

フォーク型センサとスマートフォンを連携した 食行動改善手法の提案

門村亜珠沙^{†1} 李争原^{†2} 陳嚴章^{†2}
朱浩華^{†2} 塚田浩二^{†3} 椎尾一郎^{†1}

子供の食行動を改善することを目的に、食行動（食事中の動作と食べようとしている食材の種類）を検出するフォーク型デバイス：センシングフォークを開発した。本論文では、センシングフォークのプロトタイプ設計と実装、および、これと連携して動くスマートフォン用ゲームアプリケーション：腹ペコパンダについて述べる。

Eating Behavior Detection Fork and Mobile Persuasive Game

Azusa KADOMURA^{†1} Kelvin Cheng-Yuan LI^{†2} Andy Yen-Chang CHEN^{†2}
Hao-Hua CHU^{†2} Koji TSUKADA^{†3} Itiro SIIO^{†1}

We propose a fork-type sensing device, Sensing Fork, which detects children's eating behavior (eating actions and chosen food) and a smartphone game to address children's eating problems. This paper describes the design and implementation of the Sensing Fork prototype and the play-based eating game called Hungry Panda.

1. はじめに

近年、スマートフォンと各種センサを用いて、人を説得し動かすモバイルシステムの研究が多数行われている。例えば、Playful Bottle[1], UbiGreen[2], OrderUP[3]では、センサが検出した人の動作に基づいて、人の行動を動機付けるフィードバックをスマートフォンが行っている。本研究では、多くの親が子供の健康と成長の観点から関心を持っている[4, 5, 6], 子供の食行動を対象とした。

本研究に先立って筆者らは、子供の食行動を改善する目的で、子供が食材を食べた瞬間に音フィードバックを返すフォーク型デバイスを開発してきた[7]。また、Hapifork[8]は、食材を口に運ぶ頻度から早食い行動を感知し、振動で知らせるフォーク型デバイスである。これらのシステムは、限られた種類のセンサしか搭載していないため、詳細な食行動を検出することができない。図1に示す通り、本研究では、子供の食事の動作と食べている（もしくは食べていない）食材の種類を検出するために、加速度センサ・ジャイロセンサ・光センサ・電極などの様々な超小型センサをフォーク自体に組み込んだセンシングフォークの設計と実装を行った。加えて、センシングフォークは、Bluetooth無線ユニットを備えているため、スマートフォンと通信することができる。スマートフォン上では、センサデータを解析するソフトウェアを、さらに、問題のあるユーザの食

行動を改善するためのインタラクティブなゲームを開発し、実装した。センシングフォークは小型で携帯可能であるため、幼稚園・学校・レストランなど、食事が提供される様々な場所でスマートフォンと一緒に使うことができる。フォーク以外の食器にもセンサを組み込むことは可能であるが、今回は、小さな子供が自分で食事をする習慣を身につける際に使われるもっとも基本的な食器の1つであることから、フォークを選択した。



図1 システムの外観

Figure 1 Overview of the System

2. システム概要

本システムは、2つのデバイスで構成される。1つは、図2左に示すセンサを組み込んだフォーク（センシングフォーク）で、もう1つは、そのセンシングフォークと連携して動くスマートフォンアプリケーションである（図2右）。

^{†1} お茶の水女子大学
Ochanomizu University
^{†2} 国立台湾大学
National Taiwan University
^{†3} はこだて未来大学
Future University Hakodate

スマートフォンでは、3種類のソフトウェアコンポーネントが稼働している：①センシングフォークのセンサデータの状態から子供の食行動を推定する食動作検出部、②センシングフォークと接触した食材を判別する食材種類認識部、および、③子供の食の問題に着目した食育ゲーム：腹ペコパンダである。次の章では、センシングフォークの設計と実装について述べる。

