

# IoT を用いた水産実験環境の構築

中島 颯太<sup>†</sup> 角谷 大樹<sup>†</sup> 森井 満優子<sup>†</sup> 水谷 信彰<sup>†</sup>

島野 顕継<sup>†</sup> ムハマド ニスワル<sup>‡</sup> 檜原 茂<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 大阪工業大学 情報科学部 〒573-0196 大阪府枚方市北山 1 丁目 79-1

<sup>‡</sup> ハサヌディン大学 Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, Indonesia, 92171

E-mail: <sup>†</sup> {e1n19072, e1n19056, e1n19111, e1b17082, akitsugu.shimano, shigeru.kashihara}@oit.ac.jp,  
<sup>‡</sup> niswar@unhas.ac.id

あらまし ICT/IoT/AI 等の情報科学技術を用いたスマート養殖の推進が求められている。現在、スマート養殖においては、カキ、サバ、エビ類などの多品目において開始されており、これまで経験と勘で行われてきたことをデータ化することで、作業の効率化、適切な生産量の確保等に繋げようとしている。本稿では、ガザミ類、特にノコギリガザミ類に着目する。いまだ完全養殖が確立されていないガザミ類のスマート養殖化に貢献すべく、まずは実験室規模でガザミ類の生態を観察するため、IoT を用いた水産実験環境を構築した。この実験環境で取得したセンシングデータや映像は Web 上で表示され、遠隔から確認することができる。また、運用上で役立つ事例を紹介し、今後の課題についてまとめた。

キーワード IoT, ガザミ類, 養殖, センシング, ストリーミング, モニタリング

## Construction of IoT-based Experiment Environment for Crab Farming

Sota NAKAJIMA<sup>†</sup> Daiki SUMIYA<sup>†</sup> Mayuko MORII<sup>†</sup> Nobuaki MIZUTANI<sup>†</sup>

Akitsugu SHIMANO<sup>†</sup> Muhammad Niswar<sup>‡</sup> Shigeru KASHIHARA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Information Science and Technology, Osaka Institute of Technology

1-79-1 Kitayama, Hirakata, Osaka, 573-0196 Japan

<sup>‡</sup> Faculty of Engineering, Universitas Hasanuddin

Jalan Poros Malino Km. 6, Bontomarannu, Gowa, Sulawesi Selatan, 92171, Indonesia

E-mail: <sup>†</sup> {e1n19072, e1n19056, e1n19111, e1b17082, akitsugu.shimano, shigeru.kashihara}@oit.ac.jp,  
<sup>‡</sup> niswar@unhas.ac.id

**Abstract** There is a need to promote smart aquaculture using information science technologies such as ICT/IoT/AI. Currently, smart aquaculture has been started in many species, such as oysters, mackerels, and shrimps. It is trying to improve work efficiency and secure appropriate production volume by converting what has been done by experienced and intuition into data. This paper focuses on crabs, especially *Scylla Serrata*, known as mud crab. Note that they have not yet been fully cultivated. To contribute to achieving the intelligent cultivation of these species, we first constructed an IoT-based experiment environment that can observe the ecology of these species on a laboratory scale. The sensing data and images acquired in this experimental environment are displayed on the Web and can be checked remotely. This paper also introduces valuable examples through the operation and summarizes the future issues.

**Keywords** IoT, Crab, Farming, Sensing, Streaming, Monitoring

### 1 はじめに

漁業生産量減少、漁業従事者の高齢化・減少等の厳しい現状に直面している水産業を成長産業へと変えていくために、ICT/IoT/AI 等の情報科学技術の導入・普及が求められている。現在、水産庁では、2027 年にスマート水産業により、水産資源の持続的利用と水産業の成長産業化を両立した次世代の水産業の実現を目指

している[1]。スマート水産業と一言で言っても、その範囲は資源評価、漁業・養殖業、加工流通まで幅広い。

本稿で着目しているスマート養殖に関しては、日本国内外において、カキ、サバ、エビ類などの多品目について開始されている[2, 3, 4]。主なアプローチとしては、給餌システム、環境データの見える化など、これまで主に経験と勘で行われてきたことをデータ化する

