

幼児対象歯磨き支援のための機械学習方法の検討

市村 哲¹

概要：

親が子どもに無理やり歯みがきをさせようと、子どもにとって歯みがきは「苦痛な行為である」と植え付けられてしまう恐れがある。したがって幼児期の子どもの歯みがきの習慣づけと、そのための親子間のコミュニケーションを支援することが必要である。著者らは、幼児期の子どもの歯みがきの習慣づけとそのための親子間のコミュニケーションを支援する幼児対象歯磨き支援システムを開発した。磁石を装着した歯ブラシと、スマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いて構築されている。地磁気センサが磁石に反応し値が変化することを利用し、地磁気センサの検出値を機械学習によって解析することにより、歯ブラシ回数のカウントや歯磨き箇所の特定制を行うようになっている。また、歯磨き箇所特定の精度を高めるために、各ユーザの歯磨き動作（歯ブラシを動かす速度など）を学習する機能を有している。

A Use of Machine Learning for Tooth Brushing-Support System for Young Children

Satoshi Ichimura¹

1. はじめに

幼児期の歯磨きは、その後の虫歯のなりやすさ、歯並び、噛み合わせの良し悪しに大きく影響することが知られている。しかし親が子どもに無理やり歯みがきをさせようと、子どもにとって歯みがきは「苦痛な行為である」と植え付けられてしまう恐れがある。したがって幼児期の子どもの歯みがきの習慣づけと、そのための親子間のコミュニケーションを支援することが必要である。

また近年、ゲーミフィケーションが注目されている。ゲーミフィケーションは、ゲームの要素や考え方をゲーム以外の分野で応用して行うという取り組みであり、ゲームの持つ人を楽しませ熱中させる要素や仕組みを用いてユーザを引きつけたり、その行動を活性化させたりするものである [1]。ユーザが行った行動が画面上で点数やバッジの獲得などで可視化されることで、目標に対して今どれだけ前進しているかが分かりやすくなり、定期的なやり取りになる [2][3]。

以上の背景に基づき著者らは、幼児期の子どもの歯みがきの習慣づけとそのための親子間のコミュニケーションを支援する幼児対象歯磨き支援システム migaco[4] を開発した。磁石を装着した歯ブラシと、スマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いて歯ブラシ動作を計測する機能を実現している。一般的なスマートフォンがジャイロセンサの出力値の1つとして地磁気センサの値（方位）を返すことを利用し、磁石に反応して地磁気センサの値が変化した場合に歯ブラシ動作があったと判断している。この仕組みによりブラッシング回数をカウントすると共に、歯ブラシの動きに併せて動物キャラクターが動くゲームのようなアニメーションを表示する機能を提供している。さらに、歯磨き箇所の特定制を行うために、地磁気センサの値の複雑な変動の分析に機械学習（深層学習）の技術を導入した。今回、この歯磨き箇所特定の精度を高めるために、各ユーザの歯磨き動作（歯ブラシを動かす速度など）を学習する機能を実装した。

2. 背景

2.1 歯磨き支援と関連研究

幼児期の生活習慣の確立が難しいことが問題視されてい

¹ 大妻女子大学社会情報学部情報デザイン専攻
12 Banchi, Sanbancho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8357 Japan

る [5]。幼児期とは、一般的に乳児期に続く生後 1 年から学齢に達する 6 歳までの期間を指す。幼児期は人としての基礎的な発達をとげる時期であり、歯磨き、手洗い、うがいなどが習慣づけられる。中でも歯磨きは大切な習慣であり、この幼児期の習慣づけが以後の虫歯のなりやすさ、歯並び、噛み合わせの良し悪しに影響をあたえると言われている。「子どもの歯みがきに関する調査」[5]によると、子どもの歯磨きが重要と考えている大人は約 98 % であり、生活習慣の中でも特に重要であると認識されていることがわかる。しかし、重要性を認識しながらも適切な方法で十分な歯磨きができていないと感じている親が約 90 % 存在する。親が無理やり歯磨きを強制するのではなく、子どもが楽しく正しく歯磨きをできる環境を作っていく必要がある。

