

ロボットインタラクションでの活用に向けた ROS による生体情報利用システムの提案

A Proposal of ROS-based Bioinformation Utilization System for Human-Robot Interaction

井口拓海¹ 菅谷みどり¹

Takumi Iguchi¹, Midori Sugaya¹

¹ 芝浦工業大学

¹Shibaura Institute of Technology

Abstract: 少子高齢化に伴ってサービスロボットやセラピーロボットの需要は増えている。これらのロボットインタラクションに対して、ユーザ受容度を高めたり最適化を行ったりするのにあたり生体情報の利用は注目されている。しかし、既存のロボット開発向けミドルウェアである ROS では、複数種類の生体情報を包括的に扱えるシステムがほとんど存在していない。そこで、本研究では ROS を用いてロボットインタラクションに向けた生体情報利用システムを提案する。

1 はじめに

1.1 背景

世界的な少子高齢化の進行によって、労働者人口は減少している[1]。それに伴って労働力の代替としてサービスロボットの導入が進んでいる[2]。IFR (International Federation of Robotics)の調査からもサービスロボットの売り上げは年々増加しており、世界的にサービスロボットへの需要が高まっていることがわかる[3]。サービスロボットの導入先として、例えばホテルでの案内や商業施設での接客が挙げられる[4]。特に、介護福祉分野でのサービスロボットの活用は注目されている[5]。例として、入居者を移動させるためのベッド型のロボット[6]や夜間に施設の巡回を行うロボット[7]が存在している。

その中でも、精神的なケアを行うサービスロボットがある。これらはソーシャルロボットやセラピーロボットと呼ばれる。介護施設の入居者には、うつ病性障害がよく見られ、同時に認知症などから精神障害や行動障害が引き起こされる可能性が高いことが報告されている[8]。これらの課題に対処するために、セラピーロボットによる精神的な支援には大きな期待が寄せられている[9]。例えば、アザラシ型のロボットである PARO は、アニマルセラピーと同様の精神的な支援を行えると報告されており[10]、認知症を持つ入居者への認知機能向上効果[11]や、PARO と触れ合うことでより入居者が積極的に社会

的活動に参加するようになった[12]などの事例が検証されている。

したがって、セラピーロボットによる精神的な支援は一定の効果を収めることが判明している。ロボットインタラクションの効果をより増大させるためには、ユーザのロボットインタラクションへの受容度を高める必要があり、そのためにロボットが相手の感情を推定し、インタラクションへ生かすことが重要だと言われている[13]。ロボットにおける感情推定手法は表情認識による手法[14]や、会話から推定する手法[15]など、様々提案されてきたが、近年では、無意識下の感情を連続的に推定できる生体情報を用いた手法が提案されている[16]。この手法はリハビリテーションにおけるロボットの声掛け効果[17]やロボットの表情変化[18]の研究において成果を収めており有効であると思われる。また、生体情報を用いたロボットインタラクションに関しては、ウェアラブルデバイスを用いた健康管理ロボットシステム[19]や、身体機能に問題があるユーザに対して脳波を用いて支援を行うロボットアーム[20]が提案されている。これらの事例から、ロボットにおける生体情報の利用は注目されていると言える。

1.2 関連研究

ロボットインタラクションの開発において、近年のデファクトスタンダードとなっているのは ROS (Robot Operating System)である。そこで ROS を用いた生体情報利用システムを調査した。

まず、ニューロロボティクス向けのパッケージとして、ROS-Neuro[21]と ROS-Health[22]が存在する。これらは、脳波計から取得された脳波を ROS のコンポーネントによって記録し、ロボットインタラクションに活用している。また、より全般的なウェアラブルデバイスに対応した `ros2-foxy-wearable-biosensors`[23]というパッケージも存在する。こちらは複数種類のセンサから取得した情報を同期して記録し、モニタリングできるようにしている。加えて我々が過去に開発した `emotion-ROS` というシステムも存在している[24]。これは生体情報を用いて感情推定を行い、ロボットインタラクションに活用するコンポーネント群である。このシステムを用いることで、ロボットインタラクションへユーザの感情情報を容易に利用することができる。