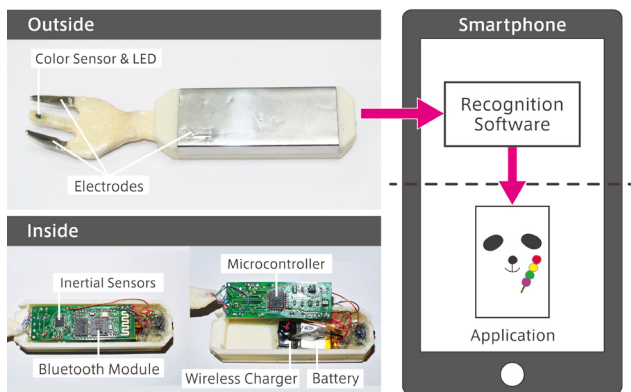


図2 システム構成

左：センシングフォークのプロトタイプ
 (縦143×横27×厚さ16mm)

右：スマートフォン上のソフトウェア

Figure 2 System configuration

Left: Prototype of Sensing Fork

(L 143 x W 27 x H 16 mm)

Right: Host software and applications on the smartphone

3. センシングフォーク

図2に示すように、センシングフォーク本体は、以下のセンサやハードウェア部品を内蔵している。得られたセンサデータは、スマートフォン上に送信され、そこで食動作の検出と食材種類の認識が行われる。

3.1 カラーセンサ

カラーセンサ(図2左上)は4種類の波長、すなわち、赤・緑・青・白色の強度を検出する。フォークに接触した食材の色を検出することで、食材を判別する。カラーセンサは微小な回路基板に取り付けられ、その回路基板をフォーク先端部分の中央に配置した。フォークが食材の中に差し込まれると、小型の白色LEDが点灯し、これが食材の中を照射して色を測定する。食の安全と防水の観点から、回路基板は歯科用透明レジンで表面を覆った。

3.2 3軸加速度センサとジャイロセンサ

3軸加速度センサとジャイロセンサによって、慣性系の6自由度を計測している。これらのセンサデータは、フォークの動きと状態を決定するために使用される。そこで、

フォークの動きと状態から、本システムは子供の動作(もしくは動作が無い状態)を推量する。食動作検出の詳細は、3.5で説明する。

3.3 電極による電気抵抗測定

フォーク先端部分の両端2つは電極になっており、この2つの電極に接触した食材の電気抵抗値を測定している(図2左上・図3)。電気抵抗値は食材により異なるため、これを食材の推定に利用することができる。一方、フォーク握り部分にも別の電極を取り付けた。これは、フォーク先端部分が食材を介して子供の口に触れたとき、フォーク握り部分→子供の手→子供の体→子供の口→食材→フォーク先端部分で構成された一巡の電気回路が形成される。フォークの握りと先端の電極間の電気抵抗値を測定することで、フォークと食材が子供の口に接触したことがわかり、これによりユーザが摂食したという食動作を検出することができる。

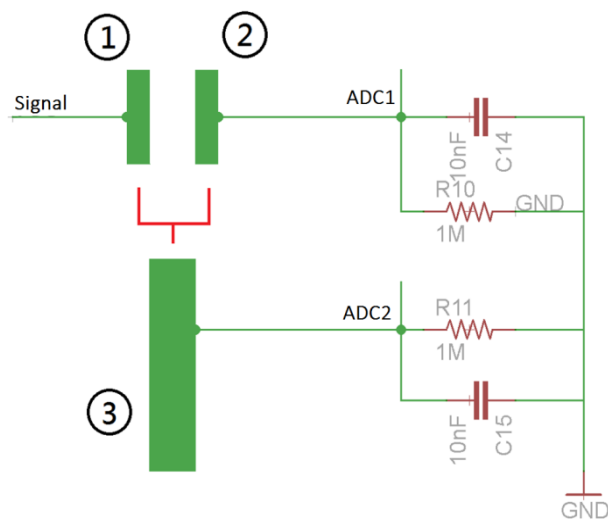


図3 電極とその周辺回路図

①と②はフォーク先端部分の電極を示し、
 ③はフォーク握り部分の電極を示している。

Figure 3 Electrodes and resistance sensing schematic.

Marker 1 and 2 represent two fork's tines.

Marker 3 is the fork's grip.

