

アドホックネットワークにおける リンク分断を前提とした位置依存情報共有アプリケーション

野本 明寛[†] 土田 元[†] 石原 進[‡]

[†] 静岡大学院理工学研究科 [‡] 静岡大学工学部

Application of sharing objects with location information on condition of link division on ad-hoc network

Akihiro Nomoto[†] Gen Tsuchida[†] Susumu Ishihara[‡]

[†] Graduate School of Science and Engineering, Shizuoka University [‡] Faculty of Engineering, Shizuoka University

1 はじめに

近年移動端末のみで構成される一時的なネットワークであるアドホックネットワークが注目されている。

アドホックネットワークはその特性から固定のインフラに依存することなくネットワークを構築することが可能であるため、戦場や災害復旧の現場など固定のインフラの導入が難しい場所での応用が期待されている。アドホックネットワークの応用例の一つとして災害復旧にあたる作業員たちがに移動端末を用いてアドホックネットワークを形成し、地域情報の共有を行うアプリケーションが考えられる。筆者らは、特に災害復旧時に用いられる情報はどの地点で発生したかが重要であると考え、こうした情報を位置に密接に関連付けられた情報（位置依存情報）の共有をアドホックネットワーク上で行うことを検討している。

アドホックネットワークの特徴には直接通信できない端末同士で間にある端末を介したマルチホップ通信により通信可能であるという利点がある。一方で、端末の移動や障害物などの影響でトポロジが動的に変化し、端末間の接続性が保障されずネットワークの分断が起こるといった弱点がある。そのため端末間で情報共有を行う場合には、各端末の持つデータの可用性の低下を招いてしまう。この問題は情報発生源の端末が周辺の端末に複製を配布する複製配布によりデータの可用性を向上させることにより改善可能である [1][2][3]。しかし、一般的に移動無線端末の記憶容量は小さいため、過度な複製配布を行うと記憶領域を圧迫してしまう。この結果新しく配分されたデータの複製に各端末の記憶領域が支配され、ネットワーク全体のデータの多様性が失われてしまう可能性が高く効率よく複製の配布手法が必要となる。原は、[1]においてデータに対するアクセス頻度が既知であるとし、各端末がデータ記憶容量の許す限りアクセス頻度が高いデータから複製を配置する手法に加え、隣接する端末間でデータや複製の重複を防ぐ手法、ネットワークトポロジにおいての2連結成分をグループとし、グループ内で複製の配置を調整し、重複をさける手法が提案している。筆者らはアクセス頻度が未知の位置依存情報を効率よく複製配布する方式として Skip Copy(SC)方式 [2] を提案している。

SC方式では各端末が発生する複製をデータ発生直後に情報発生源の周辺にまばらに配布することで複製の密度を調整しつつ配布し、データの可用性を高める。SC方式は既に [3] でシミュ

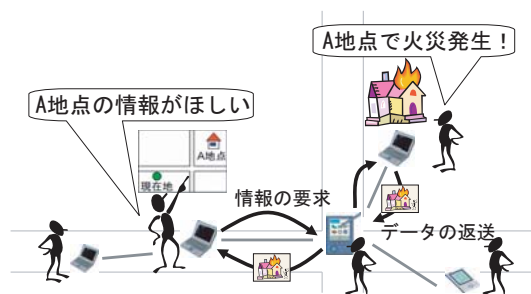


図 1: 利用イメージ

レーションによる評価が行われているが実環境における有用性の評価は行われていない。本稿では SC 方式を導入した位置依存情報共有アプリケーションの設計、実装について述べ、これを用いた実環境における SC 方式の評価を行う。

2 位置依存共有アプリケーション

2.1 概要

本稿で対象とする位置依存情報共有アプリケーションでは、固定のネットワークインフラおよび固定のデータサーバが利用できない状況下で、アドホックネットワークを用いて特定の位置に関連したデータを共有する。このような状況において作業員たちがデジタルカメラなどによって撮影した画像などの情報を共有することにより、移動先や周囲の状況を把握することで救助活動を支援するアプリケーションを考える。作業員たちが交換する情報はそれぞれが収集する「A 地点の情報」のような情報の発生した位置に基づいた情報であるとする。災害時には固定のインフラの利用が期待できない。そのためネットワーク上に固定のサーバは存在しない状況を想定する。ゆえに各端末は他の端末がどのような情報を保持しているかを知らない。したがって各端末は自分の保持していない特定の位置に対する情報が欲しい場合は、目的の地点に向けて要求メッセージを Geocast により送信する。要求メッセージを受け取った端末は目的地周辺のデータを保持していればデータを返送する（図 1）。このよ