1.3 課題

このように ROS を用いて生体情報を利用するシステムはいくつか存在しているが、これらには複数の問題が存在する。

- (1) センサごとにデータ構造を定義しており、新しいセンサや指標が追加されたときの再実装コストが高い
- (2) 取得できる全てのデータを送受信しており、ユーザが利用したいデータのみを扱うことができず、通信帯域を必要以上に占有している
- (3) 生データの取得機能だけのものが多く、多くのアプリケーションや機械学習モデルで利用される特徴量の算出機能が存在しない
- (4) ユーザ側から利用したい生体情報や特徴量算出手法を容易に設定できず、開発のたびに実装しなおさないとイケない

上記の4つの課題が既存の研究には存在している。そこで本研究ではこれらの解決を目指す。

2 提案

2.1 目的

本研究の目的は、ロボットにおける生体情報利用に向けたシステム開発であり、前節で述べた課題を解決することである。そこで、ROS を用いた複数種類のセンサデータにも対応可能であり、ユーザによる指標や特徴量算出手法の設定が容易なシステムの実現を目指す。

2.2 提案システム

提案システムは、ROS を利用したロボットインタラクション向けの生体情報利用システムである。このシステムでは、前節で述べた課題を解決するため

に以下の3つの機能を持っている。

- (1) 複数種類のセンサや特徴量指標に対応可能なカスタムメッセージ
- (2) 生データの取得から特徴量の算出を行える機能の実装
- (3) ユーザが利用したいデータの指定や特徴量算出方法の設定を行えるクライアントライブラリによるAPIの提供

またシステムの全体像を図1に示す。ここで登場するノードとは、ROSにおける機能の実行単位であり、一つのプロセスとして、システム内では実行される。

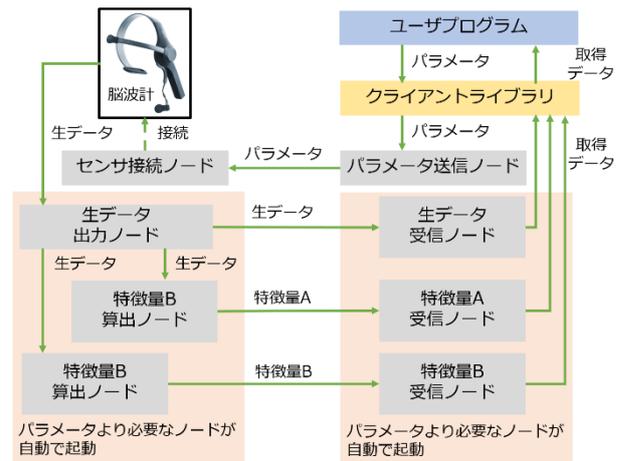


図1. システムの全体像

2.2.1 カスタムメッセージの定義

メッセージとは ROS で用いられる通信用データ構造である。既存システムの課題(1)(2)を解決するために、本研究では複数のセンサや特徴量を調査し、最低限のデータをのみを送信でき、かつ再利用性の高いカスタムメッセージを定義する。

まずは、利用が想定される5種類の生体情報センサを調査した。調査したセンサを表1に示す。

表1 調査した生体情報センサー一覧

| センサの種類 | センサ名 |
|--------|-----------------------------|
| 脳波計 | NeuroSky Mindwave mobile 2 |
| | Emotiv EPOC X |
| | GoodBrain Muse2 |
| 心拍計 | Switch Science Pulse Sensor |
| | myBeat WHS-1 |

これらのセンサから取得できる脳波・心拍の生データを比較した結果、ROSにおけるuint32で対応が可能であることが分かった。そこで表2のような構造を持つ、RawSignalというカスタムメッセージ定義した。

表 2 RawSignal メッセージの構造

| 型名 | 変数名 |
|--------|------------|
| Header | header |
| uint32 | raw_signal |

ここで登場した Header 型というのは、ROS で用いられるタイムスタンプなどを扱うものであり、データを取得した時刻などを記録するために必要である。

次に、利用される特徴量について調査した。以下の表 3 に調査した特徴量を示す。脳波指標は、脳波に周波数解析をかけることで導出でき、主に脳の活動状態や覚醒の度合いを表すことができる。一方で心拍変動指標は、拍動間隔の標準偏差や変動係数であり、また拍動間隔に周波数解析をかけることで求められる。主に心拍変動指標は、快不快の度合いや、交感神経・副交感神経の指標として用いられる。

