

Title	手首装着型カメラデバイスによる食事動作検出と食事量計測
Author(s)	瀬戸口, 大樹; 謝, 浩然
Citation	研究報告ヒューマンコンピュータインタラクション(HCI), 2024-HCI-208(11): 1-6
Issue Date	2024-05-30
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	http://hdl.handle.net/10119/19343
Rights	<p>社団法人情報処理学会, 瀬戸口大樹, 謝浩然, 情報処理学会研究報告. HCI, ヒューマンコンピュータインタラクション, 2024-HCI-208 (11), 2024, pp.1-6. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。 Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p>
Description	第208回ヒューマンコンピュータインタラクション研究会

手首装着型カメラデバイスによる食事動作検出と食事量計測

瀬戸口 大樹^{1,a)} 謝 浩然^{1,b)}

概要: 健康に生活するためには適切な食事管理が重要であるが、日々の食事量や摂取カロリーなどを把握・記録することは容易ではない。そこで近年、手首装着型の IMU デバイスを用いて食事動作を検出し、自動的に食事量を計測する研究が行われている。しかし、IMU から得られる加速度や角速度の情報だけでは動作検出の精度が低い上に、食物の量や種類を識別できないという問題があった。以上を踏まえ本稿では、手首装着型カメラデバイスを用いた食事量計測システムを提案する。本システムは、手首に装着されたカメラにより飲食物の外観と一連の食事動作を撮影し、その映像から動作検出および食事量計測を行うというものである。本研究では、カメラ付きマイコンを用いて実験機を製作するとともに、機械学習と色検出による食事動作検出法と食事量計測法を提案し、限定された実験環境において本システムによる食事量計測が可能であることを確認した。さらに、計測した食事量に基づき、ユーザに対して食事管理に関するメッセージを表示するシステムを実装し、評価実験を通してシステムの有用性を検証した。

キーワード：ウェアラブル機器, 健康補助, 動作認識, 機械学習

Eating Behavior Detection and Eating Amount Measurement using Wristband Device with Camera

1. はじめに

近年、健康補助を目的としたウェアラブル機器の利用が広がっている。例えば、腕時計型のウェアラブル機器、通称スマートウォッチの一部は IMU (Inertia Measurement Unit) や脈拍センサなどを搭載しており、使用者は機器を身体に装着したまま生活するだけで、脈拍や歩数などの生体情報を常時取得することが可能となっている。また、製品によっては健康管理に関するメッセージを使用者に表示し、適切な健康管理を促すシステムも実装されている。例えば、歩行距離の測定および消費カロリーの表示、精神状態の判定、睡眠の質の評価など多岐に行われており [1], 食事管理に関しても自動化が進んでいる。現状は秤量法や目安量法など手動での食事量計測が主流だが [2][3], ウェアラブル機器による高精度な食事計測と食事記録の自動化が実現すれば、食事管理に係る負担を大幅に削減できると考えられる。

他方では、コンピュータの性能向上によりマイコンでもカメラを用いた物体検出が可能となってきている。Yumangらは、汎用マイコンボード Raspberry PI を用いて YOLO (You Only Look Once) アルゴリズムによる料理認識を実現した [4]。機械学習は計算コストが高いという欠点があるものの、従来手法と比較して堅牢かつ柔軟な物体認識・動作検出が実現可能である。今後、高性能なマイコンの普及に伴い、ウェアラブル機器分野においても機械学習を利用した新しいアプリケーション開発が展開されていくことが予想される。

本稿では、手首装着型カメラデバイスを用いた食事量計測システムを提案し、機械学習と色検出を用いて手首に装着されたカメラ情報からの食事動作検出および食事量計測が可能であることを確認した。さらに、計測した食事量に基づき、ユーザに対して食事管理に関するメッセージを表示するシステムを実装し、評価実験とアンケート調査によりその有用性を検証した。

