

# 無線アドホックネットワークにおける位置依存情報複製配布方式 ～ 移動端末によるフィールド実験 ～

佐仲 貴幸<sup>†</sup> 峰野博史<sup>‡</sup> 石原進<sup>\*</sup> 水野忠則<sup>‡</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学大学院情報学研究科 <sup>‡</sup> 静岡大学情報学部 <sup>\*</sup> 静岡大学工学部

## Replica distribution method with consideration of the position of mobile host on an wireless ad-hoc network ～ Field experiments using mobile hosts ～

Takayuki SANAKA<sup>†</sup> Hiroshi MINENO<sup>‡</sup> Susumu ISHIHARA<sup>\*</sup> Tadanori MIZUNO<sup>‡</sup>

<sup>†</sup>Graduate School of Information, Shizuoka University

<sup>‡</sup>Faculty of Information, Shizuoka University <sup>\*</sup> Dept. of Engineering, Shizuoka University

### 1 はじめに

基地局などのインフラを利用することなく、無線端末間で動的に形成されるネットワークのことを無線アドホックネットワークという。無線アドホックネットワークでは、無線端末が直接通信できない場合、他の端末を中継することで、通信可能となる。アドホックネットワークは既存のインフラが使えない時でもネットワークが構築できるため、戦場、会議の場、災害時などへの応用が考えられている。筆者らの研究グループでも、災害発生時に、災害現場に展開した作業員らが、各部隊の現在位置の被害状況を把握しながら作業を進め、位置に依存した情報を効率的に収集するというシナリオを想定している。

無線アドホックネットワークでは、端末の移動により端末間の接続性が保証されない。この結果、端末間で情報を共有している場合、以前に利用できていた情報を他の端末から参照できなくなる可能性がある。そこで、必要な情報の複製を配布し複数端末で保持することが考えられている。[1]では、情報の複製を作成し、オリジナルデータを持つ端末以外に情報を配置するという手法を提案している。我々は、移動端末が、その地域に関連した情報（位置依存情報）を参照するモデルを前提として、これら位置依存情報の複製を効率的に管理する手法を提案している[2]。[1]では、アクセス頻度により複製を配置するが、[2]では、位置依存情報を扱うことを仮定し、情報取得端末の周辺に複製を配置する。[2]ではこの具体的手法としてSC (Skip Copy) 方式を提案し、シミュレーションにより、端末の記憶容量節約ならびにアクセス成功率の向上という効果を確認している。しかし、SC方式ではパケットの送信にブロードキャストを多用するため、実環境ではブロードキャストストームやその他の要因により性能が低下する恐れがある。これまで筆者らは、SC方式の実装・実環境における実験を行い、パケットロスによりパケットが部分的にフラディングされないという問題点を明らかにした[3]。しかし、[3]で実施した実験では、構築したマルチホップ実験環境の条件設定で不明確な部分があったため、この部分を明確にした上で再実験を行った。また、本来SC方式では、

$s=2$ :複製密度決定パラメータ R(region):複製配布範囲

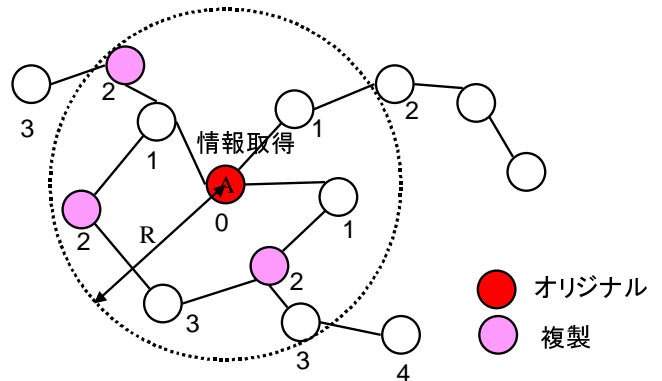


図 1: SC 方式での複製配置

写真や動画などのデータを扱うことを想定しているが、[3]では基本動作を確認するために4byteという小さなデータで実験を実施した。そこで本稿では、端末や無線LANの設定を明確にすることで、実験の信頼性を高め、データサイズを大きくした場合や、中継路が複数ある場合における実験を実施し、実験結果の再検討を行う。

