

eat2pic: 食事と描画の相互作用を用いて健康的な食生活を促すナッジシステム

中岡 黎^{1,a)} 中村 優吾^{1,b)} 松田 裕貴¹ 三崎 慎也¹ 安本 慶一¹

概要: 本研究では、食べるという行動を絵に色を塗るというタスクにリフレーミングすることで、ユーザの健康的な食生活を後押しするナッジシステム「eat2pic」を提案する。eat2pic は、箸型センサとデジタルキャンバスで構成されており、(1) ユーザが一口ごとに何をどれくらいの大きさを掴みどれくらいのスピードで食べているのかを自動的に追跡する機能、(2) 食行動の良し悪しをリアルタイムで視覚的にフィードバックする機能、(3) モチベーションを維持するために短期的・長期的な目標を提示する機能を提供する。本論文では、日本食に含まれる代表的な食材 45 品目を対象としてオリジナルの食事行動データセットを構築し、箸型センサの食行動認識能力を検証した。また、一人暮らしの若年男性を対象としたユーザスタディを実施し、eat2pic のナッジメカニズムの有効性を評価した。実験の結果、提案する箸型センサは一口ごとの摂食タイミング、食材の種類、大きさを高い精度で認識することを確認した。また、eat2pic が、ユーザにゆっくりと食事をすることを促すと同時に、楽しみながらよりバランスのとれた食生活を動機づけることを確認した。

1. はじめに

食事は、私たちの心と身体の健康を維持するために欠かせない重要な生活習慣の一つである。COVID-19 の流行に伴い、世界保健機関 (WHO) は、強力な免疫システムを維持し、慢性疾患や感染症を回避または最小化するために、健康的な食生活の重要性を強調している [1]。そのため、栄養バランスの偏った食事、日常的な早食いや過食といった悪い食習慣を改善することが望ましい。

しかし、現代を生きる多くの人々にとって、健康的な食習慣を確立することは容易ではない。例えば、COVID-19 の影響により孤食の機会が増えているが、孤食はジャンクフードなど簡単に食べれる不健康な食品を選ぶ傾向を強めることが知られている [2]。また、スマートフォンの普及に伴うデジタル介入の増加や、複数のデジタルメディアの同時利用が、早食いや過食などの不健康な食習慣を加速させる要因として考えられている [3], [4]。

このような背景から、不健康な食習慣を克服するアプローチとして、マインドフル・イーティングの概念 [5] が注目を集めている。マインドフル・イーティングでは、食事に集中するために、デジタル介入による食事の気晴らしを最小化し、一つ一つの食材を味わいながらゆっくりと



図 1 eat2pic の概要。

時間をかけて食べることが推奨されている [6]。そのため、ユーザの注意を奪いすぎることなく、ゆっくり食べることや栄養バランスの良い食品を選ぶといった健康的な食習慣を促すための解決策が必要である。

そこで本論文では、カーム・テクノロジー [7] の設計思想に基づき、食事空間に自然に溶け込むインタフェースを通じて、ユーザの食事を妨害することなく、ゆっくり食べることや栄養バランスの良い食品を選ぶといった健康的な食習慣を後押し (ナッジ) するシステム「eat2pic」を提案する (図 1)。eat2pic のキーコンセプトは、人間と絵画のインタラクションを拡張し、人々の食生活が絵画に反映され、絵画の変化が人々の食生活の変容を促すという健康的な食生活を強化するためのフィードバックループを確立することである。日常生活に溶け込むデザインを追求するために、ユーザが関心のある情報をアート化し、絵画を模したディスプレイから提示する研究 [8], [9] は古くから存在するものの、ユーザの健康的な食生活をナッジすることを

¹ 奈良先端科学技術大学院大学

a) nakaoka.rei.no5@is.naist.jp

b) y-nakamura@is.naist.jp

目的として、絵画を模した情報表現によって短期的/長期的なフィードバック手法を提案する研究は、我々の知る限り存在しない。

本研究では、日本食に含まれる代表的な食材 45 品目を対象としてオリジナルの食事行動データセットを構築し、箸型センサを用いた食行動認識の精度を検証した。その結果、本研究で開発した箸型センサは、高い精度で一口ごとの摂食タイミング、食材の種類、大きさを認識できることがわかった。また、一人暮らしの若年男性を対象としたユーザスタディを通して、ナッジメカニズムの有効性を評価した結果、提案システムがユーザの食事スピードを低下させると共に、楽しみながらバランスの取れた食材の摂食など、健康的な食生活を動機づけることを確認した。

2. 関連研究

2.1 食事の自動モニタリング技術

食事行動の自動モニタリングは、UbiComp や HCI の研究領域で重要かつ挑戦的なテーマであり、これまでに様々なシステムが提案されている。

Foodlog[10] は、スマートフォンのカメラで撮影された食事の俯瞰画像から食事メニューやカロリーを自動で推定することが可能な食事内容記録支援システムである。このシステムを用いて、日々の食事内容を記録することはできるが、どの食材をどの順番でどのように食べたのかなど食べ方に関する情報の記録することはできない。

一方、食事の食べ方を記録するためのシステムとして、腕時計型 [11] や、耳装着型 [12]、メガネ型 [13]、[14] のウェアラブルセンサを用いた手法が提案されている。また、複数のウェアラブルデバイスを組み合わせるより詳細な食事行動を認識する手法も提案されている [15]。しかし、特殊なウェアラブルデバイスを身体に装着したまま食事をすることは、食事の快適さを阻害する可能性がある。そこで本研究では、食事中に使用するカトラリーをセンサ化するアプローチを採用する。

これまでに、食事行動の記録を目的としてスプーン型 [16]、フォーク型 [17]、[18]、箸型 [19] のスマートカトラリーが提案されている。しかしながら、食べるスピードや食べた食材の種類識別などを部分的に達成している技術は存在するものの、一口ごとに食べるタイミング、口に運んだ食材の種類や大きさを同時に記録することができるスマートカトラリーは実現されていない。近年、PenSight [20] をはじめとして、道具型のデバイスにカメラを統合し、道具を使用した行為に関わるインタラクションを拡張するアプローチが注目を集めている。そこで本研究では、小型のカメラと慣性センサを箸型のデバイスに組み込み、画像認識技術と時系列信号処理を組み合わせることで、一口ごとの詳細な食行動を自動記録するアプローチを採用する。

2.2 食行動の変容を促すナッジング技術

ナッジは、Thaler および Sunstein によって提案された行動経済学の概念である [21]。具体的には、人々の選択肢を禁止することなく望ましい行動へと促すための仕掛けや手法のことである。ここ数年で、ナッジは UbiComp や HCI の研究領域で応用され、健康的な食行動を促進することを目的としたいいくつかのシステムが提案されている [22]。

例えば、Adams ら [23] は、過食を防止するために、デルブーフ錯視 [24] を利用して食材が実際よりも大きく見えるマインドレスプレートを開発した。また、Barral [25] らは、サブリミナル・プライミング効果に基づいて、キッチンで特定の食べ物を素早く点滅させることによって、ユーザがその食べ物の選択するように誘導可能であることを明らかにした。