2. 関連研究

食事管理の省力化を目的として、ウェアラブル端末を

¹ 北陸先端科学技術大学院大学
Japan Advanced Institute of Science and Technology
^{a)} sedoguchi@jaist.ac.jp
^{b)} xie@jaist.ac.jp

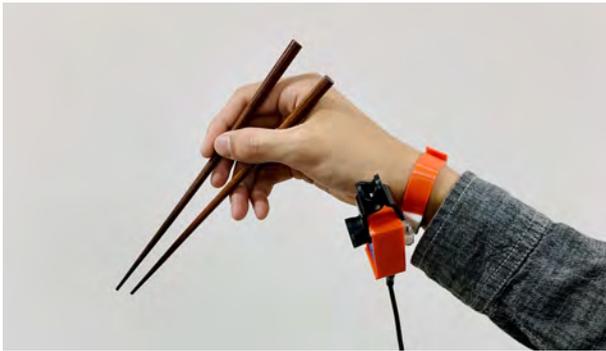


図 1: 手首装着型カメラデバイス
Fig. 1 Wristband device with a camera

用いた食事調査の自動化が推進されている。Dong らは、IMU を搭載したリストバンド型機器で手首の動きを検出し、食事動作を複数の微小動作に分割して順番に検出する手法を提案した [5]。Parate らや Kyritsis らは IMU を搭載したスマートウォッチと機械学習アルゴリズムを用いて食事動作の検出を実現した [6][7]。これらの研究は、検出した食事動作（食物を口に入れる動作）の回数から食事量を推定することを目的としている。鈴木らの研究 [8] のように、脈拍センサと GSR（Galvanic Skin Reflex：皮膚電気反射）センサを併用することで食事動作検出の精度を向上させた例もある。さらに後続研究として、(株) 東芝製の Actiband（加速度センサ搭載）や Silumee（加速度・脈拍・UV・温度センサ搭載）など、食事や睡眠などの日常動作を包括的に補助するためのリストバンド型デバイスが実用化された [9]。

このような IMU 搭載デバイスを用いた手法の問題点は、正確な食事量測定が困難であるという点である。IMU で得られる加速度や角速度の情報だけでは食事内容、すなわち何をどれくらいの量食べたかということを正確に判断できない。鍋谷らや齋藤らの研究 [10][11] のように、加速度情報から特徴量を取得して食物内容の推定を試みた例もあるが、料理の誤認識や非食事動作の誤検出が多く確認されており、いまだ広く利用されていない。

3. 食事量測定システムの開発

3.1 システム概要

本システムは一連の食事動作を撮影するための手首装着型カメラデバイスと、映像を解析して使用者にメッセージを表示するための PC で構成される。手首装着型デバイスの外観を図 1、システムの構成図を図 2 に示す。

手首装着型カメラデバイスは、M5Stack UnitV2、カバー、リストバンド、広角レンズで構成され、総重量は 41 [g] である（USB ケーブルを除く）。使用する際は使用者の利き手側の手首にリストバンド部を巻いて装着する。M5Stack UnitV2 は動作周波数 1.2 [GHz] のデュアルコア SSD と解像度 1080p のカメラが組み込まれたマイコンであり、

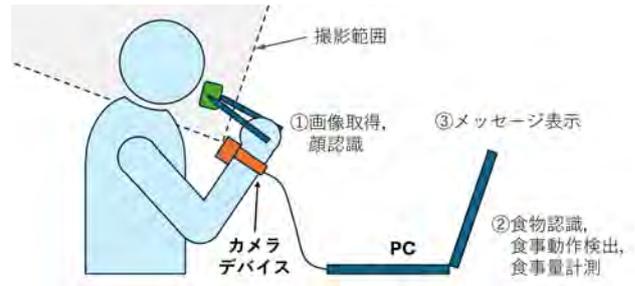


図 2: システムの構成図
Fig. 2 System diagram.



図 3: 手首装着型カメラデバイスの概略図
Fig. 3 Overview of the wristband device with a camera.

