

令和 5 年度
修士学位論文

送信バッテリーを用いたクラスタリングを
利用する集約型メッセージフェリー手法に
おける省バッテリー手法

Power-Saving Methods in Aggregated Message
Ferries Using Clustering with Transmission Power

1265088 網本 春華

指導教員 福本 昌弘

2024 年 2 月 28 日

高知工科大学大学院 工学研究科 基盤工学専攻
情報学コース

要 旨

送信バッテリーを用いたクラスタリングを利用する集約型メッセージフェリー手法における省バッテリー手法

網本 春華

近年、大規模災害の発生頻度が増加し、被災地での通信インフラの障害が問題になることが増加している。そのような状況に備え、ネットワークの切断やデータの転送などの劣悪な環境に強い DTN を用いた臨時ネットワーク構築が注目されている。先行研究では、DTN の経路選択手法であるフェリー支援型 DTN の通信路の短縮とデータ到達率の向上を目的としてデータの通信実績を用いた集約型メッセージフェリー手法の提案が行われている。この手法はあらかじめフェリーノードへの通信実績が高いノードへ各データを集約し、そのノードがフェリーノードへデータを転送する。しかし先行研究では、特定の端末へ負荷が集中してしまい、ネットワーク寿命が低下してしまうという課題が発生していた。本論文ではネットワーク寿命を向上するために、クラスタリングを用いた省バッテリーフェリー支援型 DTN の提案を行う。提案手法ではネットワーク寿命を向上させるために、クラスタリングを用いた端末の負荷分散と、端末のバッテリーに応じて端末のふるまいを変化させ、ネットワーク全体のバッテリー消費量の削減を行う。また、提案手法の有用性を示すため、先行研究との比較実験を行った。その結果、ネットワーク寿命は多少の改善が見られ、また、省バッテリー手法の有用性は示すことができたが、ネットワーク性能が低下していることも確認された。

キーワード DTN、バッテリー、クラスタリング、メッセージフェリー、フェリースコア

Abstract

Power-Saving Methods in Aggregated Message Ferries Using Clustering with Transmission Power

Haruka AMIMOTO

In recent years, the frequency of large-scale disasters has increased and the problem of communication infrastructure failures in the affected areas has become an increasing problem. In preparation for such situations, attention has focused on the construction of temporary networks using DTNs, which are resistant to poor environments such as network disconnections and data transfers. In a previous study, an aggregated message ferry method was proposed using data communication performance to shorten the communication path and improve the data reachability of the message ferry method, which is a route selection method for DTNs. This method aggregates each data to a node with a high communication record to the ferry node in advance, and the node forwards the data to the ferry node. However, in previous research, the load was concentrated on specific terminals, resulting in a reduction in network lifetime. In this paper, a power-saving message ferrying method using clustering is proposed to improve network lifetime. In order to improve network lifetime, the proposed method uses clustering to distribute the load of terminals and changes the behaviour of terminals according to their power consumption to reduce the power consumption of the entire network. In order to demonstrate the usefulness of the proposed method, a comparison experiment with previous studies was conducted. The results showed some improvement in network lifetime, and although the usefulness of the power-saving method could be

demonstrated, it was also observed that the network performance was degraded.

key words DTN, Power, Clustering, Message Ferry, Ferry Score

目次

第 1 章	序論	1
第 2 章	DTN での省バッテリー化の課題	3
2.1	DTN	3
2.1.1	DTN 概要	3
2.1.2	蓄積運搬転送	4
2.1.3	集約型メッセージフェリー手法	4
	フェリー支援型 DTN	5
	データの転送経緯を考慮した集約型メッセージフェリー手法	6
2.2	端末のバッテリー負荷分散と処理量軽減の妥当性と手法の課題点	6
2.2.1	DTN における端末のバッテリー消費の内訳	7
2.2.2	端末のバッテリー消費量の負荷分散	7
2.2.3	各端末の処理抑制手法	8
第 3 章	クラスタリングを利用した端末のバッテリー消費負荷分散手法と端末の バッテリー量に対応した処理抑制手法	9
3.1	クラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散	10
	伝達率と端末のバッテリー量を用いた ch の選出手法	11
	ch、fs、端末のバッテリー量を指標とした経路選択	12
3.2	各端末の処理軽減手法	13
3.2.1	周辺端末探索抑制	14
第 4 章	シミュレーションによる評価と考察	15
4.1	想定環境	15
4.2	シミュレーションシナリオ	16

目次

4.3	比較結果	17
4.3.1	先行研究との比較	17
4.4	結果から得た負荷分散に対する考察	26
第5章	まとめ	28
	謝辞	29
	参考文献	30

目次

4.1	各端末のバッテリー消費率 (全体)	18
4.2	各端末のバッテリー消費率 (ネットワーク寿命前後)	19
4.3	バッテリー状況とネットワーク性能	21
4.4	時間当たりの平均バッテリー消費量	21
4.5	バッテリー状況とネットワーク性能	22
4.6	時間当たりの平均バッテリー消費量	22
4.7	バッテリー状況とネットワーク性能	23
4.8	時間当たりの平均バッテリー消費量	23
4.9	バッテリー状況とネットワーク性能	24
4.10	時間当たりの平均バッテリー消費量	24
4.11	バッテリー状況とネットワーク性能	25
4.12	時間当たりの平均バッテリー消費量	25

表目次

4.1	シミュレーション環境	16
4.2	ネットワーク寿命	17
4.3	端末のバッテリー寿命	18
4.4	ネットワーク性能	19
4.5	フェリーノードへ通信を行った端末数	19
4.6	設定する値	20

第 1 章

序論

近年、大規模災害時の臨時ネットワークに対する需要が向上している [1]。実際に、基地局などの通信インフラの崩壊した状況下でのアドホックネットワークシステム構築について様々な研究がなされ、災害時に利用された例も存在している。それら研究の一種に遅延耐性ネットワーク (DTN: Delay Tolerant Network)[2] を用いた物が存在する。DTN とは、通信の遅延と切断に強い耐性を持つネットワーク手法であり、ネットワーク内の端末でデータを中継することで通信を行う。データの中継では中継を行う端末 (以下中継端末) の CPU やメモリ、バッテリーなどの通信資源を消費して行う。また、ネットワーク内に端末数が少ない場合、長距離通信による消費バッテリー量の増加、通信安定性の減少が予測される。そのため、DTN では中継端末のネットワーク資源とネットワーク内の端末数が重要となる。しかし、被災時の臨時ネットワークでは基本的に被災者の持つスマートフォンなどの小規模で構築されているため、ネットワーク資源が貧弱であることから、ネットワークへの参加端末数は DTN ネットワークの通信強度に大きく影響を与える。そのため、ネットワーク内の端末数をできるだけ多く保つ必要があるが、被災時はバッテリー供給が安定せず端末のバッテリー量が回復する可能性は低い。よって、端末のバッテリー維持のために端末のバッテリー量の消費軽減を行うことが重要となる。バッテリー量の消費軽減手法として、ネットワーク間の端末のバッテリー負荷の偏り是正、各端末で行う処理量軽減の 2 点が挙げられる。これらを行うための手法として集約型メッセージフェリー手法、クラスタリングを利用した負荷分散、端末のバッテリー量に応じたデータの転送回数、周辺探索処理の軽減手法がある。しかし、これらの手法を DTN 環境下で利用するにはいくつかの課題が存在する。集約型メッセージフェリー手法にはフェリーノード周辺の端末への負荷集中、クラスタリングで

は DTN がネットワーク全体の把握が困難であることから従来手法でのクラスタリング手法の利用が困難となり、端末のバッテリー量に応じた転送、周辺探索処理の軽減の従来手法は、消費バッテリー量の削減は可能だが、スループット等のネットワーク性能が低下してしまう。