ことで、作業の効率化、適切な生産量の確保等に繋げようとしている。

このようなスマート養殖を適用するため、我々は現在ノコギリガザミ類の次世代養殖の研究開発に取り組んでいる。ノコギリガザミ類は、市場名ワタリガニと呼ばれる食用カニの一種であり、中でも脱皮直後のものはソフトシェルクラブと呼ばれ、年間を通して高級シーフードとして食されている。ノコギリガザミ類は日本、東南アジア、インド洋など広く分布しており、主にインドネシアをはじめ、タイ、ミャンマー、ベトナムなどの東南アジアで種苗生産が行われている。人工種苗生産の試みも始まっているが、多くがマングローブ域における天然採苗に依存している[5]。また、現在もノコギリガザミ類の完全養殖は確立されていない。

これまで我々は、ノコギリガザミ類養殖に情報科学技術を適用するため、ハサヌディン大学が所有する養殖場において、水質モニタリング[6]、画像認識による脱皮判定[7]・幼生検出[8]、養殖場への RoLa の適用[9]等に関して取り組んできた。しかし、コロナ禍により、現地に赴くことが困難となった。そこで、本稿では、ノコギリガザミ類養殖のスマート化に貢献するため、研究室規模において、詳細なデータを取得可能な IoT を用いた水産実験環境の構築を行う。ここでは、主に、ノコギリガザミ類の生態観測を目的とし、映像録画・配信、各種水質センサによる水質管理を行う。以下では、実験環境の構築、及び運用状況について報告する。

## 2 関連研究

上述したように、スマート養殖による社会実装が求められている。2021年11月にくら寿司株式会社が設立した KURA おさかなファーム株式会社では、AI を活用したスマート給餌機を使用し、オーガニックはまちの養殖を行なっている[10]。今後、水産業における人手不足や安定した供給等の課題を解決するために、情報科学技術の利活用が促進されることは明らかである。

養殖業における ICT/IoT/AI を用いた研究開発も近年数多く行われており、現在の技術動向としては、水質モニタリングと給餌システムが主流であると言える。文献[11]では、スマートフォンによる遠隔給餌機能の開発を行なっている。また、文献[12]では、水質モニタリングを行い、水槽の自動メンテナンスと通知機能を備える。文献[13]では、広範囲な水質モニタリングを実現するため、LoRa を用いたシステム開発を行なっている。

一方で、対象品目を定めた養殖に対する研究開発も行われている。文献[14]においては、エビ類を対象に画像処理を用いて稚エビのカウントを行なっており、文献[15]では魚類の病気を映像より自動認識する。こ

のように魚類やエビ類を対象とした開発は多くあるが、ガザミ類を対象としたスマート養殖に関する研究開発は我々の知る限りまだ多くない。本稿ではガザミ類を対象としたスマート養殖の促進に貢献するため、IoT を用いた水産実験環境の構築に取り組む。

## 3 水産実験環境の構築

### 3.1 水産実験環境の概要

養殖において、水質は生物に大きな影響を与える。水質には、水温をはじめ、pH 値、溶存酸素量など観測すべき項目が多くあり、それらの変化量が生物にどのような影響を与えるかなどを分析調査することは、効率的な生産を実現する上で重要となる。しかし、数値データだけでは、データ分析・検証時において不十分であり、映像データも含めたデータ取得環境が必要である。これらのデータ取得は可能な限り人手を介さず、自動で行われることで、ヒューマンエラーを除去した信頼性の高いデータ取得につながる。

そこで本稿では、センサデータと映像データを取得するため、図1に示すように、研究室の一角に水槽を設置する小屋（以下、水槽エリア）を水産実験環境として構築した。本実験環境では、対象を沖縄県伊良部産のアミメノコギリガザミ *Scylla serrata* とし、2つの水槽の水質情報と映像情報を取得し、遠隔からも確認可能とした（図2）。



図1 水槽エリアの外観（左）と内部（右）

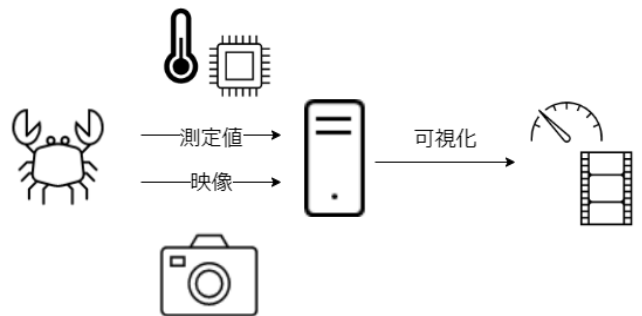


図2 水産実験環境の概要

### 3.2 実験環境の機能

本実験環境は次の3種類の機能を有する。1つ目は水槽エリアおよび水槽の環境情報を取得するためのセンシング機能である。ここでは、水槽内の水質だけでなく、水槽エリアの温度、湿度、気圧も合わせて計測している。また、センサで計測されたデータはサーバに送られる。