Linux ベースで開発可能である。さらに、顔認識・物体認識・QR コード認識などの機械学習ツールが標準搭載されている [12]。カバーおよびリストバンドは柔軟性に富む熱可塑性ポリウレタン製であり、3D プリントを用いて作成した。リストバンドは固定用の磁石を内蔵している。また、カバーとリストバンドの接続にはボールジョイントを用いカメラの角度を任意に調整できるようにした。広角レンズは (株) 大創産業社製であり、カメラの視野角を広げ（倍率 0.67 倍）、顔や食物を画角に収めやすくする目的で取り付けられている。本デバイスの外観を図 3 に示す。

3.2 食事量測定手法

本稿では、以下の流れで食事量測定を実現した。

- (1) M5Stack V2 に搭載された機械学習ツールを用いて顔の認識を行う。
- (2) 顔認識に成功した場合、食事動作が行われたとみなし、色検出による食物認識を行う。
- (3) 検出された食物の色と検出面積から、食物の種類と量を推定する。
- (4) 食事量の累積値をもとに、検出結果のフィードバックと健康管理に関するメッセージを使用者に対して表示する。

3.2.1 顔の認識

M5Stack UnitV2 は CNN（Convolutional Neural Net-

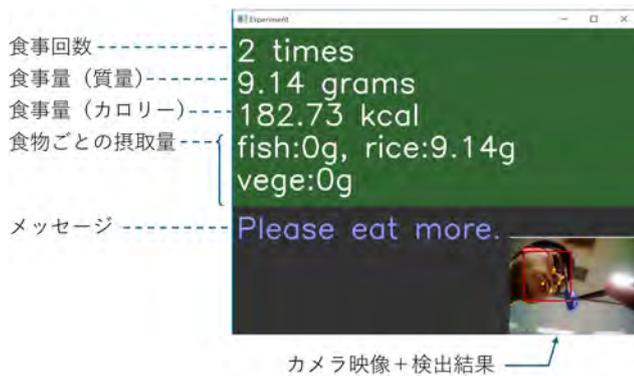


図 4: ユーザへのメッセージ表示画面

Fig. 4 Message display screen for users.

work, 畳み込みニューラルネットワーク)を用いて画像からの物体検出を行っている。CNNは主に画像認識で用いられる深層学習アルゴリズムであり、十分な学習を行うことで高速かつ高精度な物体認識システムを構築可能である [13][14]。

3.2.2 食物の認識

M5Stack V2には食物の学習データが搭載されていないため、PythonとOpenCVライブラリを利用して色検出による食物認識プログラムを作成した。色検出の流れは、元画像から特定の色範囲に該当する画素を抽出してマスク画像を生成し、そのマスク画像から輪郭抽出するというものである。なお、光の具合による明度や彩度の変化に対応するため、HSV (Hue: 彩度, Saturation: 明度, Value) 色空間上での色検出を行った。食物表面の色を基準に色検出を行い、得られた輪郭の内側の面積、すなわち食物の検出面積が閾値を超えていた場合、「食物が映っている」と判断する。輪郭抽出の際に生じるノイズは、内部面積が最大の輪郭のみを抽出することで除去している。また、検出面積に関しても後退差分を用いてノイズ除去を行い、顔が認識された瞬間の値を最終的な食物の検出面積としている。さらに、検出された食物の色から食物の種類を判別し、検出面積を定数倍することで質量と摂取カロリーを算出した。

3.2.3 食事量のフィードバックとメッセージ表示

使用者に対し、計測した食事量とそれに基づくメッセージをPC上に表示した。フィードバックする内容は、累計の食事回数(食物を口に入れた回数)、食事量(質量とカロリー)、食物ごとの摂取量とした。メッセージは3種類用意し、800 [kcal]未満のときは「Please eat more.」、800 [kcal]以上1200 [kcal]未満のときは「OK!」、1200 [kcal]以上のときは「You are eating too much.」と表示した。実際のメッセージ表示画面を図4に示す。

4. 評価実験

4.1 実験条件

食事動作は文化や慣習、食物の種類によって様々な形態



(a) 評価実験
Evaluation test

(b) 追加実験
Additional test

図 5: 実験用のダミー食物

Fig. 5 Dummy meals for the experiment.