3.4 その他のモジュール

図2左下に示すように、センシングフォークは、Bluetooth無線ユニットを内蔵しており、センサデータの解析を行うスマートフォンに得られたデータを送信する。また、120mAhのリチウムイオン電池を搭載している。センシングフォークのバッテリー持続時間を試験したところ、毎秒5回の無線送信を行った場合に、2時間以上稼働することを確認した。

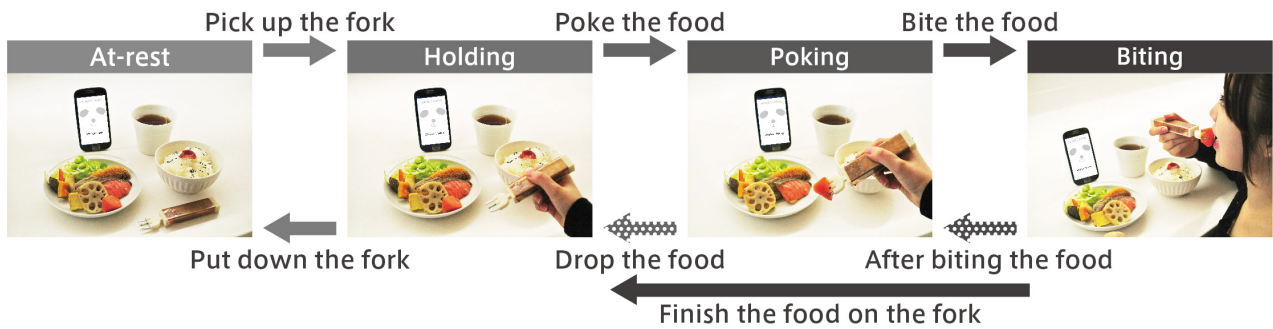


図4 フォークの状態から導かれる食動作の遷移
Figure 4 State transition diagram of eating actions

3.5 食動作検出部

スマートフォン側で行う食動作の検出では、フォークから送信されるセンサデータを解析して、子供の食動作とフォークの状態を決定する。図4は、それぞれのフォーク状態を示し、本システムがフォークの状態をどのように推定しているのかを説明している。

・休止状態 (At-rest) :

この休止状態とは、子供がフォークを握っていない（フォークが静止している）状態のことである。子供が使う食器がこのフォークだけである場合、この休止状態は、子供が食事のための動作をしていないことを示唆している。センシングフォークの加速度センサとジャイロセンサが動きを示すデータを送信していない場合に、フォークは休止状態にあるとシステムは推定する。

・把持状態 (Holding) :

この把持状態とは、食材を刺していないフォークを子供が手に持っている状態のことである。この把持状態は、子供がフォークを持ち上げていて、おそらく何かしらの食材をフォークで食べようと考えていることを示唆している。休止状態と同様に、センシングフォークの加速度センサとジャイロセンサから動きを示すデータが送信された場合に、フォークが把持状態にあるとシステムは推定する。

・刺した状態 (Poking) :

この刺した状態とは、子供が食材をフォークで刺し、フォークに何かしらの食材が刺さっている状態のことである。この刺した状態は、子供が食材を刺したが、まだ口に運んでいないことを示唆している。システムは、この状態を2種類のデータから推定する。すなわち、①フォーク先端の2つの電極に何かしらの食材が刺さっていることを示す電気抵抗値を、②カラーセンサが何かしらの食材の色を検出した場合に、この刺した状態にあると推定する。何かしらの食材がフォーク先端部分に触れたとき、次の節(3.6)で説明する食材種類の認識を開始する。

・摂食状態 (Biting) :

この摂食状態とは、フォークに刺さっている食材が子供の口に接している状態のことである。この摂食状態は、子供がフォークに刺さっている食材を食べていることを示唆している。システムは、フォーク握り部分の電極・子供の手・体・口・食材・フォーク先端部分の電極で構成される回路の電流値が零でないことから推定する。