以下、第2章でSC方式の概要を述べ、第3章でSC方式の問題点について述べる。第4章では今回行った実験方法とその結果・考察について述べ、第5章でまとめる。

## 2 位置依存情報複製配布方式

### 2.1 前提条件

位置依存情報複製配布方式の前提条件について述べる。アドホックネットワークにおける位置依存情報の利用モデルとして災害時における情報収集を想定する。具体的には、以下のよう

表 1: 実験で使用した機器

	端末 A	端末 B	端末 C	端末 D	端末 E
機種名	Panasonic CF-B5	COMPAQ iPAQ3800	COMPAQ iPAQ3800	COMPAQ iPAQ3600	Panasonic CF-A2
OS	Linux カーネル 2.4.19	Linux familiar v0.5.3	Linux familiar v0.5.3	Linux familiar v0.5	Linux カーネル 2.4.19
NIC	CISCO AIR-PCM350			MELCO WLI-PCM-L11GP	CISCO AIR-PCM350
通信速度	11Mbps				
送信電力	5mW	50mW	50mW	50mW	5mw
GPS	CFGPS	PCGPS	PCGPS	CFGPS	-

な条件を前提とする。

- 各移動端末がその端末の現在位置に関連した情報を生成する
- 各端末が自分の位置周辺の端末に対して、自分が必要とする位置周辺の情報を要求する
- 他の端末からの要求を受け取ると、端末は要求を満たす情報を要求者に返送する
- 各端末は自分の現在位置に近い場所にある情報ほど頻繁に使用する
- 個々の端末のもつ記憶容量は限られている

## 2.2 SC 方式

### 2.2.1 複製の配布

SC 方式では、2.1 のような条件下で、端末が生成する位置依存情報への要求に対し、端末間の接続性が必ずしも保たれないアドホックネットワークにおいても確かな応答が高い確率で得られることを目標としている。この目標を満たすために、各端末は情報を生成後、直ちに周辺の端末にその複製を配布する。しかし、複製を周辺の全端末に配布すると、複製の冗長度が高くなり、限られた記憶容量の中で多種類の情報の複製を保持することができず、結果的に要求に対する応答の成功率が低くなる。このため、SC 方式では、同じ複製をアドホックネットワーク内の端末にまばらに配布することで、複製自体による記憶容量の圧迫を抑制する。複製をまばらに配布する際、どの程度まばらに配布するかを決定するパラメータとして複製密度決定パラメータ  $s$  を定義する。複製は情報取得端末から  $s$  ホップごとの端末に配布される。また、複製配布範囲  $R$  を設定し、複製をこの範囲内のみ配布する (図 1)。各端末は GPS により自身の位置を認識しており、自身が  $R$  内にあるかどうか知ることができる。

### 2.2.2 情報の要求と応答

端末が特定の位置に関する情報を要求する時、端末は目的とする情報をどの端末が保持しているかということは知らない。端末が知っているのは、特定の位置に関する情報が、その位置近辺の端末が保持しているということのみである。そこで、情報を利用したい端末は利用したい情報の位置をキーとする要求メッセージをフラッディングする。この時の要求メッセージのフラッディングには、端末と要求する情報に関連する位置 (目的位置) に応じた制限を設ける。つまり、要求メッセージを受信した端末が、そのメッセージを直接送信してきた端末より目的位置に直線距離で近い場合にのみフラッディングを行う。これを本稿では、制限付きフラッディングと呼ぶ。要求された情

報を保持している端末は、応答メッセージに情報を付加し、アクセス要求と同様に要求メッセージ送信者へ、制限付きフラッディングにより返送する。

### 2.2.3 複製の再配置

端末が移動することによって、端末によって保持されていた位置依存情報も端末とともに移動することになる。多くの端末がそれぞれ保持している情報に関連した位置から遠ざかると、ある場所周辺の端末のいずれもがその場所に関連した位置依存情報の複製を保持しない状況が発生しうる。このような状況の発生を防ぐため、SC 方式では、応答返信時にも、応答の途中経路上にある端末が複製配布時と同様のルールで情報の複製を保持させるようにしている。なお、複製の総容量が各端末の記憶容量を上まわる時は、LRU 法に従い複製を破棄する。

## 3 SC 方式の実環境における問題

[3] で明らかになった実環境での問題点を述べる。実環境では、パケットロス率が空間的、時間的に変動し、パケットの到達率が下がることがある。そのため、複製や要求・応答時のマルチホップ通信の信頼性が低下するおそれがある。[3] の実験でこのような問題が発生していることが明らかになったが、実験環境の条件設定で不明確だった部分があり、その結果が本当に正しいのかを実験環境の条件設定を明確にした上で再確認した。また、SC 方式実装に関する詳細は [3] に記述してあるため今回は省略する。

