

UWSNにおける転送経緯を考慮した メッセージフェリー手法の拡張方法の検討

池上 和馬^{1,a)} 植田 和憲^{2,b)}

概要：近年、海中のデータを収集し、環境、科学、軍事などに利用する水中センサネットワーク (UWSN) が注目を集めている。海洋調査は多くの分野で注目されており、日本でも海底に存在する天然資源や鉱物の調査などに利用することが検討されている。しかし、海中でのノード運用は地上のセンサーネットワーク以上に考慮すべき課題が存在する。特に、UWSN では海中にあるノードのバッテリー交換を頻繁に行うことができないという課題が存在するため、長期観測を目的とした UWSN では各ノードの消費電力を抑える必要がある。そのため本稿では、UWSN における各ノードのバッテリー消費量を削減することで海中の長期観測を行うことを目的とし、DTN の経路選択手法であるメッセージフェリー手法を基にした転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法を拡張し、UWSN に適用することを検討した。

1. 背景

近年、水中に配置した複数のノードを用いて様々なデータを収集することを目的とした、水中無線ネットワーク (UWSN) が注目されている。水中でのデータ収集は、あらかじめ水中に配置したノードを用いて行う。UWSN の主な用途は、海の中に住む生物の生態系や水質の調査、海底に存在する鉱物などの天然資源の発掘調査などが挙げられる [1]。

しかし、海中でのセンサネットワーク構築には考慮すべき課題が存在する。UWSN は地上のセンサネットワーク同様、ネットワークの稼働時間を長くするために各ノードのバッテリー消費量を削減する必要がある。

現在、UWSN では収集したデータを目的の箇所まで転送する速度向上を行いつつバッテリー消費量を抑えるという手法の提案が多く、実環境におけるネットワークの稼働時間はまだまだ短いため長期稼働を想定した観測には利用が難しい [2][3][4]。

そこで本稿では、長期間における海中での観測を実現するために、UWSN における各ノードのバッテリー消費量

の削減を目的とした検討を行う。具体的には、センサネットワーク内のノードがもつデータを少数のノードへ集約しておき、宛先ノードまでデータを転送する手法を拡張し、UWSN に適用する方法の検討を行う。

2. 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法

本章では、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の説明を行う。この手法は DTN の経路選択手法の一つであるメッセージフェリー手法を拡張させた集約型メッセージフェリー手法を基にしている。DTN とは、スマートフォン等の携帯端末を無線ノードとして扱うアドホックネットワークの中でも、遅延や切断が頻繁に発生するような通信環境に耐性をもつネットワークである [5]。

2.1 メッセージフェリー手法

メッセージフェリー手法は DTN における経路選択手法の一つである [6]。この手法ではノード間を計画的に巡回するフェリーノードと呼ばれるノードを設定し、図 1 のようにフェリーノードがクラスタ内の各ノードからデータを集める。その後、他のクラスタ付近へ移動を行いクラスタ内の各ノードからデータを集める。このように、フェリーノードは各クラスタを巡回した後、宛先ノードまで収集したデータを運搬する。この手法では、宛先ノードまで到達する可能性が高いフェリーノードへデータを集めることができるため、データ転送が安定した経路の構築を行うことが見込まれている。

¹ 高知工科大学大学院工学研究科情報学コース
Informatics course
Kochi University of Technology Graduate School of Engineering

² 高知工科大学情報学群
Informatics group
Kochi University of Technology

a) 235052r@gs.kochi-tech.ac.jp

b) ueda.kazunori@kochi-tech.ac.jp

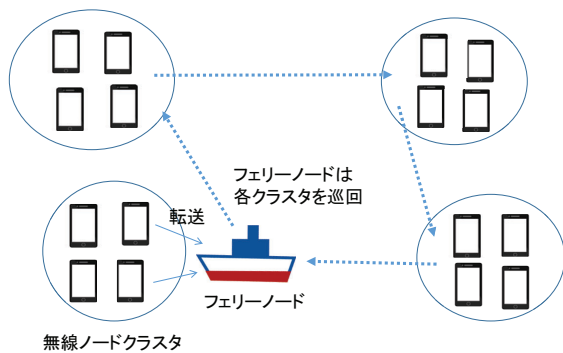


図1 フェリーノードの動作

しかし、この手法ではデータの転送先がフェリーノードのみに限定されるため、フェリーノードがクラスタに到達した際にフェリーノードの通信範囲外のノードが持つデータを取得することができない可能性がある。

