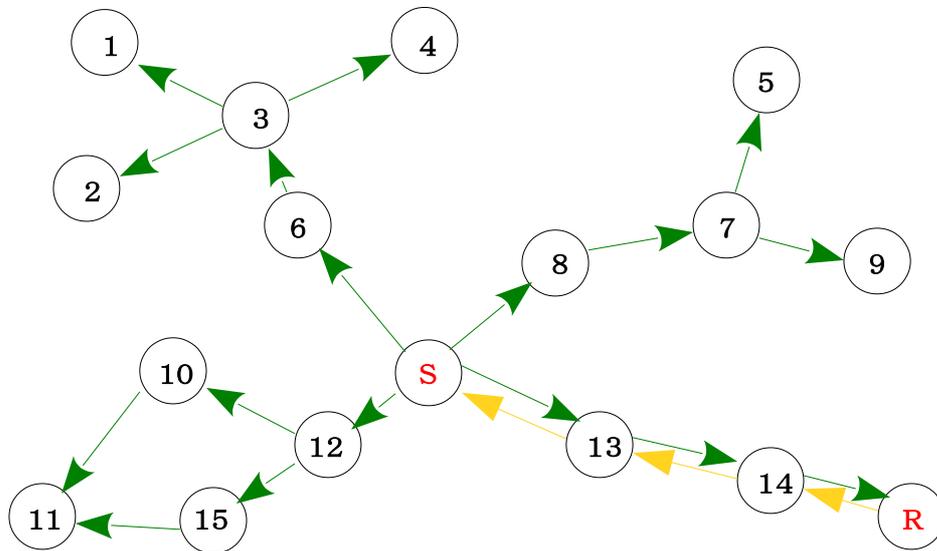


図 2.10 探索終了時の全ノードへのパケット送信例

図 2.10 に転送停止パケット送信例を示す。今回は、Rへの経路が発見された。図 3.4 のようにR  
からの返信(黄色い線)がSに到達し、転送停止パケット(緑線)が各ノードへ送信され、経路探索  
終了となる。今回の例では、TTL=3 で接続完了し、送信回数の全合計は 1+4+5+3(黄色い線)  
+17(緑線)=30 回、探索時間は 3+5+1+3(黄色い線)+3(緑線)=15 ホップ分である。

## 第三章 提案手法

### 3.1 概要

更なる消費電力削減のため、はじめは先行手法でパケットを送信し、途中で一定のノード数までのフラッティングに切り替える手法を提案する。

### 3.2 動作アルゴリズム

送信元ノードSから1ホップ分パケットを送信した場合の送信回数を  $r_1$ 、送信元ノードSの隣接ノードから1ホップした場合の送信回数を  $r_2$ 、送信元ノードSから  $i$  ホップした場合の送信回数を  $r_i$  とする。最大の TTL を  $N$  とする。送信先ノードからの返信は3つの手法すべてで含まれるため考えないものとする。送信回数の理論値は以下の式で与えられる。

#### ・拡張リング法の動作アルゴリズム

拡張リング法での送信回数を  $d_1$  とする。

$$d_1 = r_1 + (r_1 + r_2) + \dots + \sum_{i=1}^n r_i$$

(送信先ノードが発見できなかった場合、再度Sからパケットを送信する)

$$\begin{aligned} d_1 &= \sum_{i=1}^1 r_i + \sum_{i=1}^2 r_i + \dots + \sum_{i=1}^n r_i \\ &= r_1 \times n + r_2 \times (n-1) + \dots + r_n \\ &= \sum_{i=1}^n r_i \times (n-i+1) \quad (\text{式1}) \end{aligned}$$

#### ・先行手法の動作アルゴリズム

先行手法での送信回数を  $d_2$  とする。

1ホップで見つかった場合:  $d_2 = r_1 + r_1$  (送信元ノードからの送信 + 転送停止パケット)