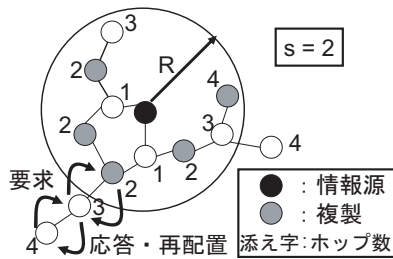


図 2: SC 方式における複製配布

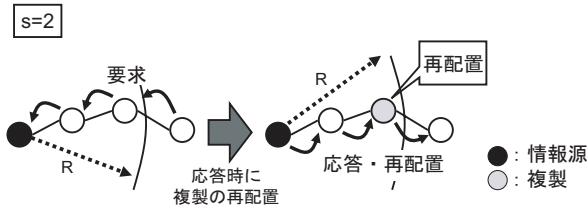


図 3: SC 方式における再配置

うにして固定のサーバを利用することなく位置に関連した情報を共有可能になる。

2.2 Skip Copy 方式

アドホックネットワークでは端末の配置の問題でデータを保持した端末までの経路が利用できるとは限らない。本アプリケーションでは [2] で提案された SC 方式に従って複製を配布し、データの有用性を向上させる。SC 方式では特定の位置に依存した情報はデータ発生地点の周辺の端末が保持すればよいとし、各端末はデータを取得するとデータの複製をデータ発生地点から複製配布範囲 R 以内の端末に配布する。ここでデータ発生元の端末はホップカウント C (初期値 1) を付加し、複製配布メッセージを受信した端末は C をインクリメントしてから転送を行う。このとき各端末は現在地がデータ発生源から複製配布半径 R 以内で自分が s ホップ目である場合複製を保持する (図 2 参照)。スキップパラメータ s を調整することにより複製の密度を調節することが可能である。

複製配布を行ったとしても端末の移動やバッテリーの消耗、障害物等の影響により複製を保持した端末が複製配布範囲内に存在しなくなることで、複製がデータ発生源の周辺に保たれないことがある。これに対し SC 方式では、Geocast で送信される要求に対する複製保持端末からの応答を返送する際に、複製配布時と同様に返信元からのホップ数とデータ発生位置からの距離にしたがって、中継端末の一部へ複製の再配置を行う。これにより端末がデータ発生位置から移動しても特定の位置に関連した情報が発生位置周辺の端末に保持されるように保ち Geocast による応答に対応可能とする (図 3 参照)。

2.3 アプリケーションの実装

2.1 で示したアプリケーションの具体的な実装としてのプロトタイプを実装した。本アプリケーションでは前述した SC 方式および Geocast による要求によりアドホックネットワーク上でデータの共有を行う。このとき端末間で共有されるデータは、ユーザが GPS レシーバを装着したノート PC を持ち運び移動先の風景等を PC に接続された USB カメラにより取得した位置依



図 4: 実験装置



図 5: 操作画面

存情報である。本アプリケーションで用いる機器を図 4 に、端末の操作画面を図 5 に示す。

本アプリケーションにおける通信は 802.11b 無線 LAN をアドホックモードで用いた。Geocast による要求の送信および複製の配布、応答メッセージの送信の処理は UDP パケットを用い、複製配布、要求、応答、再配置の処理をアプリケーションレベルで行う。パケットロスにより複製の配布、要求、応答メッセージが失われた場合、再送は行われない。ソフトウェアの実装に J2SDK1.4.2, Java Communication API, JMF API を用いた。

本アプリケーションではユーザは操作画面の capture ボタンをクリックすることで USB カメラから画像を取得する。取得した画像は端末に保存されるとともに SC 方式に従い周辺の端末に配布される。各端末に配布された画像は操作画面の複製リストに追加され、地図上のデータ発生地点にも縮小した画像が表示される。