2つ目はアミメノコギリガザミの様子を映像で確認するための撮影・録画機能である。特に、ガザミ類は夜行性であるため、夜間の撮影は必須である。これらの映像データは全て動画ファイルとして記録される。

3つ目は上記2つで取得したセンサデータ及び映像データを遠隔から確認するための機能である。水質の変化や、アミメノコギリガザミの様子を遠隔から確認できる。以下では、これらの実装等について説明する。

### 3.3 センシング機能の実装

本実験環境では、水槽エリアにおける環境データと水質データを計測する。これらのデータは表1, 2に示すセンサとArduinoを用いて計測し、サーバとして機能するRaspberry Piへと送信する。

表1のセンサを用いることで、水槽エリア内の気温、湿度、気圧、光の強さを測定する。水槽エリア(W:3440 mm, D:1730 mm, H:2310 mm)は大きくなく、その中でクーラー等の機器を動作させることになるため、機器のトラブルの原因等を調べる際にも水槽外の環境状況を確認していくことは非常に重要な情報となる。

表2のセンサにより、水温、pH、溶存酸素量(Dissolved Oxygen: DO)、電気伝導率(Electrical Conductivity: EC)、酸化還元電位(Oxidation-Reduction Potential: ORP)を測定する。一般に販売されている、海水の水質を調べる試薬では、pH、炭酸塩硬度、カルシウム、亜硝酸塩、硝酸塩を測定できるが、今回は比較的入手が容易である上記センサを用いた。特に、最初の試みとしては、水温、pH、DOの変化に着目している。

表1 水槽エリアのセンサ

測定対象	使用センサ
温湿度	Grove – Barometer Sensor (BME280)
気圧	
光の強さ	Grove – Light Sensor v1.2 – LS06-S phototransistor

表2 水槽のセンサ

測定対象	センサ
水温	DS18B20
pH	Gravity: Analog pH Sensor / Meter Pro Kit V2
EC	Gravity: Analog Electrical Conductivity Sensor / Meter(K=10)
DO	Gravity: Analog Dissolved Oxygen Sensor / Meter Kit For Arduino
ORP	Gravit: Analog ORP Sensor Meter PRO

また、水槽エリア及び水槽の測定値をその場で確認できるように小型モニタを設置した。図3は水槽エリアの環境情報を示した例である。上段は左から温度(T)、湿度(H)を、下段は左から気圧(P)と光の強さ(L、値は0から100)を表している。



図3 水槽エリアの環境情報

### 3.4 映像配信・録画機能の実装

水槽映像の配信・録画を行うために、Raspberry Piと赤外線カメラモジュール(PiNoiRi)を使用した。映像配信アプリケーションとしてmjpg-streamer<sup>ii</sup>を用い、録画にはFFmpeg<sup>iii</sup>を用いた。図4にmjpg-streamerによるストリーム配信の様子を示す。本結果はWebブラウザで確認できる。

