

令和 2 年 4 月 2 日現在

機関番号：34419

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16K00146

研究課題名（和文）水棲生物モニタリングのためのセンサ情報収集手法の開発

研究課題名（英文）Development of methods for gathering sensor data for fish farm monitoring

研究代表者

谷口 義明（Taniguchi, Yoshiaki）

近畿大学・理工学部・准教授

研究者番号：50532579

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000 円

研究成果の概要（和文）：近年、センサネットワーク技術、IoT（Internet of Things）技術の第一次産業への応用が注目されている。本研究課題では、養殖場における養殖効率向上のために養殖魚に装着したセンサから得られる情報を遠隔から収集するモニタリングシステムを対象として、新たなセンサ情報収集手法を開発した。具体的には、通信媒体として音波を用いる場合に、端末から基地局ヘシングルホップでデータを収集する手法、他の端末を介してマルチホップでデータを収集する手法を開発した。また、通信媒体として可視光通信を用いる場合のデータ収集手法も開発した。いずれも主にシミュレーションによる評価を行い有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で想定する生簀環境では、限られた領域中に大量の端末が3次元状に移動するため、学術的に特色がある。また、本研究課題で想定する技術が確立されれば、畜産業で実施されているのと同様に養殖魚の個体の品質管理が実現できるようになり、養殖効率の向上、天然資源の保護など大きな波及効果が期待される。

研究成果の概要（英文）：In recent years, application of sensor network technology and IoT (Internet of Things) technology to primary industries has attracted attention. In this research project, we developed a new sensor information gathering method for a monitoring system that remotely collects information obtained from sensor nodes attached to farmed fish. Specifically, we developed a method to collect data from a node to a base station in a single-hop manner and that in a multi-hop manner when ultra sound waves are assumed as a communication medium. We have also developed a data gathering method when visible light is assumed as a communication medium. In each case, the effectiveness was confirmed mainly by simulation.

研究分野：情報ネットワーク

キーワード：センサネットワーク 情報収集 水中通信 DTN MAC ルーティング 養殖支援

## 1．研究開始当初の背景

近年、センサネットワーク技術、IoT (Internet of Things) 技術の第一次産業への応用が注目されている。特に無線通信技術の標準化、無線通信機器やセンサの小型化、低価格化を背景に、単価の高い家畜の品質・健康管理や、農場等における環境モニタリングへの応用が盛んに検討されている。一方、地上の技術と比べると発展途上であるものの、水中無線通信技術、魚に装着できるような小型水中センサ技術の研究開発も近年注目を集めている。例えば、バイオロギングの研究分野では、マグロの腹内にセンサを挿入し、移動軌跡や体内温度を取得するような研究が行われている。一般に水中においては電波の減衰が大きいことから、地上の無線技術をそのまま用いることができず、超音波を用いた通信モジュールが使われる。現状、魚に装着するセンサや水中通信機器は高価であるが、将来的には低価格化、小型化が進むと予想される。

本研究課題では、商品価値の高い養殖魚にセンサを装着し品質や養殖効率の向上を行う、あるいは水族館等における貴重な水棲生物にセンサを装着し健康管理を行うといったセンサネットワークアプリケーションを想定する。特に、申請者の所属する近畿大学のマグロ養殖場におけるモニタリングを具体的なアプリケーションとして想定する（図1）。マグロは単価の高い魚であるが、効率の良い養殖技術が発展途上であり、出荷可能な大きさになるまでの生存率が他の魚種と比較して極めて低い。そのため、魚に付けたセンサから得られる情報や、水中ロボット等で計測した水質データ等を収集、分析するとともに、病気のマグロを特定し薬の投与あるいは処分を行う、水質の良い領域に生簀を移動する、等の適切な対応をとることが養殖効率を高める上で重要となると考えられる。

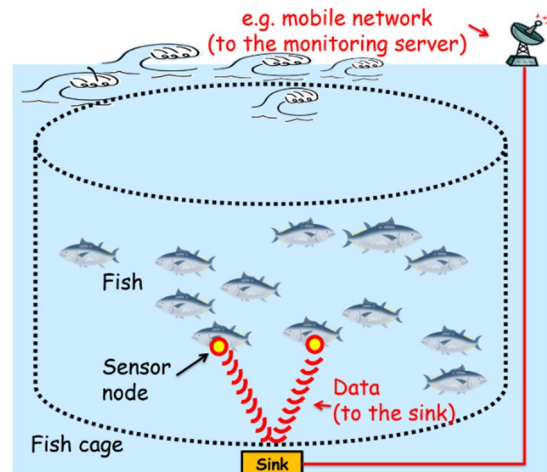


図1. 想定する養殖魚モニタリング環境

このような養殖場モニタリングは、従来の水中センサネットワーク分野やバイオロギング分野の研究と比較して特徴的な点がある。まず、本システムにおいては、比較的狭い限られた領域中を、非常に多くの密集した端末が、3次元状かつ高速に移動する。また、養殖魚に取り付けたセンサは出荷されるまでの数年単位で稼働することが望ましく省電力制御が極めて重要となる。そのため、このような養殖場のための新たなセンサ情報収集方式の開発が必要となる。