これらの課題を解決するために、本研究では集約型メッセージフェリー手法を拡張することで疑似的なクラスタリングを行っている。cl クラスタリングではデータの集約のみを行うとし、一定のタイミングごとに現在の端末のバッテリー量と端末におけるデータの伝達実績を初期バッテリー量とで割った確率で ch を決定する。この ch と端末におけるデータの伝達実績を指標にすることでネットワーク全体を把握せずともデータを集約できるようになっている。次に、端末の処理制限では、端末のバッテリー量が閾値になった際にデータの転送や周辺探索を抑制することで端末の処理回数を減少させることで端末のバッテリー消費を軽減させることができる。

提案した手法でシミュレーションを行った結果、クラスタリングと周辺探索制限を利用しなかった場合と比較して各端末のバッテリー消費量の軽減と負荷分散が確認できると予想される。

以下、本論文の構成について記述する。

第 2 章では DTN の概論と DTN の省バッテリー化の既存手法であるデータ転送経路を考慮したメッセージフェリー手法と既存の端末の処理軽減手法とその妥当性について DTN における端末のバッテリー消費の内訳を用いて記述している。第 3 章では本論文で提案する手法について記述し、第 4 章ではシミュレーションによる他手法との比較とその結果について記述する。第 5 章では結果を受けての考察を行い、最後に第 6 章で本論文のまとめを行う。

第 2 章

DTN での省バッテリー化の課題

本研究では、DTN での省バッテリー化手法として、端末のバッテリー消費負荷分散と処理の抑制を行う。本章ではこれらの手法の妥当性と解決すべき課題点として DTN の基本的な通信手法や端末のバッテリー消費内訳、そして既存手法を DTN 環境下で行う際の課題について記述している。はじめに、DTN の概要と基本的な通信手法や周辺技術とその課題を記述する。その後、DTN での端末のバッテリー消費内訳より端末のバッテリー負荷分散と処理の軽減の DTN での省バッテリー化手法としての妥当性を示し、バッテリー負荷分散と処理の軽減それぞれの既存手法の概要と DTN 環境下での課題点について記述している。

2.1 DTN

本節では DTN と周辺技術の概要を記述する。初めに DTN の概要と基本的な通信手法である蓄積運搬転送について記述し、DTN の通信手法であり本研究の先行研究である集約型メッセージフェリー手法について記述している。

2.1.1 DTN 概要

DTN の概要を記述する。DTN[2] は惑星通信に起源を持ち、劣悪な環境下での通信を行うための通信手法である。特に遅通信延や移動による接続切断に対して高い耐性を持っており、そのような状況下でも任意の端末との通信を実現させることを目的としている。そのため、災害時などの通信インフラ設備が破損してしまっている環境下での臨時ネットワークとして注目されている [5][6]。DTN がこのような劣悪な環境に耐えうるのは DTN が遅延を

2.1 DTN

許容できるアーキテクチャを持つからであるからである。次節に DTN の基本的な通信手法である蓄積運搬転送について記述する。

2.1.2 蓄積運搬転送

蓄積運搬転送 [3] は DTN 独自のアーキテクチャであるバンドル層によってなされている。DTN のアーキテクチャでは TCP/IP と異なり参照モデルのアプリケーション層とトランスポート層との間にバンドル層と吸収層を持つ。DTN は通信を行う際に、端末を中継することで目的端末までデータの転送を行う。この時、中継を行う端末はバンドル層で通信を終端し、端末内のバッファへバンドルへ変換されたデータをスタックする。他中継端末へ通信可能になった際にバッファ内のデータを送信する。この転送技術を蓄積運搬転送という。目的端末までの転送経路確立が困難な場合であっても各端末内のバッファにデータを蓄積させることでデータを消すことなく遅延や接続の断絶を許容しての通信を可能としている。そのため、データの中継を行う際に中継端末のネットワーク資源を消費してしまうという課題が存在する。また、DTN 技術における課題点の 1 つとして長距離通信が困難であることが挙げられる。これは DTN を構成する端末が基本的に小規模な端末であるためネットワーク資源が不足していることや、中継となる端末が存在しない場合通信を行うことが不可能であるためである。しかし、被災地でのネットワークでは避難所間や非被災地域への情報共有のため中継端末がない、もしくは非常に少ない地域を挟み通信を行う必要性がある。

次節では、これらの課題を DTN ネットワークにおいて長距離通信を行うための技術である集約型メッセージフェリー手法について記述する。

2.1.3 集約型メッセージフェリー手法

DTN 技術における課題点の 1 つとして長距離通信が困難であることが挙げられる。これは DTN を構成する端末が基本的に小規模な端末であるためネットワーク資源が不足していることや、中継となる端末が存在しない場合通信を行うことが不可能であるためである。し

2.1 DTN

かし、被災地でのネットワークでは避難所間や非被災地域への情報共有のため中継端末がない、もしくは非常に少ない地域を挟み通信を行う必要性がある。次節では、DTN ネットワークにおいて長距離通信を行うための技術であるフェリー支援型 DTN とネットワーク資源の有効活用のため拡張されたデータの転送経緯を考慮した集約型メッセージフェリー手法について記述する。

フェリー支援型 DTN

DTN には、端末同士を中継して通信を行うため、端末間に広く距離が開いている状態では通信が難しい。そのような状況に対応するための手法としてフェリー支援型 DTN が存在する。フェリー支援型 DTN[4] とは、ネットワーク内をフェリーノードと呼ばれる計画的に移動する端末が行き来することで通信を行う通信手法である。フェリーノードはネットワーク内を巡回して通常ノードからデータを受け取り、宛先の端末付近までデータの運搬を行う、災害時に置ける情報共有や広範囲ネットワークでの通信等の環境において効果的な手法である。また、フェリー支援型 DTN を用いることでネットワークが長距離にわたって断絶している、つまり中継端末の無い地域間での通信が可能となる。研究 [5] では DTN の応用技術であるフェリー支援型 DTN を利用して災害時の通信システムの構築が行われている。研究 [6] では避難所をクラスタとして一つの小規模ネットワークとみなし、クラスタ内のバッテリー量の多い端末へデータを集約し、集約したデータを持つ端末のみがフェリーノードへの通信を行っている。これによってネットワーク内のトラフィックの増加抑制、通信が集中するフェリーノードへの負荷の軽減を行っている。また、端末の残りバッテリー量によって通信可能かどうかを判定しておる。これにより端末のバッテリー消費を軽減している。結果として、[6] ではデータ到達率と通信可能時間の向上が確認された。[6] のデータの集約を行うメッセージフェリー技術を集約型メッセージフェリー手法といい、この研究についての概要を次で記述する。

2.2 端末のバッテリー負荷分散と処理量軽減の妥当性と手法の課題点

データの転送経緯を考慮した集約型メッセージフェリー手法

フェリー支援型 DTN 技術の一つに集約型メッセージフェリー手法 [5] が存在する。これはメッセージフェリーの持つ課題の一つであるフェリーノードの通信範囲外にある端末のデータの取集やネットワーク内のトラフィックの増加を解決するための手法である。具体的には、メッセージフェリーまでの各端末の経路選択手法を定義することでネットワーク内の好条件端末へデータを集約し、その集約されたデータをフェリーノードが回収して通信を行い手法である。[5] の研究では、フェリーノードに通信が成功した端末に対しフェリースコア (fs :ferry score) を付与し、より高い fs を持つ端末へデータを集約するよう経路選択を行うことでデータの伝達率の向上を図りつつ、トラフィックの要請を行っている。 fs は式 (2.1) で算出される。

$$fs = fs + hop_i \quad (2.1)$$

ここで、 hop_i はデータが端末を通過した際のデータのホップ数である。結果として [5] ではホップ数の減少とデータ到達率の向上が確認されたが、課題としてデータの集約を行うノードの負荷が非常に高くなることがあげられている。ここで、端末の負荷とあるが、実際にどのような処理が最も負荷となっており、その負荷を解消するためにどのような手法を用いることが可能なのかを示す必要がある。