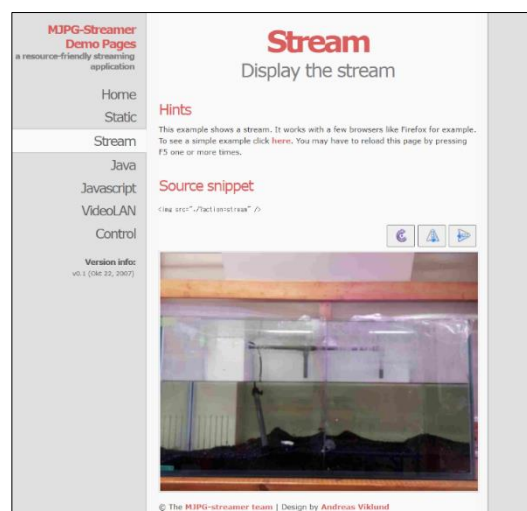


図4 Webブラウザ上でのストリーム配信

<sup>i</sup> <https://www.farnell.com/datasheets/2056180.pdf>

<sup>ii</sup> <https://github.com/jacksonliam/mjpg-streamer>

<sup>iii</sup> <https://www.ffmpeg.org>

また、上述したように、アミメノコギリガザミは夜行性のため、夜間撮影は重要である。そのため、赤外線ライトを設置し、夜間撮影も可能とした。

### 3.5 モニタリング機能の実装

3.3 節、3.4 節で取得したデータを表示するためのモニタリング機能を実装した。これらのデータを遠隔からブラウザで確認できるように、Raspberry Pi 上で Node-RED<sup>iv</sup>を用いて Web ページの表示を行った。Node-RED は IoT フローベースの開発ツールであり、

ノードと呼ばれる処理を組み合わせることにより、データに対する処理の流れ（フロー）を視覚的に分かりやすく実装できる。

今回作成したフローの一部を図 5 に示す。本フローでは、Arduino から受信したセンシングデータをノードで操作するために、JSON オブジェクトへと変換し、その後、グラフ状に整形して Web ページに表示するとともに、CSV 形式でファイルに保存する。図 6、7 に、Node-RED により作成された水槽のセンサデータのグラフと映像データを示す Web ページを示す。