2.2 集約型メッセージフェリー手法

集約型メッセージフェリー手法は前述したメッセージフェリー手法が持つ課題を解決するために、各ノードがあらかじめフェリーノードと通信を行う可能性が高いノードへデータを集約しておく手法である。図2に集約型メッセージフェリー手法の通信の流れを示す。この手法では、集約を行うノードを決定するために、各ノードへフェリースコアというスコアを設定する。スコアの値が高いノードをフェリーノードと通信を行う可能性が高いノードとみなし、各ノードは自ノードよりもスコアが高いノードへデータの転送を行う。フェリースコアは各ノードがフェリーノードと通信を行った際に、そのノードの値を1上昇させる。集約ノードはフェリーノード到達時、蓄積していたデータをまとめて転送する。そのため、フェリーノード到達時に通信範囲外にノードが存在する場合でもデータの転送は集約ノードが行うため宛先ノードへ転送される可能性が高いことが見込まれている。

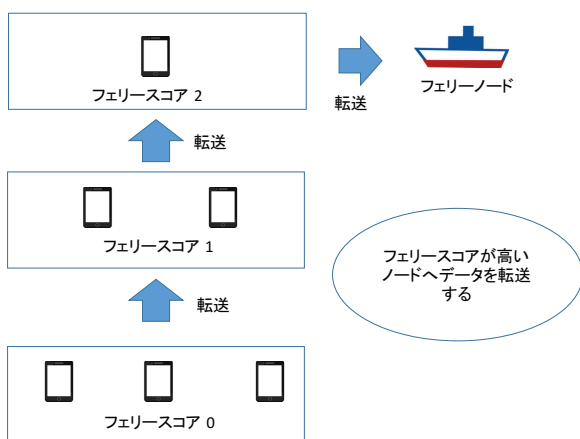


図2 集約型メッセージフェリー手法の概要

しかしこの手法では、フェリースコアが高いノードが移動すると、転送先として適したノードが存在しなくなるため、その付近のノードがデータを転送することができなくなる。また、通信経路が長くなり通信を行う回数が増加してしまい、各ノードが消費するバッテリー量が増大してしまう恐れもある。

2.3 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の詳細

この手法は集約型メッセージフェリー手法で設定したフェリースコアの加算方式を変更し、データ転送にかかる通信経路数の短縮を目的とした手法である。本手法で変更したフェリースコアの加算方法を図3に示す。この手法では加算対象をフェリーノードと通信を行ったノードから、あるノードがフェリーノードへデータを転送した際に転送経路上の全ノードへ変更する。

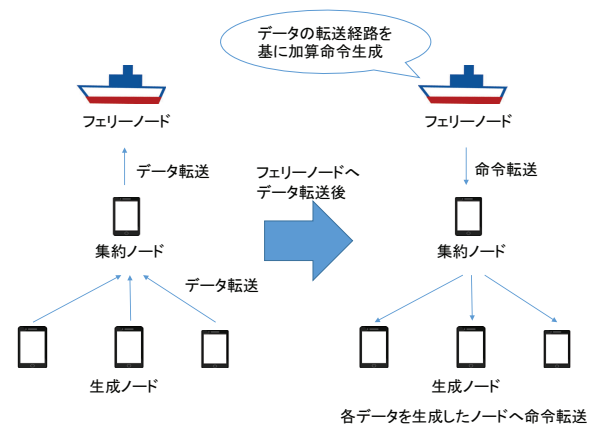


図3 フェリースコア加算の仕組み

転送経路内に存在するノードへ加算する値は、データ到達時の転送経路上でフェリーノードに近いノード毎に加算する値が大きくなるようにする。スコアの加算を経路上に存在する全ノードへ行うことで、ノードの移動が発生してもフェリーノードまでデータ転送を行える代替経路の構築が従来に比べて容易になり、集約ノードへの通信回数の増加を抑えることが見込まれる。ネットワーク全体の通信回数が減少することにより、各ノードで消費されるバッテリー量の削減を行う。

3. UWSN

本章ではUWSNの概要と技術的特徴と合わせて、UWSNが抱える課題の説明を行う。

3.1 UWSNの概要

UWSNは海中に生息する生物の様子や水質を調べて行う生態系の調査や、海底の砂岩やその付近の海水に含まれる成分を調べて行う資源探索、また海上を移動する船や海

中を移動する潜水艦から発する駆動音を検出する軍事利用を目的とした用途などが存在する。

UWSN は水分に含まれる酸素や塩分などを検出することができる複数のセンサーを搭載したセンサーノードを海中に配置し、そのノードがデータの収集を行う。収集したデータは陸上にある研究所や観測を行っている施設が回収する。回収は、各センサーノード同士が無線通信を用いてデータを海上付近のノードまで転送し、その後地上にある中継器や船までデータを転送するという手法などが存在する。

3.2 UWSN の技術的特徴と課題

UWSN における各センサーノード間の無線通信には、電波、音響、光などを用いる手法が主流である。しかし、それぞれの無線通信は海中で利用した際に地上とは異なる性能となる [7]。

