

牡蠣養殖における育苗を支援する無線マルチホップネットワーク

山本 郷平[†] ガジェゴスラモネト アルベルト^{††} 辻 明典^{††} 木下 和彦^{††}

^{† ††} 徳島大学 〒770-8506 徳島県徳島市南常三島町 2-1

E-mail: [†]c612335046@tokushima-u.ac.jp, ^{††}{alramonet,a-tsuji,kazuhiko}@is.tokushima-u.ac.jp

あらまし 本研究では、牡蠣養殖において水質や温湿度をリアルタイムに管理しながら給餌量を調整する育苗施設内に各種センサを導入し、自動的に各データを収集するシステムについて検討する。具体的には、設置運用の容易性を考慮して、センサと通信モジュールを一体化したノードによって無線マルチホップネットワークを構築する。しかし水中において電波は大幅に減衰するため、実機実験によって実現可能性を示した。

キーワード ZigBee, 無線マルチホップネットワーク, IEEE802.15.4, 牡蠣養殖, IoT

Wireless Multi-hop Network to Support Seedling Cultivation in Oyster Farming

Kyohei YAMAMOTO[†], Alberto GALLEGOS RAMONET^{††}, Akinori TSUJI^{††}, and Kazuhiko
KINOSHITA^{††}

^{† ††}Tokushima University 2-1 Minami-josanjima, Tokushima, Tokushima 770-8506, Japan

E-mail: [†]c612335046@tokushima-u.ac.jp, ^{††}{alramonet,a-tsuji,kazuhiko}@is.tokushima-u.ac.jp

Abstract In this study, we introduce sensors and communication modules into oyster farming facilities where water quality, temperature and humidity are managed in real time while adjusting feeding amounts, and propose a system that automatically collects each data. Specifically, we build a wireless multi-hop network consisting of nodes that integrate sensors and communication modules, and confirm its feasibility even in a water tank via experiments.

Key words ZigBee, wireless multi-hop network, IEEE802.15.4, oyster farm, IoT

1. 序 論

近年、農林水産業における IoT 技術の活用が進んでいる。本研究では、牡蠣養殖において水質や温湿度をリアルタイムに管理しながら給餌量を調整して稚貝を育てる施設内にセンサと通信モジュールを導入し、自動的に各データを収集するシステムについて検討する。このとき、センサと通信モジュールを有線で接続すると、牡蠣に当たらないような設置や経年劣化による頻繁な交換などの問題が発生するため、これらを一体化して水中に沈められることが望ましいが、電源が小型のバッテリーに限定されることと、水中での電波減衰が大きいことに注意する必要がある。

2. 関連研究

農林水産業における IoT の活用事例として、[1] では、5G と水中ドローンを活用することで、養殖場の状況を把握し、生産性を向上させた。しかし、5G は高コストである上に消費電力が大きく小型バッテリーを使用する本研究に適用することはでき

ない。

[2], [3] では、水槽中に設置してある水質センサのデータを Wi-Fi 経由で収集し、リアルタイムでモニタリングしている。通信モジュールは地上に設置してあり、水中にあるセンサにはケーブルで電力を供給している。しかし、Wi-Fi も消費電力が大きいため適用することはできない。

[4] では、太陽光発電と商用電力を組み合わせた電力供給システムと ZigBee を用いてスマート灌漑システムを開発し、リアルタイムな土壌水分センサデータに基づいた自動制御によって、生産性を向上させた。

ZigBee は低消費電力であるため、本研究での利用に適しているが、水中で使用した例が少ない。IEEE 802.11 を使用して水中での無線通信の性能評価を行った論文 [5] では、淡水中に 2 台のアンテナを入れて水中通信の状態を監視し、特に温度と通信距離可能の関係性を明らかにしている。ZigBee は IEEE 802.11 と同じ 2.4GHz 帯で動作するため減衰の程度は同等と考えられるが、より送信電力が小さいため実際の通信可能距離は短い。しかし、水槽から外までなら届く可能性がある。そのた

め、予備実験を行った上で牡蠣養殖支援への適用を考える。

3. 予備実験

3.1 実験環境

この予備実験は、水中からの通信可能範囲を定量的に測定することが目的である。そのために水以外の障害物がない環境を用意した。通信モジュールとして入手簡易な MONOS-TICK(JN5169) [6] を採用し、Raspberry Pi 及びバッテリーと一体化したものをノードとする。そのノードを2つ用意して、1つを End device、もう1つを Coordinator として動作させるようにした。