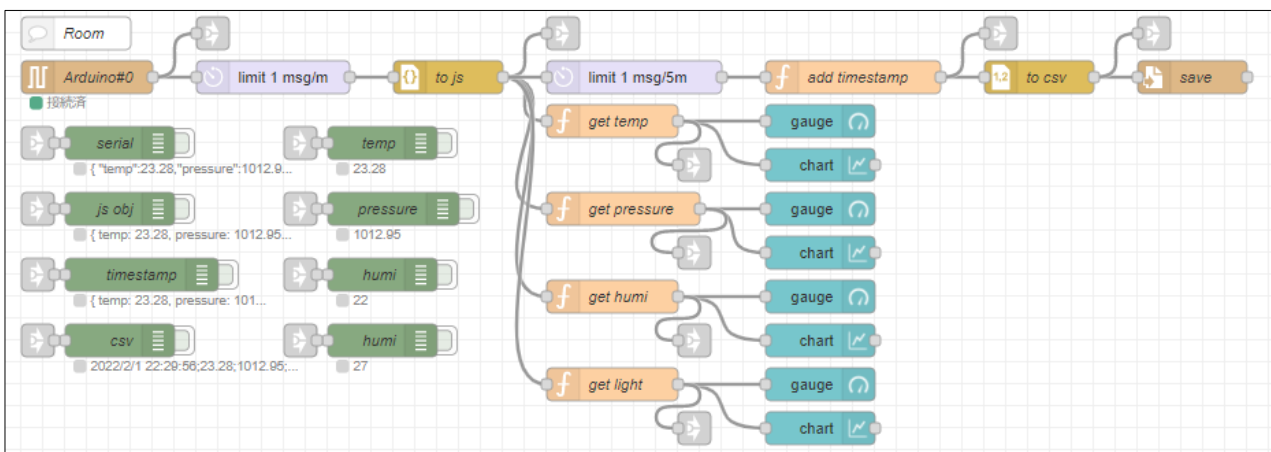


図 5 センサ・映像データの処理フロー

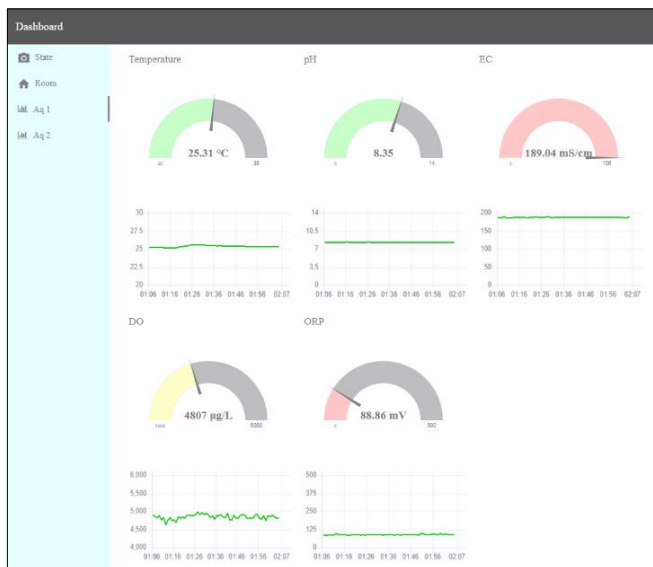


図 6 取得したセンシングデータの表示

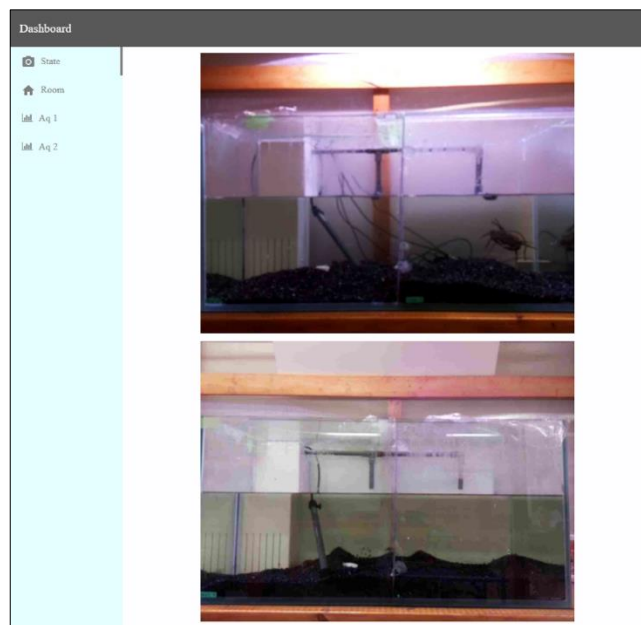


図 7 取得した映像データの表示

<sup>iv</sup> <https://nodered.org>

## 4 運用状況と課題

### 4.1 運用状況

本実験環境の構築により、水槽内外の環境情報および映像を Web 上で確認することが可能となった。これにより 24 時間どこからでもアミメノコギリガザミの様子を知ることができ、また、後日データ分析においても使用できる。収集したデータはサーバ上に記録されるため、観察対象の脱皮や死亡といった事象が発生した際、発生原因の推定などに利用することも可能となる。

これまでの運用から、以下の 2 事例において役立つ。1 つ目は、映像からの脱皮の兆候の確認である。図 8 に示すように、甲羅と腹部の間に大きな隙間ができ、脱皮前にはこのように隙間ができることが観測できた。観測後、半日内で脱皮を確認した。ソフトウェアは、脱皮直後のガザミ類を水揚げするため、この特徴は今後の脱皮検知を行う一つの方法としての可能性があると考えられる。



図 8 甲羅と腹部の隙間による脱皮の兆候の確認

2 つ目は、脱走経路の確認である。月曜日に給餌を行う際に水槽エリア内の隅でアミメノコギリガザミが 1 尾死んでいることが確認された。脱走はされないように水槽を設定していたつもりであった。そこで、録画映像を確認することで、2 日前の土曜の深夜に我々が想定していない箇所から逃げ出していたことがわかり対処を施した。図 9 に録画から確認した脱走の映像を示す。現在、センシングデータも取得しており、水質とアミメノコギリガザミの活動の関係の分析などに活かす計画である。



図 9 映像による脱走経路の確認

### 4.2 今後の課題

現在、アミメノコギリガザミの生態を観測するために必要な最小限の実験環境の構築を行った。本実験環境を有効に活用するためには、更なる機能の追加等が重要となる。最初の課題としては、センシングデータの測定値に関する課題が挙げられる。図 6 で水槽から取得したセンシングデータが表示されているが、EC や ORP など一部の測定値が想定されている範囲から外れている。これがセンサの異常なのか環境によるものなのか詳細な判断ができていない。文献[15]で述べられているように、水中で用いるセンサは制約や性能を正しく把握し、環境に適したセンサを使用する必要がある。まずは、試薬など他の手段による測定値と比較等を行い、原因を究明する。

次にデータの表示について、現状のシステムでは直近 1 時間の測定値と閲覧時点のリアルタイムな映像のみを表示しており、これより過去のデータについては Web サイト上からは閲覧できない。また測定値は測定場所ごとに別々のグラフで表示されているため、比較が困難である。データの分析を実施するために、指定した期間のデータを表示する機能や、同種の測定値をひとつのグラフにまとめて表示する機能などが必要である。

最後にデータの用途に関して、現状ではグラフとして、あるいはそのまま表示しているのみであるため、異常発生時の警告や AI による脱皮検知のための学習データとしても利用していきたい。

