

水中ワイヤレスセンサネットワークにおける伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリングの提案

浜田 龍平^{†1} 村田 佳洋^{†1}

本稿では、水中ワイヤレスセンサネットワークにおける伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリングの提案を行う。水中では電波による通信が効率的でないため、音響通信が望ましい。そこで我々は、伝搬遅延を考慮した UWSN のための GA を用いたタイムスロットスケジューリング手法を提案する。

Considering the propagation delay time slot scheduling for Underwater Wireless Sensor Networks

RYUHEI HAMADA^{†1} and YOSHIHIRO MURATA^{†1}

In this paper, we propose a time-slot scheduling is performed considering the propagation delay in underwater wireless sensor networks. Because it is not efficient radio communication in the water, acoustic communication is desirable. Therefore, we propose time-slot scheduling method for underwater sensor network(UWSN) considering propagation delay using genetic algorithm.

1. はじめに

近年、農業管理や工業システム、災害感知のための環境観測による情報収集アプリケーションを実現する1つの手段として、ワイヤレスセンサネットワーク(Wireless Sensor Network, 以下 WSN)が注目されている。WSNでは、観測したい環境に安価な多数のセンサノードと呼ばれるものを配置し、それらを無線マルチホップ通信しノードがセンシングによって得

た情報を交換することで大規模な環境観測を実現する研究が行われている。

WSNでは、一般的に電波による通信が用いられる。電波通信における問題の一つとして、伝搬遅延の問題がある。この伝搬遅延の問題を解決するため、PSFQ(Pump Slowly and Fetch Quickly)によるホップバイホップ通信を用いた手法がある¹⁾。これは、TCPがタイムアウトしてしまいデータを確実に伝搬出来ない問題を効率的な符号化を用いることで可能とした手法である。他に、CODA(Congestion Detection and Avoidance)を用いた手法がある²⁾。これは、輻輳によるデータの損失を防ぐためにCODAにおける開ループと閉ループの動作を組み合わせることによって高速な動作と効率的な状態を維持しデータの損失を防ぐ手法である。

また、WSNでは効率的な通信を行うため、時間分割多元接続(TDMA)、周波数分割多元接続(FDMA)、符号分割多元接続(CDMA)など様々なMACプロトコルが提案されている。しかし、水中では帯域幅が制限されているため、周波数分割多元接続(FDMA)および符号分割多元接続(CDMA)は効率的な通信ができない。このため、UWSNでは帯域幅に依存しない時間分割多元接続(TDMA)を利用した研究が盛んである。また、時間分割多元接続(TDMA)では、伝搬遅延が問題とされる。

現在、WSNでは、水中に応用させたUWSN(Underwater Wireless Sensor Network)がある。UWSNのアプリケーション例としては、海洋データの収集、海洋資源調査、汚染調査、海洋生態調査、軍事目的のものがある。これらの海底調査を行うことで、汚染拡散の抑制、火山の爆発を予測、地震の震源の特定などが行える。WSNでは、一般的に電波による通信を行っているが、水中では電波の減衰が著しい。また、利用できる通信帯域幅が限られてくるため、UWSNでは音響による通信が一般的である。

音響による通信では、電波による通信と同様に、干渉や伝搬遅延の問題があり、更には、ドップラー効果が問題とされている。水中における音響通信では、伝搬遅延が著しく、センサノードの受信タイミングが異なる。また伝搬遅延の問題は、通信における輻輳に対しても非常に深刻な問題であり、輻輳制御は非常に困難な問題である。

そこで、本稿ではデータ収集を目的とする水中ワイヤレスセンサネットワーク(UWSN)において、伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリングを提案する。

提案手法では、遺伝的アルゴリズム(GA)を利用することで、伝搬遅延を考慮したより効率的なタイムスロットスケジューリングを行うところに特色がある。

^{†1} 広島市立大学 情報科学研究科 システム工学専攻
Hiroshima City University Graduate School of Information Sciences Department of Systems Engineering