電波は水中では減衰が大きく、通信の有効距離は約 10m となる。また、電波が水中で伝わる速度は約 33000km/s とされている。音響波は水中での減衰が少なく、有効距離も数 km に及ぶが、水中での伝搬速度は約 1.5km/s となる。音響通信は電波通信と比較すると長距離の通信が可能であるがその伝搬速度は遅いため、データの伝送速度も限られる。光の減衰は海中に漂う物体や水の濁度に比例して大きくなる。そのため、伝搬速度は電波通信と同様の値となるが、有効距離は約 10m から 100m となる。また、光通信は通信を行う方向に遮蔽物となる物体の影響が大きい。

上記の特徴から、海中で行う無線通信は通信速度や距離などに制限が存在するため、通信の遅延やデータの誤り率が增大する恐れがある。そのため、UWSN で利用する経路制御手法は地上で利用されている手法を海中の通信環境に合わせて修正したものや、深度などの海中環境特有のパラメータなどを用いたプロトコルが提案されている [2][3][4]。

また、海中では電力を供給する電源を用意することが難しいため、センサーノードはバッテリー駆動の場合が多い。そしてバッテリーを搭載した各センサーノードは海中の至る所に配置されるが、水流の影響で水平方向に約 0 から 3m/s の速さで移動を行う [2]。

地上のセンサーネットワークではノードのバッテリーが減少するとバッテリーの交換作業が行われるが、海中にノードを配置する UWSN の場合、頻繁に海中で交換作業を行うことが困難である。バッテリーという限られた電力を各センサーノードが持っているため、地震観測や津波調査などの長期観測を前提としたアプリケーションなどではバッテリーの稼働時間を長くすることが求められている。

4. UWSN と転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法

本章ではまず、本稿で想定する環境とアプリケーション

を基に構成する UWSN について説明を行う。その後、想定する UWSN の経路制御手法として転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法のアルゴリズムを適用するために必要な仕様の拡張について検討する。

4.1 想定環境とアプリケーション

本稿では UWSN を用いて、海水に生息する微生物などの生態調査を行うことを想定する。微生物の生息は海水に含まれる成分に大きな影響を受ける。海水の状態は海底に存在する鉱物の採掘が行われる際に巻き上げられる砂や土による濁度の変化などが起こる可能性がある [1]。水質が変化し微生物が減少すると多くの水生生物の生態系にも影響が発生し、水産業にも影響が発生することが考えられている。そのため本稿では、海水に含まれる成分データの収集を長期間継続して行うことを想定する。

想定する UWSN の構成を図 4 にて示す。センサーノード間の無線通信は長距離の通信が可能である音響通信を用いる。各センサーネットワークで収集したデータは音響通信を用いて海上に配置したシンクノードと呼ばれるノードへ転送される。シンクノードは海中のセンサーノードと異なりデータを収集することではなく、センサーノードから送られてきたデータを蓄積する役割を持つノードである。そしてシンクノードに蓄積されたデータは船を用いて各シンクノード付近まで移動して回収を行う。

現在提案が行われている UWSN の経路選択手法では、データの転送速度向上を行いつつバッテリー消費量を抑えるためのものが多い。そのため、十分な通信速度が見込まれる手法であっても、本稿で想定したような長期間に及ぶ観測を目的とした UWSN における特定のアプリケーションに適用することが難しい場合がある。そのため本稿では各センサーのバッテリー残量にも着目した上で、転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の適用を検討する。

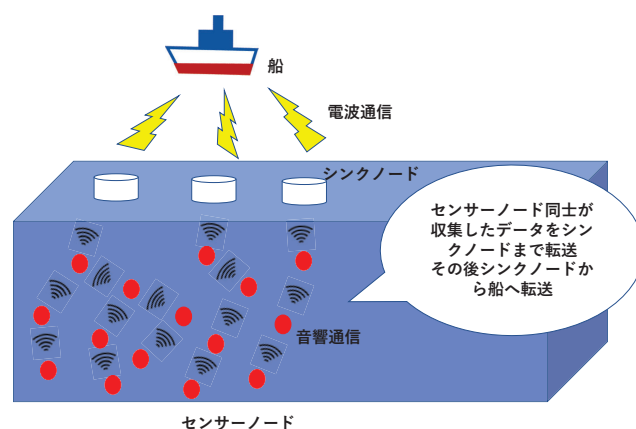


図 4 想定する UWSN の構成

4.2 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法を UWSN へ適用する際の課題

転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法を UWSN に適用した UWSN を図 5 に示す。この手法では船をフェリーノード、シンクノードを集約ノードとし、各センサーノードは複数存在するシンクノードの中から最も通信回数が少なく到達できるシンクノードを選択してデータを転送する。フェリーノードは各シンクノードを定期的に巡回し、蓄積されているデータの回収を行う。

またフェリースコアはそれぞれのシンクノードまでの通信回数を表した値とする。この値を用いて各センサーノードは、最も短い通信経路を構築できるノードを通信先ノードに決定する。