があるが、本実験では箸を用いた固形物の食事動作に限定した。また、被験者の安全を考慮し、実際に摂食はせず、食事動作を模倣した動き(食物を箸で掴み、口元まで運ぶ動作)を行うに留めた。食物は紙粘土で作成した模造品とし、Fish, Rice, Vegetableの3種類をそれぞれ青色、緑色、紫色で作成した。これらの色は、人体の肌色と被らないため色検出に影響を及ぼしにくいという理由で選定している。評価実験の様子を図??, 評価実験で用いたダミー食物の外観を図5(a)に示す。

被験者の数は7人(男性:5人, 女性2人)であった。被験者が行ったタスクは次のとおりである。

- (1) 利き手の手首に手首装着型カメラデバイスを装着する。
- (2) 皿の上の食物を箸で掴み、口元まで運ぶ。
- (3) 食事動作が認識されたら、食物を左手側の箱に入れる。
- (4) PC上の表示メッセージが「OK!」になるまで(2)~(3)を繰り返す。

4.2 実験結果

評価実験での食事動作の検出結果を図6(a)に示す。44回の全食事動作のうち、検出に成功したのは59 [%]であった。検出に失敗した例のうち、一度の食事動作で複数回の食事動作を検知した「複数回検知」は4 [%], 食事動作を行ったにもかかわらず検出できなかった「未検出」が2 [%], 食物の種類を誤って認識した「判別失敗」が30 [%]であった。ここで、本実験における食事動作は一般的な速度ではなく、食物を口元まで運んだ状態から食事動作が認識されるまで待機しており(最大15秒), その結果「未検出」の事例が少なくなっていることに留意する必要がある。

4.3 アンケート調査

評価実験後、被験者に対しGoogleフォームを用いてアンケート調査を行い、5名から回答が得られた。アンケートの項目は、SUS (System Usability Scale)を算出するための質問10項目に加え、被験者の健康意識や本研究の手法に対する印象などを調査するための7項目を設定した。各設問は、1(まったく同意しない)から5(とても同意する)までの5段階評価とした。調査の結果を図7に示す。

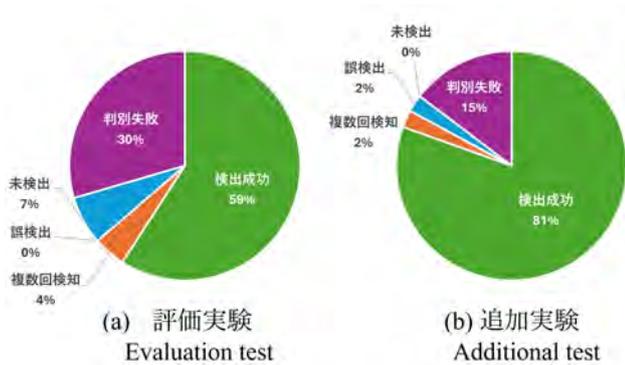


図 6: 食事動作の検出結果

Fig. 6 Detection results of eating behavior.

4.3.1 SUS によるユーザビリティの評価

SUS とはユーザビリティを 0 点から 100 点までの定量的な値で評価する手法であり [15], また, 肯定的な質問と否定的な質問を n 回交互に繰り返すことで信頼性を向上させている. SUS の最終的な値は以下で求められる.

$$SUS = \frac{50}{n} \left(\sum_{i=1}^n (P_i - 1) + \sum_{i=1}^n (5 - N_i) \right) \quad (1)$$

ここで, P_i は肯定的な質問に対する回答の値, N_i は否定的な質問に対する回答の値である. 調査の結果, 全被験者の SUS の平均値は 68 点であった. この値は SUS 評価において良否の基準となる点数に等しく, 本デバイスのユーザビリティは中程度であるという結果を得た.