2.2 端末のバッテリー負荷分散と処理量軽減の妥当性と手法の課題点

本節では、本研究で行うである負荷分散と処理量軽減の有用性と既存手法の DTN 環境下での課題点を記述している。初めに、DTN における端末のバッテリー消費の内訳について記述し、それを踏まえてバッテリー負荷分散と処理軽減の妥当性を記述し、最後にそれぞれの既存手法と DTN 環境下での課題点について記述している。

2.2 端末のバッテリー負荷分散と処理量軽減の妥当性と手法の課題点

2.2.1 DTN における端末のバッテリー消費の内訳

研究 [9]、[10]、ではアドホックネットワーク環境における無線ネットワークインターフェースの送信、受信、破棄の動作で消費されるバッテリー量と DTN の通信プロトコルにおける消費バッテリー量が通信に与える影響の調査を行っている。[9] より端末で最も多くバッテリーを消費する動作は中継端末へのデータ転送によるものですが、CPU による処理やメモリへのアクセスによってもバッテリーは消費されることが示され、[10] では、近隣の端末を探索する際に周辺端末へ向けて通信を行うために DTN において最もバッテリーを消費する動作は中継端末へのデータ送受信ではなく、周辺端末の探索であることが示されている。このことから、周辺探索抑制がバッテリー消費量の削減となることがわかる。周辺探索抑制をフェリー支援型 DTN に組み込んだ研究 [6]、[7] では実際にネットワーク寿命の向上が確認されている。しかし、一番でないにせよ、送受信バッテリーは少なくないバッテリーが消費される。研究 [6] ではアドホックネットワークにおける消費バッテリー量を考慮した経路選択方式の提案を行っており、中継する端末の残りバッテリー量を考慮して経路選択を行うことでバッテリー負荷の分散を行い、ネットワーク構成する端末の稼働時間を向上させ、結果としてネットワーク寿命を改善している。このことから、端末単体の消費バッテリー量を削減するだけでなく、送受信の回数を削減することや余裕のある端末へデータを転送することでネットワーク全体のバッテリー消費量を削減することも可能である。

以上より、端末のバッテリー負荷分散により特定端末の送受信回数の偏りが是正されることと、端末の周辺探索の回数を減少させることでネットワーク寿命が向上することが示された。次に、端末の負荷分散と処理軽減の既存手法の概要と DTN 環境下での課題点について記述する。

2.2.2 端末のバッテリー消費量の負荷分散

本研究において端末のバッテリー消費の負荷分散とは、特定の端末へのバッテリー負担の偏りを是正して、ネットワーク全体で処理を行うことを意味している。本研究では、中継端

2.2 端末のバッテリー負荷分散と処理量軽減の妥当性と手法の課題点

末に特定の端末が多用されないよう経路の分散を行うこととしており、これは経路選択を用いて実現させることが可能である。しかし、DTN では基地局のようなネットワーク全体の管理、統制を行っている端末が存在していないことからネットワークの全体像が掴みづらく、また各端末がネットワークの全体像をリアルタイムで把握しつつ適切な端末へデータを転送させることは多大な計算コストがかかるため、結果としてネットワーク全体でバッテリー消費量が増加してしまうという課題が存在している。

2.2.3 各端末の処理抑制手法

各端末の処理量の抑制について記述する。初めに、各端末の処理量の抑制とは、ネットワーク内のすべての端末が共通して行う処理の量を軽減することにより全端末の省バッテリー化を行うことを意味している。既存手法では、端末や周辺状況によって送受信や周辺探索処理の抑制を行っている。具体的には、ネットワークの端に存在している場合には積極的に通信に参加しないことや、周囲の環境に変化が少ない場合に周辺の探索を行わない等の環境による処理、端末のバッテリー量の閾値以下で通信を停止する等の端末状況による処理を行う。しかし、DTN 環境下では GPS 等に位置情報の取得が安定せず、また、遅延を許容することから常に周囲の状況を取得し続けることが必ずしも効果的であるとは言えない。そのうえ、端末のバッテリー量の節制の重要性や端末毎の CPU 機能のバラツキから常時最高のパフォーマンスを期待することができないという課題が存在する。また、従来手法ではバッテリー量にのみ注目しているため、ネットワークのスループットは低下してしまうという課題が存在する。

第3章

クラスタリングを利用した端末の バッテリー消費負荷分散手法と端末 のバッテリー量に対応した処理抑制 手法

既存手法の課題解決のため、本研究ではクラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散手法と端末のバッテリー量に対応した処理抑制手法を提案している。本研究における DTN での端末バッテリー消費負荷分散とはネットワーク全体の端末でデータ中継を行うこととし、すなわちこれは経路選択手法である。そのため、集約型メッセージフェリー手法での集約端末をネットワーク全体で発生させ、データをネットワーク全体で中継することで端末のバッテリー消費負荷分散を行う。このとき、クラスタリングという技術を利用することで集約端末の制限、交代を行い、より端末全体でデータの中継が行えるようにしている。次に、端末の処理抑制手法では、端末のバッテリー量と送受信の仕事量から周辺探索実行確率を、端末のバッテリー量とフェリーノードへの伝達実績からデータの送受信確率を設定することでスループットを向上させつつ、バッテリー消費量の削減を行う。このとき利用するパラメータはすべて自身と通信相手からのみ得られる値であるため、ネットワーク全体を把握せずとも効果的な処理の抑制が可能となる。本章ではクラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散手法と端末のバッテリー量に対応

3.1 クラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散

した周辺探索処理抑制手法の具体的な手法について記述する。初めにクラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散手法の概要を記述し、その後集約端末の選出方法と経路選択手法、転送確率の定義手法について記述する。次に、端末のバッテリー消費負荷分散手法の概要を記述し、具体的な手法として端末ごとにバッテリーに対する閾値の設定と周辺探索実行確率の式を記述する。

3.1 クラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散

初めに、クラスタリングとはネットワークをクラスタという部分集合に分割することを言う。クラスタはクラスタヘッド (以下 ch) を中心として構築され、ch はクラスタに所属している端末やネットワークのルーティングマップの管理を行う。クラスタリングにおける負荷分散は ch をデータの集約ノードとして設定することでネットワーク全体でデータの集約による通信が行われるため、特定端末のみが中継に多用されることを抑制することで行われる。クラスタリングによる負荷分散を成立させるためには、主に適切な ch の選出と、ch の負担を他端末で分担することが重要である。これは、ch はクラスタ内で負荷が最も高い端末であり、適切な ch でなければバッテリーの枯渇や計算資源不足によりクラスタが成り立たなくなってしまう。そのため、適切な ch を選出し、ch の消耗によって ch の変更を行うことでクラスタの安定性を向上させている。

クラスタリングにおける経路選択によるバッテリーの削減とは、適切な ch ヘデータを転送することで転送経路の削減や特定クラスタへの負荷の集中を軽減することである。この手法では、最適な経路はネットワーク全体を知っている必要があるため、端末が移動するネットワークの場合、1 通信毎にクラスタが経路のやり取りをし、計算を行う必要があるため計算や通信の頻度が上昇する可能性がある。

本研究では、端末のバッテリー量と fs を指標として利用したフェリー支援型 DTN でのクラスタリングを用いたバッテリー消費負荷分散手法を提案する。本手法は池上 [5] の提案し