表 3 調査した特徴量一覧

| 種類 | 指標名 | 詳細 |
|--------|---------------------|------------------------------|
| 脳波指標 | α波 | 脳波の 8-12Hz 帯 |
| | β波 | 脳波の 13-30Hz 帯 |
| | γ波 | 脳波の 31-50Hz 帯 |
| | δ波 | 脳波の 1-3Hz 帯 |
| | θ波 | 脳波の 4-7Hz 帯 |
| 心拍変動指標 | BPM | 心拍数 |
| | IBI | 拍動間隔 |
| | pNNx | 隣接する IBI の差の絶対値が x ミリ秒を超えた割合 |
| | RMSSD | IBI の自乗平均平方根 |
| | CVNN | IBI の変動係数 |
| | SDNN | IBI の標準偏差 |
| | LF | IBI の 0.04-0.15Hz 帯 |
| HF | IBI の 0.15-0.40Hz 帯 | |

調査の結果、これらのデータは ROS における float32 で対応可能であることが分かった。そこで特徴量データを扱う FeatureData というカスタムメッセージを定義した。構造は以下の表 4 に示す。

表 4 FeatureData メッセージの構造

| 型名 | 変数名 |
|---------|--------------|
| Header | header |
| Float32 | feature_data |

このように生データや特徴量のデータ構造を小さく定義することで、新しいセンサや指標が追加された場合でも、これらを組み合わせるだけで対応できるようになった。また、一つのデータ構造が小さくなったため、ユーザが必要とするデータのみを送受信が可能になり、必要以上に通信帯域を奪うことが起こりにくくなったと思われる。

2.2.2 特徴量算出機能の実装

本システムでは特徴量算出機能を実装した。多くの特徴量は一定数の生データに統計的処理を加えることで算出される。しかし、蓄積するデータ数は、利用するユーザのアプリケーションによって変化する。そこで、柔軟に蓄積するデータ数を変更できるように、特徴量算出の情報を設定できる FeatureInfo というカスタムメッセージを新たに実装した。構造は表 5 に示す。また処理の流れを図 2 に示す。

表 5 FeatureInfo メッセージの構造

| 型名 | 変数名 |
|--------|--------------|
| string | feature_name |
| uint8 | data_num |

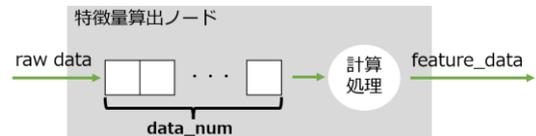


図 2. 特徴量算出ノードでの処理の流れ
feature_name では算出する特徴量の名前を定義し、data_num で蓄積する生データの個数を定義する。これに従って、特徴量算出するノードでは、FIFO のバッファを準備し、特徴量を算出する。

2.2.3 クライアントライブラリにおける API

既存の実装にあった課題(4)を解決するために、ユーザが様々なパラメータなどを容易に指定できる API を実装した。クライアントライブラリを作成し、クラスを定義し、メソッドとして API を提供している。以下の表 6 では、実装した API と実行内容を示す。またこれらの API を利用した生体情報の取得の流れを図 3 に示す。

表 6 実装した API 一覧

| API 名 | 実行内容 |
|--------|------------------------------|
| set | センサとの接続に必要なパラメータや取得したいデータを指定 |
| update | 特徴量算出手法の追加や更新 |
| start | データの取得を開始 |
| stop | データの取得を終了 |

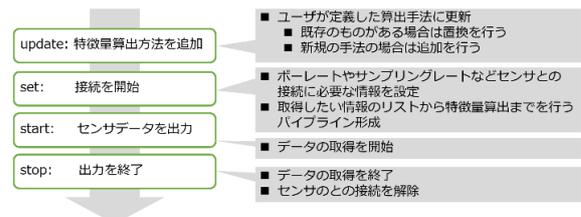


図 3. API を利用した生体情報取得の流れ

このようにクライアントライブラリの API を通じて、データ取得に関わる情報をパラメータで設定でき、ユーザはロボットインタラクションやその評価に用いるデータを容易に取得することが可能になった。これによって、生体情報を用いた開発が加速すると考える。

4 まとめと今後の展望

4.1 本研究のまとめと課題

本研究では、ロボットインタラクションでの生体情報利用に向けた ROS を用いたシステムを提案した。いくつかの実装を施すことで、これまでは難しかったロボットでの生体情報利用がより容易になると思われる。しかし、本研究ではあくまで提案にとどまっておき、システムの評価は行えていない。そこで今後は評価を中心に研究を進めていく。評価としては、新たなカスタムメッセージの実装による通信帯域と通信遅延の変化や、特徴量算出にかかる時間などを単体テストで計測していく。その後、システム全体の評価として、実際のロボットインタラクションと組み合わせて実行し、自然なインタラクションとなっているか評価していく。また、本システム内では、ロボットインタラクションにも多く使われるようになった機械学習モデルとの連携については考えていないため、今後はモデルの活用も視野に入れてシステムの設計を行っていきたいと考えている。