早食いや偏食を防止することを目的として、センシング/フィードバック方式を採用した食事行動支援システムをいくつか提案されている。Kim [26] らは、食べ物の重さの変化をプレート型のセンサによって計測し、食事のペースが早すぎると判断した場合には、光のフィードバックで利用者に食事のペースを落とすように警告するスマートプレート EcoMeal を提案している。HAPIfork [27] は、フォークを口に運ぶペースを監視し、早食いを検知した場合に光や振動のフィードバックを返すことで、ゆっくり食べることを促す食事支援システムである。すでに商用化されており、日々の食事行動の履歴等を、スマートフォンアプリ上で確認することができる。Kadomura らは、子供の偏食や遊び食を防止することを目的として、フォーク型センサとスマートフォンアプリのゲームを組み合わせたシステムを提案している [18]。カラーセンサから何色の食材を食べているのかを推定し、アプリケーション上のキャラクターの振る舞いを連動させることによって、食行動の改善を動機づけている。

しかしながら、これらのシステムは、食事中における短期的なフィードバックの検討に注力しており、健康的な食生活を継続させるための仕掛けが不足している。また、一部のシステムは、日々の食事内容や食行動の履歴をチャートやグラフに集約して視覚化する振り返り機能を備えているが、定量的なデータによるフィードバックは、モチベーションに負の影響をもたらす可能性が指摘されている [28]。さらに、食事中に使用している食器やカトラリーによる光・振動の介入や、スマートフォン上のゲームによるフィードバックは、ユーザの注意を過度に奪い、食事という行為に本来備わっている優雅さを損ねる可能性がある。本研究では、食事環境に自然に溶け込むシステムデザインを追求すると共に、食事環境の中心ではなく周辺に着目し、絵画を模した定性的な表現を用いて、短期的/長期的なフィードバックを提供するシステムを検討する。

3. 本研究が取り組む課題

本研究で取り組む課題は、以下の3つに要約される。

[C1] 食事行動を妨げることなく、一口一口の詳細な食事行動を認識する手法の実現

ユーザの食習慣の良し悪しを判断するためには、ユーザが何を食べているのか、どのくらいの速さで食べているのか、一口でどのくらいの量を消費しているのかなど、その行動の詳細を把握する必要がある。しかし、食事行動の詳細な認識を可能にする既存のセンシング手法は、いずれも食事時の利用者の頭、首や耳などに複数のセンサを装着する必要がある、ストレスがかかる可能性がある。これに対して、食事中に使用するカトラリーをセンサに置き換えるアプローチは、体にセンサを装着する必要がなくなるため、受け入れられる可能性が高い。しかし、食事中に単一のデバイスのみを使用して詳細な食事行動の認識する手法は、我々の知る限り存在しない。

[C2] 食事中にユーザの注意を過度に奪うことなく、ゆっくりと食事をすることを促す手法の実現

ゆっくりとした食事を促すことを目的とした既存の方法は、通常、食事中にゲームをさせたり、ロボットアームのような特別なデバイスを使用したりするなど、食事を中断させるアプローチを採用している。しかし、これらのアプローチはマインドフルな食事を妨げる可能性があるため、食事を過度に中断することなく、ゆっくりと食事をすることをユーザに促す方法を検討する必要がある。

[C3] 長期的にバランスのとれた食生活を維持するためのモチベーションを付与する手法の実現

既存の健康的な食習慣を促す方法は、食事中のみを対象とした一時的な介入に限られている。多くの人々は将来の報酬よりも目先の利益を優先するバイアスを持っているため、長期的に行動を持続させることは困難である。したがって、長期的にバランスのとれた食生活を維持するためには、食事中だけに限らず、日常生活のふとしたタイミングで自身の食生活を振り返ることが可能な情報をユーザに提示し、個人の意識の中で健康的な食生活に対する存在感を高める仕掛けが必要がある。

4. eat2pic：システムの設計

4.1 行動変容のためのアプローチ

人間の健康的な食生活を確立するためのアプローチを、Fogg 行動モデル [29] に基づいて検討する。Fogg 行動モデルでは、人が目標とする行動を実行するためには、(1) 十分な動機づけがあること、(2) 行動を実行する能力があること、(3) 行動を実行するきっかけがあることが必要であると考えられている。そのため、意図した行動が起こらない場合には、これら3つの要素のうち少なくとも1つが欠

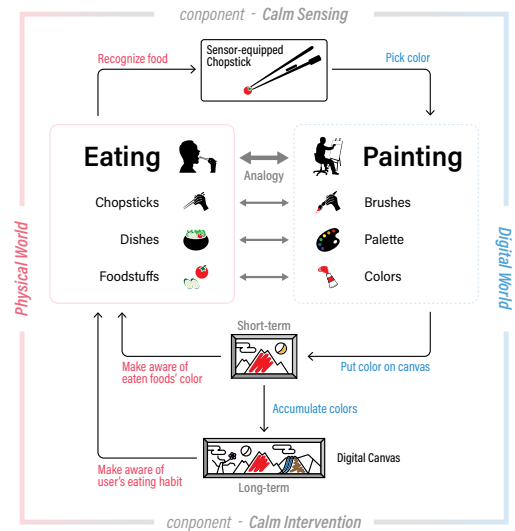


図2 eat2pic のコンセプト概要。

けていると考えることができる。食生活の改善というシナリオにおいては、ほとんどの人は、バランスのとれた食事を選択する、ゆっくり食べるというタスクを遂行するための身体的な能力をすでに持っていると推測される。そのため、多くの人々が健康的な食習慣を身につけていない原因は、個人の生活空間の中でのモチベーションの欠如や、十分なきっかけが不足している点ではないかと推察する。そこで、本研究では食事のタスクを情報技術を用いて他のタスクにリフレーミングすることによって、健康的な食習慣を実施するためのモチベーションときっかけを増加させるアプローチを採用する。

4.2 システム要件

eat2pic の要件を以下にまとめる。

機能要件

- FR1 一口ごとの摂食タイミングを検知する。
- FR2 一口ごとに食べた食材の種類を認識する。
- FR3 一口ごとに食べた食材の大きさを認識する。
- FR4 ゆっくり食べることを促すための即時フィードバックを提供する。
- FR5 バランスのとれた食事を促すための短期および長期の目標を視覚化する。

非機能要件

- NFR1 見慣れた形や外見のインタフェースを利用する。
- NFR2 日常生活への干渉を最小限にする。

4.3 システム設計

本論文では、物理世界における食事という行動をデジタル世界における描画という表現に反映させ、健康的な食生活を促すナッジシステム「“eat” to “pic” (eat2pic)」を提案する。我々は、eat2pic を設計する際、食べる行動と絵を描く行動のアナロジー（食べる行動と絵を描く行動には、箸と絵筆、皿とパレット、食べ物の種類と色など、似たよ