Raspberry Pi で実際のセンサデータと同じ形式のダミーデータを生成するようにした。具体的には、図1に示すように、センサの種類を1byteで表す Sensor Number, 何番目のデータであるのかを1byteで表す Packet Handle, センサデータを2bytesで表す Sensor Data, を Raspberry Pi から同じ End device 内の JN5169 へ UART 通信で送信した。

Sensor Number	Packet Handle	Sensor Data
(1byte)	(1byte)	(2bytes)

図1: 無線通信で使用するデータ構造

そして、Raspberry Pi からデータを受信した JN5169 は、ZigBee を用いて Coordinator へ送信するようにした。

目的地である Coordinator に End device からセンサデータが届くと、どの通信モジュールから受信したのかを表す Short Address, 電波通信品質を示す LQI [6] をパケットに付与して、USB 接続で接続されている PC に UART 通信で送信した。LQI とは電波通信品質を示す値であり、0 から 255 までの数値で表される。評価区分として、50 未満が悪い、50~100 がやや悪い、100~150 が良好、150 以上はアンテナの近傍である。図2の破線で囲んでいる部分が追加箇所である。

Sensor Number	Packet Handle	Short Address	LQI	Sensor Data
(1byte)	(1byte)	(2bytes)	(1byte)	(2bytes)

図2: UART 通信で使用するデータ構造

そして、Coordinator で受信したパケットの内容を PC の画面上で表示させるプログラムを構築した。図3に予備実験でのネットワーク全体のデータの流れを示す。

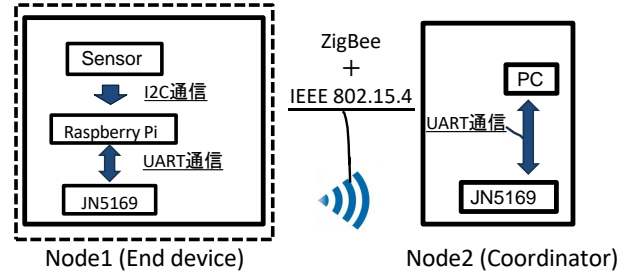


図3: 予備実験でのネットワーク全体のデータの流れ

3.2 実験結果

始めに見通しの良い場所で、Coordinator と End device との距離を変化させて通信評価を行った。図4の x が変化させた距離である。また、JN5169 の電波の指向性より、End device は Coordinator のある方向を向いているように配置した。

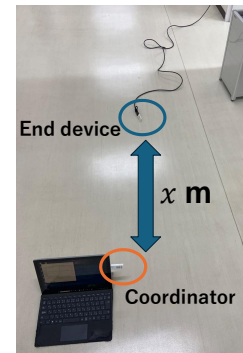


図4: 障害物のない見通しの良い場合

次に、End device としての1つのノードを図5, 6に示すようにいずれの方向にも0.05m以上の水中伝播距離があるように水槽に沈め、水に入っていない Coordinator へデータを送信させた。

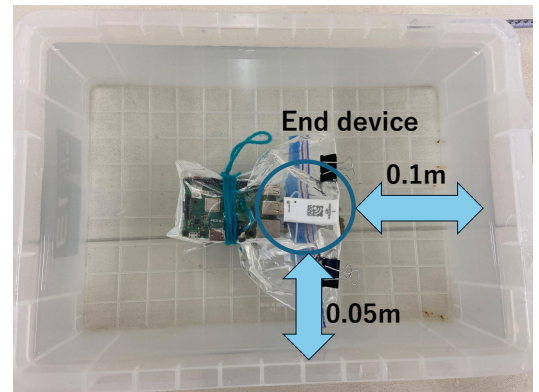


図5: End device を水に沈めた場合 (上から)

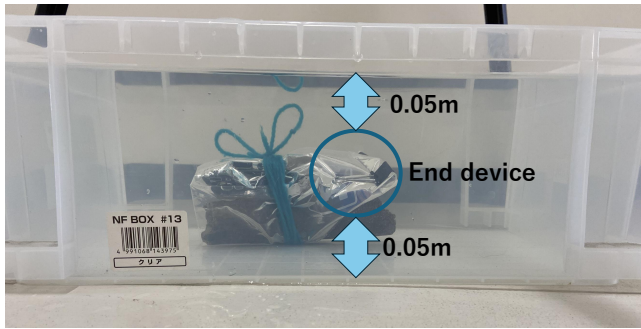


図 6: End device を水に沈めた場合 (横から)