2ホップで見つかった場合:  $d_2 = r_1 + r_2 + \sum_{i=1}^2 r_i$

3ホップで見つかった場合:  $d_2 = r_1 + r_2 + r_3 + \sum_{i=1}^3 r_i$

$$r_1 + r_2 = \sum_{i=1}^2 r_i \quad r_1 + r_2 + r_3 = \sum_{i=1}^3 r_i \quad \text{である。}$$

よって、nホップで見つかった場合

$$d_2 = 2 \times \sum_{i=1}^n r_i \quad (\text{式 2})$$

・フラッティングの動作アルゴリズム

フラッティングでの送信回数を  $d_3$  とする。

常に最大ホップ数の N まで送信するので

$$d_3 = \sum_{i=1}^N r_i \quad (\text{式 3})$$

式2、式3より、フラッティングを行うホップ数の半分のホップ数で既存手法からフラッティングへと切り替えることが消費電力の低下につながると考えられる。

・提案手法の動作アルゴリズム

提案手法の送信目的の理論値は以下の式で表される。

提案手法での送信回数を  $d_4$  とする。

$0 < n < \frac{N}{2}$  ホップの範囲で送信先ノードが見つかった場合

$$d_4 = 2 \times \sum_{i=1}^n r_i \quad (\text{式 4})$$

$\frac{N}{2} \leq n \leq N$  ホップの範囲で送信先ノードが見つかった場合

$$d_4 = \sum_{i=1}^N r_i \quad (\text{式 5})$$

## 第四章 実験

### 4.1 実験概要

二つの手法(拡張リング法・先行手法)と、一定のノード数までフラッティングをする手法の三つの手法でそれぞれ送信回数の数値をとり、グラフ化し、送信元ノードからどの程度のホップ数でフラッティングに切り替えると消費電力を低下できるかを検証する。密度の高低を考慮し、直線的なノード配置、送信元ノードから3方向にパケットを送信するノード配置、格子状に並んでいるノード配置の三つのノード配置で実験を行う。先行手法では、パケット送信の重複がなくなり、消費電力を削減できるに思えたが、転送停止パケットの送信により、TTL 値や各ノードの配置場所によっては拡張リング法よりも消費電力が上回ってしまう。直線的なノード配置、送信元ノードから三方向にパケットを送信するノード配置、格子状に並んでいるノード配置の三つのノード配置、送信先ノード発見のホップ数によってどの手法がより消費電力を低下できるかを調べる。

・ノードが直線に並んでいる場合(図 4.1)