うな要素がある)に着目した。eat2picの核となるプロセスは、食事を単に栄養を体内に取り入れるための作業ではなく、より創造的で遊び心のある行為に感じられるように、食べるというタスクを風景画に色をつけるというタスクにリフレーミングすることである。そして、ユーザの日々の食行動が周囲の風景画に反映され、風景画の変化がユーザの健康的な食生活を促すという、図2に示すようなフィードバックループの確立を目指している。

eat2picは、ユーザが馴染みのない技術に触れることに對する不安を軽減するために、馴染みのある見た目や形のインターフェースを採用した(NFR1)。具体的には、センシングを行う入力装置として食事中に使う箸を、ユーザへの介入を行う出力装置として生活空間を彩る絵画(デジタルキャンバス)を採用した。また、スピーカやバイブレータを用いた介入は、マインドフルな食事を妨げる可能性がある。そのため、eat2picでは、食事中の干渉は最小限に抑える目的で、視覚効果を用いた介入を採用した(NFR2)。さらに、eat2picでは、ユーザの食生活の進行状況を、グラフのような定量的な表現ではなく、風景画の色を徐々に変化させるという定性的な表現を採用した。

eat2picは、箸型センサと、デジタルキャンバスを用いて、3つの機能(1)ユーザが一口ごとに何をどのくらいの速さで食べたかを自動的に追跡する機能、(2)食行動の良し悪しをリアルタイムで視覚的にフィードバックする機能、(3)モチベーションを維持するために短期的・長期的な目標を提示する機能を実現する。

箸型センサは、時系列信号処理とディープラーニングに基づく画像処理のアプローチを用いて、ユーザの食べる速度(FR1)、口に運んだ食材の種類(色)(FR2)、大きさ(FR3)を認識する。そして、それらの認識結果をデジタルキャンバス上の風景画に反映させる。eat2picには、短期eat2picと長期eat2picの2種類がある。短期eat2picでは、1回の食事で塗り終わることができる小さな風景画を使用する。小さな風景画は、食卓の上やダイニング空間の壁など食事中に見ることができる位置に設置され、風景画のゆるやかな変化が、利用者がよりゆっくりと食べることを促すように設計されている(FR4)。一方、長期eat2picは、塗り終わるまでに数日かかる大きな風景画を使用する。大きな風景画は、キッチンに置かれており、調理前または食後に介入することが期待される。ユーザは、各風景画を完成させるために、色とりどりの食材で構成された料理を食べる必要がある。

短期と長期のeat2picは、健康的な食事を継続するための目標になるように設計されている(FR5)。短期と長期のeat2picを組み合わせたモチベーション維持のメカニズムを図3に示す。このように、eat2picは、4つの心理的効果(ツァイガルニック効果、エンダウド・プログレス効果、目標勾配効果、目標視覚化効果)が誘発されるように

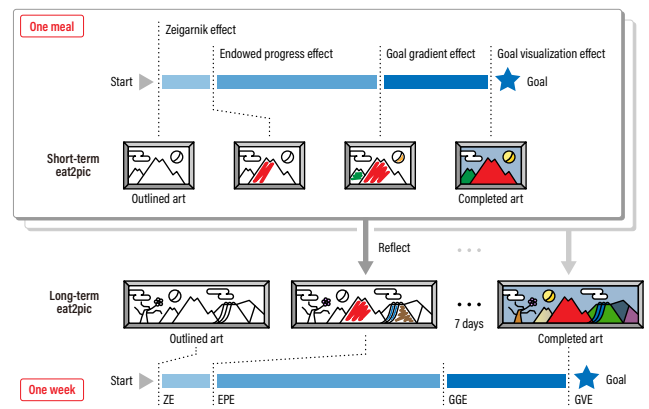


図3 4つの心理効果を用いたモチベーション維持メカニズム。設計されている。

第1段階では、「ツァイガルニック効果」を利用する。これは、完了したタスクよりも中断されている不完全なタスクの方が強く印象に残り、優先度が上がるという現象である。eat2picは、枠線のみが表示された不完全な風景画を提示することで、ユーザに色を付けたいという欲求を喚起させることを狙っている。そして、風景画に色を塗るためにカラフルな食事メニューを選択することを促す。

第2段階では、目標に対して若干の前進を感じたとき、目標達成への執着心が強くなる現象である「エンダウド・プログレス効果」を喚起する。eat2picは、ユーザが食べた食材の色を風景画を自動的に着色し、食生活の進行状況を可視化する。例えば、栄養バランスが偏った食事メニューを食べたとしても、風景画に対する色ぬりは進んでいくため、ユーザは視覚的に進捗を感じることができる。

第3段階では、目標に向かって進むにつれて、ユーザの努力が増えていくという「目標勾配効果」を利用する。具体的には、短期・長期のeat2picの色塗りが完成に近づくにつれて、バランスのとれた食生活を送ろうとする意識や、現在不足している食材(野菜など)の摂取量を増やそうとする意識を向上させることを狙っている。

最後に、見えにくい目標よりも見えやすい目標の方が優先度が高いと認識する目標視覚化効果を利用する。つまり、生活空間に配置された短期・長期eat2picを通じて、ユーザの食生活の進捗状況を視覚的に提示することで、健康的な食生活の確立に向けたユーザのコミットメントを高める。

5. eat2pic: システムの実装

5.1 システムアーキテクチャ

eat2picのシステムアーキテクチャを図4に示す。システムは、箸型センサ、ゲートウェイデバイス、デジタルキャンバスから構成されている。箸型センサにはIMUセンサ(MetaMotionR+^{*1}: sensors — 100 Hz quaternion 3軸加速度センサ/ジャイロスコプ; dimensions — L29×W18×H6 mm; weight — 5.7 g)と、食べる前の画像を撮影するための

^{*1} MblebLabs: <https://mbleblab.com/metamotionr/>

小型カメラ（内視鏡検査用カメラ^{*2}: resolution — 640×480 px; frame rate — 4-5 fps）を搭載している。箸型センサの外装は、3DCADによってデザインし、複数のプロトタイプを3Dプリンタで出力した。持ちやすさや使いやすさの観点からセンサやカメラの位置を試行錯誤し、最終的に図5に示す箸型センサデバイスを実装した（長さ：21cm, 重さ：41g）。

IMU センサ信号とカメラデータ（時系列画像）は、それぞれ Bluetooth Low Energy（BLE）と有線を介してゲートウェイデバイスに送信される。そして、ゲートウェイデバイスは、IMU センサ信号とカメラデータを同時に解析し、ユーザの食べる速度、口に運んだ食材の種類（色）と大きさを認識する。また、ゲートウェイデバイスは、ユーザの食事行動に基づいて、デジタルキャンバスに表示される風景画（キャンバスビュー）の変更を制御するウェブサーバを備えている。キャンバスビューでは、摂食された食べ物の色を絵の具の色として、食事の速度は色の混ざりとして、一口あたりの大きさは色が塗られる速度として対応づけられている。