4.2 本システムによるロボット開発の展望

本研究では需要が高まっているサービスロボットでの生体情報利用をより容易にするためのシステム開発を行った。このシステムを利用することで以下のことが可能になるとと思われる。

- (1) 生体情報を利用したロボットインタラクションの設計と開発
- (2) HRI や HAI におけるインタラクションの生体情報を用いた定量的な評価

(1)については、既存の研究にあるような生体情報を用いた感情推定や認知機能評価を用いて、ユーザに最適化したインタラクションをロボットが行えるということである。人間の刺激に対する認識は人それぞれであるため、同一のロボットインタラクションに対してユーザが受ける印象というものは、必ずしも同じになるとは限らない。また、表情や会話をういた手法は表出した情報しか参照していないという点で、ユーザの真意や無意識下の情報を取得することはできない。そこで、生体情報を用いることで、ユーザに最適化した、つまりインタラクション

の意図に沿った効果を最大化できるような、ロボットの行動を設計したり動的に対応させたりすることが可能であると思われる。

(2)については、これまでのインタラクションの評価はアンケートによる主観評価が主であったように思われる。しかし、主観評価というものはユーザのバイアスやアンケートの設計によって必ずしも正しいものなるとは限らない。そこで、生体情報という直接的な身体反応であり、かつ定量的に測定可能なデータを主観評価と組み合わせて用いることで、より正確なインタラクションの評価につながると考えられる。このようなことから、今後の HRI や HAI 研究において、生体情報を記録して評価に生かすことは重要であると考えている。

...

謝辞

本研究は、JST, CREST, JPMJCR19K1 の支援を受けたものです。

参考文献

- [1] Ageing and health. World Health Organization (WHO). Available online: <https://www.who.int/news-room/factsheets/detail/ageing-and-health> (Accessed on 9 August 2022).
- [2] Nhat, Lu Vinh, Jochen Wirtz, Werner H. Kunz, Stefanie Paluch, Thorsten Gruber, Antje Martins, and Paul G. Patterson. 2020. "Service Robots, Customers and Service Employees: What Can We Learn from the Academic Literature and Where Are the Gaps?" *Journal of Service Theory and Practice* 30 (3): 361–91
- [3] World Robotics 2021 – Service Robots report released. International Federation of Robotics (IFR). Available online: <https://ifr.org/ifr-press-releases/news/service-robots-hit-double-digit-growth-worldwide> (Accessed on 10 June 2022).
- [4] Mukherjee, S., Baral, M.M., Venkataiah, C. et al. Service robots are an option for contactless services due to the COVID-19 pandemic in the hotels. *Decision* 48, 445–460 (2021). <https://doi.org/10.1007/s40622-021-00300-x>
- [5] Nieto Agraz C, Pfingsthorn M, Gliesche P, Eichelberg M and Hein A (2022) A Survey of Robotic Systems for Nursing Care. *Front. Robot. AI* 9:832248. doi: 10.3389/frobt.2022.832248
- [6] Japan hospital tests robot to assist caretakers moving heavy beds. *The Mainichi*. Available online: <https://mainichi.jp/english/articles/20220322/p2a/00m/0sc>

/018000c (Accessed on 9 August 2022).