## 2．研究の目的

本研究課題では、このような水棲生物モニタリングアプリケーションにおいて、特に、生簀内の魚に取り付けたセンサ端末からのセンサ情報収集に着目した研究開発を行う。対象とする魚種や環境、アプリケーション等によって採用可能な通信技術がさまざまに異なると考えられる。そのため、本研究課題では、音響通信を用いる場合、可視光通信を用いる場合などいくつかの状況を想定した情報収集手法を検討する。

## 3．研究の方法

本研究課題では大きく4つの状況を想定し、4つの情報収集手法を検討した。

### (1) 音響通信を用いた情報収集手法（シングルホップ環境、制御パケットあり）

まず、音響通信を用いたシングルホップ環境下において魚に取り付けたセンサ端末からシンク端末に直接情報を転送可能な場合の提案を行った。提案手法は、自己組織型のスケジューリング手法である DESYNC を拡張している。提案手法では、端末はデータパケットを、シンク端末は ACK パケットを送信するだけで、追加の制御情報や制御パケットなしに端末間のパケット送信タイミングの分散化が行われる。また、端末は自身が通信に関与しない期間、スリープ制御を行うことにより消費電力を軽減する。さらに、パルス結合振動子モデルに基づく制御により、養殖魚の死亡や生簀の統合による端末数の増減などの環境変動に自律的に適応できる。

### (2) 音響通信を用いた情報収集手法（シングルホップ環境、制御パケットなし）

端末のコストや消費電力等の観点からは、RTS/CTS や ACK などの制御パケットを用いることなく情報を収集できると有用であると考えられる。そこで、制御パケットを用いることなく情報を収集する手法を提案した。提案手法では、端末は生簀内の自分の位置に基づいて自身のセンサ情報を送信するタイミングを決定する。他の端末のパケット送信を検知しにくい端末から順にパケットを送信することにより、複数の端末間のパケット衝突によるデータ受信失敗を抑える。具体

的には、通信範囲の体積が大きい端末ほど他の端末のパケット送信を検出しにくくなることを利用している。

### (3) 音響通信を用いた情報収集手法（マルチホップ環境）

一方、魚に取り付けたセンサ端末の通信距離が十分でなく、センサ端末からシンク端末に直接情報を送信できない状況が考えられる。そこで、ある程度群れを成して移動する魚を想定し、他の養殖魚に取り付けられたセンサ端末を介してマルチホップでシンク端末へ情報を転送する手法を提案した。提案手法では、まず、クラスタリングを行いクラスタヘッドにセンサ情報を集める。その後、クラスタヘッド間の DTN ルーティングにより情報をシンク端末に収集する。

### (4) 可視光通信を用いた情報収集手法

収集するセンサ情報が極めて小さく、また、端末に受信機能が不要な場合は、可視光通信が有用であると考えられる。そこで、センサ情報をフルカラーLEDの明滅により送信し、その情報を生簀に設置した全方位カメラで撮影することにより情報の収集を行う方式を提案した。提案手法においてはカメラの画素数が多数あるため、同時に複数のLEDからのデータの受信をすることも可能である。

## 4. 研究成果

それぞれの手法について主にシミュレーションにより評価を行った。

### (1) 音響通信を用いた情報収集手法（シングルホップ環境、制御パケットあり）

シミュレーション評価により、提案手法が端末の追加や削除などの変動に適応すること、既存の手法と比較して低消費電力、高情報収集率を達成できることを確認した（図2）。得られた成果は学術論文誌に掲載された[1]。