図 7 は Coordinator も含めた全体的な様子である。水槽から Coordinator までの距離 x を変化させて実験を行った。

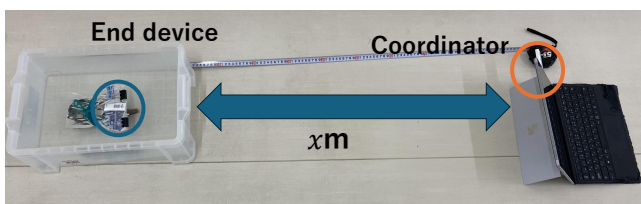


図 7: 全体図

最後に、ノードを 2 つとも水中に投下した場合の通信品質評価を行った。図 8 に示すように、水槽間の距離 x を変化させ、End device から Coordinator へとデータを送信した。

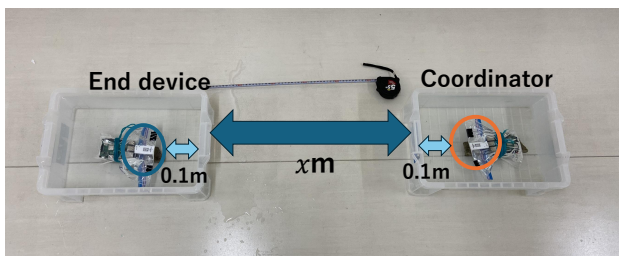


図 8: 2 つのノードを水に沈めた場合

図 9 が通信評価結果である。縦軸は LQI 値と変換式 (1) で受信信号強度に変換した値 P を示し、横軸はメートル単位の水槽からの距離を表す。

$$P = \frac{7 \times LQI - 1970}{20} \quad [\text{dBm}] \quad (1)$$

赤色のグラフが“見通しの良い場所での通信評価”，青色のグラフが“1 つのノードだけを水中に投下した場合の通信評価”，紫色のグラフが“2 つのノードとも水中に投下した場合の通信品質評価”，を示している。10 パケットを送受信しその平均値

が 1 つのプロットであり，更にそれを各距離 10 回測定した平均値を結んでいる。青色で示した“1 つのノードだけを水中に投下した場合の通信評価”では，6m の距離で Coordinator にデータが届かず，LQI 値を 0 としてそれ以降の距離は測定していない。紫色で示している“2 つのノードとも水中に投下した場合の通信品質評価”の 1m 以降も同様である。グラフより，水中から 5.5m までは通信可能だということが確認された。さらに水中に投下したノード間では，0.75m まで通信可能範囲ということも確認できた。

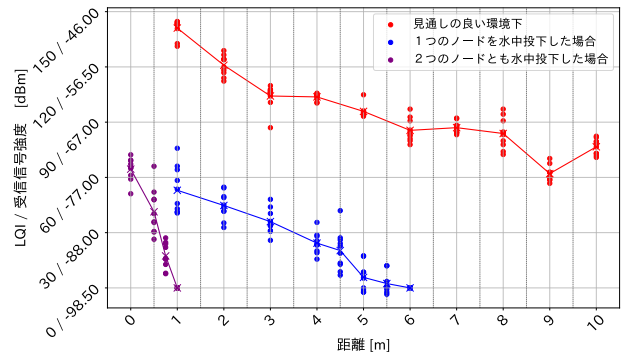


図 9: 2 つのノード間での通信評価

次に，図 10 に各実験でのパケットロス率を示す。

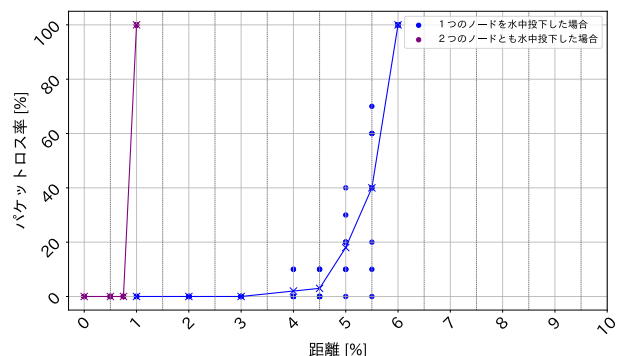


図 10: パケットロス率

“1 つのノードを水中に投下した場合”の実験では，5.5m まで通信可能距離であったが，約 20% のパケットロス率が発生しており，6m 地点ではパケットロス率が 100% になった。また，“見通しの良い場所での通信評価”である実験では，パケットロスが発生しなかったため，グラフに示していない。

4. 提案システム

予備実験の結果を踏まえて，図 11 に示すように，Router を End device と Coordinator の間に設置することで，5.5m より離れた End device と Coordinator 間でも通信できるようにするネットワークを提案する。センシングしたデータは 1 つのバスで複数のデバイスと接続でき多種のセンサを簡単に追加可能な I2C 通信で Raspberry Pi に送信され，1 対 1 対応でノイズに強く信号がより安定しやすい UART 通信で JN5169 に送信される。そこからの JN5169 の間の通信には ZigBee が使用さ