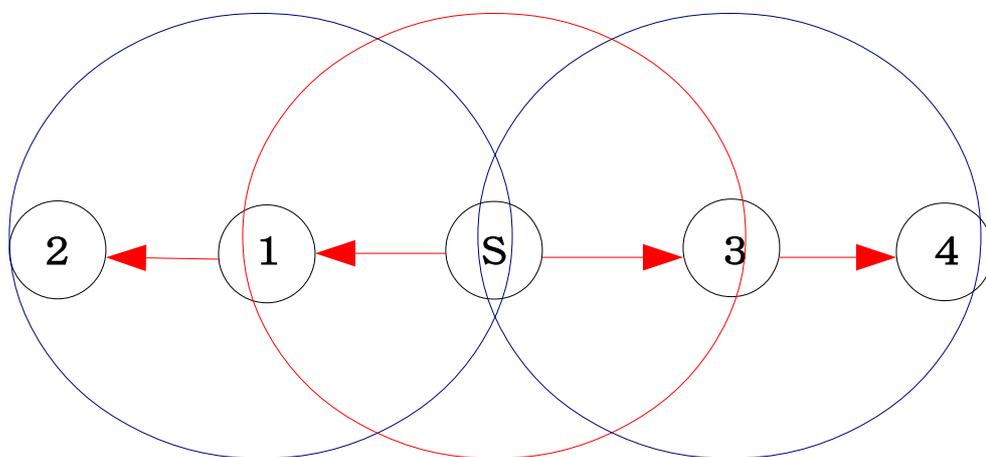


図 4.1 直線的なノード配置でのパケット送信例

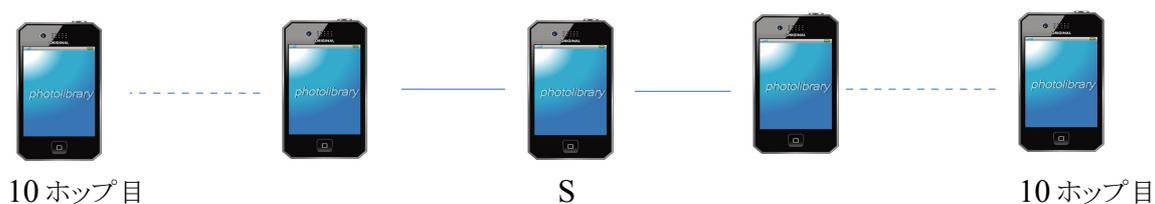


図 4.2 直線的なノード配置でのパケット送信例(両方向に送信先ノードSから 10 ホップ時)

図 4.2 のような直線的なノード配置で拡張リング法、既存手法、フラッティングでそれぞれ両方向にパケットを 10 ホップ送信した場合の送信回数、待ち時間を調べる。

・送信元ノードから3方向にパケットを送信するノード配置

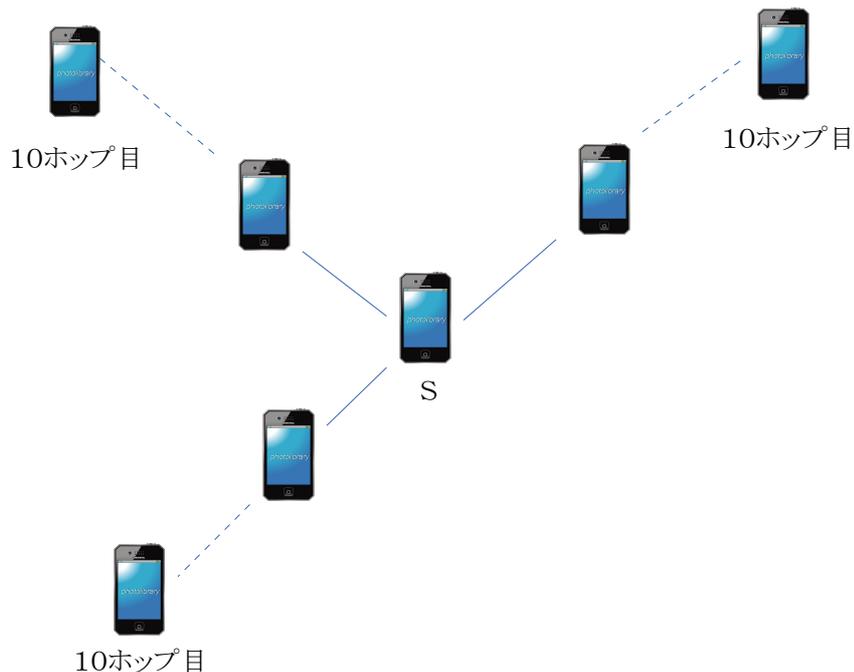


図 4.3 送信元ノードから3方向にパケットを送信するノード配置でのパケット送信例 (3方向に10ホップ時)

図 4.3 のような送信元ノードSから3方向にパケットを送信するノード配置で拡張リング法、既存手法、フラッティングそれぞれ3方向にパケットを10ホップ送信した場合の送信回数を調べる。