2. 関連研究

WSN の前身には、アメリカの U.C.Berkley の J.M.Kahn らによって開発、発表された SmartDust³⁾ の存在がある。SmartDust は 1 ~ 2 ミリ四方のノードを空中にばら撒き、各々のノードが相互通信することによって、環境情報などを収集するといったコンセプトを持つ。この情報収集の形が現在の WSN の基本型となるものとされている。

現在、WSN の利用には軍事、環境観測などさまざまなアプリケーション先が考えられ、期待されている。例えば、農業用地において、温度センサや湿度センサ、照度センサなどを備えたセンサノードを配置し、データ収集することで、農業用地の管理や生産を支援することが可能となる⁴⁾。また、工業の監視システムにも利用されている⁵⁾。これは、無線監視システムを多数配置することで、産業プロセスに関する情報を集めるものである。大林らは、WSN の現状についてその周辺のハードウェアやソフトウェアに関して調査し、その具体的なアプリケーションを提案している⁶⁾。

具体的なアプリケーションとして、斜面の挙動監視、落石検知、道路構造物の損傷検知などを挙げている。関連して、歴史的建造物を保存するためにその背後の斜面などに実験的に WSN を設置し、その斜面の崩壊を予測する提案をしている⁷⁾。これは、土壌の水分挙動をセンシングすることで斜面の状態を観測するというものである。

現在、WSN は水中に応用され、UWSN として研究がされている。UWSN のアプリケーション例としては、海洋環境観測、海底資源調査などが考えられる。これらの観測により、石油や石炭に代わる新たなエネルギーの発見やレアメタルなどの発見が期待される。しかし、水中では、帯域幅が制限されることや海流の影響、センサノードの汚染・腐食、リアルタイム性などさまざまな問題が挙げられる⁸⁾。

Ian F. Akyildiz らは、UWSN における様々なアプリケーションに対して、効率的なデータ通信のために UWSN のアーキテクチャを提案している⁹⁾。この文献では、海面付近に存在するセンサノードの海流によるセンサノードの移動を問題視している。

Chao Lu らは、UWSN における時刻同期手法を提案している¹⁰⁾。この文献では、UA-TSP と呼ばれる時刻同期手法により伝搬遅延を保証し、シミュレーション実験により通信効率と消費電力がより最適となるような時刻同期を達成している。

また、Li Liu らは、センサノードにあまり移動が見られないようであれば、頻繁な時刻同期が必要でないとし、データ経路生成時間を短縮している¹¹⁾。

X. Che らは、浅い海域での電波通信を用いた時間分割多元接続 (TDMA) を利用した手

法を提案している¹²⁾。この文献では、小規模なネットワークにおいて VLF 技術を利用し、TDMA におけるタイムスロットスケジューリングを提案し、さまざまなネットワークシナリオに対する性能を評価している。

著者の知る限り、UWSN における伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリングの提案は行われていない。

3. 問題定義

3.1 概要

本稿では、海底における環境調査のための UWSN アプリケーションを想定する。海底では、海流の影響も少ないため、設置されたセンサノードが海流によって移動することは考慮しない。また、海底は水平なものとし、海嶺や海溝などの音響通信を妨げる障害物がないものとする。この海底のフィールドに散布された各センサノードは周辺の温度などの環境データを周期的に計測し、計測したデータを無線マルチホップ通信によって近隣のセンサノードへと送る。

3.2 仮定

UWSN におけるセンサはすべてネットワーク上のノードであるとみなす。各センサはセンシングを行い情報を収集する。ここで、UWSN における全てのセンサノードの集合を、 $S = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_n\}$ とし、各センサノードには位置 $s.pos$ が与えられる。センサノードは、音波によって通信を行うことが可能であり、その音波の最大通信距離は $R[m]$ である。また、センサノードのセンシングデータ量は $D[bit]$ とし、通信伝搬速度は $V[m/s]$ 、単位時間あたりのデータ送信量は $B[bps]$ である。これらを入力に対し、タイムスロット数を最小化するようなタイムスロットスケジューリングを求めることを目的とする。なお、タイムスロット 1 つの大きさを $t[ms]$ とする。センサノードの通信スケジューリングのために、1 つが $t[ms]$ の大きさのタイムスロットを用いる図 2。あるタイムスロットでノードがデータを送信すると、最大通信距離内にあるノードには、お互いの距離と通信伝搬速度に応じて遅延したタイミングで届き、そのノードのタイムスロットに割り当てられる。このとき、複数のノードからの信号が同一のタイムスロットに割り当てられると、通信の輻輳を起こすとする。本稿では、全ノードのデータ送信タイミングをタイムスロット上でスケジューリングする問題を取り扱う。輻輳が起こらず、タイムスロット数を最小化するようなスケジューリングを求めることが本問題の目的である。