本研究では、短期・長期のデジタルキャンバスに薄型タブレット端末とサイネージ端末を用いて、それぞれ図6に示すように実装した。短期 *eat2pic* キャンバスは49枚（7色×7）、長期 *eat2pic* キャンバスは350枚（7色×50）のピースがある。それぞれの原画は、日本の風景をテーマにライブペイントパフォーマンス経験のあるアーティストに制作してもらった。短期 *eat2pic* キャンバスでは、1回の食事を50個以上口にして食べることを目安にピース数を設定した。長期 *eat2pic* のピース数は、対象ユーザが自宅で箸型センサを使って週7回以上、バランスのとれた食事をするという想定で暫定的に決定した。それぞれのキャンバスはダイニングとキッチンに設置されている。

5.2 システム機能

eat2pic には3つの機能がある：(F1) ユーザが一口ごとに何をどのくらいの速さで食べたかを自動的に追跡する機能、(F2) 食行動の良し悪しをリアルタイムで視覚的にフィードバックする機能、(F3) モチベーションを維持する

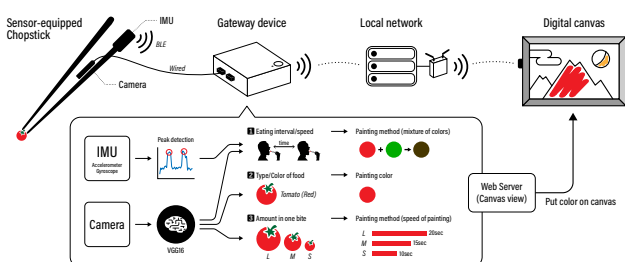


図4 *eat2pic* のシステム構成図。

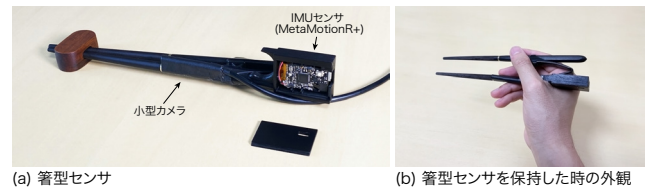


図5 箸型センサの構成。

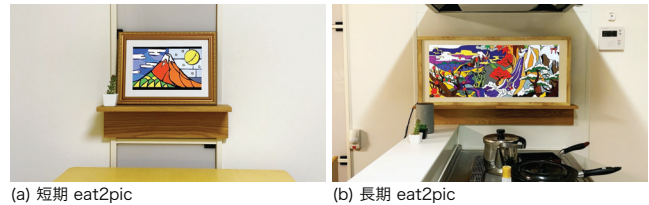


図6 2種類の *eat2pic* で使われる絵画：(a) は健康的な食事を (b) は健康的な献立選びをナッジする。

ために短期的・長期的な目標を提示する機能。以下では、*eat2pic* の各機能がどのように実装され、どのように連携しているかを説明する。

5.2.1 F1: 食事行動の自動トラッキング

eat2pic は、箸型センサを使用して、ユーザが何をどのくらいの速さで食べ物を消費したかを自動的に追跡する。この追跡機能により、個人の食事の好みや偏り、食行動の特殊性などを記録することができる。*eat2pic* では、箸型センサから、食事時の IMU センサ信号とカメラデータ（時系列画像）を同時に取得する。そして、得られたセンサデータと画像データのストリームを時系列信号処理とディープラーニングに基づく画像処理のアプローチを用いて解析し、摂食タイミングの検出、食材の種類（色）の認識、口に運んだ食材の大きさの判定を行う。

箸型センサを用いた認識パイプラインの構成を図7に示す。入力には IMU センサから得られる加速度とジャイロと、箸の先端に取り付けられたカメラから収集された画像データである。システムは、時系列信号処理部とディープラーニングに基づく画像認識部から構成されている。時系列信号処理部では、まず、IMU センサから取得した加速度信号とジャイロ信号から、箸の姿勢角度を算出する。そして、Z軸方向の回転量を計測し、箸の先端を口に向ける動きを監視する。Z軸方向の回転量の時系列信号の一例は、図7の上部に示している。

システムは、このデータに対してピーク検出処理を適用し、ユーザの摂食タイミングを特定する。しかし、単に箸を上に向けただけでは、同様のピークが検出されてしまうため IMU センサからの信号だけでは、ユーザが実際に食べ物を口に入れたかどうかを知ることができない。このような誤認識を防ぐために、パイプラインでは、ディープラーニングベースの画像認識プロセスを並列で適用する。具体的には、カメラからの画像の各フレーム（4～5fps）に対してオブジェクト認識を行う。オブジェクト認識に使用するモデルは、VGG16 [30] と YOLOv3 [31] をベースに構築

^{*2} KKmoon: <https://www.kkmoon.com/>

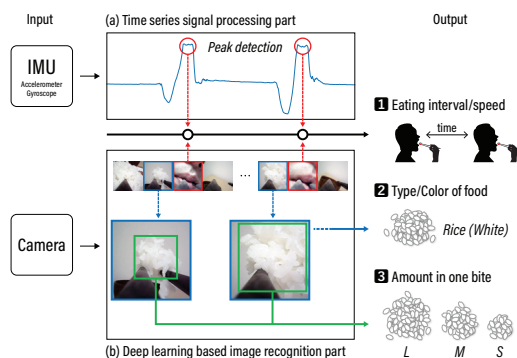


図 7 食事認識パイプラインの概要図。

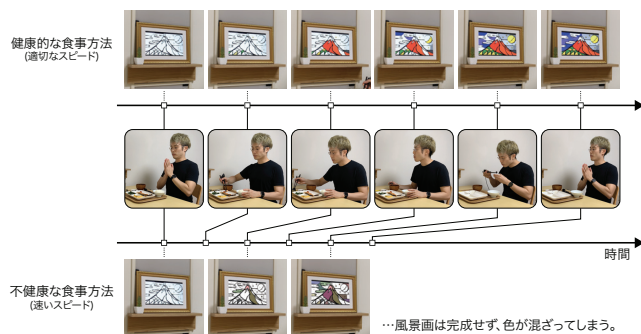


図 8 食べる速度に応じて色が変化する例。

した。それぞれのモデルは、各フレームごとに、食べ物の種類と色、食べ物の大きさ（小，中，大），食べ物がユーザの口に入ったかどうかを認識する。

システムは、時系列信号処理部でピークが検出され、画像認識部で食べ物を口に入れたと認識された場合に、ユーザが食べ物を摂食したと判断する。そして、検出された摂食タイミングから、ユーザの摂食間隔と摂食速度を算出する。また、システムは、検出された摂食タイミングの前のフレームの画角において、食べ物の種類と部位の大きさを認識する。その結果、システムは（1）食事間隔・速度、（2）食べ物の種類・色、（3）一口で含んだ食材の大きさを出力する。