・格子状に並んでいるノード配置

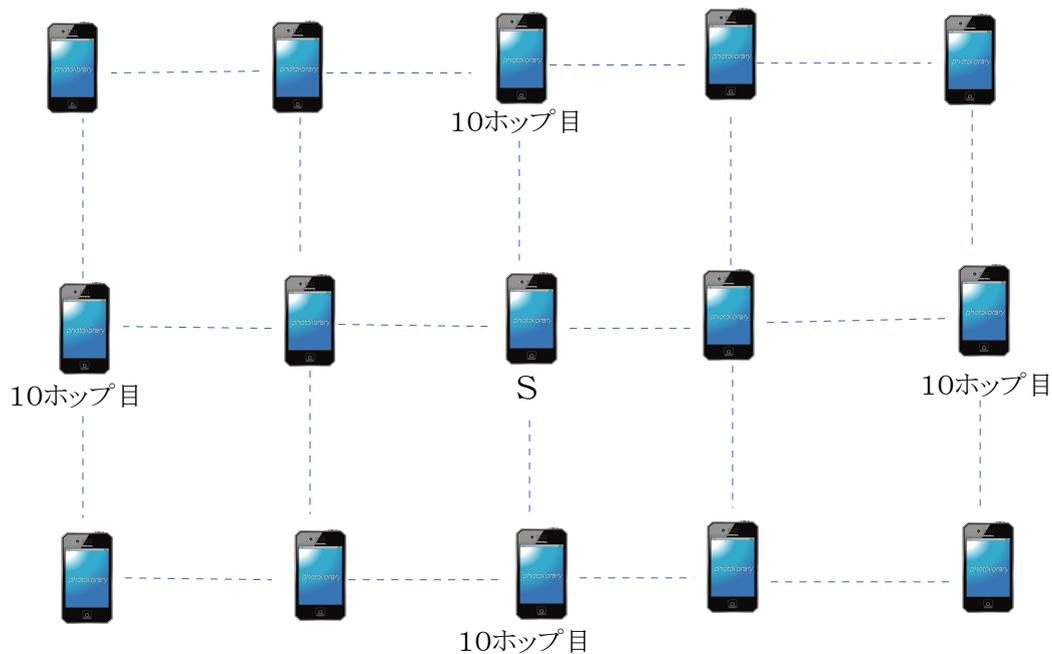


図 4.4 格子状に並んでいるノード配置

図 4.4 のような格子状に並んでいるノード配置で中心にあるノードを送信元ノードSとし、拡張リング法、既存手法、フラッティングそれぞれパケットを 10 ホップ送信した場合の送信回数を調べる。