情報の要求を行うためには要求する情報の位置を特定する必要がある。本アプリケーションでは地図における目的の地点をクリックすることで目的の地点周辺で発生したアドホックネットワーク上の情報を Geocast により要求する。要求メッセージの転送時はパケットに中継端末の IP アドレスを付加していくことで転送経路を保存する。要求メッセージを受け取った端末は目的の地点から要求半径 r 以内のデータを保持していれば要求の転送経路を逆にたどってデータを返送する。要求半径 r は要求メッセージに付加される。要求元の端末はデータを受信すると、データを操作画面に表示する。また、各端末は SC 方式で定義される複製の再配置機構に従って返送データの複製をロー

カルにコピーする。

一般的に無線端末の記憶容量は小さい。そのため無制限に複製を保持することはできず、各端末は記憶領域が不足すると古いデータや使わないデータは削除して新しいデータを保存することになる。SC方式では端末の保持するデータの総容量が各端末の記憶容量を上回る場合、発生地点から遠方にあるデータは他の端末からアクセスされる可能性が低いと考え、保持している複製の中で現在地から最も離れた地点で発生したデータから破棄するという方法でキャッシュの管理を行う。

3 評価

2章で説明したアプリケーションを利用してSC方式の実環境における評価を行った。

実験ではグラウンドに端末4~6台を配置し、指定した端末が特定の地点に向け要求メッセージを送信し、これに対する応答メッセージを受信するまでの応答時間を測定することにより、SC方式の特徴である応答時間の削減、記憶領域の節約の効果を評価する。また、要求を行う地点に存在する端末への通信経路を断裂させることによりリンク分断が発生した際にも、データの可用性が維持されることを確認する。

3.1 実験方法

以下に実験における端末の配置および実験のシナリオについて述べる。

端末の配置は単純に一行に端末4台を配置した図6(a)と複数経路が存在するよう6台の端末を配置した図6(b)の2種類を考える。全ての端末は15秒毎に現在位置に関連付けられたデータとして周辺画像を取得し、定められた複製配布方式に従い複製配布を行う。また、図6におけるN1がN4の地点に向け要求メッセージを5秒ごとに送信する。ネットワークの分断を考慮するために実験開始時刻から100秒後、N4のアプリケーションを停止させる。これにより要求元N1とN1からの問合せの宛先位置に存在する端末N4間のリンク分断を擬似的に起こした。

以上のシナリオでN1が送信する要求の応答時間、アクセス成功率、送信パケット数、パケットロス率を評価項目とし、実験を行った。実験では比較のため(i)SC(Skip Copy)方式、(ii)複製配布半径 R 以内の端末すべてに複製を保持させるRAR(Replica All in R)方式、(iii)複製配布を行わないNR(No Replica)方式の3つの複製配布方式を用いた。複製配布範囲 R は200m、要求半径 r は5mとし、画像データのサイズは1024bytesに固定した。また、要求メッセージおよび応答メッセージには転送経路となる端末のIPアドレスが付加される。このためメッセージのサイズは転送経路のホップ数とともに増加する。ホップ数を n とすると要求メッセージは $336+4n$ bytes、応答は $1236+4n$ bytes、複製配布メッセージは1241bytesとなる。また、各端末で起動するアプリケーションでは最大2つの画像データを保持できるものとした。

意図通りのトポロジができていないかを確認するため、全端末間の接続性をpingにより確認した。表3.1に図6(a),(b)の全端末間で行った100回のpingの結果を示す。表3.1を見ると接続されるべき端末間の接続性はほぼ100%となり、おおむね理想的なトポロジが形成できたといえる。