次の3種類のメカニズムにより、この状態の検出がより正確になる。①フォーク握り部分の電極と先端部分の電極の抵抗値を測定することで、フォークを持っているユーザが摂食している人物と同一であることが確実である。言い換えれば、フォークを持つ子供が別の人物に食べさせている場合、フォーク・人体・食材・フォークの回路が閉じないので、摂食状態にはならない。②フォークで食材を刺さないと把持状態から摂食状態へ移行したとは見なさないよう制約している。これにより、食べる振りをする動作（例えば、子供が食材の刺さっていないフォーク先端部分を舐める動作など）と摂食動作を区別することができる。③加速度センサとジャイロセンサのデータから得られるフォークの向きと動きが子供の摂食時のフォークの状態と矛盾していないかのチェックを行っている。例えば、フォークを持つ子供が、もう一方の手を使ってフォークに刺さった食材を取る動作は、摂食動作と紛らわしい。しかし、フォークの向きと動きを検出することで、このような動作を摂食動作と区別することができる。

本システムは、子供の食事時の動作の頻度、引き続き食材を口に運ぶ動作の時間間隔、および、食べようとする食材の選択順序のログも記録する。

3.6 食材種類認識部

食材種類の認識のために、本システムは最初に異なる食材を分類するためのモデルを学習する。この食材認識モデルは次の2つの特徴を利用している。すなわち、①フォークのカラーセンサが検出する食材の色と、②フォークの電極が検出する食材の電気抵抗値である。食材認識モデルの

学習は、子供が食事をする前に、親がセンシングフォークでそれぞれの食材を軽く刺すことで行われる。センシングフォークはそれぞれの食材の色と電気抵抗値のサンプルデータを収集し、これをスマートフォンに送信する。スマートフォンではサポートベクターマシンによる分類システム[9]の学習を行う。

カラーセンサが測定する赤・緑・青・白色光の各データのうち、白色光データは光強度の測定結果であるので、赤・緑・青のデータは、白色光データに比例して上昇する。そこで、赤・緑・青のデータを光強度に基づいて正規化し、これを分類の特徴として使用する。食材がフォークに触れるとノイズを除去するために、システムは過去 15 のデータサンプルの平均値を計算し、平滑させ、食材認識に用いる。

そこで我々は、食材認識の精度を確認するために、大学食堂から 12 種類の食材：ほうれん草・魚のすり身団子・冬瓜・ゴーヤ・卵・豚肉・カボチャ・トマト・ピーマン・猪血糕・豆腐、チキンナゲットを調達した。それぞれの食材を一回だけセンシングフォークで刺すことで、単点の学習データを得た。食材を複数点刺した学習データを使用すれば、より高い分類精度を得られるが、食事前の親の作業が煩雑になると考え、学習データは単点とした。学習データを収集した後、それぞれの食材を 10 回刺して、テストデータを集めた。

図 5 に、ある数の食材が用意された場合の食材識別精度を示す。横軸は用意する食材数である。例えば、横軸の 2 は、今回用意した 12 種類の食材から 2 種類を選んだ 66 通りの組み合わせに対して、それぞれ 2 種類の食材識別を試みた場合の識別精度の最良値・最悪値・平均値を示している。2 種類の組み合わせのうち、最も識別が困難であったのは、類似した色と電気抵抗値を持つ魚のすり身団子とチキンナゲット (62.5%) であった。一方、12 種類の食材を対象とする組み合わせは 1 種類のみなので、横軸が 12 のと

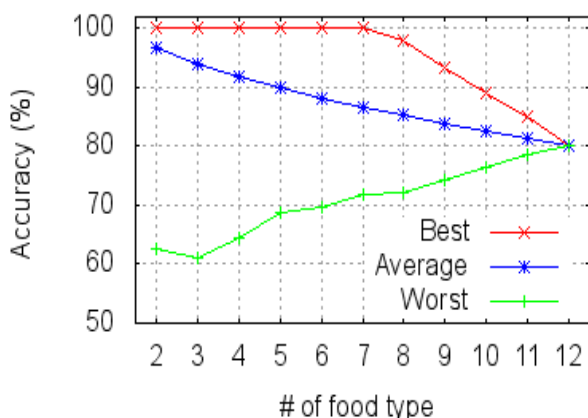


図 5 異なる食材数に対する食材種類認識精度
 Figure 5 The food recognition accuracy for given number of different food types