## 4.2 実験結果

### 直線的なノード配置

フラッティングを行うホップ数が 10 で、10 ホップ以内にRを配置した場合の三つの手法の送信回数を以下に示す。

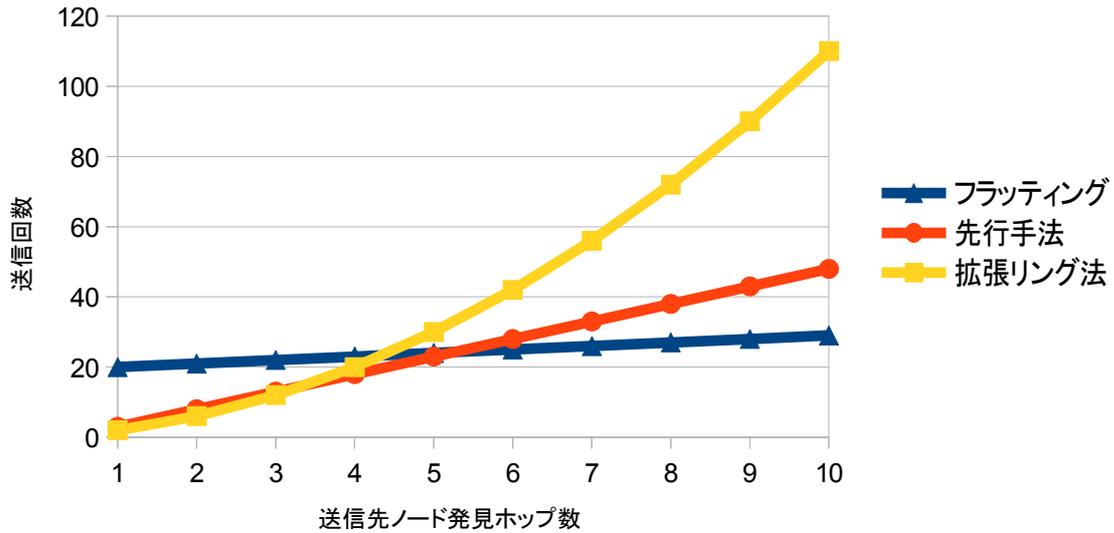


図 4.5 直線的なノード配列でのフラッティングホップ数 10 送信先ノード発見が 10 ホップ以内での送信回数

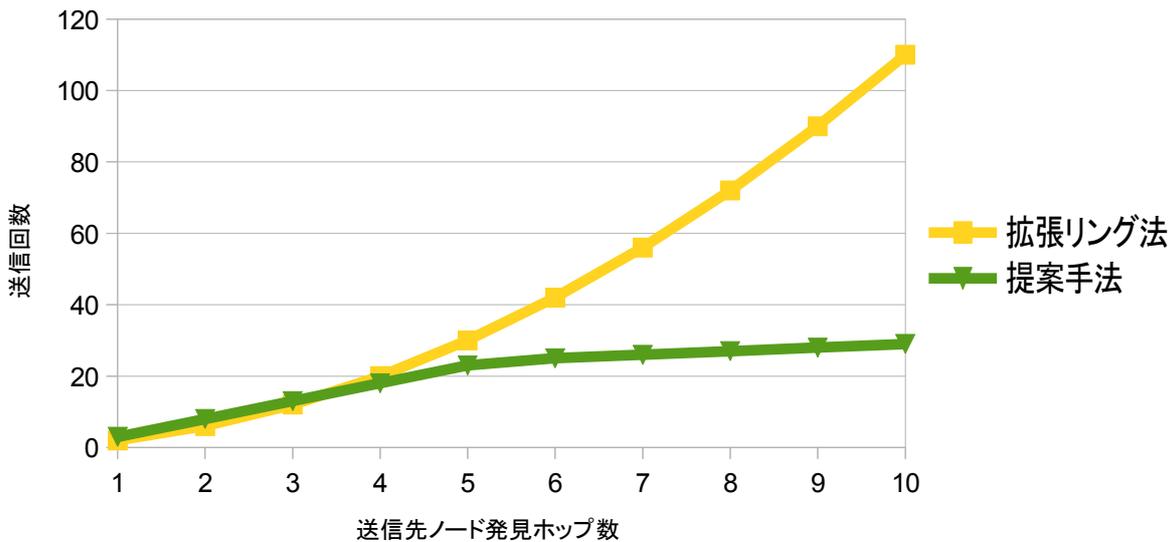


図 4.7 フラッティングホップ数 10、直線的なノード配列での提案手法のパケット送信回数 (送信先ノード発見 10 ホップ以内)

図 4.5 より、先行手法とフラッティングは 5 ホップ目あたりで交差していることがわかる。図 4.6 の提案手法は 5 ホップまでは先行手法でそれ以降は 10 ホップまでフラッティングを行ったものであり、拡張リング法と比較したグラフである。グラフから、3 ホップ目あたりまでは拡張リング法のほうがわずかに送信回数が少ないが、それ以降は提案手法の送信回数が大きく送信回数を削減できることが分かる。