4.4 健康意識の調査と提案デバイスの有用性評価

被験者の健康意識を調査するとともに, 提案手法の有用性を評価するため, 「普段から自分の食事に気を遣っている」, 「健康維持のためには食事が重要であると思う」, 「摂取した栄養素やカロリーを記録することは重要である」, 「食事をカメラで撮影されることに嫌悪感を感じる」, 「現在のシステムには欠陥があると感じた」, 「この製品の船室が改良されれば利用したい」, 「以上の項目を踏まえ, この製品は健康補助に有用であると思う」という 7 項目の質問を用意し, 各設問ごとに被験者から 5 段階で評価を得た.

図 7 に示すように, 健康管理や食事記録に対する被験者の意識は比較的高いことが分かる. しかし, 「普段から自分の食事に気を遣っている」という質問に対して「とても同意する」と答えた被験者は 5 人中 1 人のみであったため, 実際に食事管理を継続できている人は少ないことが推察される. 以上の傾向を有する被験者から, 有用性に関する質問に対して好意的な反応を得ることができた.

一方で, 「食事をカメラで撮影されることに嫌悪感を感じる」という設問に「とても同意する」と答えた被験者が 5 人中 2 人いたことに留意しなければならない. 本実験ではデバイスで撮影した映像を PC の画面上に表示していたが, 人によってはこの「食事の撮影」という行為に抵抗感

を感じる可能性があることが明らかになった. そのため, カメラの使用を最低限に抑えることや, 撮影されていることを使用者に感じさせないように工夫が必要であると考えられる.

4.5 追加実験

評価実験ではある程度の有用性が示されたものの, 精度やユーザビリティ評価の結果は満足のいくものではなかった. 図 6 (a) から分かるように, 検出失敗事例の多くは食物の「判別失敗」である. 実験データを解析した結果, 色検出が正常に行われず被験者の衣服や背景などを食物と誤認識してしまったことが判別失敗の原因であった. この問題を解決するため, 彩度の高いビニールテープをダミー食物に貼付し, 周囲の色と区別しやすい状態にして追加実験を行った. 被験者は 20 代の 4 人 (男性 3 人, 女性 1 人) であり, 食物以外の実験条件は評価実験と同一である. 追加実験で用いたダミー食物を 5 (b), 追加実験の結果を図 6 (b) に示す.

追加実験の結果は, 41 回の全食事動作のうち, 「判別失敗」となった割合が 15 [%] まで減少し, 検出成功の割合は 81 [%] まで上昇した. また, 3 人が回答したアンケート調査の結果では, SUS が 73.3 点まで上昇しており, 食事動作の検出精度が上昇したことにより被験者の印象が変化した可能性があると考えられる.

4.6 被験者からの意見

アンケートの末尾で, 本研究に対する意見を任意で述べていただいた. 一部抜粋してここに掲載する.

- 「思ったより軽量だったため, 特に負担は感じなかった. 物体の認識に少しラグがあるため, 少し使いづらさを感じた. ラグがなくなれば, とても有意義なシステムだと思う。」
- 「装着するのがカメラのみのため, だれでも使いやすいシステムになる可能性があると感じた. また, リアルタイムで検出しており, 感覚的に分かりやすかった。」しかし, 「箸を持つ手にデバイスを取り付ける必要がある」ことは「箸を使うにあたって邪魔になる」ため, 問題になり得る. 「小型化し, 取り付けやすくなれば使いたくなると思った. 結果の可視化については, 今回は文字のみでの表示だったため, イラストなどがあればより楽しく使えると思う。」
- 「記録したデータをスマホに送って, 管理するの」良いと考えられる.
- 「カメラの位置を工夫する必要がある」.