- [7] O'Connor, S. (2021). Exoskeletons in Nursing and Healthcare: A Bionic Future. *Clinical Nursing Research*, 30(8), 1123–1126. <https://doi.org/10.1177/10547738211038365>
- [8] Kramer, D., Allgaier, A.-K., Fejtikova, S., Mergl, R., & Hegerl, U. (2009). Depression in Nursing Homes: Prevalence, Recognition, and Treatment. *The International Journal of Psychiatry in Medicine*, 39(4), 345–358. <https://doi.org/10.2190/PM.39.4.a>
- [9] Shibata, Takanori, and Kazuyoshi Wada. 2011. "Robot Therapy: A New Approach for Mental Healthcare of the Elderly - a Mini-Review." *Gerontology* 57 (4): 378–86.
- [1 0] Takanori Shibata. 2010. Integration of therapeutic robot, Paro, into welfare systems. In *Proceedings of the 28th Annual European Conference on Cognitive Ergonomics (ECCE '10)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 3. <https://doi.org/10.1145/1962300.1962302>
- [1 1] [14] K. Wada, T. Shibata, T. Musha and S. Kimura, "Robot therapy for elders affected by dementia," in *IEEE Engineering in Medicine and Biology Magazine*, vol. 27, no. 4, pp. 53-60, July-Aug. 2008, doi: 10.1109/MEMB.2008.919496.
- [1 2] Moyle, Wendy, Cindy J. Jones, Jenny E. Murfield, Lukman Thalib, Elizabeth R. A. Beattie, David K. H. Shum, Siobhan T. O'Dwyer, M. Cindy Mervin, and Brian M. Draper. 2017. "Use of a Robotic Seal as a Therapeutic Tool to Improve Dementia Symptoms: A Cluster-Randomized Controlled Trial." *Journal of the American Medical Directors Association* 18 (9): 766–73.
- [1 3] McColl, Derek, Alexander Hong, Naoaki Hatakeyama, Goldie Nejat, and Beno Benhabib. 2016. "A Survey of Autonomous Human Affect Detection Methods for Social Robots Engaged in Natural HRI." *Journal of Intelligent and Robotic Systems*. no.82 (1): 101–33.
- [1 4] Diego Resende Faria, Mario Vieira, and Fernanda C.C. Faria. 2017. Towards the Development of Affective Facial Expression Recognition for Human-Robot Interaction. In *Proceedings of the 10th International Conference on Pervasive Technologies Related to Assistive Environments (PETRA '17)*. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA, 300–304. <https://doi.org/10.1145/3056540.3076199>
- [1 5] M. Anjum, "Emotion Recognition from Speech for an Interactive Robot Agent," 2019 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII), 2019, pp. 363-368, doi: 10.1109/SII.2019.8700376.
- [1 6] Ikeda, Yuhei, Ryota Horie, and Midori Sugaya. 2017. "Estimating Emotion with Biological Information for Robot Interaction." *Procedia Computer Science* 112 (January): 1589–1600.
- [1 7] Sripian, Peeraya et al. 'Emotion-sensitive Voice-casting Care Robot in Rehabilitation Using Real-time Sensing and Analysis of Biometric Information'. 1 Jan. 2021 : 413 – 431.
- [1 8] Sripian, P.; Anuardi, M.N.A.M.; Yu, J.; Sugaya, M. The Implementation and Evaluation of Individual Preference in Robot Facial Expression Based on Emotion Estimation Using Biological Signals. *Sensors* 2021, 21, 6322. <https://doi.org/10.3390/s21186322>
- [1 9] G. Yang et al., "Homecare Robotic Systems for Healthcare 4.0: Visions and Enabling Technologies," *IEEE J Biomed Health Inform*, vol. 24, no. 9, pp. 2535–2549, Sep. 2020.
- [2 0] Meng, J., Zhang, S., Bekyo, A. et al. Noninvasive Electroencephalogram Based Control of a Robotic Arm for Reach and Grasp Tasks. *Sci Rep* 6, 38565 (2016). <https://doi.org/10.1038/srep38565>
- [2 1] L. Tonin, G. Beraldo, S. Tortora, and E. Menegatti, "ROS-Neuro: An Open-Source Platform for Neurorobotics," *Front. Neurobot.*, vol. 16, p. 886050, May 2022.
- [2 2] G. Beraldo et al., "ROS-health: An open-source framework for neurorobotics," in *2018 IEEE International Conference on Simulation, Modeling, and Programming for Autonomous Robots (SIMPAN)*, May 2018, pp. 174–179.
- [2 3] W. Jo, R. Wilson, J. Kim, S. McGuire, and B.-C. Min, "Toward a Wearable Biosensor Ecosystem on ROS 2 for Real-time Human-Robot Interaction Systems," *arXiv [cs.RO]*, Oct. 08, 2021. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2110.03840>
- [2 4] Takumi Iguchi and Midori Sugaya, "Real-time emotion estimation ROS component for Robot to Communicate with Human", In *Proceedings of Asia Pacific Conference on Robot IoT System Development and Platform (APRIS)*, 29-30 Nov. (Robot Challenge 1-2 Dec.), 2021 (Short Paper).