き、最良値・最悪値・平均値は一致する。また、識別対象とする食材数が増えると、100%識別することは困難になるため、最良値が低下する。

4. 食育ゲーム：腹ペコパンダ

日本国内の幼稚園では、食育活動の一環として、子供に栄養バランスの大切さを教えている。例えば、赤群の食材（肉・魚・卵など）は体の血や肉となり、黄群の食材（米・小麦・芋など）は体力や体温を作り出し、緑群の食材（野菜・果物・茸など）は体を整えると説明している。多くの幼稚園では、先述したように、食材を赤黄緑の 3 色に分類した 3 色栄養図を使用し、バランス良くの摂取することが重要であると伝えている。

日本政府によって行われた子供の栄養状態と食行動に関する乳幼児栄養調査[10]によると、親が主に気にかけている子供の食行動の問題は以下である。①遊び食い（食事に集中しないこと）、②偏食（好き嫌いがあること）、③むら食い（食事の量が毎回一定しないこと）、④食べ終わるのに時間がかかる（食べるのが遅いこと）であった。しかしながら、子供に対して適切な食行動を叱って強いるなどの従来のアプローチは、多くの場合、子供にネガティブな印象を残してしまい、バランスを欠いた食事の摂取を促してしまう[11]。そこで我々は、センシングフォークと連携し、インタラクティブに動く遊びを基本とする食育ゲーム：腹ペコパンダを設計した。腹ペコパンダゲームは、ゲーミフィケーション[12]の概念を導入し、先述の 4 つの問題に悩む親子のために、家庭内における食育支援を実現する。仮想ペットとして、パンダを題材とした理由は、パンダがアジア諸国の子供に親しまれているキャラクターだからである。腹ペコパンダゲームの画面遷移の例を図 6 に示す。このゲームは、以下のステップで構成されている：

1. 親は料理の食材数を入力する。
2. 親はセンシングフォークで各食材を刺す。
 食材分類のための色と抵抗の値のサンプルデータを集めるために、このステップを行う。食材を刺す際に、今刺している食材が何群なのかを機械学習させるために、4 種類（①赤群・②黄群・③緑群・④嫌いな食材群）のいずれかのボタンを押し行う。
3. 親は各食材に対して、上述のステップを行う。
4. 親がスタートボタンを押すと、ゲームが始まる。
5. まず、腹ペコパンダは 4 色（赤黄緑紫）の団子を持って登場する。4 色中 3 色（赤黄緑）の団子は先述した 3 色栄養の赤黄緑の食材群に対応する。4 つ目の紫色の団子は子供の嫌いな食材を表している。
6. 子供が肉（赤群）を食べると、腹ペコパンダも赤い団子を食べる。
7. 子供が 4 群を一通り食べると、腹ペコパンダは新し

い団子と空の団子串を手に入れる。

8. 子供が引き続き食材を食べていくと、腹ペコパンダはさらに空の団子串を手に入れる。

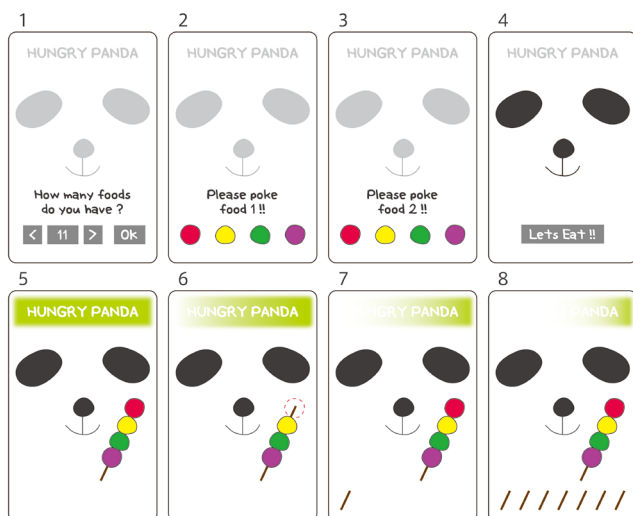


図 6 腹ペコパンダの画面遷移

Figure 6 The procedure of Hungry Panda

母親が終了ボタンを押すと、腹ペコパンダは獲得した数の空の団子串に対応した踊りをし、子供を褒める。つまり、4 群を万遍なく食べることで得られる串の数に従って、最後に表示されるアニメーションが変わる。これにより、子供がバランス良く食材を摂取する動機付けを支援する。