#### 送信元ノードから 3 方向にパケットを送信するノード配置

フラッティングを行うホップ数が 10 で、10 ホップ以内に R を配置した場合の三つの手法の送信回数、待ち時間を以下に示す。

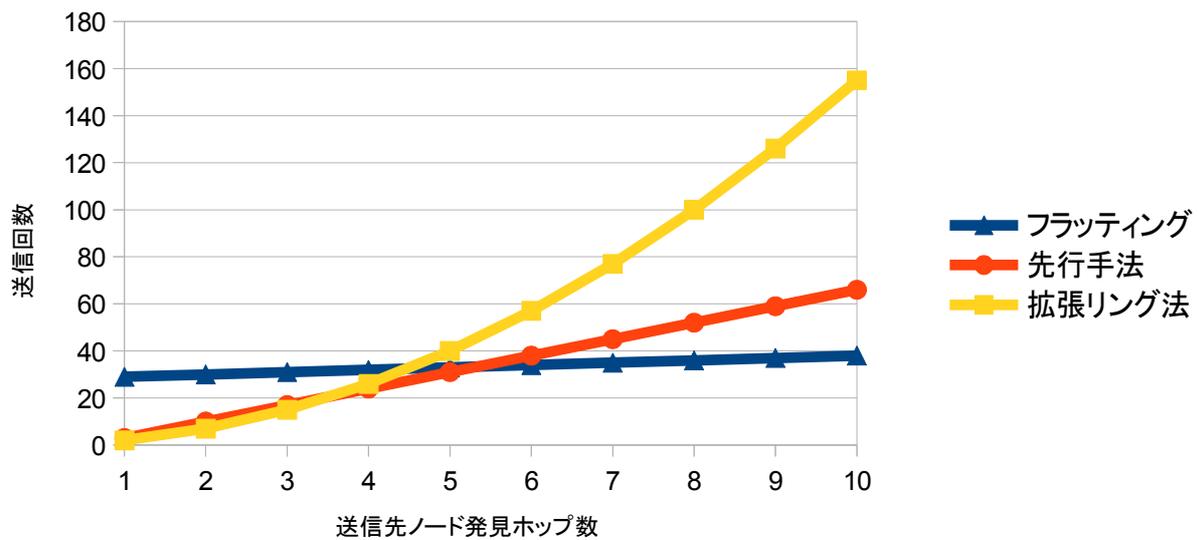


図 4.7 送信元ノードから 3 方向にパケットを送信するノード配置でのホップ数 10 送信先ノード発見が 10 ホップ以内での送信回数

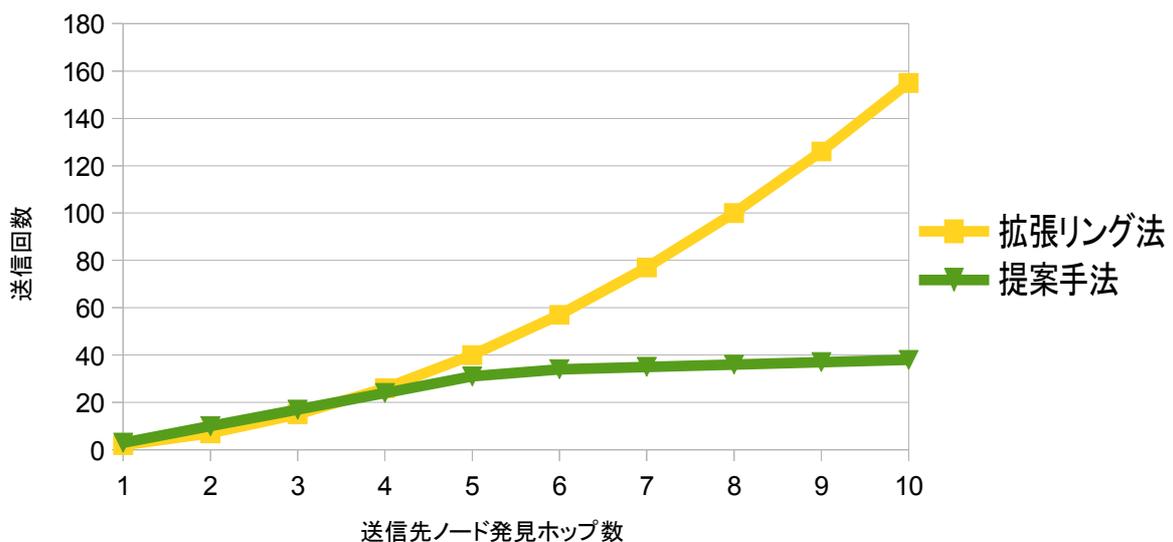


図 4.8 フラッティングホップ数 10、送信元ノードから 3 方向にパケットを送信するノード配置での提案手法でのパケット送信回数(送信先ノード発見 10 ホップ以内)