5.2.2 F2: 健康的な食事を促すためのフィードバック

短期 *eat2pic* は食卓の壁に設置され、ユーザは、デジタルキャンバスに描かれた風景画を見ながら食事を楽しむことができる。*eat2pic* では、ユーザが食べた食材の色がデジタルキャンバス上の風景画の 1 ピースとして反映される。このとき、ユーザの食べ方に応じて色の付け方が変化する仕様となっている。例えば、ユーザが急いで食事をすると、図 8 のように、1 ピースに塗られる色が混ざってしまい、風景の見栄えが悪くなってしまふ。綺麗な色を塗るためには、一口食べるごとに十分な時間（10 秒から 30 秒）をかけて、ゆっくりと食事が要求される。*eat2pic* では、一度に口に運んだ食べ物の大きさに応じて、1 秒の平均咀嚼数 1.5 回を目安に、咀嚼すべき回数から一口あたりの待ち時間を決定している。*eat2pic* は、これらのインタラクションを通じて、ユーザにゆっくりと食事することを促す。

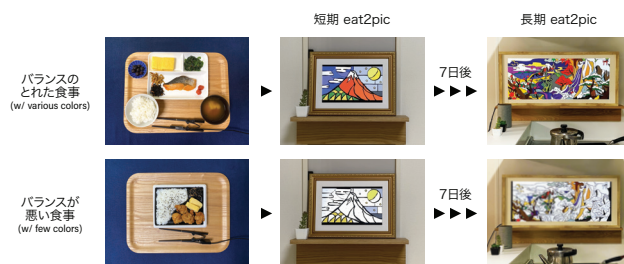


図 9 異なる食事をとった際の *eat2pic* の表示の例。

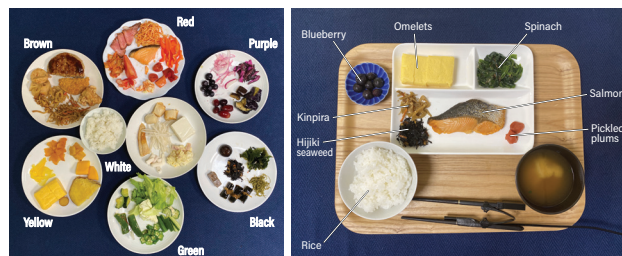


図 10 45 種類の日本食。

図 11 評価実験で用いた献立。

5.2.3 F3: ユーザのモチベーションを維持するための短期的・長期的な目標提示

eat2pic では、それぞれの風景画の全てのピースに色を塗ることを短期的・長期的な目標として設定している。様々な色で構成された風景画を完成させるためには、様々な色で構成される食材を食べることが求められる。図 9 は、食事メニューの種類に応じて風景画の塗られかたが変化する例を示している。このように、バランスのとれた食事を選んだ場合、風景画を完成させることができるが、バランスの悪い食事を選んだ場合には、色が塗られないピースが発生し、風景画は未完成となる。また、ユーザは、キッチンで未完成の風景画を見て、今週は緑の食材の摂取量が少ないことに気づき、夕食にサラダを追加するといった意思決定を下すことができる。*eat2pic* の美しい風景画は、健康的な食生活を維持するという努力に対するインセンティブとして設計されている。

6. 箸型センサの認識実験

6.1 検証用のデータセット

箸型センサの認識精度を検証するために、利用者が食事をしている間に収集した IMU センサと画像データで構成されるデータセットを構築した。具体的には、実験協力者 5 名（右利き 3 名，左利き 2 名）の協力を得て、箸で食べ物をつかむ動作、口に運ぶ動作、食べる動作などの摂食行動に関するセンサデータを収集した。データ収集は、大学のキャンパスに設置されたテストベッド型スマートハウスの生活空間環境と、グリーンシートで覆われた部屋（背景の切り替えによってデータを拡張するため）で行った。実験では一般的な日本食に含まれる 45 種類の日本食（図 10 に示すように 7 色に分解したもの）を使用した。収集されたデータセットには、各クラスごとに約 25 回の摂食行動と約 36,000 枚の画像が含まれている。

表 1 自動食事追跡システムの認識結果 (F 値).

モデル	説明	精度 (F 値)
M1	IMU センサのみで摂食タイミング検出	0.85
M2	IMU センサとカメラを組み合わせた摂食タイミング検出	0.95
M3	45 種類の食材分類	0.95
M4	7 色の色分類 (赤, 緑, 黄, 白, 黒, 紫, 茶)	0.98
M5	大きさ分類 (小, 中, 大)	0.93
M6	7 色の色分類 (照明配置の異なる環境下)	0.94

6.2 認識結果

自動食事追跡システムの認識結果を表 1 に示す. 摂食タイミングの判定に関して, ウィンドウ幅は 3 秒を設定している. データセットを 5:5 の比率で学習データとテストデータに分割し, パイプライン内の各モデルを評価した. 提案手法 (M2-M6) の精度はいずれも 90%を超えている. IMU センサデータのみでの食事タイミング検出精度が 85%であるのに対し, 時系列センサデータ処理と画像処理を組み合わせることで, 検出精度を 95%まで向上した. また, 食品の種類や色の認識結果も非常に高い精度であることが確認された. しかし, このような高精度モデルは, 光条件などの環境条件に過学習してしまい, 照明の配置等が異なる環境で収集したデータには適応できない可能性がある. 本研究では, この問題を克服するために, ファインチューニングを用いたアプローチを採用する. 具体的には, ターゲット環境で収集した少量の画像データで M3 モデルをファインチューニングすることで, ソース環境以外でも十分に機能するモデルを構築している. その結果, 精度 90% 以上の色認識モデルが構築できることを確認した.

7. eat2pic: 評価実験

7.1 実験条件と設定

この評価の目的は提案システムがゆっくりとした食事やバランスの取れた食事などの良い食生活を促すことができるかどうかの有効性を確認することにある. 近年の調査 [32] では, 一人暮らしの若年成人は食事時間が少なく, 悪い食習慣に陥る可能性が高いことを示している. これらの理由から, 22-24 歳の独り暮らし 10 人の参加者 (全員男性) を募りユーザスタディを行った. 彼らは他の研究プロジェクトに従事している大学の学生であり, eat2pic を利用するのは初めてである. 実験では 4 つの条件を比較した.

NI-介入なし: この条件では, 参加者は通常どおり定食を食べることができる. この条件をベースラインとして設定し, 以下に説明する各介入の有効性を評価する.

GI-グラフを用いた介入: eat2pic のプロトタイプに基づいて, 図 12 に示すようにグラフベースのインターフェースを準備した. このインターフェースでは, ユーザが食べた材料の数がカウントされ, リアルタイムでグラフに視覚化される. この条件は, 多くの既存のヘルスケアシステムで採用されている一般的なアプローチであるため, 比較手法として採用された.



図 12 3 種類の介入 (GI, PI1, PI2).

PI1-風景画を用いた介入 (eat2pic): この条件では, eat2pic 介入がユーザに適用される. ユーザが食べた食事の色は, 風景画の一部に反映される.

PI2-風景画を用いた介入-色の混合機能あり (eat2pic): PI1 の条件を拡張し, 図 12 (c) に示すように, 食べる早さに応じて色が混合する機能を追加した. ユーザが早食いすると, 塗られる色が混ざってしまい, 風景画の仕上がりが悪くなる.