歯みがきを支援する従来研究として、サンスター社の GUM PLAY (ガム プレイ) [6] が挙げられる。GUM PLAY は、歯ブラシに取り付けるアタッチメントとスマートフォンアプリから構成されており、アタッチメントに搭載された 3 軸加速度センサにより歯ブラシの動きを取得し、Bluetooth 無線通信によりスマートフォンに送信する。専用アプリが歯みがきの質を分析したり、歯みがきに費やした時間を記録したりする。

しかしながら、アタッチメントには電池、加速度センサモジュール、Bluetooth 無線通信モジュールが搭載されており、子ども用歯ブラシに取り付けるにはかさばって重いという問題の他、子どもが乱雑に扱って壊してしまう懸念がある。アタッチメントや交換電池のための高額な費用が必要という問題も存在する。

2.2 ゲームフィケーションと関連研究

歯磨きや掃除などは、毎日のように繰り返して行わなければならない行為であるが、そのモチベーションを持続させることは多くの人にとって容易なことではない。そこで著者らは、日々遂行しなければならない生活行為を対象として、継続するためのモチベーションを向上させることが重要であると考え、ゲームフィケーションを導入する方法について研究を行ってきた。

ゲームフィケーションは、ゲームの要素や考え方をゲーム以外の分野で応用しようとする取り組みであり、ゲームの持つ人を楽しませ熱中させる要素や仕組みを用いて、ユーザのモチベーションを向上し、日常の行動を活性化させようとするものである。ゲームフィケーションには、ポイント付与、順位の可視化、バッジ、ミッション、レベルシステムを採用するなどしてユーザを引き付ける特徴がある。ゲームの要素を盛り込むことによって、ユーザが楽しみながら意図せず目的の行動に関わらせるということができる [1]。

著者らは以前、家事をゲームフィケーション化する試みの研究のひとつとして、掃除機に 3 軸加速度センサを取り

付けて掃除機の往復運動を分析し、その結果に基づいた掃除の得点を表示するなどのゲームフィケーションを行うシステムを開発した [7][8]。他のユーザと SNS で共有できる機能も備えており、掃除開始時に Twitter にツイートを行い、他のユーザに掃除をしていることを宣言できる機能や、そのツイートが他の人によってリツイートされた場合に応援音を発して掃除の励みとできる機能などを実装した。ゲームフィケーションを掃除に取り入れることで掃除が楽しくなったというユーザからのフィードバックが得られた。

その他、吉野ら [9] は、使用していない電化製品のコンセントプラグを抜くという節電行為にゲームフィケーションを導入している。コンセントプラグに AR マーカーを取り付け、コンセント上に AR でキャラクターを表示し育成するシステムであり、プラグを抜いた時にキャラクターが成長し、また、プラグを抜いた時にだけそのキャラクターが表示される。キャラクターの成長の様子はユーザ間で共有され、楽しみながら電化製品の待機電力を減らすことができるようになっている。

また根本ら [10] は、課題を抱える当事者であるユーザ自身が、自発的に行いたい行動をゲーム化できるようにするための方法について提案している。様々な課題を抱える個人や集団が、自ら参画するワークショップを設計・開催し、そのワークショップにおいて作り出されたアイデアをゲームにして実行に移すことができる Web サービスプラットフォームを提供している。Twitter ヘツイートを入力する行為にポイントを与えると共に、リツイートしたユーザ、および、リツイートされたユーザにもそれぞれ定められたポイントを与える。また、本プラットフォームでは、ツイートをハッシュタグに基いて抽出し、ユーザ間のランキングを計算し可視化する機能を備えている。評価実験の結果、自らの課題を解決する行動をゲームにすることで、1 ヶ月にわたる自発的な行動が見られたと報告している。