図4.7より、先行手法とフラッティングは5ホップ目あたりで交差していることがわかる。図4.8の提案手法は5ホップまでは先行手法でそれ以降は10ホップまでフラッティングを行ったものであり、拡張リング法と比較したグラフである。グラフから、4ホップ目あたりまでは拡張リング法のほうがわずかに送信回数が少ないが、それ以降は提案手法の送信回数が大きく送信回数を削減できることが分かる。

#### 格子状に並んでいるノード配置

フラッティングを行うホップ数が10で、10ホップ以内にRを配置した場合の三つの手法の送信回数、待ち時間を以下に示す。

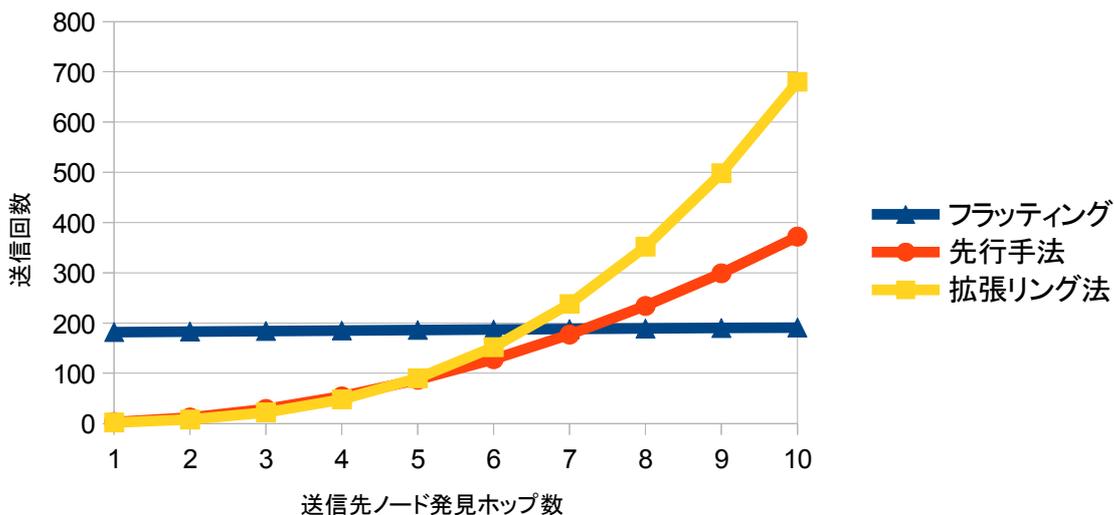


図4.9 格子状に並んでいるノード配置でのフラッティングホップ数10 送信先ノード発見が10ホップ以内での送信回数

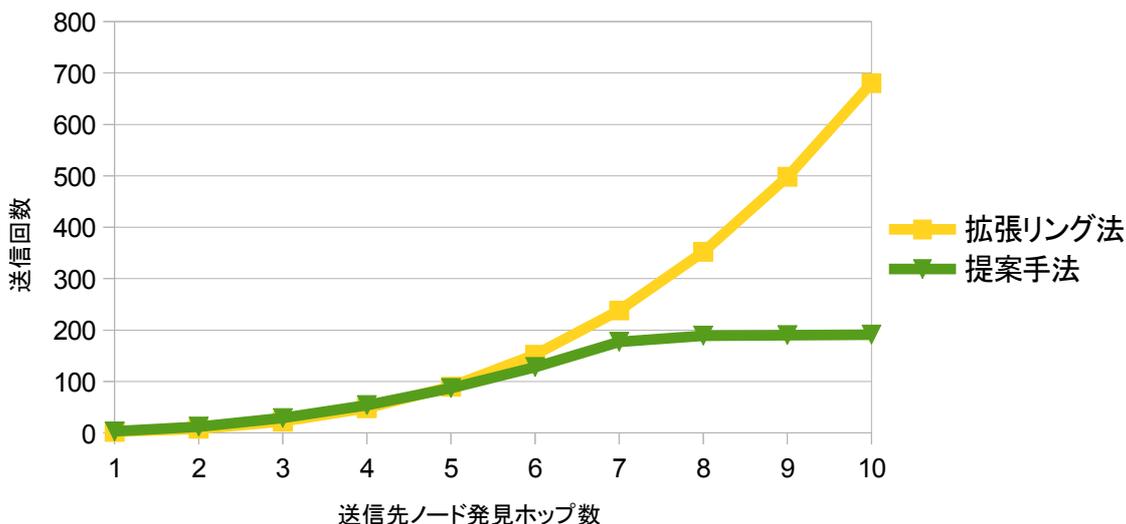


図4.10 フラッティングホップ数10、格子状に並んでいるノード配置での提案手法でのパケット送信回数  
(送信先ノード発見10ホップ以内)

図 4.9 より、先行手法とフラッティングは 7 ホップ目あたりで交差していることがわかる。図 4.10 の提案手法は 7 ホップまでは先行手法でそれ以降は 10 ホップまでフラッティングを行ったものであり、拡張リング法と比較したグラフである。グラフから、5 ホップ目あたりまでは拡張リング法のほうがわずかに送信回数が少ないが、それ以降は提案手法の送信回数が大きく送信回数を削減できることが分かる。

## 第五章 まとめ

本論文は、マルチホップ通信のルーティングプロトコルの1つである拡張リング法、それを改良した(パケット送信の重複をなくした)既存手法、TTL値を設定しパケットを送信するフラッティングの送信回数、待ち時間を比較し、更なる消費電力の低下を目的とした。

グラフより、拡張リング法と既存手法を比較してみると、低いTTL値で送信先ノードが発見された場合、送信回数にあまり差はないが、TTL値が高いほど拡張リング法の送信回数が大きくなり、差が大きくなっていくことが分かる。また、密度が高いほど、その差は縮まっていくことが分かる。