3.1 クラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散

た手法へクラスタリングの要素を取り入れ、拡張したものである。fs とバッテリー量の比から成る確率によって選出された ch を集約端末とし、ラウンド毎に ch を再選出することで端末の負荷を分散し、ネットワーク全体のデータを送受信することが可能になるようにしている。また、各端末にバッテリー量の閾値を設定することで現バッテリー量によって端末の振る舞いを変化させることでネットワーク寿命の向上が予測される。

クラスタによる負荷分散は ch の選出と経路選択によって行われる。本研究ではネットワーク全体から ch を選出を行うが、伝達率の確保のため、伝達実績と端末のバッテリー量から ch を選出する。

伝達率と端末のバッテリー量を用いた ch の選出手法

本手法では、ch を選出し、データの集約を行うことでクラスタリングを行っている。ch の選出手法は端末のデータ伝達の確実性である fs と端末のバッテリー量、ch になった回数から確率を作成し、その確率を用いて ch の選出を行う。選出された ch は集約型メッセージフェリー手法で用いられる集約端末とみなすことでネットワーク全体でデータの中継が行われる。ch の選出確率 P_{ch} は下記の式で与えられる。

$$P_{ch} = \frac{NowE_M + fsM}{FastE_M + count} \quad (3.1)$$

ここで、 $NowE_M$ は自端末の現バッテリー量、 $FastE_M$ は自端末の初期バッテリー量、 fsM は自端末の fs、 $count$ は自端末が ch になった回数である。 P_{ch} では自端末の現バッテリー量と fs の合計を自端末の初期バッテリー量と ch になった回数の合計で割った値となっており、これは端末自身のバッテリー消費割合、データ伝達の確実性、ch に選出される優先度を考慮した確率になっている。端末のバッテリー消費割合を E_{cost} とすると、 E_{cost} は式 (3.2) で求められる。

$$E_{cost} = \frac{NowE_M}{FastE_M} \quad (3.2)$$

そして、fs はデータ伝達の確実性を表し、ch はネットワーク全体で負担させるため、ch への優先度は $count$ で表せる。よって、 P_{ch} を用いることで低消費、高伝達性の ch をネット

3.1 クラスタリングを用いた集約型メッセージフェリー手法による負荷分散

ワーク内から満遍なく選出することが可能になると予測している。また、1 ラウンド経過するごとに ch の再定義を行っている。 ch は本来、ネットワーク資源を効率的に運用出来る様、個数や位置の制限を行う必要がある。しかし、本手法では ch は確率以外の制限なくネットワーク内から選出される。これは、DTN ではネットワーク全体の把握が困難であるため、適切な ch の選出制限が難しいためである。しかし、より条件の良い ch を中継端末に選択しデータを集約することで疑似的にクラスタを構築することができ、ネットワーク資源の消耗を抑えることが出来ると予想している。次節にて、 ch 、 fs 、端末のバッテリー量を用いた経路選択手法について記述する。

ch、fs、端末のバッテリー量を指標とした経路選択

経路選択では、 fs を伝達の確実性、バッテリー量を端末が持つリソース、 ch を転送の優先度として用いている。データを転送する端末の決定は、最も基本的な経路選択では相手端末の fs と自端末の現バッテリー量を比較し、相手が自身よりも好条件であった場合に相手端末へデータを転送する。相手端末との比較は条件式 (3.3) を用いる。

$$NowE_O > NowE_M \quad \text{かつ}$$

$$\frac{NowE_O + othr fs}{OthreFastE} > \frac{NowE_M + fs_M}{FastE_M} \quad (3.3)$$

しかし、伝達の確実性を向上させるために $fs_O < fs_M$ である場合、 B の比を用いた確率で相手端末へデータの転送を行う。

$$B = \frac{NowE_O - NowE_M}{NowE_O - T} \quad (3.4)$$

ここで、 $NowE_O$ は相手端末のバッテリー残量、 $FastE_O$ は相手端末の初期バッテリー量、 fs_O は相手端末の fs 、 $NowE_M$ は自端末のバッテリー残量、 $FastE_M$ は自端末の初期バッテリー量、 fs_M は自端末の fs 、 T は端末のバッテリー残量に対する閾値である。また、この時相手端末が ch で場合は $fs_M + 5$ として計算を行う。式 (3.3) では、自身より現バッテリー量の低い相手端末であった場合、バッテリーの消耗具合と fs によって相手端末へ転送

3.2 各端末の処理軽減手法

を行うかを決定する。これは現バッテリー量と f_s の合計を初期バッテリー量で割ったものは端末のバッテリー量に対する経路選択における重要性を表しているため、バッテリー量と伝達実績から見てより好条件な端末へと転送が可能になると予測される。また、初期バッテリー量が少ない場合やネットワーク後半となり、経路上重要な端末バッテリーが消耗されてしまった場合の対応として、 $f_{sO} < f_{sM}$ である場合、 B の比を用いた確率で相手端末へデータの転送を行っている。次節で記述するが、 T は端末の閾値を更新する毎に変化するため、式 B では端末のバッテリー量に合わせて確率を変化する。これによって最適な端末へ転送を行うことが可能になると予想される。

T は端末の 1 ラウンドあたりの通信回数により変化する。これを用いて端末は周辺端末探索と転送確率の制御を行っている。次に周辺端末探索の抑制を行う手法について記述する。

3.2 各端末の処理軽減手法

前章では、クラスタリングを用いた端末のバッテリー消費の負荷分散手法について記述した。しかし、上記手法ではバッテリー負荷の均一化が行われるが、ネットワーク全体でデータの中継を行うため、端末全体でのバッテリー消費が激しくなってしまう。そのため、端末のバッテリー量に応じて不要な操作が行われないよう制限を掛けた。節 2.2.1 より、軽減させることで最も効果のある処理は周辺の端末数などの情報を収集する周辺探索処理であるため、本研究では周辺探索処理の軽減を行っている。具体的には各端末に対し閾値を設定し、その閾値を用いた確率に応じて端末の周辺探索を行うこととしている。本章では端末の周辺探索処理軽減手法について記述している。初めに、周辺探索処理を軽減することがバッテリー消費量軽減に妥当であるかを DTN におけるバッテリー消費の内訳を用いて説明し、その後閾値の設定、更新手法と閾値、 f_s 、バッテリー量を用いた確率によって周辺探索処理を軽減する手法を記述する。

3.2 各端末の処理軽減手法

3.2.1 周辺端末探索抑制

周辺探索制限について記述する。周辺探索制限は端末の現バッテリー量が閾値以下である場合に周辺の探索に制限がかかるようになっており閾値閾値の初期値は端末の初期バッテリー量の 1/2、閾値の再設定は 1 ラウンド内の通信回数を用いて、式 (3.5) が満たされるときに元の閾値の 1/2 を新たな閾値として設定する。

$$T < u - 2 * q \quad (3.5)$$

u は単位時間当たりの平均通信回数、 q は単位時間当たりの通信回数の分散である。周辺の探索を行うかどうかは確率 P で決定される。

$$P = \frac{NowE_M + fs_M}{FastE_M} \quad (3.6)$$

これによって端末のラウンド毎の仕事量から端末の現バッテリー量だけではなく端末の多忙多忙さによって端末のふるまいを変えることができ、端末のバッテリー消費を抑えることができる予想している。

以上で提案手法についての説明を終える。本研究では提案手法の評価をシミュレーションを用いて先行研究との比較の結果より決定している。次章では本研究での趣味レーションシナリオや各パラメータについて記述する。