## 4 基本動作確認実験

今回の実験では、[3] で実施した実験よりもトポロジ構築時の通信環境の信頼性を高くするため端末や無線 LAN の設定を明確にし、さらに基本動作を確認するだけでなく、データサイズを大きくした場合や中継路が複数ある場合においても実験を実施した。実験では、図 2 (実験 1)、図 3 (実験 2) のような 2 つのトポロジを作成した。どちらの環境とも端末の移動はないものとする。それぞれの環境において情報取得端末からの SC 方式に基づいた 2 ホップごとの複製の配布、要求メッセージの制限付きフラッディング、要求に対する応答の返信を確認した。これらを確認するために、各端末は送受信するパケットを全て記録する。実験では、5 台の携帯端末を使用した。表 1 に使用した機器と無線 LAN の通信速度、送信電力を示す。電池の持続性などを考慮し、COMPAQ 製 PDA、iPAQ3800、3600 シリーズとノート PC を使用し、OS は Linux を使用した。無線ネットワークは、IEEE802.11b 無線 LAN をアドホックモードで使用し、通信速度は 11Mbps 固定とした。送信電力が端末により異なっているが、これは両端の端末の送信電力を下げることで、限ら

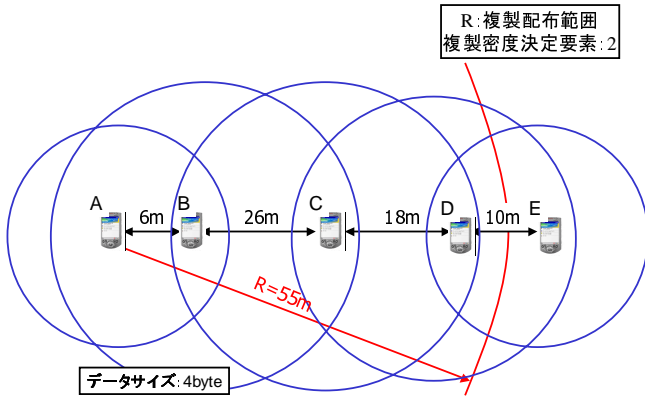


図 2: 実験環境 1

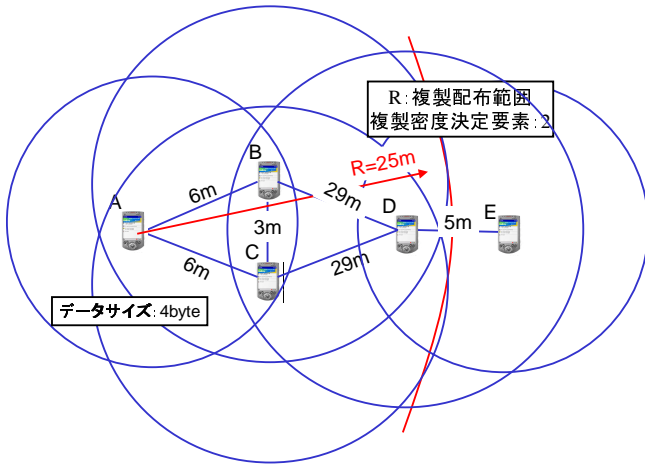


図 3: 実験環境 2

れた端末としか通信が行えないというトポロジの実現を容易にし、実験を行いやすくするためである。位置情報取得には、GPSカード (I/O データ製 CFGPS, PCGPS) を使用した。

#### 4.1 実験 1

実験環境 1 (図 2) では、送信するデータサイズを 4byte, 128byte, 256byte, 512byte, 1024byte と変化させた実験を実施した。実際に我々が本システムで扱うことを想定しているデータは、写真や動画などのデータであるため、データサイズを大きくした時の本システムの動作を確認した。実験環境は、5 台の端末を直線上に配置し、4 ホップのマルチホップ環境を構築した。各端末は、隣接端末とは通信ができるが、その他の端末とは通信ができないように配置した。具体的には、各端末で ping による ICMP ECHO により 2 ホップ先の端末との接続性を確認した。2 ホップ先の端末からの ECHO がなくなった場所をその端末の位置とした。端末の位置決定後、実験における通信環境を明らかにしておくため、自端末以外の端末とパケットサイズ 64byte で ping を 50 回行い端末間の接続性を再確認した。その結果を表 2 に示す。これにより、隣接端末としか通信ができないような実験環境の構築が確認できた。また、A が生成した情報に対し、D と E の間に複製配布範囲の境界が位置するよう  $R=55m$  ( $R$ : 複製配布範囲) とした。このような環境下で、実験 1 では 5 つのデータサイズそれぞれについて A が複製メッセージの送信