3. 提案

本稿では、幼児期の子どもの歯みがきの習慣づけとそのための親子間のコミュニケーションを支援する幼児対象歯磨き支援システム migaco[4] について提案する。磁石を装着した歯ブラシと、スマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いて構築されている。

ユーザの顔の前にスマートフォンを固定しておき、歯ブラシに装着した磁石が動いたときに、スマートフォンに備わっている地磁気センサが磁界の乱れを検出して歯ブラシの動きを検出する。歯ブラシには市販のネオジウム磁石を取り付けるだけであり、かさばらない、子どもが乱雑に扱っても壊れにくい、安価、電池交換が不要などの利点がある。

一般的なスマートフォンにはジャイロセンサ（角速度セ

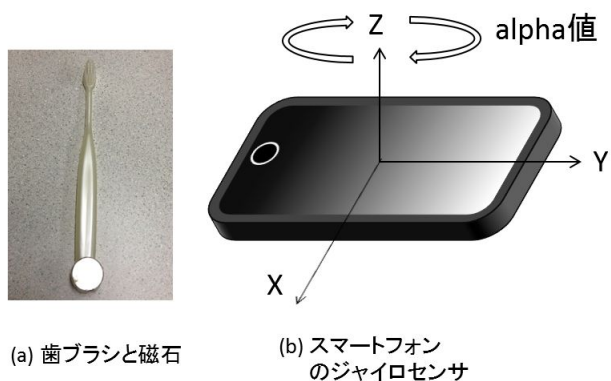


図 1 migaco で用いる磁石とジャイロセンサ

ンサ) が搭載されており、本体の X 軸, Y 軸, Z 軸を中心とした回転を検出することができる (図 1 参照). 実際は, Z 軸を中心とした回転の値 (alpha 値) として地磁気センサ (電子コンパス) の値を返すスマートフォンが多く, このタイプのスマートフォンの場合, 本体が向いている方位 (0° から 360°) をジャイロセンサの alpha 値として得ることができる. 磁石に反応してジャイロセンサの alpha 値が変化した場合に歯ブラシ動作があったと判断するようにした.

システム利用環境について述べる. 地磁気センサの値を極力好条件で取得するため, ユーザは, スマートフォンを吸盤タイプの携帯スタンドに装着し, スマートフォンと磁石の距離が概ね 10cm から 15cm になるようにして歯磨きを行う. 利用するスマートフォンによって地磁気センサの取り付け位置が異なるため, スマートフォンの向きを考慮して携帯スタンドに装着する必要がある.

プロトタイプでは, ブラッシング回数をカウントすると共に, 歯ブラシの動きに併せて動物キャラクターが動くゲームのようなアニメーションを表示する機能を提供した. ブラッシング回数が表示されることで親や幼児に磨いているという実感を持ってもらうことと, 歯磨きをする動物が動くことから歯磨きを楽しく感じさせ, それをきっかけとした親子間の会話が促進されることを目指した. HTML5 & JavaScript を用いてシステムを Web アプリケーションとして試作した. 試作システムをユーザに試用させたところ「回数が増えるのが面白く磨いている実感が湧く」, 「実用性のあるシステムと思った」などの意見を得ることができた.

しかし一方で, 実験に参加したユーザからは「子どもが歯全体をちゃんと磨いているか知りたい」, 「磨き残り箇所がわからないか?」という要望が出された. そこで, 磨いている箇所を特定する機能 (歯磨き箇所特定機能) を追加するための検討を行った.

4. 歯磨き箇所特定方法の検討

歯ブラシの動きとして取得できるのは方位という 1 次

元データのみであり, GUM PLAY が取得している 3 次元加速度データと比較して得られる情報量が大幅に少ない. よって歯磨き箇所を特定しようとする难度が高いと予想された. そこで, 地磁気センサの値の複雑な時系列変動を分析して磨き箇所特定を行うべく機械学習 (深層学習) の技術を取り入れた.