第4章

シミュレーションによる評価と考察

本章では前章で示した本提案手法のシミュレーション設定と先行研究と比較した際のシミュレーション結果の評価、考察を行う。

はじめに本手法が用いられる想定環境を記述し、次に具体的なシミュレーションシナリオとして各種パラメータを示す。その後、シミュレーションの結果としてネットワーク寿命とネットワーク性能を示し、最後にシミュレーション結果からの考察を行っている。

4.1 想定環境

本節では本手法が運営される状態として想定している環境について記述している。本研究では想定環境として広域災害が発生し、通信インフラが機能せずバッテリー供給が途絶えている状況で、被災者は各避難所に避難しているとし、その避難所内での通信を設定している。通信を行う端末は避難者たちが所有している携帯端末であるとし、避難所内の端末は避難所内で移動している避難者と、疲労や怪我で休息をとっている避難者が存在している。そのため避難所内にはランダムな方向へ移動する端末と、その場に停止し続ける端末の2種類がネットワーク内に存在している。また、フェリーノードは初期状態ではネットワーク内に存在せず、その後一定周期でネットワーク内に現れ、一定期間滞在し、再度ネットワークから消えるという行動を繰り返すものとする。

以上で本提案手法の想定環境についての記述を終える。次節では、趣味レーション環境の具体的なパラメータを示す。

4.2 シミュレーションシナリオ

本章ではシミュレーション内で反映される各社パラメータを記載している。本研究では、先行研究 [5] と提案手法の比較をシミュレーションによって行い、端末の負荷分散と消費バッテリー量削減によるネットワーク寿命の向上とネットワーク性能補変化を確認する。シミュレーションの基本的な各パラメータは表 4.1 にまとめている。

表 4.1 シミュレーション環境

	計測時間	50000(sec)
	シミュレーションエリア (m)	(300,300)
無線ノード	移動ノード数 (台)	30
	停止ノード数 (台)	30
	端末移動速度 (m/sec)	0.5~1.5
	通信速度 (Mbps)	2
	通信半径 (m)	100
フェリーノード	巡回周期 (sec)	1500
	滞在時間 (sec)	600
メッセージ	生成頻度 (sec)	60
	メッセージサイズ (KB)	50~150
	TTL(sec)	300
バッテリー設定	送受信時の消費バッテリー	0.05
	スキャン時の消費バッテリー	10
	初期バッテリー量	1000~2000

以上がシミュレーションに用いるパラメータである。本シミュレーションでは The ONE (The Opportunistic Network Environment simulator) [17] というシミュレータ上に対象の実装を行なった。The ONE は Epidemic Routing などの DTN 経路選択プロトコルや

4.3 比較結果

ノードの移動モデル、データの生成規則等が実装されている。そのためユーザは必要となる各パラメータや想定するシナリオの設定を行うことで DTN 環境におけるネットワークの評価が可能である。以上がシミュレーションシナリオとなる。次節ではシミュレーションの結果をまとめている。

4.3 比較結果

以下に、今回のシミュレーションでの比較結果を記述する。また、本結果は各手法において 10 回シミュレーションを行った際の平均値である。

本研究では、通信可能時間をネットワーク内で最後にメッセージの受信が発生した時間とし、これをネットワーク寿命とみなしている。

4.3.1 先行研究との比較

初めに、基本的なシミュレーション環境下での先行研究との比較を行う。ネットワーク寿命とその時点における生存端末数とその平均バッテリー残量についての比較結果を 4.2 で示す。

表 4.2 ネットワーク寿命

	先行研究	提案手法
通信可能時間	1920.26	1920.62
平均バッテリー残量	1425.78	1448.63
機能停止端末数	2	2

表 4.2 より、通信可能時間の大幅な変化は見られなかった。これは、フェリーノードがネットワークの巡回を行うことから、ネットワークに接続されていない時間が多いために大

4.3 比較結果

きな差が発生しなかったと考えられる。また、平均バッテリー残量、機能停止端末数に大きな差が見られなかったことも同様の理由によるものとする。次に、端末のバッテリー寿命について表 4.2、図 [?], [?] で比較結果を表す。本シミュレーションではバッテリー寿命をネットワーク内のすべての端末が機能を停止した時間としている。

表 4.3 端末のバッテリー寿命

	先行研究	提案手法
全端末機能停止時間	3807	
$\frac{1}{3}$ 端末機能停止時間	3197	3194
$\frac{1}{3}$ 端末機能停止時間の 平均バッテリー残量	61.4227	61.7588

図 4.1 各端末のバッテリー消費率 (全体)

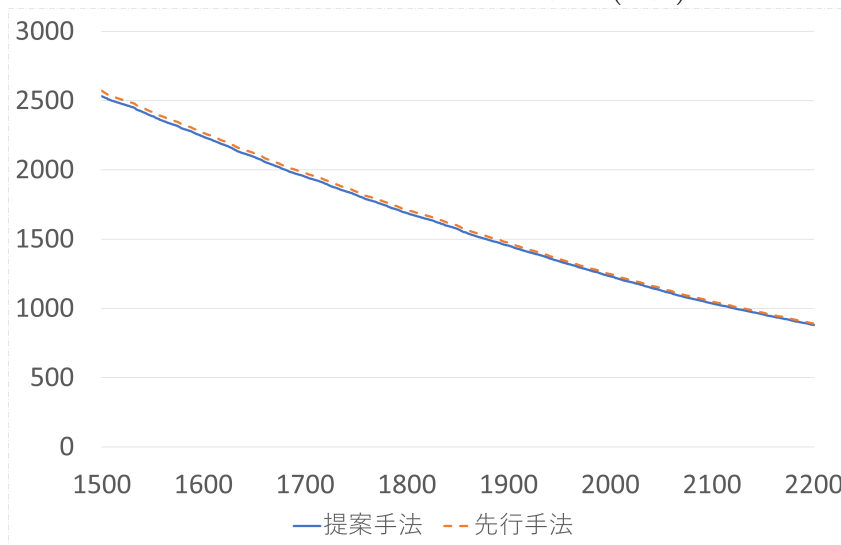


表 4.2 より、最終的な機能停止時間に変化は見られなかったが、全端末の $\frac{1}{3}$ が機能を停止する時間と、それぞれの時間における平均バッテリー残量からシミュレーションシナリオ時間内の中間地点付近では提案手法の方がバッテリーの消費を抑えられていることがわかる。また、図 [?], [?] より、端末全体の時間におけるバッテリー消費率は先行研究とほぼ同等であることが見られた。

次に、各手法のネットワーク性能をメッセージ到達率とオーバーヘッドの値から評価する。

4.3 比較結果

図 4.2 各端末のバッテリー消費率 (ネットワーク寿命前後)

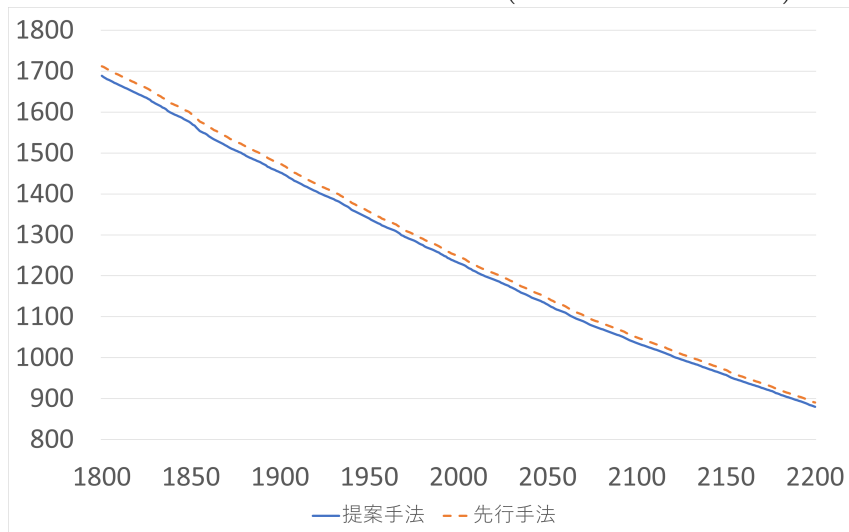


表 4.4 ネットワーク性能

	先行研究	提案手法
生成メッセージ数	166	
合計メッセージ数	200	840
伝達成功データ数	25	30
オーバーヘッド	5.24	26.21

表 4.2 より伝達成功率は大きな変化はなく、合計メッセージ数の大幅な増加によるオーバーヘッドの増加がみられた。このことからネットワーク性能が低下していることが確認された。