実験の参加者は, スマートハウステストベッド内のダイニングで異なる日に合計 4 回の食事 (条件ごとに 1 回) をした. 実験期間は, 約 1 ヶ月であり, 被験者の都合に合わせて日程が割り当てられた. 順序効果を影響を防ぐため, 3 種類の介入 (GI, PI1, PI2) の順番は, 被験者毎にランダムに割り当てられている. スマートハウスのダイニングエリアとキッチンエリアは, それぞれ短期デジタルキャンパスと長期デジタルキャンパスが飾られている. すべての実験で, 参加者は同じメニューの定食を食べ, 参加者は箸型センサを使って一人で食事をした. 図 11 に示すように, 鮭, 梅干, 卵焼き, ひじき, ほうれん草, 味噌汁, ご飯のバランスのとれた和食の定食で食事をしてもらった.

物理的な偏りを最小限に抑えるために, すべての条件に対して可能な限り同様の空腹条件を調整するよう事前に依頼した. 実験を通して, 合計 40 食分の食事行動データを収集した. 参加者は事前に eat2pic の目的を知らされておらず, ユーザの食事行動に応じてデジタルキャンパス上のコンテンツがどのように変化するかなどシステムがどのように機能するかについてのみを説明した. システムの視覚的介入に対する参加者の反応を観察するために, 定点カメラをダイニングエリアに設置した.

7.2 仮説

我々が検証する仮説を以下に示す.

H1: 絵画の変化を楽しみながら食事をとることは, 介入なしの状態 (NI) と比較して, ゆっくりとした食事を促し, ユーザの食事時間を増やす効果がある. 特に, 介入あり (PI2) で食事時間が最も長くなる.

H2: eat2pic によるユーザの食習慣の定性的な可視化 (PI1, PI2) は, グラフを使用した定量的な可視化 (GI) より動機づけ効果が高く, ユーザに色とりどりの食材で構成されたバランスの良い食事メニューを選択する意識を向上させる.

H3: 箸型センサとデジタルキャンパスを使用した食事と絵画の相互作用は, 過度の干渉なしに, 通常よりも楽しく穏やかな食事体験を提供する.

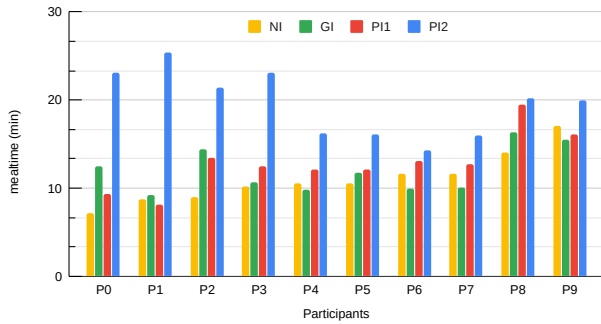


図 13 各参加者の各条件における定食を完食する時間の比較.

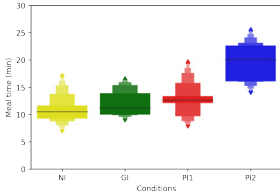


図 14 食事時間.

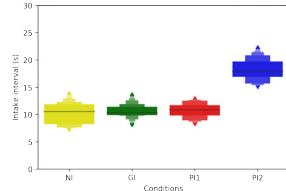


図 15 一口の間隔.

7.3 評価指標

我々は、以下に示す定量的および定性的な評価指標を設定し、3つの仮説を検証した。

7.3.1 食事メニューを完食するまでの時間

箸型センサを使用し、ユーザの食事行動を測定し、ユーザが食事を終えるのににかかった時間と、一口ごとの間隔を測定した。測定結果を図 13, 図 14, 図 15 に示す。ノンパラメトリック検定法であるウィルコクソン符号順位検定を使用し、各条件でこれらの時間を定量的に比較した。

7.3.2 eat2pic についてどのように感じたか

7段階のリッカート尺度（1：非常にそう思わない，4：どちらでもない，7：非常にそう思う）に基づくアンケートを用いて定性的な評価を行う。実験の完了後、参加者は各介入手法、および箸型センサについてアンケートに答えてもらった。質問とそれに対する回答を表 2, 表 3 に示す。さらに、eat2pic の利点や改善点、課題について自由回答式の質問をした。

7.4 結果と考察

図 13 は、各参加者が各条件において定食を完了するための食事時間を示している。一部の参加者は、PI1 の介入により食事時間がわずかに増加したことがわかる。さらに、PI2 の介入によってほとんどの参加者が理想的な食事時間の基準である 15 分を超えたことも確認できた。興味深いことに、PI2 介入は、ベースライン時に定食を 10 分未満で完食した早食い傾向のある参加者 (P0, P1, P2, P3) にとってより効果的であった。参加者が定食を完食するのににかかった時間と各摂食の間隔時間の要約値箱ひげ図は図 14 および図 15 に示している。食事時間についてのウィルコクソン符号順位検定の結果、NI と GI では有意差は認められず (p 値: $0.508 > 0.05$)、NI と PI1 (p 値: $0.013 < 0.05$)、NI と PI2 (p 値: $0.005 < 0.05$) では有意差が認められた。一口の間隔については、PI2 条件のみで NI との有意差が認

められた (p 値: $0.005 < 0.05$)。

3つの介入 (GI, PI1, および PI2) のアンケートの結果を表 2 に示す。多くの質問は、グラフよりもペイントの介入により優れた結果を示した。実験を通じて、多くの参加者が食事によって絵画を彩る新しい体験を楽しんだほか、「実際に絵を描いているように感じた」、「綺麗な絵を描くために食事メニューの食べ方を工夫した」、「絵の変化を楽しみながらよく噛んで食べることができた」など、多くの肯定的なフィードバックが得られた。以上より、PI2 が参加者の早食いを防止するナッジとして機能することを確認した。しかし、混合機能はより楽しい体験を提供する一方で、負の影響もあることがわかった。例えば、一部の参加者 (P3, P5, P6) は、早食いによって濁った色が塗られたことや、色が混ざること避けて食べる間隔を遅くすることにストレスを感じたと述べている。したがって、アンケートの結果はストレスの点で他の 2 つの条件 (GI, PI1) よりもわずかに悪い結果となった。

箸型センサの使いやすさの結果を表 3 に示す。長さや重さについては多くの肯定的な回答が得られたが、持ちやすさや使いやすさについては改善の余地があると考えている。例えば、現在のプロトタイプは有線カメラを使用しているため、邪魔になる場合がある。将来的には、現在の有線カメラをミニワイヤレスカメラに置き換えることでこの問題を解決する予定である。

8. 議論

eat2pic の目的は、物理世界における食事とデジタル世界における描画のインタラクションを用いて、ユーザの健康的な食生活を後押しすることである。この目標を達成するために、4.2 節に示す 5 つの機能要件と 2 つの非機能的要件を定義し、eat2pic のプロトタイプを実装した。