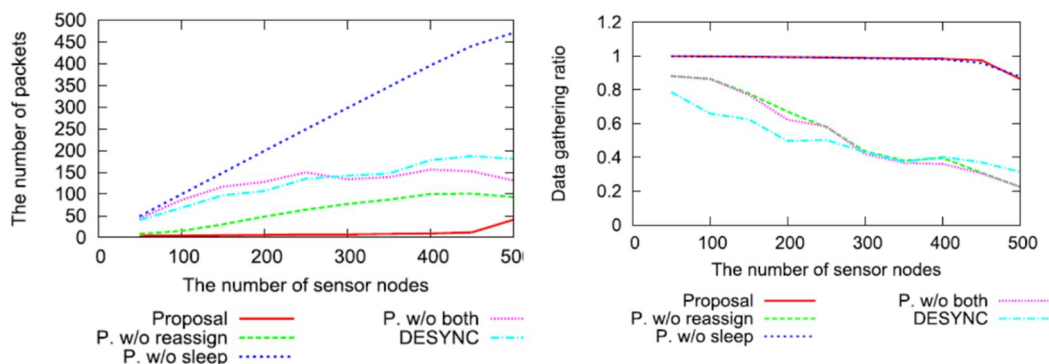


図2. 手法(1)の比較評価結果 [1]

### (2) 音響通信を用いた情報収集手法（シングルホップ環境、制御パケットなし）

NS-3 シミュレータを用いたシミュレーションにより、提案手法を用いた場合の消費電力や情報収集性能の有効性を示した（図3）。得られた成果は学術論文誌に掲載された[2]。

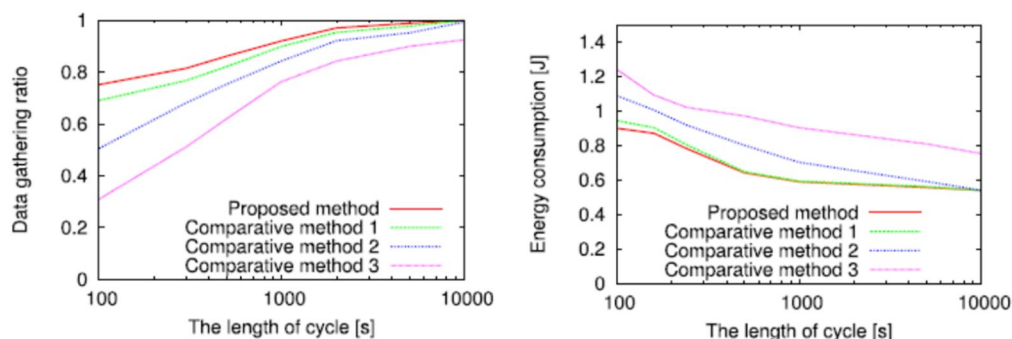


図2. 手法(2)の比較評価結果 [2]

### (3) 音響通信を用いた情報収集手法（マルチホップ環境）

シミュレーションにより Epidemic Routing や Spray and Wait のような既存手法と比較して、提案手法が、消費電力、情報収集遅延共に改善されることを確認した（図 3）。得られた成果は学術論文誌に掲載された[3]。また、マルチホップによる情報伝送を可視化するための GUI シミュレータを開発した（図 4）。

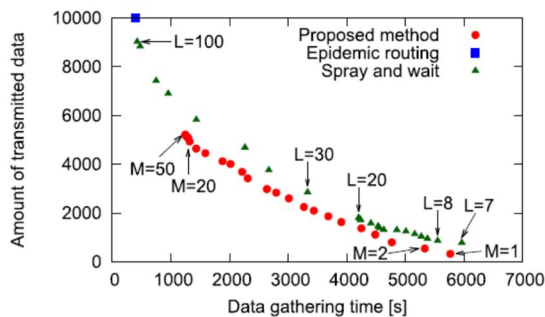


図 3. 手法(3)の比較評価結果 [3]

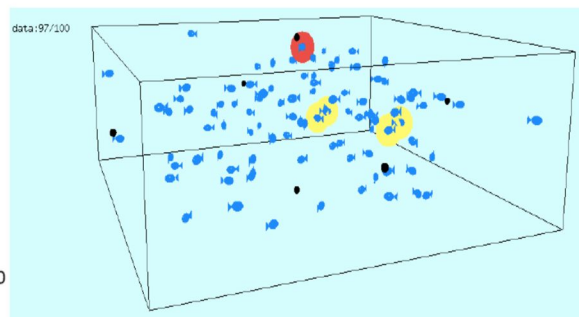


図 4. 開発した GUI シミュレータ

### (4) 可視光通信を用いた情報収集手法

可視光通信においては他の魚による LED 光の遮断の影響が大きいと考えられる。そのため、生簀中の養殖魚のサイズを様々に変化させた場合の可視光通信方式の基礎性能をシミュレーションにより調査した（図 5）。得られた萌芽的な成果は学術論文誌に掲載された[4]。また、実際に可視光通信を行うための通信モジュールを試作し、屋内で評価を行うためのドローンを用いた模擬的な生簀環境の再現環境の開発を行った。これらについては、続くプロジェクトにおいて継続して開発、評価することを予定している。