表 4.5 フェリーノードへ通信を行った端末数

		先行研究	提案手法
移動端末	総数	20	41
	最頻数	p7:3	p12:6
停止端末	総数	42	65
	最頻数	n57:6	n55:28

4.3 比較結果

表 4.5 より提案手法でのネットワーク参加端末数は先行研究を上回っていることが確認された。また、提案手法は特定の停止ノードへの負荷が高くなっていることが示された。

基本的なパラメータでは先行研究との大きな差異が見られなかったため、端末数やネットワークサイズ、フェリーノード数を変更して比較を行う。今回は特に端末のバッテリー寿命の確認を行った。今回、表 4.6 のような変化を用意した。

表 4.6 設定する値

エリアサイズ	(600,600)
移動端末割合増加	移動端末 40
	停止端末 20
停止端末割合増加	移動端末 40
	停止端末 20
フェリーノード数	2,3

図 4.4 表 4.3 では、シミュレーションのエリアサイズを倍にした場合の結果を記述している。

4.3 比較結果

	先行研究	提案手法
ネットワーク寿命	1866	1725.56
全端末機能停止時間	3889	3877
全メッセージ数	18.6	473.2
伝達成功データ数	5	12
オーバーヘッド	2.72	31.85
スループット	3.72	32.41

図 4.3 バッテリー状況とネットワーク性能

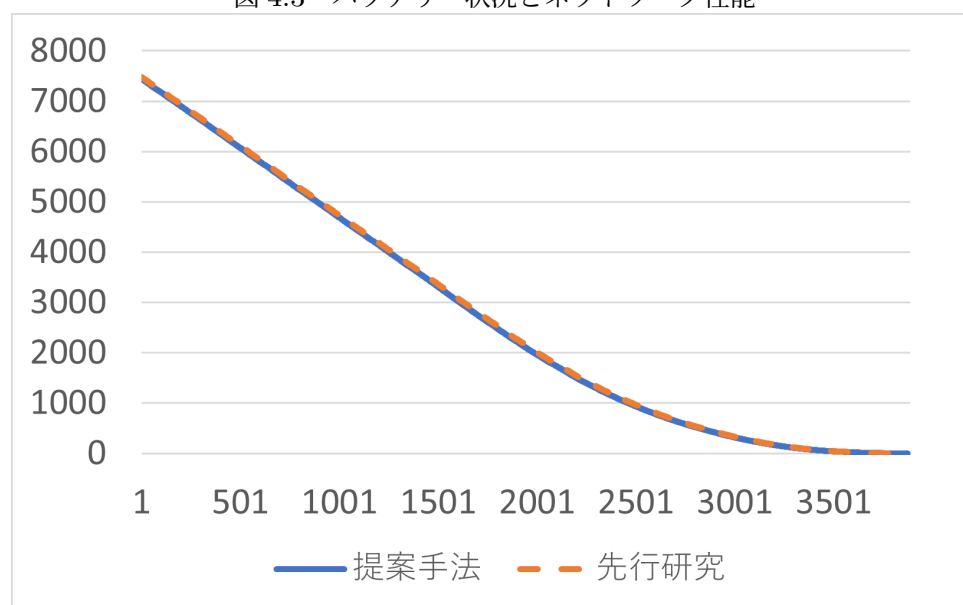


図 4.4 時間当たりの平均バッテリー消費量

エリアサイズを増加させた場合、先行研究の方が優秀な結果を示した。これは、ネットワーク内での端末密度が低下したために、各端末の通信回数等の負荷が低下したことが原因であると考えられる。ネットワーク内での端末密度が低下しているため、通信回数が低下する。これにより、先行研究の状態であっても端末の負荷が軽減されてしまい、提案手法の通信活発化によるバッテリー消費増加のみが影響してしまったと考察する。

次に、図 4.6 表 4.5 では、シミュレーションの端末の総数を変えず移動端末の割合を増加させた場合の結果、図 4.8 表 4.7 では、停止端末の割合を増加させた場合の結果を記述して

4.3 比較結果

いる。

	先行研究	提案手法
ネットワーク寿命	1949.6	1884.22
全端末機能停止時間	3860	3860
全メッセージ数	290	1180.6
伝達成功データ数	29	26
オーバーヘッド	5.61	31.21
スループット	6.62	31.83

図 4.5 バッテリー状況とネットワーク性能

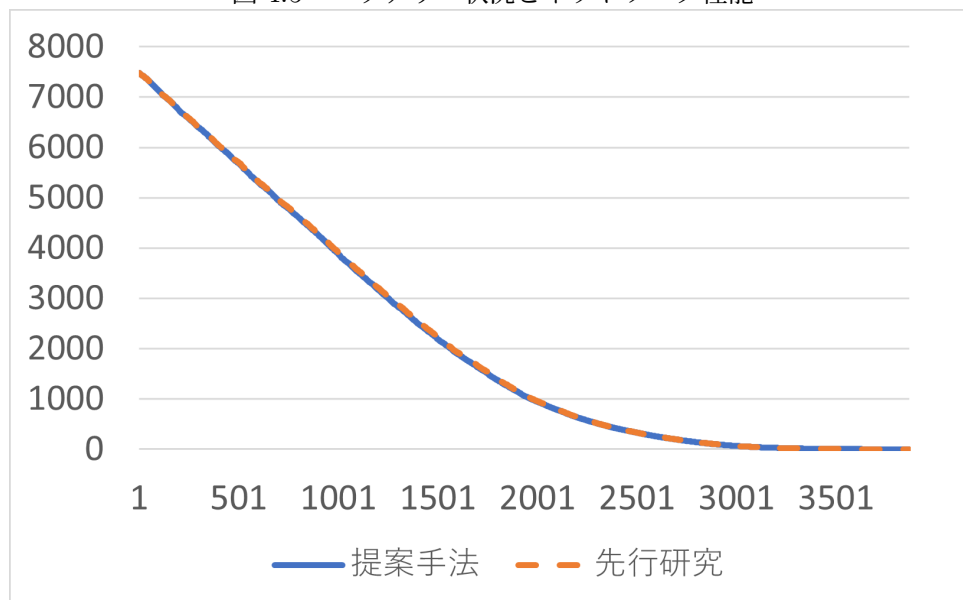


図 4.6 時間当たりの平均バッテリー消費量

4.3 比較結果

	先行研究	提案手法
ネットワーク寿命	1968.34	2016.1
全端末機能停止時間	3850	3850
全メッセージ数	249.4	816.2
伝達成功データ数	32.2	27
オーバーヘッド	6.75	29.22
スループット	7.75	30.23