3.3 インスタンスの例

ここでは、センサノード4つのインスタンスの具体例を示し、本問題について解説する。図1に示すような配置のセンサノード s_1, s_2, s_3 を考える。各ノード s_1, s_2, s_3 には、位置 $s_1.pos, s_2.pos, s_3.pos$ が与えられており、ノード S_1 と S_2 の距離は150m、ノード S_2 と S_3 の距離は50m、ノード S_4 と S_4 の距離は100m、ノード S_3 と S_4 は50mとする。また、センシングデータ D は128bit、最大通信距離 R は150m。また、タイムスロットは100ms毎に割り当てる。通信伝搬速度は、 $V = 1,500[m/s]$ とする。このインスタンスに対して、図2に示すようなタイムスロットスケジュールを与えることが出来る。この例では、タイムスロット数が10である。この数を最小化する様なデータ送信スケジュールを求めることが本問題の目的である。タイムスロットスケジュールは、優先度の高いノード2から順に輻輳が発生しないようにスケジューリングされる。

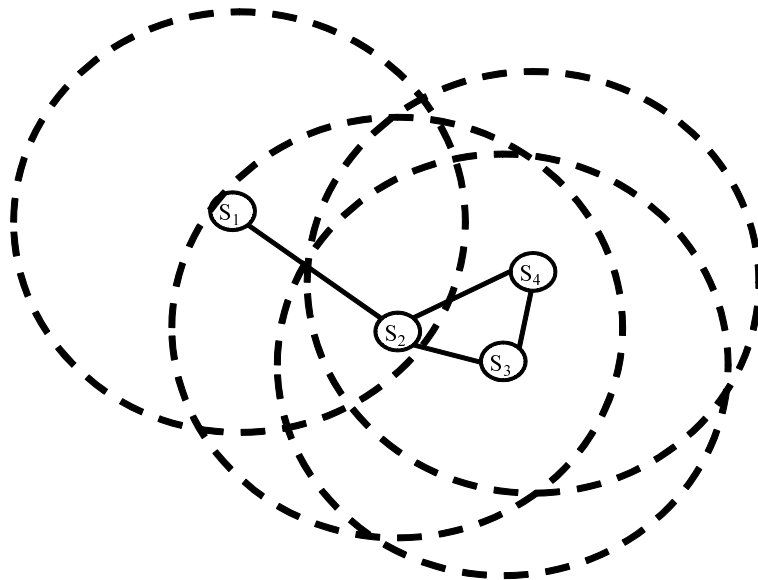


図1 ノードの配置図

タイムスロット数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
S_1	S_1			S_2								
S_2	S_2			S_1			S_4		S_3			
S_3		S_2				S_4		S_3				
S_4			S_2		S_4				S_3			

図2 タイムスロット割り当ての例

4. 提案手法

本章では提案手法である、水中ワイヤレスセンサネットワークのための伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリング手法について述べる。提案手法では、図3のようにセンサごとに優先度を付け、その優先度に基づきタイムスロットを割り当てる。図2は、図3の優先度に基づいて割り当てられたタイムスロットスケジュールである。まず、タイムスロット1にノード2(優先度1)がデータ送信を始める。ノード4(優先度2)がタイムスロット1からデータ送信を始めると輻輳を起こすため、輻輳を起こさない最速のタイミングであるタイムスロット5からデータ送信を始める。同様に優先度順に、最後のノードまでタイムスロットを割り当てる。この優先度は、巡回セールスマン問題の解法と同様の方法を用いてGAで求める。タイムスロットの割り当ては、図2のように優先度順に輻輳を起こさない最も早いタイムスロットを割り当てる。このように、センサノードに対して優先度を順序をつけることで、タイムスロットスケジュールを一意に決定することができる。提案手法では、この順序を遺伝的アルゴリズムを用いて決定する。これは、巡回セールスマン問題において巡回する利準を順序付けることと似ているため、同様の交叉・突然変異を用いることが出来る。