表 2: ping によるパケット到達率 (実験 1)

送信元 \ 送信先	A	B	C	D	E
A	-	98%	0%	0%	0%
B	100%	-	100%	0%	0%
C	0%	100%	-	100%	0%
D	0%	0%	100%	-	98%
E	0%	0%	0%	100%	-

表 3: 複製パケット到達数 (実験 1)

データサイズ \ 端末	A	B	C	D	E
4byte	送信元	20/20	19/20	19/20	15/20
128byte	送信元	19/20	19/20	19/20	14/20
256byte	送信元	17/20	17/20	17/20	14/20
512byte	送信元	19/20	19/20	19/20	12/20
1024byte	送信元	20/20	18/20	18/20	13/20

を 20 回、B が要求メッセージの送信を 20 回行った。複製メッセージは、ヘッダ部分のサイズが 24byte+データ部分となり、要求メッセージは 40byte、応答メッセージはヘッダ部分 44byte+データ部分である (各メッセージの中身については [3] を参照)。E にあらかじめデータを保持させておき、B が E 付近の位置情報を要求メッセージへ入れ要求を送信した。直前に出したメッセージと干渉しないよう送信間隔は 10 秒程度あけて行った。以下に予想される動きを示す。

- A が複製の送信を行うと、2 ホップ目である C に複製が保持されるが、4 ホップ目である E は複製配布範囲外であるため、複製が保持されない
- B が要求の送信を行うと、E へ要求メッセージがフラッディングされ、E が応答を返信する

表 3 に複製配布時に送信元である A が送信したパケットの数と、各端末が受信した複製パケットの数を示す ( $X/Y$ :  $X$ =受信パケット数,  $Y$ =送信元が送ったパケット数)。各端末が記録したログから、A の複製送信後、C が複製を保持し、E は複製を保持していないということが確認でき、複製配布は正常に動作した。また、データサイズを変化させても複製配布は正常に行われることが確認できた。しかし、パケットロスの発生が見られ、特に D-E 間ではそれが顕著に見られた。図 4 に要求・応答における実験結果を示す。各端末が記録したログから、要求と応答に関しては C, D が要求メッセージを受信後フラッディングを行い、A はフラッディングを行わないことが確認でき、正常に制限付きフラッディングが行われていた。E は要求を受信後、応答メッセージを返信していることも確認でき、B は応答を受信することができた。また、応答メッセージ中継時の複製の再配置も確認することができた。

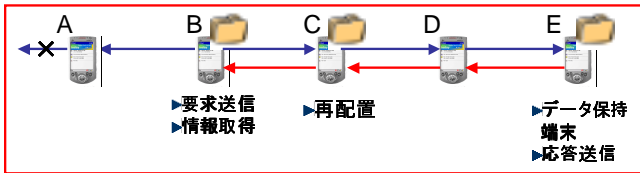


図 4: 要求・応答の実験結果 (実験 1)

表 4: ping によるパケット到達率 (実験 2)

送信元 \ 送信先	A	B	C	D	E
A	-	100%	100%	0%	0%
B	100%	-	100%	96%	0%
C	100%	100%	-	92%	0%
D	0%	100%	98%	-	100%
E	0%	0%	0%	100%	-

## 4.2 実験 2

実験環境 2 (図 3) では、中継路が 2 本ある環境を構築した。中継路が 2 本あることでパケット到達率が上がるかどうかを評価した。実験 1 と同様 ping を用いて、A は B,C と、B は A,C,D と、C は A,B,D と、D は B,C,E と、E は D とだけ通信が行えるように端末を配置した。実験 1 同様、端末の位置決定後、自端末以外の端末とパケットサイズ 64byte で ping を 50 回行い端末間の接続性を再確認した。その結果を表 4 に示す。これにより、複数経路がある実験環境の構築が確認できた。また、実験 2 では  $R=25m$  とした。このような環境下で、A が複製メッセージの送信を 20 回、要求メッセージの送信を 20 回行った。データ部分のサイズは 4byte である。実験 1 同様に、E にあらかじめデータを保持させておき、A が E 付近の位置情報を要求メッセージへ入れ要求を送信した。以下に予想される動きを示す。