5 章に示す検証の結果、箸型センサは、3 つの機能要件 (FR1, 2, 3) を満たしていることがわかった。具体的には、提案した食事追跡システムが一口ごとの摂食タイミング、食材の種類、大きさを正確に認識することを確認した。さらに、6 章に示す実世界でのユーザスタディでは、eat2pic が残りの 1 つの機能要件 (FR4) と 2 つの非機能的要件 (NFR1, 2) を満たしていることを確認した。まず、eat2pic の絵画を用いた介入は、ユーザのゆっくりとした食事行動を効果的に促進することが示された。次に、リッカート尺度に基づくアンケートの結果から、仮説 2 と 3 を導く結果が得られた。また、eat2pic の絵画を模した定性的な情報の視覚化が、バランスのとれた食生活へのモチベーションを高め、食事と描画のインタラクションが、より楽しく穏やかな食事時間を提供していることが示された。以上のことから、食事タスクを絵画への着色にリフレーミングするという、提案手法の有効性を確認できた。

しかし、ユーザスタディを通じて eat2pic にはいくつか

表 2 短期 *eat2pic* に関するアンケート結果 (7 件法)

No.	質問	GI		PI1		PI2	
		平均	標準偏差	平均	標準偏差	平均	標準偏差
Q1	短期 <i>eat2pic</i> を日常生活で使用したいと思う。	4.1	2.3	5.0	1.1	5.5	2.1
Q2	短期 <i>eat2pic</i> で風景画の色を塗り潰したいと思ったか。	5.0	3.3	6.0	1.6	6.5	0.5
Q3	短期 <i>eat2pic</i> の食事への介入はストレスになったか。	3.1	2.3	2.8	0.6	4.4	3.4
Q4	短期 <i>eat2pic</i> の食事への介入は食事を妨害する原因になると思うか。	2.8	1.7	3.0	1.1	3.6	2.5
Q5	短期 <i>eat2pic</i> の介入は早食い防止になると思うか。	3.6	3.1	4.6	0.7	6.6	0.5
Q6	短期 <i>eat2pic</i> の介入によって、バランスのとれた献立を選ぶようになるか。	4.6	4.3	5.2	3.3	5.7	1.6
Q7	短期 <i>eat2pic</i> によって、食事が楽しくなった。	4.3	2.2	5.7	1.6	5.7	1.2
Q8	短期 <i>eat2pic</i> によって、いつもより落ち着いて食事をすることができた。	4.6	2.9	5.0	1.6	6.2	1.7

表 3 箸型センサについてのアンケート結果 (7 件法)

No.	質問	平均	標準偏差
Q1	箸型センサを日常的に使いたい。	4.5	2.9
Q2	箸型センサの長さは適切だった。	5.6	1.4
Q3	箸型センサの重さは適切だった。	5.4	1.2
Q4	箸型センサは持ちやすかった。	4.5	2.9
Q5	箸型センサは使いやすかった。	4.7	3.3

の課題があることが明らかになった。まず、色を混ぜるメカニズムを導入することでゆっくり食べることを促進できる反面、参加者の中にはストレスを感じる人も存在した。例えば、色が塗られるまでの時間と、食べ物を飲み込むまでの時間が合わず、待ち時間が長く感じるという意見があった。現在のシステムは、食材の種類にかかわらず、口に運んだ食材の大きさから飲み込むまでの時間を算出している。しかし、実際には飲み込みやすい食材とそうでない食材があるため、システムが適切な時間を判断できない場合がある。今後は、各食材の柔らかさなどの適切なパラメータをアルゴリズムに設定することで、咀嚼時間の推定精度を向上させる予定である。

さらに、機能要件 (FR5) に関わる、長期フィードバックの有効性の検証が今後の課題として残されている。本研究では、長期 *eat2pic* のシステム設計が適切かどうかを確かめる目的で、7 章で示したユーザスタディに参加した実験協力者 10 名に、*eat2pic* の長期フィードバック機構のユースケースシナリオを提示し、現状のシステムに関するアンケートに答えてもらった。表 4 は、長期 *eat2pic* に関するアンケートの結果を示している。結果から、長期的なモチベーションの維持とバランスの取れた食生活の促進について、肯定的な回答が多く見受けられた。自由記述式の回答では、「日替わりメニューを考えるのが楽しくなりそう」「バランスのとれた食事を選ぶ機会が増えると思う」などの好意的な感想が得られた。一方、「完成させるまでの期間はユーザが自由に決定できるようにしてほしい」、「完成させた時の達成感はあるそうだが、色を塗ることが飽きないのか実際に試してみたい」、「1 週間の後がどうなるのか気になる」などの興味深い指摘もあった。今後は、2 週間から 1 ヶ月程度の期間にわたるユーザスタディを実施し、生態学的妥当性の観点から、*eat2pic* がユーザの食生活にどのような影響をもたらすのかを調査する予定である。

表 4 長期 *eat2pic* に関するアンケート結果 (7 件法)

No.	質問	平均	標準偏差
Q1	長期 <i>eat2pic</i> を日常生活で使用したいと思う。	5.7	2.9
Q2	長期 <i>eat2pic</i> で風景画の色を塗り潰したいと思う。	6.4	1.4
Q3	長期 <i>eat2pic</i> で日々の食生活が楽しくなる。	6.2	1.2
Q4	長期 <i>eat2pic</i> は日々の食事メニュー選択の改善を促す。	5.8	1.2
Q5	長期 <i>eat2pic</i> は健康的な食生活の動機づけになる。	6.0	0.8
Q6	長期 <i>eat2pic</i> は長期的なモチベーション維持につながる。	5.5	2.7

9. おわりに

本研究では、食べるという行動を風景画に色を塗るというタスクにリフレーミングすることで、ユーザの健康的な食生活を後押しするナッジシステム「*eat2pic*」を提案した。日本食に含まれる代表的な食材 45 品目を対象としてオリジナルの食事行動データセットを構築し、箸型センサの食事行動認識能力を検証した。また、一人暮らしの若年男性を対象としたユーザスタディを実施し、*eat2pic* の有効性を評価した。実験の結果、本研究で開発した箸型センサは一口ごとの摂食タイミング、食材の種類、大きさを高い精度で認識することを確認した。また、*eat2pic* が、ユーザにゆっくりと食事をすることを促すと共に、よりバランスのとれた食生活を動機づけることを確認した。

今後は、システムをさらに改良すると共に、子供からお年寄りまで幅広い年齢層の参加者を募り、長期的なユーザスタディによって、*eat2pic* の有効性を検証していく予定である。また、子供向けのメカニズムや、お年寄り向けのメカニズムなど各世代毎に効果を発揮するナッジの仕組みを検討していきたいと考えている。

参考文献

- [1] World health organization nutrition advice for adults during the covid-19 outbreak.
- [2] Annalijn I Conklin, Nita G Forouhi, Paul Surtees, Kay-Tee Khaw, Nicholas J Wareham, and Pablo Monsivais. Social relationships and healthful dietary behaviour: evidence from over-50s in the epic cohort, uk. *Social science & medicine*, Vol. 100, pp. 167–175, 2014.
- [3] Tomoko Fujiwara and Rieko Nakata. Smartphone usage during meals is a potential risk for weight gain in post-adolescent female students. *Integr Food Nutr Metab*, Vol. 3, No. 5, pp. 424–426, 2016.
- [4] Richard B Lopez, Todd F Heatherton, and Dylan D Wagner. Media multitasking is associated with higher risk for obesity and increased responsiveness to rewarding food stimuli. *Brain Imaging and Behavior*, Vol. 14, No. 4,