れる．Coordinator に届いたデータは UART 通信で送信され、モニタで確認できる．

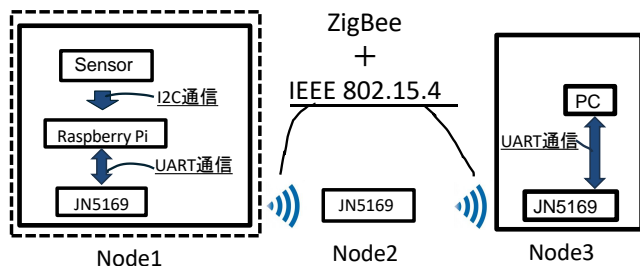


図 11: ネットワーク全体のデータの流れ

次に、提案したシステムを実際に構築した．実験環境を図 12 に示す．E, R, C はそれぞれ、水中に沈めた End device, 水中に沈めていない Router, 水に沈めていない Coordinator を表している．Router と Coordinator の距離 x を変化させて通信評価を行った．End device と Router との距離 0.5m は本研究では固定にする．図 11 と関連付けると Node1 が End device, Node2 が Router, Node3 が Coordinator である．

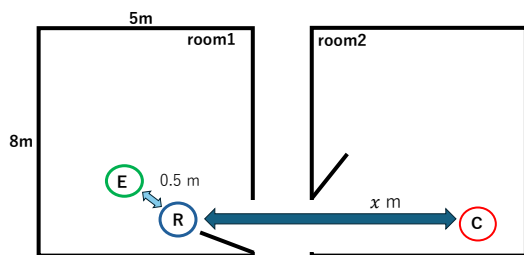


図 12: 構築した無線マルチホップネットワーク

実験結果として、距離 x を 6m から 10m に変化させても、パケットロスなく通信可能であった．予備実験では、通信可能最大距離の 5.5m でパケットロス率が 20% 発生していたため、この提案システムでの実験により、無線マルチホップネットワークの有効性を示すことができた．

5. ま と め

本研究では、牡蠣の稚貝を育てる陸上の養殖施設において、無線通信を用いて水質などのセンサデータを自動的に収集するシステムについて検討した．センサと通信モジュールを一体化することで、配線のスペース確保や劣化による交換作業を削減する．そこで、ZigBee を用いた無線マルチホップネットワークの構築を検討し、水中から通信可能範囲を測定した．結果、無線で接続されている 2 つのノードの内 1 つを水中に投下した場合 5.5m まで、2 つのノードとも沈めた場合は 0.75m まで、無線通信可能ということを明らかにした．そして、Router を介した無線マルチホップネットワークを構築することによって、水中に沈めていないノード間における通信の LQI 値と同等の値で、パケットロスなく送信可能にした．

今後は実際に牡蠣の養殖場で実験を行い、数多くの水槽と床の浸水による湿度の影響、微生物や餌が入った海水による影響、

長期間の養殖場で得たデータによる信頼性、などに関する情報を得る予定である．

文 献

- [1] NTT ドコモ, “5G と水中ドローンを活用した漁場遠隔監視の実証実験に成功,” Nov. 2019, https://www.docomo.ne.jp/binary/pdf/corporate/technology/rd/topics/2019/topics_191127_00.pdf.
- [2] A. Machado, J. S. Pinto, and R. Rocha, “Biodepura: bi-valve depuration methodologies adapted to the physiological needs,” 2021, 10th Euro-American Conference on Telematics and Information Systems (EATIS '20), 2021.
- [3] N. Ya'acob, N. N. S. N. Dzulkefli, A. L. Yusof, M. Kassim, N. F. Naim, and S. S. M. Aris, “Water quality monitoring system for fisheries using internet of things (iot),” IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 1176, no. 1, p. 012016, August 2021.
- [4] A. Sagala, J. R. Sitompul, J. L. Hutaeruk, and R. Sitorus, “Smart farming-drip irrigation controlled using Ir-wpan with hybrid power,” Jurnal Sistem Informasi dan Ilmu Komputer Prima (JUSIKOM PRIMA), vol. 5, no. 2, pp. 135–140, 2022.
- [5] S. Sendra Compte, “Deployment of efficient wireless sensor nodes for monitoring in rural, indoor and underwater environments,” Ph.D. dissertation, Editorial Universitat Politècnica de València, 2013.
- [6] Mono Wireless Inc., “MONOSTICK,” <https://www.mono-wireless.com/jp/products/MoNoStick/>.