図 4.7 バッテリー状況とネットワーク性能

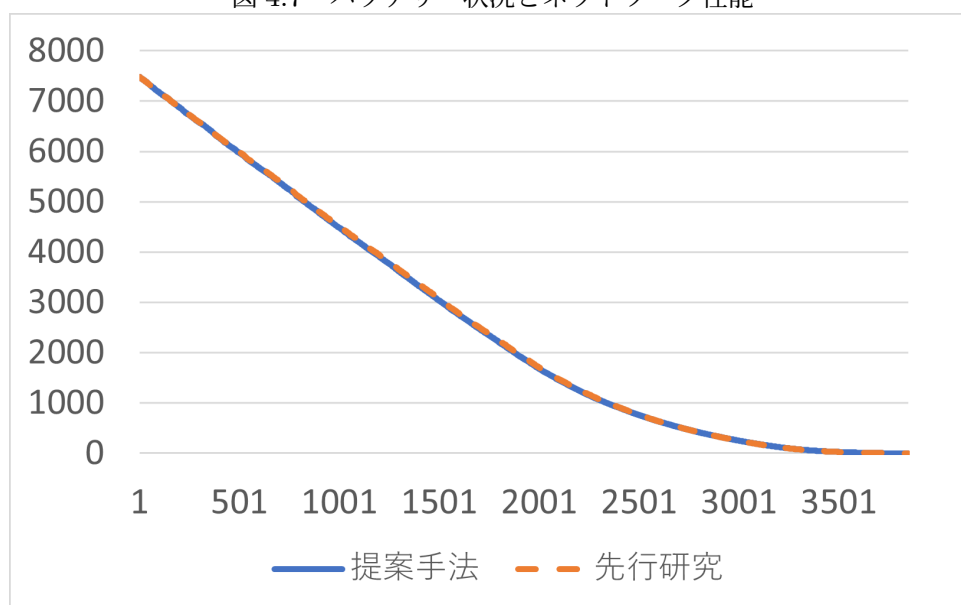


図 4.8 時間当たりの平均バッテリー消費量

表 4.5 から、移動端末の割合を増加させた際の先行研究の通信可能時間が提案手法と比較してより高くなっている。これは移動端末の割合が多いことから端末同士の接近による通信機会が多く生まれることでネットワーク内で負荷が均一化されやすいためであると考えられる。対して、表 4.7 では提案手法のネットワーク寿命が先行研究より高い。これはネットワーク内で端末同士の接近による通信機会が少ないことから、提案手法の通信の活性化が良い影響を与えたためであると考えられる。また、移動端末が少ないことから経路のループや環境の変化が起こりにくいことから負荷分散や処理の軽減が期待通りに機能したためであると考え

4.3 比較結果

られる。

次に、表 4.9、図 4.10 はフェリーノードがネットワーク内に 2 台、表 4.11、図 4.12 はフェリーノードがネットワーク内に 3 台存在する場合の比較の結果である。

	先行研究	提案手法
ネットワーク寿命	2076.2	2004.2
全端末機能停止時間	3771	3771
全メッセージ数	277.8	1110.4
伝達成功データ数	31	26
オーバーヘッド	7.95	41.91
スループット	8.96	42.71

図 4.9 バッテリー状況とネットワーク性能

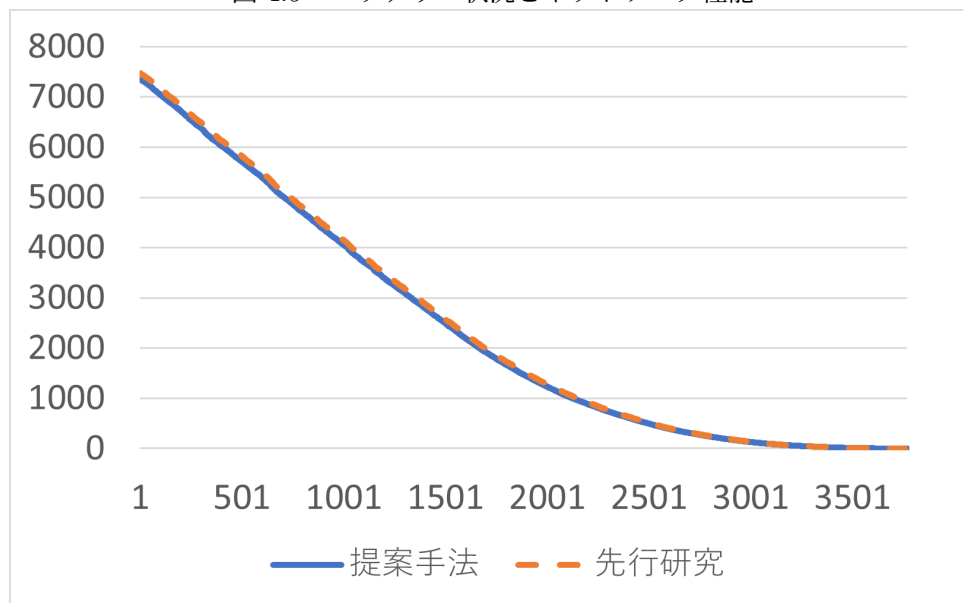


図 4.10 時間当たりの平均バッテリー消費量

4.3 比較結果

	先行研究	提案手法
ネットワーク寿命	2076.2	1932.2
全端末機能停止時間	3764	3362
全メッセージ数	290	1180.6
伝達成功データ数	29	26
オーバーヘッド	8.88	44.81
スループット	10.00	45.41

図 4.11 バッテリー状況とネットワーク性能

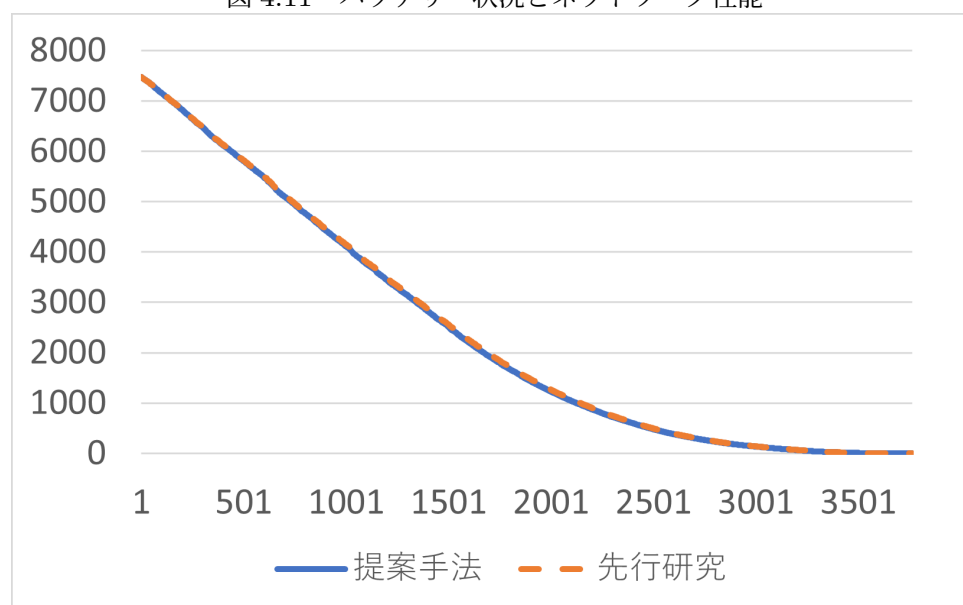


図 4.12 時間当たりの平均バッテリー消費量

表 4.11 では、ネットワーク寿命、全端末機能停止時間双方とも先行研究より大きく低い。これは fs が複数フェリーノードで同一であることが原因と考えられる。本研究ではネットワーク内においてフェリーノードがごく少数であることから fs でフェリーノードの識別を行うより同一 fs で処理することで端末の負担を軽減することを優先した。しかし、すべてのフェリーノードへの伝達実績を同一の fs で表してしまったため、各フェリーノードに対する伝達率が正しく設定されず、特にネットワークが活発である提案手法ではデータの誤送信が多発したと考える。