3.2 結果と考察

図6(a),(b)に示す端末配置で実験を行った場合のN1における応答時間の変動を図7に示す。また、実験におけるデータア

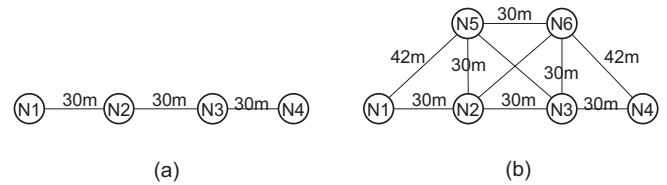


図6: 端末の配置

表1: 端末間の接続性

	N2	N3	N4	N5	N6
N1	100%	0%	0%	100%	0%
N2	-	97%	0%	99%	100%
N3	-	-	100%	99%	100%
N4	-	-	-	0%	99%
N5	-	-	-	-	100%

クセスの成功率および平均応答時間、各メッセージ種別の送信パケット数、パケットロス率を表2に示す。

パケットロス率は $1 - (\text{各端末が実際に受信したパケット数の総和} / \text{各端末における隣接端末より送信され受信されることが期待されるパケット数})$ を示している。図7において、一つの要求に対して複数の応答が得られた場合には、最も早く得られたデータの応答時間を示した。また、グラフにプロットされていない点はデータアクセスの失敗を示す。本アプリケーションではUDPで複製配布、要求、応答の処理を行う。そのため、パケットロスが起きても再送が行われない。これによりデータ要求が失敗に終わる可能性がある。

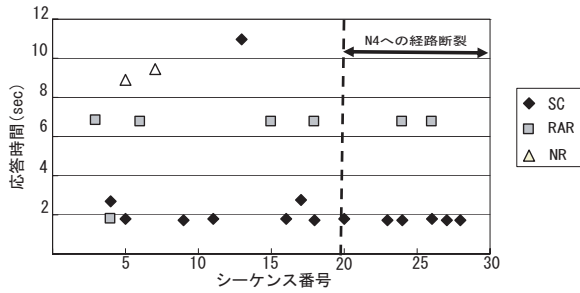
図7に示す通り、図6(a),(b)のどちらの配置においてもSC方式が最もアクセス成功率が高く、応答時間が短くなった。一方、RAR方式およびNR方式は、SC方式に比べアクセス成功率が低い。特に図6(a)でNR方式を用いた場合と図6(b)においてはRAR方式を用いた場合はデータアクセスがほぼ失敗に終わるという結果が得られた。

今回の実験では応答時間が最短でも1.6秒以上かかり非常に長いものとなった。これは通信に時間がかかるのではなく内部処理にかかっているためプログラムの改良により改善の余地はある。

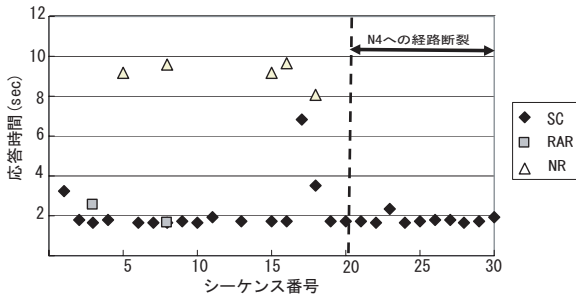
3.2.1 複製配布の効果

図7(a)を見ると、図6(a)に示す端末配置において、複製配布を行わないNR方式を用いた場合、要求メッセージおよび応答メッセージのパケットロスの影響によりほとんどのデータアクセスが失敗した。複製配布を行わないNR方式使用時にはN1から送信される要求メッセージはN4まで届かなければ応答が得られない。そのため要求および応答メッセージの転送を複数回行う必要があり、メッセージの伝送が成功しないためである。一方、同配置においてRAR方式およびSC方式を用いた場合、NR方式に比べアクセス成功率が向上した。これはN4よりも近くに存在する複製を保持した端末がN4にかわり応答を返すことで応答メッセージの転送回数が減少し、パケットロスの危険性を回避することができたためである。

また、SC、RAR方式使用時には応答時間も減少した。本実験における平均応答時間は1ホップ先の端末が応答返送した際



(a): 図6(a)における応答時間



(b): 図6(b)における応答時間

図7: 応答時間

は平均 1896msec, 2 ホップ先では平均 6788msec, 3 ホップ先では平均 9046msec であった. NR 方式使用時には 3 ホップ先の端末にデータ要求を行うため, 平均応答時間が 9000msec 以上かかっている. これに対し SC 方式および RAR 方式を用いた場合, 複製を保持した N4 よりも N1 も近くに存在する端末が応答を返すことで応答時間が削減された.