5. おわりに

本研究では, 手首装着型カメラデバイスを提案し, 機械

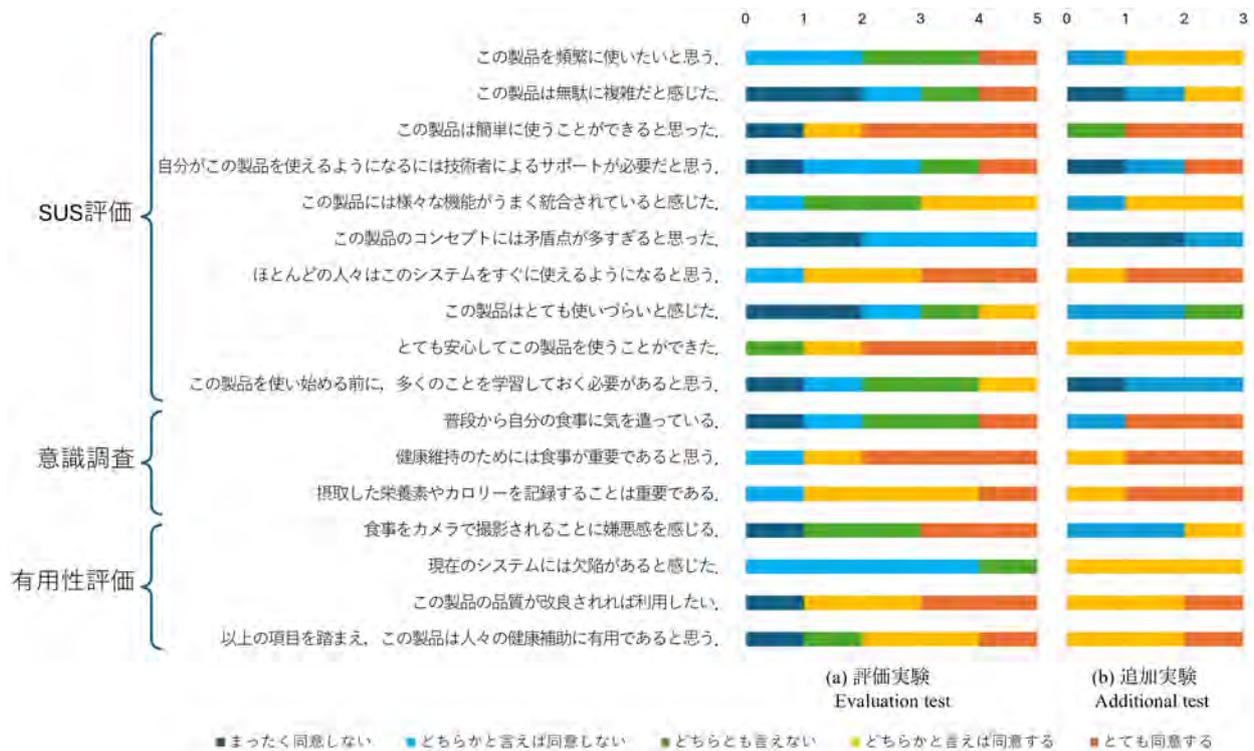


図 7: アンケート結果

Fig. 7 Results of the questionnaires.

学習による顔認識と色検出による食物認識を用いて食事動作検出と食事量測定を実現するシステムを開発した。評価実験では、実際に提案デバイスを手首に装着した状態で、ダミーの食物を用いた食事動作検出と食事量計測を行い、59 [%] の確率で食事動作の検出に成功した。また、ダミー食物の彩度を修正して追加実験を実施した結果、81 [%] の確率で食事動作検出に成功した。実験後は被験者を対象としたアンケート調査を行い、提案デバイスの有用性を評価した。アンケート調査では好意的な意見が比較的多かったものの、カメラによる食事動作の撮影に嫌悪感を感じる使用者もいることが分かった。