- A が複製の送信を行うと 2 ホップ目である C が複製を保持し、E は複製配布範囲外であるため、複製を保持しない
- A が要求の送信を行うと、E へ要求メッセージがフラッディングされ、E が応答を返信する

図 5 に複製配布時に各端末が受信した複製パケットの数を示す。A の複製送信後、A-B-C とパケットが中継され、C が複製を保持する場合と、A-B-D と中継されて D が複製を保持する場合があった。結果は、実験 1 と比較するとパケットの到達率は低下しているが、極端なパケットの損失はなく、SC 方式が正常に動作した。要求・応答に関しても同様にアプリケーションレベルでのメッセージの損失はなく、要求、応答、再配置が正常に動作した。

## 4.3 考察

表 3, 図 5 からわかるように、どちらの実験においてもパケットロスが見られる。これは、ブロードキャストベースのパケット送信では、トランスポートプロトコルに UDP を使用するため、パケットロス時の再送制御が行われなからである。また、表 2, 表 4 にあるように、ping により理想的な通信環境が構築でき

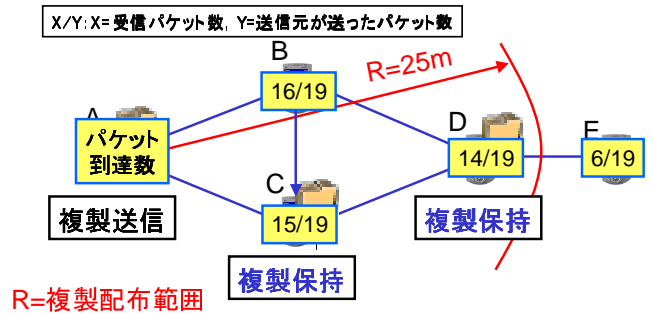


図 5: 複製パケット到達数 (実験 2)

たにも関わらず、アプリケーションレベルでパケットロスが起きている。また、実験 2 には、複数経路があるにもかかわらずパケットの到達数が実験 1 よりも悪化した。パケットロスにより複製配布が行われず、要求が目的地へ届かない、応答が返信されないなどの問題が考えられる。実環境では、シミュレーションとは違いパケットロスが時間的にも空間的にも変動するため、ping でパケットロスを計測した時よりも通信状況が時間経過とともに変化したためであると考えられる。このように、パケットロスにより SC 方式の信頼性が低下していることがわかる。端末が疎な状態のように、パケットロス率が高い環境では、パケットの再送制御を行うなど、何らかの手法が必要である。

## 5 まとめ

今回は、[3] の実験で実験環境の条件設定で不明確だった部分があったため、その結果が本当に正しいのかを実験環境の条件設定を明確にした上で、データサイズを変化させた場合や、中継路が複数ある場合における実験を実施した。実験 1 で SC 方式の複製・要求・応答といった基本的な動作と、データサイズが変化しても SC 方式が正常に動作することが確認できた。また、実験 2 では中継路が複数ある環境で実験を実施した。経路を増やすことでパケット到達数の増加にはつながらなかったが、本システムが動作することが確認できた。実験から、パケットロスにより部分的にパケットがフラッディングされないことがわかった。今後は、SC 方式のパケットロスを減らす手法の検討や、端末の移動を取り入れた実験を行う。

## 参考文献

- [1] 原隆浩: “アドホックネットワークにおけるデータ利用性向上のための複製配置”, 電子情報通信学会論文誌, vol.J84-B, No.3, pp.632-642, 2001
- [2] 田森正統, 石原進, 水野忠則: “アドホックネットワークにおける移動体の位置を考慮した複製配布方式”, DICO2001 シンポジウム論文集. 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2001, No.7, pp.31-36 (2001)
- [3] 佐仲貴幸, 峰野博史, 石原進, 水野忠則: “無線アドホックネットワークにおける位置依存情報複製配布方式 ~ 実環境への適用実験 ~”, dicomo2003 シンポジウム論文集, 情報処理学会シンポジウムシリーズ, Vol.2003, No.9, pp.785-788 (2003)