## 5 おわりに

本稿では、ノコギリガザミ類養殖のスマート化に貢献するため、研究室規模において、アミメノコギリガザミの生態観測を行える水産実験環境の構築を行なった。実験環境では、気温や湿度といった環境情報デー

タ、水槽の水質情報データ、水槽の映像データを取得できる。現在の実験環境は最小限の構成であるが、今後本実験環境をノコギリガザミ類養殖のサイバーフィジカルヒューマンシステムとすべく、さらに開発を進めていく。

## 謝辞

本研究は、公益財団法人電気通信普及財団の支援を受けている。ここに記して謝意を表す。

## 文 献

- [1] “第1部 第2章 我が国の水産業をめぐる動き,” 令和2年度水産白書:令和2年度水産の動向, 水産庁, pp.78-121, 2022.
- [2] KDDI株式会社, “事例紹介: 福井県小浜市「鯖, 復活」養殖効率化プロジェクトの今,” <https://www.kddi.com/corporate/csr/regional-initiative/case-study/case23/>. (参照 2022.2.2)
- [3] KDDI株式会社, “IoTでカキ養殖, 徳島県海陽町で「あまべ牡蠣スマート養殖事業」開始,” 2020年3月.  
<https://news.kddi.com/kddi/corporate/newsrelease/2020/03/30/4349.html>. (参照 2022.2.2)
- [4] 株式会社インターネットイニシアティブ, “タイのエビ養殖場において, IoT, AIを活用した水質環境・作業管理の実証実験を実施,” 2018年5月, <https://www.ij.ad.jp/news/pressrelease/2018/0515.html>. (参照 2022.2.2)
- [5] 古川, 岩田, 小林, “インドネシアにおけるノコギリガザミ漁業の現状と資源保全,” 東南アジア研究, 52巻, 1号, pp.21-51, 2014.
- [6] M. Niswar et al., “IoT-based Water Quality Monitoring System for Soft-Shell Crab Farming,” 2018 IEEE International Conference on Internet of Things and Intelligence System (IOTAIS), 2018, pp. 6-9, doi: 10.1109/IOTAIS.2018.8600828.
- [7] R. Baharuddin et al., “Crab Molting Identification using Machine Learning Classifiers,” 2021 International Seminar on Machine Learning, Optimization, and Data Science (ISMODE), Jan. 2022.
- [8] N. Nurlaela et al., “Detection of Megalopa Phase Crab Larvae Using Digital Image Processing,” 2019 International Seminar on Research of Information Technology and Intelligent Systems (ISRITI), 2019, pp. 269-272, doi: 10.1109/ISRITI48646.2019.9034609.
- [9] M. R. E. Arlin et al., “LouPe: LoRa Performance Measurement Tool,” 2018 2nd East Indonesia Conference on Computer and Information Technology (EIconCIT), 2018, pp. 168-171, doi: 10.1109/EIconCIT.2018.8878525.
- [10] KURA おさかなファーム株式会社, “漁業創生への取り組み,” [https://www.kurasushi.co.jp/mirai/fish\\_farm.html](https://www.kurasushi.co.jp/mirai/fish_farm.html). (参照 2022.2.2)
- [11] T. Imai et al., “Smart Aquaculture System: A Remote Feeding System with Smartphones,” 2019 IEEE 23rd International Symposium on Consumer Technologies (ISCT), 2019, pp. 93-96, doi: 10.1109/ISCT.2019.8901026.
- [12] K. Sreedhar and H. N. Vishwas, “Real Life Care: A Smart Method for Aquaculture,” 2018 3rd IEEE International Conference on Recent Trends in Electronics, Information & Communication Technology (RTEICT), 2018, pp. 1173-1176, doi: 10.1109/RTEICT42901.2018.9012524.
- [13] T. Adiono et al., “Internet of Things for Marine Aquaculture,” 2021 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ISESD53023.2021.9501663.
- [14] S. Boksuwan et al., “A Prototype System to Count Nursery Pacific White Shrimp using Image Processing,” 2018 18th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), 2018, pp. 1187-1189.
- [15] L. Parra et al., “Physical Sensors for Precision Aquaculture: A Review,” in IEEE Sensors Journal, vol. 18, no. 10, pp. 3915-3923, 15 May15, 2018, doi: 10.1109/JSEN.2018.2817158.