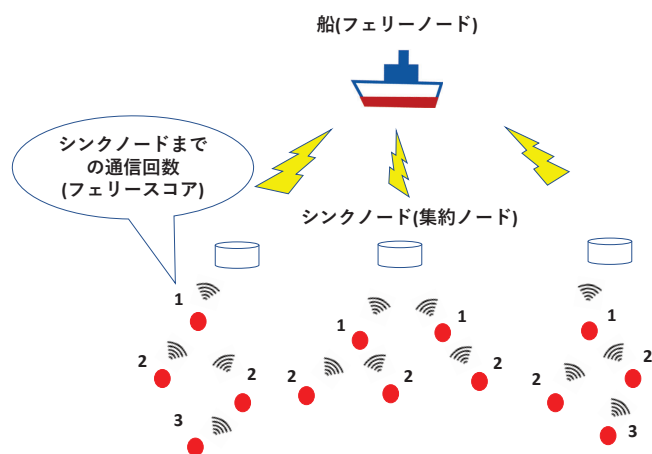


図 5 UWSN へ転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法を適用した際の概要

しかし、この手法では各センサーノードのバッテリー残量が考慮されていないため、一部のノードへデータ転送が集中すると他のノードよりもバッテリーの消費量が增大する。

4.3 転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法の拡張

上記の手法ではフェリースコアのみで通信先を決定するため、通信先のバッテリー残量が少ない場合でもデータを大量に送信してしまう恐れがある。そのため、通信先を決定する指標をフェリースコアと各ノードのバッテリー残量といった複数の情報を用いることで、特定のノードのバッテリーが早く消費される状況を回避することが可能になるように拡張を行う必要がある。現在は、経路の選択を行うために複数の指標の評価を行う閾値を設定し、全ての指標を評価した上で最も通信先に適したノードを選べるように、各ノード同士が情報を交換する仕組みを検討している。

5. まとめ

本稿では海中の長期観測を目的としたアプリケーションを実現するために、UWSN において各センサーノードの消費電力を抑える手法の検討を行った。

転送経緯を考慮したメッセージフェリー手法は DTN の経路選択手法の一種であるメッセージフェリー手法をもとに提案されたものである。この手法は、各ノードが収集したデータを少数の集約ノードへあらかじめ集約し宛先ノードまで転送することで、通信回数の増加を抑えるための手法である。通信回数の増加を抑え、バッテリー消費量を抑えるために海中のノードに設定するフェリースコアやフェリーノード、集約ノードを UWSN に合わせて適用を行った。海上を移動してデータを収集する船をフェリーノード、海上に配置するノードであるシンクノードを集約ノードとし、フェリースコアは複数存在するシンクノードまでデータを転送するまでにかかる通信回数を表した値とした。

しかしこの手法では各センサーノードのバッテリー残量が考慮されていないため、一部のノードへデータの転送が集中すると他のノードよりもバッテリーの消費量が增大する。そのため今後は、この手法をもとに実環境での各ノードのバッテリー消費量の変化に関する検証や、フェリースコアとバッテリー残量などの複数の指標を用いて通信先を決めるように拡張を行う必要があると考える。現在は複数の指標それぞれの評価を行った上で最も通信先に適したノードを選択する手法を検討している。

参考文献

- [1] 内閣府：総合科学技術・イノベーション会議戦略的イノベーション創造プログラム次世代海洋資源調査技術，（オンライン），入手先 (<https://www.jamstec.go.jp/sip/>), (参照 2019-08-14)。
- [2] Yan, H., Shi, Z. J. and Cui, J. H.: DBR: depth-based routing for underwater sensor networks, *International conference on research in networking*, pp. 72–86 (2008).
- [3] A. Wahid, D. Kim, : An energy efficient localization-free routing protocol for underwater wireless sensor networks, *International Journal of Distributed Sensor Networks*, pp. 1–11 (2012).
- [4] Khasawneh, A., Latiff, M. S. B. A., Kaiwrtiya, O., HassanChizari, : A reliable energy-efficient pressure-based routing protocol for underwater wireless sensor network, *Wireless Networks*, pp. 2061–2075 (2018).
- [5] K. Fall : A Delay-Tolerant Network Architecture for Challenged Internets, *Proc. SIGCOMM '03*, pp. 27–34 (2003).
- [6] W. Zhao, M. Ammar, E. Zegura : A message ferrying approach for data delivery in sparse mobile ad hoc networks, *MobiHoc '04*, pp. 187–198 (2004).
- [7] Liu, L., Zhou, S. and Cui, J.-H.: Prospects and problems of wireless communication for underwater sensor networks, *Proc. Int. Wirel. Commun. Mob. Comput. Conf.* 8, pp. 977–994 (2008).