図 7(a) を見ると, 図 6(a) の端末配置においてシーケンス番号 20 以降に要求元 N1 から N4 への経路が途絶えた後も, SC 方式および RAR 方式により複製配布を行う場合は, データアクセスに成功していることがわかる. 一方, NR 方式を用いた場合シーケンス番号 20 以降のデータ要求は全て失敗した. これは以下のように説明できる. NR 方式では複製配布を行わないため N4 の地点のデータを保持する可能性のある端末は N4 のみである. そのため NR 方式では目的のデータの発生源である端末との接続性が途絶えた時点でデータアクセスが不可能となる. 一方, SC および RAR 方式は, N1 が要求するデータの情報源である N4 と直接通信できなくても, 複製配布により他の端末が複製を保持している端末が応答を返すため, N1 は目的のデータを取得することが可能である.

以上のことから複製配布により他の端末に複製を保持させることにより, 転送回数が削減され, アクセス成功率の向上および応答時間の削減の効果が得られることが確かめられた. また, これによりリンク分断時にも目的のデータの取得が可能になる.

3.2.2 複製配布密度の影響

複製配布半径 R 以内の全ての端末に複製を保持させる RAR 方式と s ホップごとに複製を保持させる SC 方式を比較し, SC 方式で行っている複製配布密度の制御の効果を検証する.

図 7(b) を見ると図 6(b) の端末配置で RAR 方式により複製配布を行った場合では複製配布を行っているのにもかかわらず, 複製配布を行わない NR 方式を用いた場合よりもアクセス成功率が低くなっている. RAR 方式による複製配布では複製を過度に

表 2: 実験結果の統計

	配置	SC($s=2$)	RAR	NR
アクセス成功率 (シーケンス番号 1~20)	(a)	45%	25%	10%
	(b)	85%	10%	25%
アクセス成功率 (シーケンス番号 21~30)	(a)	50%	20%	0%
	(b)	100%	0%	0%
平均応答時間 (msec)	(a)	2554	6068	9809
	(b)	2067	2097	9381
複製配布メッセージの 送信パケット数 (packet)	(a)	114	118	0
	(b)	238	259	0
要求メッセージの 送信パケット数 (packet)	(a)	47	74	72
	(b)	60	118	135
応答メッセージの 送信パケット数 (packet)	(a)	22	18	19
	(b)	63	24	25
パケットロス率	(a)	27%	21%	31%
	(b)	23%	37%	25%

配布され, 記憶領域を圧迫する. そのため各端末は複製を保持しても新たな複製配布メッセージを受け取ると, すぐに古い複製を破棄されてしまう. この結果, 送信パケット数のみが増大し, パケットロス率を上昇させてしまいアクセス成功率が低下したと考える. 一方, SC 方式により複製配布を行った場合, 比較的安定した応答が得られている. SC 方式では s ホップごとに複製を保持させるため, RAR 方式に比べ記憶領域を圧迫しない. したがってシーケンス番号 20 以降に N1 から N4 への経路が途絶えた後でさえ, それ以前に N4 の配布した複製を他の端末が保持し続けるため, 応答を得ることができた.

4 まとめ

本稿では位置依存情報の複製配布方式である SC 方式を導入した位置依存情報共有アプリケーションを実装し, 端末 6 台におけるフィールド実験により, SC 方式の有用性を評価するための実験を行った. これにより応答時間の削減, アクセス成功率の向上の効果が確認できた. ただし, 今回の実装では単純な UDP ブロードキャストに基づくデータ分配を行っているため, パケットロスがおきても再送は行われず, データアクセスが失敗に終わるといった問題点があった.

今後の課題としては, SC 方式のパケットロスによる通信の失敗を防ぐ方法およびパケットロス自体を避ける方法の検討を行う. 具体的には FEC(Forward Error Correction) を用いる方法を応用し複数フレームが正確に受信できなくても受信した先で再構築可能にする方法, 複製配布時のフラッディング方式の改良を考えている.

参考文献

- [1] T. Hara: "Effective replica allocation in ad hoc networks for improving data accessibility," *Proc. of IEEE Infocom 2001*, Vol. 3, pp. 1568–1576 (2001).
- [2] S. Ishihara *et al.*: "Evaluation of the behavior of replication of data associated with locations in ad hoc networks", *in proc. of SCI2004*, Vol. XIV, pp. 29–34, (2004).
- [3] G. Tsuchida *et al.*: "Evaluation of a replication method for data associated with location in mobile ad hoc networks," *in proc. of ICMU2005*, pp. 116–121 (2005).