右側

139.9547	140.6361	137.5316	155.4947	155.8703
166.5278	164.6248	164.0687	165.7803	161.5074
155.2013	144.7871	136.885	126.9632	133.7248
135.1664	134.592	137.8873	139.3122	155.4917
155.474	151.0174	155.6861	152.5869	154.8905
151.4193	159.8166	162.247	150.2295	164.4909
176.812	181.6479	178.8407	181.5672	180.1504
180.5706	184.0502	191.7687	207.4815	233.9083

中央

77.04986	87.89107	70.85424	92.28807	94.5296
94.6219	92.31027	105.7756	91.91621	97.45025
106.1292	94.46225	91.8703	92.51527	92.34027
112.0407	91.24101	101.1148	97.89179	110.7574
148.0174	123.2434	149.4477	135.0071	141.0087
139.8623	147.525	143.6021	149.4028	139.5434
148.7641	152.2747	128.9232	146.7234	138.314
152.4746	138.7027	146.8658	145.3573	148.9141

図 2 地磁気センサが 50ms 毎に連続取得した方位データの例

スマートフォンに搭載されている地磁気センサからは方位データ (0° から 360° の値) が返される. 図 2 は, 歯ブラシに磁石を装着して右側と中央を 2 秒間磨いたときに, スマートフォンが 50ms 毎に連続取得した方位データの例である (左から右, 上から下の順). しきい値や所定回の平均値比較によって右側と中央を判別することを試みたが, 図に示されるとおりそのような安易な方法では判別が難しいことがわかる. そこで, 歯磨き箇所特定機能の実現のために機械学習を導入することとした.

構築したシステムの構成について述べる. PC(Windows) では Web サーバと機械学習プログラムが動作している. スマートフォンで動作する Web アプリケーションは地磁気センサから方位データを 50ms 毎に連続取得し, その方位データを一定時間間隔で PC の Web サーバに送信する. PC の Web サーバは, 方位データを受け取ると機械学習プログラムを起動して方位データを処理する. スマートフォン上の Web アプリケーションは HTML5 & JavaScript で記述されており, PC 上の機械学習プログラムは Python[13] で記述されている. 機械学習のフレームワークとしては Chainer[11] を用い, 教師あり学習の分類問題として実装した.