- pp. 1050–1061, 2020.
- [5] Jan Chozen Bays. *Mindful Eating: A Guide to Rediscovering a Healthy and Joyful Relationship with Food—includes CD*. Shambhala Publications, 2009.
- [6] Jessica T Monroe. Mindful eating: principles and practice. *American Journal of Lifestyle Medicine*, Vol. 9, No. 3, pp. 217–220, 2015.
- [7] Mark Weiser and John Seely Brown. Designing calm technology. *PowerGrid Journal*, Vol. 1, No. 1, pp. 75–85, 1996.
- [8] Lars Erik Holmquist and Tobias Skog. Informative art: information visualization in everyday environments. In *Proceedings of the 1st international conference on Computer graphics and interactive techniques in Australasia and South East Asia*, pp. 229–235, 2003.
- [9] John Stasko, Todd Miller, Zachary Pousman, Christopher Plaue, and Osman Ullah. Personalized peripheral information awareness through information art. In *International conference on ubiquitous computing*, pp. 18–35. Springer, 2004.
- [10] Kiyoharu Aizawa and Makoto Ogawa. Foodlog: Multimedia tool for healthcare applications. *IEEE MultiMedia*, Vol. 22, No. 2, pp. 4–8, 2015.
- [11] Sougata Sen, Vigneshwaran Subbaraju, Archan Misra, Rajesh Balan, and Youngki Lee. Annapurna: building a real-world smartwatch-based automated food journal. In *2018 IEEE 19th International Symposium on "A World of Wireless, Mobile and Multimedia Networks" (WoWMoM)*, pp. 1–6. IEEE, 2018.
- [12] Abdelkareem Bedri, Richard Li, Malcolm Haynes, Raj Prateek Kosaraju, Ishaan Grover, Temiloluwa Prioleau, Min Yan Beh, Mayank Goel, Thad Starner, and Gregory Abowd. Earbit: using wearable sensors to detect eating episodes in unconstrained environments. *Proceedings of the ACM on interactive, mobile, wearable and ubiquitous technologies*, Vol. 1, No. 3, pp. 1–20, 2017.
- [13] Rui Zhang and Oliver Amft. Monitoring chewing and eating in free-living using smart eyeglasses. *IEEE journal of biomedical and health informatics*, Vol. 22, No. 1, pp. 23–32, 2017.
- [14] Abdelkareem Bedri, Diana Li, Rushil Khurana, Kunal Bhuwarka, and Mayank Goel. Fitbyte: Automatic diet monitoring in unconstrained situations using multimodal sensing on eyeglasses. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–12, 2020.
- [15] Mark Mirtchouk, Christopher Merck, and Samantha Kleinberg. Automated estimation of food type and amount consumed from body-worn audio and motion sensors. In *Proceedings of the 2016 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 451–462, 2016.
- [16] Oren Zuckerman, Tamar Gal, Tal Keren-Capelovitch, Tal Karsovsky, Ayelet Gal-Oz, and Patrice L Tamar Weiss. Dataspoon: Overcoming design challenges in tangible and embedded assistive technologies. In *Proceedings of the TEI'16: Tenth International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 30–37, 2016.
- [17] Zuoyi Zhang, Huizhe Zheng, Sawyer Rempel, Kenny Hong, Teng Han, Yumiko Sakamoto, and Pourang Irani. A smart utensil for detecting food pick-up gesture and amount while eating. In *Proceedings of the 11th Augmented Human International Conference*, pp. 1–8, 2020.
- [18] Azusa Kadomura, Cheng-Yuan Li, Koji Tsukada, Hao Hua Chu, and Itiro Siio. Persuasive technology to improve eating behavior using a sensor-embedded fork. In *Proceedings of the 2014 acm international joint conference on pervasive and ubiquitous computing*, pp. 319–329, 2014.
- [19] Yugo Nakamura, Yutaka Arakawa, Takuya Kanehira, Masashi Fujiwara, and Keiichi Yasumoto. Senstick: Comprehensive sensing platform with an ultra tiny all-in-one sensor board for iot research. *Journal of Sensors*, Vol. 2017, , 2017.
- [20] Fabrice Matulic, Riku Arakawa, Brian Vogel, and Daniel Vogel. Pensight: Enhanced interaction with a pen-top camera. In *Proceedings of the 2020 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–14, 2020.
- [21] Thomas C Leonard. Richard h. thaler, cass r. sunstein, nudge: Improving decisions about health, wealth, and happiness, 2008.
- [22] Ana Caraban, Evangelos Karapanos, Daniel Gonçalves, and Pedro Campos. 23 ways to nudge: A review of technology-mediated nudging in human-computer interaction. In *Proceedings of the 2019 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–15, 2019.
- [23] Alexander T Adams, Jean Costa, Malte F Jung, and Tanzeem Choudhury. Mindless computing: designing technologies to subtly influence behavior. In *Proceedings of the 2015 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, pp. 719–730, 2015.
- [24] Daniel J Weintraub, Barbara A Wilson, Richard D Greene, and Marjorie J Palmquist. Delboeuf illusion: Displacement versus diameter, arc deletions, and brightness contrast. *Journal of Experimental Psychology*, Vol. 80, No. 3p1, p. 505, 1969.
- [25] Oswald Barral, Gabor Aranyi, Sid Kouider, Alan Lindsay, Hielke Prins, Intiaj Ahmed, Giulio Jacucci, Paolo Negri, Luciano Gamberini, David Pizzi, et al. Covert persuasive technologies: bringing subliminal cues to human-computer interaction. In *International Conference on Persuasive Technology*, pp. 1–12. Springer, 2014.
- [26] Jaejeung Kim, Joonyoung Park, and Uichin Lee. Ecomeal: a smart tray for promoting healthy dietary habits. In *Proceedings of the 2016 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp. 2165–2170, 2016.
- [27] Jason Gilbert. Hapifork: Buzzing fork offers ultimate first-world solution to overeating. *Huffington Post*, p. 1, 2013.
- [28] Geoffrey L Cohen and David K Sherman. The psychology of change: Self-affirmation and social psychological intervention. *Annual review of psychology*, Vol. 65, , 2014.
- [29] Brian J Fogg. A behavior model for persuasive design. In *Proceedings of the 4th international Conference on Persuasive Technology*, pp. 1–7, 2009.
- [30] Karen Simonyan and Andrew Zisserman. Very deep convolutional networks for large-scale image recognition. *arXiv preprint arXiv:1409.1556*, 2014.
- [31] Joseph Redmon and Ali Farhadi. YoloV3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*, 2018.
- [32] Felicity J Pendergast, Katherine M Livingstone, Anthony Worsley, and Sarah A McNaughton. Correlates of meal skipping in young adults: a systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, Vol. 13, No. 1, p. 125, 2016.