提案手法で述べていた動作アルゴリズムでの予想と実験結果を比較すると、直線的なノード配置、送信元ノードから3方向にパケットを送信するノード配置では、予想通り5ホップあたりで切り替わっているが、格子状のノード配置では7ホップあたりで切り替わっている。これは、ノードが密集しているところでは一つのノードに対して様々な方向からパケットが送信されるため現れた誤差だと思う。

図4.6、図4.8、図4.10より、拡張リング法と提案手法の送信回数を比較すると大きな差が現れた。密度の低い直線に並んでいるノード配置での送信先ノード発見10ホップ目では、送信回数に約80の差があった。密度の高い格子状に並んでいるノード配置での送信先ノード発見10ホップ目では、送信回数に約500の差があった。これより、よりノードが密集しており、送信先ノード発見ホップ数が大きくなるほど消費電力を削減できることが分かる。送信回数の削減は待ち時間の削減にも大きく影響するため、この手法は一般的手法である拡張リング法を改良した既存手法よりも更に大きな消費電力の低下が可能である。最大ホップ数の半分の値で先行手法とフラッティングを切り替える提案手法は、最も送信回数が少ないことが実験により確認できた。提案手法は、拡張リング法や先行手法よりも更に大きな消費電力の低下が期待できる。今後の課題として、ルーティング時の待ち時間の評価が考えられる。

本研究を進めるにあたり、様々なご指導をいただきました三好力教授に深く感謝いたします。また、研究室の皆様からも様々な知識、示唆を頂き、感謝します。

- [1] スマートフォン市場規模の推移・予測 株式会社MM 総研発表  
<http://www.m2ri.jp/newsreleases/main.php?id>
- [2] モバイルアドホックネットワークのイメージ  
[http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/sym/S47\\_013.pdf](http://www.orsj.or.jp/~archive/pdf/sym/S47_013.pdf)
- [3] IP ルーティング入門  
<http://www.atmarkit.co.jp/ait/articles/0111/06/news002.html>