4.1 歯磨き 3 箇所の識別実験

歯の表側の 3 箇所 (右側, 中央, 左側) を識別できるよ

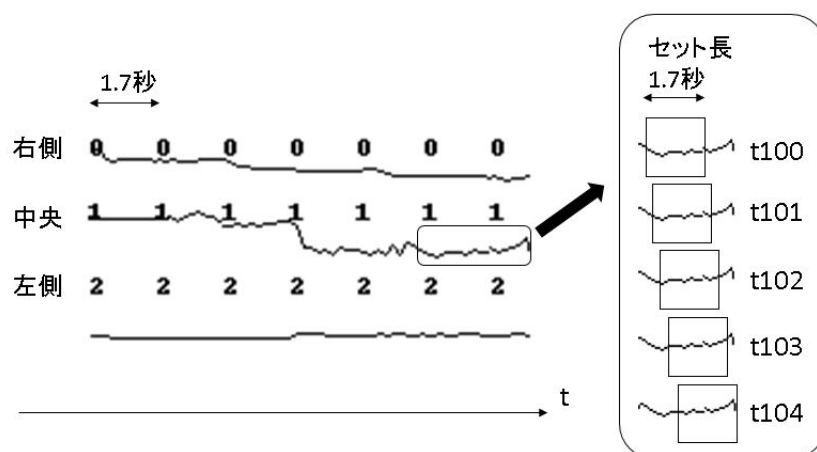


図 3 データセット作成方法 (横軸=時刻, 縦軸=方位)
左図枠内の時系列データから右図のデータセットの組が作成される

うにすることを目標と定めた。

被験者に migaco のプロトタイプを使って歯の表側の 3 箇所 (右側, 中央, 左側) を磨いてもらい, 50ms 毎の地磁気センサデータ 1,700 個を得た。スマートフォン本体下部と口の距離および歯の左右を磨くときのスマートフォン本体下部と磁石の距離は概ね 10cm から 15cm であった。歯の中央部を磨くときは歯ブラシの柄先がスマートフォンから離れるためスマートフォン本体下部と磁石の距離は概ね 15cm から 20cm であった。この 1,700 個のデータを対象に, 学習用データとテスト用データを 8:2 の割合で重複しないように取り出して認識テストを行った。

機械学習の構成としては CNN(Convolutional Neural Network) を構築して用いた。CNN (畳み込み型ニューラルネットワーク) は画像処理で使用されることの多い手法であるが, GPU (Graphics Processing Unit) を使用した並列計算に適しているなどの理由から近年時系列データを取り扱うためにも多く用いられている。また, ニューラルネットが深層化した際でも過学習を防ぐことに有効であると言われる Dropout モジュール, および, 学習精度を向上させる BatchNormalization モジュールを組み込んだ CNN 構成とした [12]。

方位データの 2 次元グラフ画像 (横軸=時刻, 縦軸=方位) を計算機内部に作成し, そのグラフ画像を CNN に入力する構成とした。具体的には, 50ms 毎に連続取得した地磁気センサデータ L 個からデータセット 1 個を作成し, このデータセット 1 個を用いて計算機内部にグラフ画像 1 つを描画する。このグラフ画像を CNN の入力層に入力する構成とした (より詳細には, 所定個数のグラフ画像をまとめてミニバッチを構成し, このミニバッチ単位で入力層に入力している)。以後, L をセット長と呼ぶ。例えばセット長 $L=10$ であれば 500ms のデータをまとめて CNN に入力することとなる。

時系列データからデータセットを作成する際は, 時系列範囲を 1 個ずつずらすことによって作成するようにした。例えば $L=10$ の時, ある時点 t_0 から t_9 までの 10 個の連続データをセットとして作成したら, 次は, t_1 から t_{10} までの 10 個の連続データを別のセットとして作成する (図 3 参照)。

前記地磁気センサデータ 1,700 個を対象に, 学習用データとテスト用データを 8:2 の割合で重複しないように取り出して認識テストを行った。セット長 L を変更しながら繰り返し認識実験を行った結果を図 4 に示す。

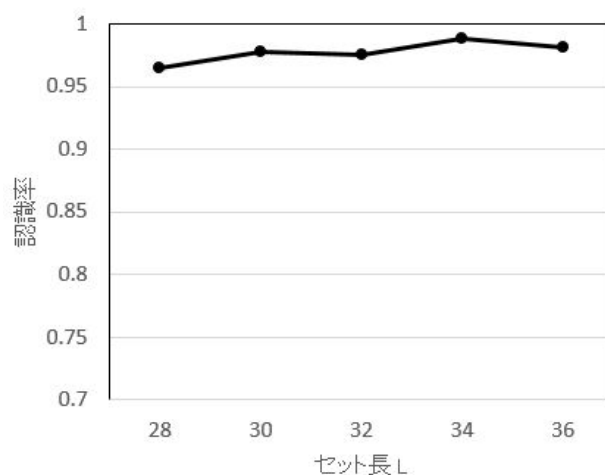


図 4 3 箇所 (右側, 中央, 左側) の識別実験の結果

結果から, セット長を長くすると認識率が向上するが, セット長を 34 より大きくしても認識率が向上する傾向が見られないことがわかった。 $L=34$ の条件で認識実験を 5 回行った結果, 平均認識率は 98.3 % であった。

$L=34$ と定めた場合は 1.7 秒 ($50\text{ms} \times 34$) 間の地磁気センサデータが貯まってから CNN に入力する必要が生じることを意味している。アプリケーションの種類によっては