ノード番号	S_1	S_2	S_3	S_4
優先度	4	1	3	2

図3 ノードの優先度

5. おわりに

本稿では、データ収集を目的とする水中ワイヤレスセンサネットワーク (UWSN) において、伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリングを提案した。提案手法の特徴は、遺伝的アルゴリズム (GA) を利用して、ノードの優先順位を決定し、伝搬遅延を考慮したタイムスロットスケジューリングを行う点である。

今後の課題としては、提案手法を実装して、シミュレーションによる実験を行うことが挙げられる。ここでは、タイムスロットの大きさの影響、ノード数や位置関係の影響について調査する予定である。また、基地局にデータを収集する様なデータ収集木を考慮し、これに対するタイムスロットスケジューリングを行うこと、遅延時間の不連続性がタイムスロット方式と相性が悪いいため、タイムスロットを用いない方法への拡張などがあげられる。

参 考 文 献

- 1) C.-Y.Wan, A.T.Campbell, and L.Krishnamurthy,PSFQ: “A Reliable Transport Protocol for Wireless Sensor Networks.”, In WSN, 2002.
- 2) C.-Y.Wan, S.B.Eisenman,and A.T.Campbell, “CODA: Congestion Detection and Avoidance in Sensor Networks.”, In ACM SenSys, 2003.
- 3) B.Warneke, M.Last, B.Liebowitz, and K.S.J.Pister, “Smart Dust: Communicating with a Cubic-Millimeter Computer.”, IEEE Computer, pp 44–51, 2001.
- 4) クロスボー株式会社製品カタログ <http://www.xbow.jp/motecatalog.pdf> .
- 5) Sam Lucero, “産業オートメーションの無線センサーネットワーク (WSN):監視と管理アプリケーションの市場.”, ABI Research, 2007.
- 6) 大林成行, “アドホックタイプのセンサネットワークを導入した空間データの新しい収集・管理・提供方法の開発.”, 財団法人 日本建設情報総合センター (JACIC) 研究助成事業報告書, 2005.
- 7) 平井一弘, 里見知昭, 酒匂一成, 深川良一, “無線センサネットワークの斜面防災への適用に関する実験的研究.”, 歴史都市防災論文集 Vol.3, pp.99–104, (2009).
- 8) Jun-Hong Cui,Jiejun Kong,Mario Gerla,Shengli Zhou, “Challenges: Building Scalable Mobile Underwater Wireless Sensor Networks for Aquatic Applications.”, UCONN CSE tech. repo. UbiNET-TR05-02, 2005.
- 9) I.F.Akyildiz, D.Pompili,and T.Melodia,“Challenges for EfficientCommunication in Underwater Acoustic Sensor Networks.”,ACM SIGBED Review, Vol. 1(1), 2004.
- 10) C.Lu, S.Wang and M.Tan, “A time synchronization method for Underwater Wireless Sensor Networks.”,Control and Decision Conference IEEE,pp.4305–4310,2009.
- 11) L.Liu, “Time Synchronization of Underwater Wireless Sensor Networks.”,

[http://www.intechopen.com/source/pdfs/12456/InTech-Time synchronization of underwater wireless sensor networks.pdf](http://www.intechopen.com/source/pdfs/12456/InTech-Time_synchronization_of_underwater_wireless_sensor_networks.pdf).

- 12) X. Che et al., “Frame Design for a Prototype Underwater RF Electromagnetic Communication Sensor System.”, ASTEC Internal Publications, <http://www.fishnetz.co.uk/Publications.html>.