時間が過ぎると、画面の腹ペコパンダの上にある緑のタイトルバーは徐々に左側から消え、子供に食事を適切な時間で終えることを緩やかに促している。この時間間隔はユーザが調整することができる。また、子供の動作（センシングフォークの状態）によって、腹ペコパンダは励ましの言葉話す。例えば、ゲーム中（食事中）に子供がフォークを数分以上持っていない場合（机の上に置いている場合）、腹ペコパンダは『もっと食べたいよ』などと子供に話しかける。このように、子供の動作に応じて、インタラクティブに腹ペコパンダが話すことで、子供の食事への興味や集中を促進させることができるのではないかと考える。

本ゲームシステムにより、子供は楽しく食行動を改善することができる。一方、親はパンダの獲得した空の団子串を見ることで、日々の子供の食行動を理解することができる。その結果、子供の食行動が改善された場合には、本ゲームによるご褒美（腹ペコパンダが踊るなど）に加えて、親がお菓子などのご褒美を子供に与えるなどして、親子が食育に楽しく取り組むきっかけにつながると期待できる。

5. まとめと今後の課題

本論文では、カメラやウェアラブルセンサを使わずに、食器に組み込んだセンサだけで、子供の食行動を検出するセンシングフォークの設計と実装を述べた。子供の食事における4種類の主たる問題行動に対して、好ましい食行動を子供に促す目的、腹ペコパンダゲームを設計し、試作した。今後の研究では、センシングフォークの小型軽量化、腹ペコパンダゲームのユーザインタフェースデザインの改良を予定している。さらに、センシングフォークと腹ペコパンダゲームにより、子供の食行動が改善されることを確認するために、評価実験を計画している。

謝辞 本研究は独立行政法人日本学術振興会の「組織的な若手研究者等海外派遣プログラム」による支援を受けた。

参考文献

- 1) Chiu M.-C., Chang S.-P., Chang Y.-C., Chu H.-H., Cheryl Chen C.-H., Hsiao F.-H., and Ko J.-C. (2009). Playful bottle: a mobile social persuasion system to motivate healthy water intake. In Proc. Ubicomp 2009, pp. 185-194.
- 2) Froehlich J., Dillahunt T., Klasnja P., Mankoff J., Consolvo S. (2009). UbiGreen: investigating a mobile tool for tracking and supporting green transportation habits. In Proc. CHI2009, pp. 1043-1052.
- 3) Grimes A., Kantroo V., Grinter R.-E. (2010). Let's play!: mobile health games for adults, In Proc. Ubicomp 2010, pp. 241-250.
- 4) Manikam R., Perman J. (2000). Pediatric feeding disorders, Journal of Clinical Gastroenterology, vol. 30, pp. 34-46.
- 5) Viana V., Sinda S., Saxton JC. (2008). Children's Eating Behaviour Questionnaire: associations with BMI in Portuguese children. Brit J Nutr, pp. 445-450.
- 6) Wardle J., Guthrie CA., Sanderson S., Rapoport LJ. (2001). Development of the children's eating behaviour questionnaire. Child Psychol Psychiatry, pp. 963-70.
- 7) Kadamura A., Nakamori R., Tsukada K., Siio I. (2011). EaTheremin, SIGGRAPH Asia 2011 Emerging Technologies, Article 7.
- 8) Hapifork. (2013). (accessed July 5, 2013) <http://www.hapilabs.com/products-hapifork.asp>
- 9) Chang C.-C., Lin C.-J. (2011). LIBSVM: A library for support vector machines. ACM Trans. Intell. Syst. Technol. 2, 3, Article 27.
- 10) Ministry of Health, Labour and Welfare (Japan). National nutrition survey on preschool children. (2005). (accessed July 5, 2013) <http://www.mhlw.go.jp/toukei/list/83-1.html>
- 11) Fisher JO, Birch LL. (1999). Restricting access to palatable foods affects children's behavioral response, food selection, and intake. Am J Clin Nutr, pp. 1264-1272.
- 12) Marczewski A. (2012). Gamification: A Simple Introduction