4.4 結果から得た負荷分散に対する考察

以上の結果から提案手法ではメッセージ数の増加とそれによるスループットの上昇が見られ、またネットワーク寿命の向上は確認されなかったが、ネットワーク寿命後において端末のバッテリー残量が先行研究よりも向上していることが確認された。また、特定の、特にフェリーノード付近の停止ノードへのバッテリー負荷の集中が見られた。これらの結果を踏まえ、次節で考察を行う。

4.4 結果から得た負荷分散に対する考察

本節では、前節で示した結果から考察を行っている。

前節で示したシミュレーションの結果からネットワーク内のメッセージ数が大幅に増加している原因は、フェリーノードがネットワークに参加するより以前の状況でデータの転送が発生したためだ。先行研究では、データの転送は f_s の大小でのみ判断していた。そのため、フェリーノードがネットワークに参加していない状況下ではデータの転送が行われず、結果としてメッセージ数が削減され、また再度フェリーノードがネットワークから消えた際も、フェリーノードへの通信に参加できなかった端末の f_s は 0 であるため、その後もメッセージ数の増加が抑制されたと思われる。このことから、提案手法は先行研究よりもデータの省受信が活発であるにも関わらず先行研究とネットワーク寿命が同等程度であることは提案手法の省バッテリーが正しく機能していることが確認できる。また、提案手法はネットワークが活発化していることから自然に通信機会が発生しやすい移動端末の割合が多い環境より、停止ノードの多い環境下で効果的であることがわかった。そして、電端末機能停止時間が同等程度である理由は最終的にごく少数の端末が通信を行わず休止し続けることになるため、結果としてあまり差異が生まれなかったのだと予測する。

ネットワーク寿命が先行研究と提案手法とで大きな変化が見られない理由について、フェリーノード付近の端末が早々にバッテリー不足に陥ることが原因であると考えられる。実際、表 4.5 より停止端末がフェリーノードへのデータ転送に多用されることが確認された。このような端末は非常に重要であり、負荷分散として転送を断った場合にも再度他端末を経由して

4.4 結果から得た負荷分散に対する考察

転送要求が発生することが予測される。そのため、提案手法のように転送確率を下げるだけでは負荷分散が十分に行われなかったことが考えられる。また、表 4.5 のように移動端末では自然に転送機会が発生するため、移動端末のフェリーノードへの転送端末としての活用方法を考えることが有用であると予測する。

次に、ネットワーク性能について述べる。シミュレーション結果では伝達成功データ数に大きな変化が見られなかった。この理由としては、フェリーノードへデータを直接伝達する端末が先行研究とほぼ同一であったことと、フェリーノードがネットワークに参加した際に大量にスタックしていたデータを一気に転送したことが挙げられる。フェリーノード付近の端末が転送できるデータには限りがあるため、他端末が通信を行えるほどにフェリーノードの滞在時間がなかったため大幅な変化は見られなかったものと思われる。また、結果として特定ノードへの負荷集中の是正はできていないことが示されてしまった。

今後はネットワーク初期でのデータの複製を抑制手法や、端末の移動性に注目し、データのスタックや転送の操作を行うことでネットワーク寿命とネットワーク性能の向上を目指す。

第5章

まとめ

本論文では、DTN の手法である集約型メッセージフェリー手法をクラスタリングと周辺探索制限により通信可能時間と端末の負荷分散を改善させる手法を提案し、先行研究とのシミュレーションによる比較を行った。ネットワーク寿命の評価として、最終通信成功時刻の比較を行った。評価の結果、大きな変化は見られなかったが、通信可能時間後の端末の平均残りバッテリーでは先行研究を上回っていた。次に、ネットワーク性能の評価としてメッセージ数、伝達成功率、オーバーヘッド、時間経過での端末の電力消費率の比較を行った。その結果、伝達成功率は同等であるがメッセージ数の増加からオーバーヘッド、スループットの増加が見られた。オーバーヘッドが増加しているがする一っぶとも同様に増加しており、また先行研究と通信可能に大きな差異がないことから提案手法でのバッテリー消費の抑制と伝達率の向上が確認された。

今後はネットワーク内のデータの抑制を実装することで端末の負荷分散を行い、ネットワーク寿命の向上を目指す。

謝辞

本研究を行うに当たり、多くのご指導と貴重なご意見をくださった高知工科大学情報学群
福本 昌弘教授に心より御礼申し上げます。また、福査を引き受けてくださいました横山
和俊教授、並びに敷田幹文教授にも心から御礼申し上げます。

参考文献

- [1] 能島暢呂, “東日本大震災におけるライフライン復旧概況（時系列編）”, 岐阜大学工学部社会基盤工学科, 2011.
- [2] 鶴正人, et al. “DTN 技術の現状と展望.”, 電子情報通信学会, 通信ソサイエティマガジン, 2011.
- [3] K.Scott and S.Burleigh, “Bundle protocol specification,” IETF RFC 5050, 2007.
- [4] W. Zhao, M. Ammar and E. Zegura, “A Message Ferrying Approach for Data Delivery in Sparse Mobile Ad Hoc Networks,” Proc. MobiHoc 2004, pp.187-198, 2004
- [5] 池上和馬, “DTN 環境におけるデータの転送経緯を考慮した経路制御手法の提案”, 高知工科大学情報学群卒業論文, p.9-13, 2018.
- [6] 金田知展, 中村嘉隆, 高橋修, “端末のバッテリー利用効率を考慮した DTN 型災害時通信システムの提案と評価”, 情報処理学会研究報告, 2014.
- [7] 金田知展, 中村嘉隆, 高橋修, “DDTN 環境における端末のバッテリー消費を考慮した通信プロトコルの提案と評価”, 情報処理学会第 75 回全国大会, 2013.
- [8] K.H.Kabir, M.Sasabe, T.Takine, “ Integer programming formulation for grouping clusters in ferry-assisted DTNs,” Proc.26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2012.
- [9] L. Feeney and M. Nilsson, “Investigating the Energy Consumption of a Wireless Network Interface in an Ad Hoc Networking Environment” , proc. IEEE INFO-COM’ 01, 2001.
- [10] D. Silva, A. Costa and J. Macedo, “Energy impact analysis on DTN routing protocols” , proc. ACM ExtremeCom’ 12, 2012.
- [11] 金田知展, 中村嘉隆, 高橋修, “DTN を用いた災害時通信システムにおけるバッテリー

参考文献

- 利用効率改善手法の提案,” 信学技報 vol.113, 2014.
- [12] Toh, C.-K., “Maximum Battery Life Routing to Support Ubiquitous Mobile Computing in Wireless Ad Hoc Networks” , IEEE Communications Magazine Vol.39, pp.138-147, 2001.
- [13] 小田亮太郎、日高大輔、大田知行、角田良明,“アドホックネットワーククラスタリングにおける隣接ノード数に基づく適応型バッテリー制御法”, 電子情報通信学会論文誌 B,2010.
- [14] 原進一郎、小泉達也、笹瀬 巖, “無線センサネットワークにおいてクラスタヘッドとルータノードを用いて中継機能を分離することにより負荷分散を実現するクラスタリング方式”, 研究報告ユビキタスコンピューティングシステム (UBI) ,2012.
- [15] Rahul C. Shah、 Jan M. Rabaey, “Energy Aware Routing for Low Energy Ad Hoc Sensor Network” ,IEEE,2002.
- [16] Heinzelman, W.R., Chandrakasan, A. and Balakrishnan, H.: “Energy-Efficient Communication Protocol for Wireless Microsensor Networks”, in Proc. of the 33rd Annual Hawaii international Conference on System Sciences, 2000.
- [17] A. Keranen, J. Ott, and T. Karkkainen. “The one simulator for dtn protocol evaluation” . Proc. SIMUTools ”09, 2018.