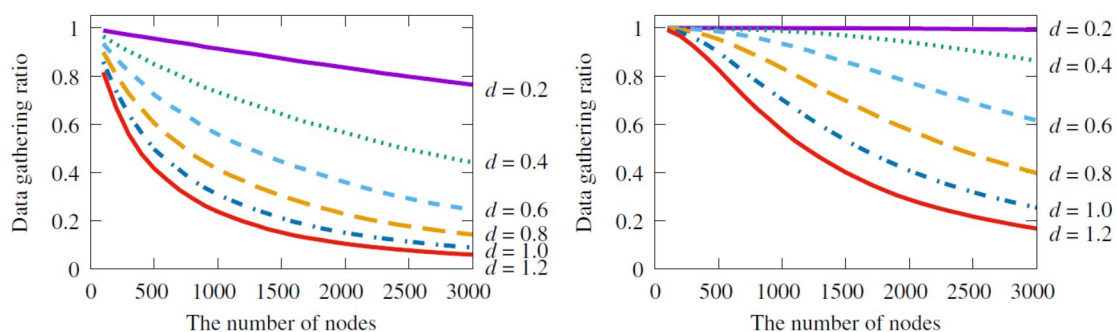


図 5. 手法(4)の基礎評価結果（カメラが 1 台の場合と 4 台の場合） [4]

### （参考文献）

- [1] Yoshiaki Taniguchi, "A desynchronization-based data gathering mechanism for a fish farm monitoring environment," IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, vol.E100-A, no.11, pp.2547-2550, Nov. 2017.
- [2] Koichi Ishida, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi, "A method for gathering sensor data for fish-farm monitoring considering the transmission-range volume," IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E101-D, no.3, pp.808-811, Mar. 2018.
- [3] Koichi Ishida, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi, "A routing method for fish farm monitoring under short transmission range condition," IEICE Transactions on Information and Systems, vol.E101-D, no.8, pp.2415-2419, Aug. 2018.
- [4] Yoshiaki Taniguchi, "A system for monitoring farmed fish via LED-based visible light communication," IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, vol.14, no.11, pp.1725-1726, Nov. 2019.



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 6件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 4件）

|   |                         |
|---|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Koichi Ishida, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi                                  | 4. 巻<br>E101-D          |
| 2. 論文標題<br>A routing method for fish farm monitoring under short transmission range condition | 5. 発行年<br>2018年         |
| 3. 雑誌名<br>IEICE Transactions on Information and Systems                                       | 6. 最初と最後の頁<br>2415-2419 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1587/transinf.2018EDL8038                                       | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）   | 国際共著<br>-               |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Yoshiaki Taniguchi   | 4. 巻<br>E100-A          |
| 2. 論文標題<br>A desynchronization-based data gathering mechanism for a fish farm monitoring environment | 5. 発行年<br>2017年         |
| 3. 雑誌名<br>IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences    | 6. 最初と最後の頁<br>2547-2550 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1587/transfun.E100.A.2547  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-               |

|  |                       |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Koichi Ishida, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi   | 4. 巻<br>E101-D        |
| 2. 論文標題<br>A method for gathering sensor data for fish-farm monitoring considering the transmission-range volume | 5. 発行年<br>2018年       |
| 3. 雑誌名<br>IEICE Transactions on Information and Systems  | 6. 最初と最後の頁<br>808-811 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>10.1587/transinf.2017EDL8189  | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-             |

|  |                   |
|--|-------------------|
| 1. 著者名<br>Yoshiaki Taniguchi   | 4. 巻<br>17        |
| 2. 論文標題<br>Experimental evaluation of the effect of turbidity on the performance of visible light communication in an underwater environment | 5. 発行年<br>2016年   |
| 3. 雑誌名<br>International Journal of Simulation: Systems, Science & Technology   | 6. 最初と最後の頁<br>1-4 |
| 掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）<br>なし  | 査読の有無<br>有        |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている（また、その予定である）  | 国際共著<br>-         |

|  |                         |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名<br>Taniguchi Yoshiaki   | 4. 巻<br>14              |
| 2. 論文標題<br>A system for monitoring farmed fish via LED based visible light communication | 5. 発行年<br>2019年         |
| 3. 雑誌名<br>IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering                     | 6. 最初と最後の頁<br>1725-1726 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.1002/tee.22996  | 査読の有無<br>有              |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難   | 国際共著<br>-               |

|   |                       |
|---|-----------------------|
| 1. 著者名<br>Yoshiaki Taniguchi, Kansei Oki  | 4. 巻<br>15            |
| 2. 論文標題<br>Simulation study of fish counting by multiple scanning sonars in a fish farm | 5. 発行年<br>2020年       |
| 3. 雑誌名<br>Journal of Communications   | 6. 最初と最後の頁<br>164-170 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)<br>10.12720/jcm.15.2.164-170                                   | 査読の有無<br>有            |
| オープンアクセス<br>オープンアクセスとしている (また、その予定である)  | 国際共著<br>-             |