今後は、機器の小型軽量化やスタンドアロン化を実現し携帯性を高めるとともに、食物認識にも機械学習や深層学習を取り入れ、様々な環境に対応できる堅牢な認識システムの構築に取り組むことが必要である。この際に問題となるのは認識処理の演算量であり、マイコン性能の制限を考慮した高速な検出アルゴリズムの提案が求められる。また、使用者の健康意識向上に効果的な UI も模索していく必要がある。

参考文献

[1] 板生清, 駒沢真人, “ウェアラブルデバイスの応用と近未来の展開”, エレクトロニクス実装学会誌, Vol. 18, No. 6, pp. 384-389, 2015
 [2] 厚生労働省, “「日本人の食事摂取基準 (2015 年版)」策定検討会報告書”, pp. 22-28, 2014
 [3] 今枝奈保美, “食事摂取量の把握方法と結果の活用”, 日本

スポーツ栄養研究誌, 第 6 巻, pp. 10-17, 2013
 [4] A. N. Yumang, D. E. S. Banguilan and C. K. S. Veneracion, “Raspberry PI based Food Recognition for Visually Impaired using YOLO Algorithm,” 2021 5th International Conference on Communication and Information Systems (ICCIS), Chongqing, China, 2021, pp. 165-169
 [5] Y. Dong, A. Hoover, J. Scisco, and E. Muth, “A New Method for Measuring Meal Intake in Humans via Automated Wrist Motion Tracking”, Appl Psychophysiol Biofeedback, Vol. 37, pp. 205-215, 2012.
 [6] A. Parate and D. Ganesan, “Detecting Eating and Smoking Behaviors Using Smartwatches”, Mobile Health, Springer, Cham, pp. 175-201, 2017.
 [7] K. Kyritsis, C. L. Tatli, C. Diou and A. Delopoulos, “Automated analysis of in meal eating behavior using a commercial wristband IMU sensor”, 2017 39th Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), Jeju, Korea (South), pp. 2843-2846, 2017.
 [8] 鈴木琢治, 大内一成, 土井美和子, 森田千絵, 佐藤誠, “LifeMinder: ウェアラブル健康管理システム”, 情報処理学会第 65 回全国大会, Vol. 2003, No. 1, pp. 95-96, 2003
 [9] 大内一成, “ウェアラブルセンサ開発と産業応用に向けた実証実験”, 情報処理学会研究報告, Vol. 2016-ASD-4, No.8, pp. 1-4, 2016
 [10] 鍋谷俊輔, 岩本健嗣, 松本三千人, “ウェアラブルデバイスによる食べる動作に着目した食事内容推定の研究”, マルチメディア通信と分散処理ワークショップ論文集, Vol. 2014, No. 5, pp. 160-167, 2014
 [11] 齋藤隆仁, 川崎仁嗣, 太田賢, 片桐雅二, 池田大造, “前腕動作に着目した食事内容推定”, マルチメディア, 分散協調とモバイルシンポジウム 2017 論文集, Vol.2017, pp. 1827-1832, 2017
 [12] M5Stack, M5Stack UnitV2-The standalone AI Camera

for Edge Computing, <https://shop.m5stack.com/products/unityv2-ai-camera-gc2145> (参照日:2024年5月7日)

- [13] J. Gu, Z. Wang, J. Kuen, L. Ma, A. Shahroudy, B. Shuai, T. Liu, X. Wang, G. Wang, J. Cai, T. Chen, "Recent advances in convolutional neural networks", *Pattern Recognition*, Vol. 77, pp. 354-377, 2018.
- [14] S. Albawi, T. A. Mohammed and S. Al-Zawi, "Understanding of a convolutional neural network," 2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET), Antalya, Turkey, 2017, pp. 1-6, 2017
- [15] X. Song, M. Liu, L. Gong, Y. Gu and M. Shidujarman, "A Review of Human-Computer Interface Evaluation Research Based on Evaluation Process Elements", *Human-Computer Interaction (HCII 2023)*, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 14011, Springer, Cham., pp. 262-289, 2023.