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件)

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Koichi Ishida, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi  |
| 2. 発表標題<br>A method for gathering sensor data from farmed fish under limited transmission range condition  |
| 3. 学会等名<br>The 4th Asia-Pacific World Congress on Computer Science and Engineering (APWConCSE 2017) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2017年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>首藤誠陽, 石田晃一, 谷口義明                         |
| 2. 発表標題<br>養殖魚モニタリング環境におけるDTN ルーティング手法を用いた情報収集の基礎評価 |
| 3. 学会等名<br>平成29年電気関係学会関西連合大会                        |
| 4. 発表年<br>2017年                                     |

|                                  |
|----------------------------------|
| 1．発表者名<br>大木寛成，谷口義明              |
| 2．発表標題<br>複数のソナーを用いた養殖魚尾数推定の基礎検討 |
| 3．学会等名<br>情報処理学会第79回全国大会         |
| 4．発表年<br>2018年                   |

|                                   |
|-----------------------------------|
| 1．発表者名<br>八塚友彦，谷口義明，波部齊，阿部孝司，井口信和 |
| 2．発表標題<br>可視光通信を用いた水の濁度推定に関する一検討  |
| 3．学会等名<br>情報処理学会関西支部 2016年度支部大会   |
| 4．発表年<br>2016年                    |

|                                     |
|-------------------------------------|
| 1．発表者名<br>石田晃一，谷口義明，井口信和            |
| 2．発表標題<br>養殖魚モニタリング環境下における情報収集手法の検討 |
| 3．学会等名<br>情報処理学会関西支部 2016年度支部大会     |
| 4．発表年<br>2016年                      |

|  |
|--|
| 1．発表者名<br>石田理佐子，石田晃一，谷口義明，波部齊，阿部孝司，井口信和            |
| 2．発表標題<br>養殖魚モニタリング環境下における情報収集のための適応的スケジューリング手法の評価 |
| 3．学会等名<br>平成28年電気関係学会関西連合大会                        |
| 4．発表年<br>2016年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Koichi Ishida, Yoshiaki Taniguchi, Nobukazu Iguchi  |
| 2. 発表標題<br>A data gathering method considering volume of transmission range for fish farm monitoring                 |
| 3. 学会等名<br>The 10th European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation (EMS 2016) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2016年  |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshiaki Taniguchi  |
| 2. 発表標題<br>A simulation study of effect of fish body size on communication performance in a fish farm monitoring environment |
| 3. 学会等名<br>The 10th European Modelling Symposium on Mathematical Modelling and Computer Simulation (EMS 2016) (国際学会)         |
| 4. 発表年<br>2016年  |

|   |
|---|
| 1. 発表者名<br>石田晃一, 谷口義明, 井口信和                         |
| 2. 発表標題<br>養殖魚モニタリング環境における情報収集のためのデータ送信タイミング決定手法の評価 |
| 3. 学会等名<br>情報処理学会 第79回全国大会                          |
| 4. 発表年<br>2017年                                     |

|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>Yoshiaki Taniguchi, Kansei Oki  |
| 2. 発表標題<br>Simulation study of fish counting by multiple scanning sonars in a fish farm                      |
| 3. 学会等名<br>The 7th International Conference on Communication and Electronics Information (ICCEI 2019) (国際学会) |
| 4. 発表年<br>2019年  |



|  |
|--|
| 1. 発表者名<br>小村巧, 首藤誠陽, 谷口義明                     |
| 2. 発表標題<br>通信距離に制限のある養殖魚モニタリング環境下における情報転送方式の評価 |
| 3. 学会等名<br>電子情報通信学会関西支部 第25回学生会研究発表講演会         |
| 4. 発表年<br>2020年                                |

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

|  | 氏名<br>(ローマ字氏名)<br>(研究者番号) | 所属研究機関・部局・職<br>(機関番号) | 備考 |
|--|---------------------------|-----------------------|----|
|--|---------------------------|-----------------------|----|