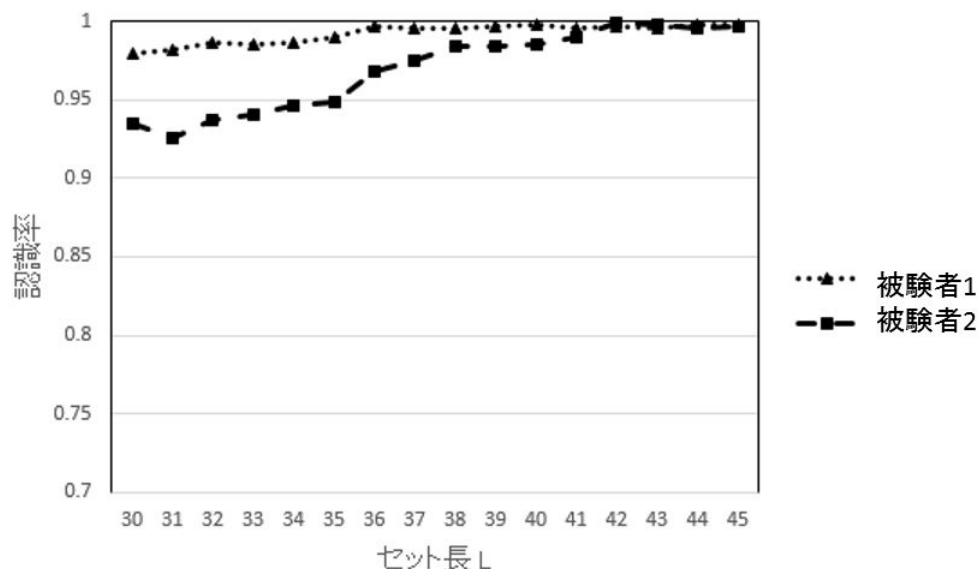


図 5 4 箇所（右上，右下，左上，左下）の識別実験の結果

この時間遅れが問題になるケースもあると思われるが今回の歯磨き診断用途では大きな問題とはならない。よって、このセット長 (L=34) であれば歯ブラシの往復運動の特徴を適切に学習し、かつ、時間遅れが許容できると判断した。このことから migaco プロトタイプではセット長 L を 34 に設定してデータセットを作成するようにした。

4.2 歯磨き 4 箇所の識別実験

次に、より難度が高いと思われる歯の表側の 4 箇所（右上，右下，左上，左下）を migaco プロトタイプを用いて識別する実験を行った。実験時、スマートフォン本体下部と口の距離およびスマートフォン本体下部と磁石の距離は概ね 10cm から 15cm であった。3 箇所を識別する実験と同様に、セット長 L を 34 と定め、50ms 毎の地磁気センサデータを得て学習用データとテスト用データに分けて用いた。

実験の結果、被験者 2 名（被験者 1 と被験者 2）を対象に実験を 3 回行い平均認識率を算出したところ 2 名の平均は 96.0 % であった。当初、同じ側の上歯と下歯の区別は難しいのではないかと予想していたが、右・中央・左の 3 箇所を区別する場合より精度は低いものの 96.0 % という実用レベルの精度が得られる可能性があることがわかった。

しかしながら、被験者個別の認識率は、被験者 1 は 98.8 %、被験者 2 は 93.2 % であり、少なからず違いがあることがわかった。検討の結果、歯ブラシを動かす速さは人によって個人差があり、適切なセット長 L が人によって異なる可能性があるのではないかと推測した。そこで、被験者 1、被験者 2 のそれぞれについてセット長 L を変化させて認識率を調べる実験を実施することとした。

実験結果を図 5 に示す。被験者 1 はセット長 36 で認識

率の向上が止まるのに対し、被験者 2 はセット長 42 まで認識率の向上が持続することがわかった。推測どおり個人によって適切なセット長が異なることが確認された。

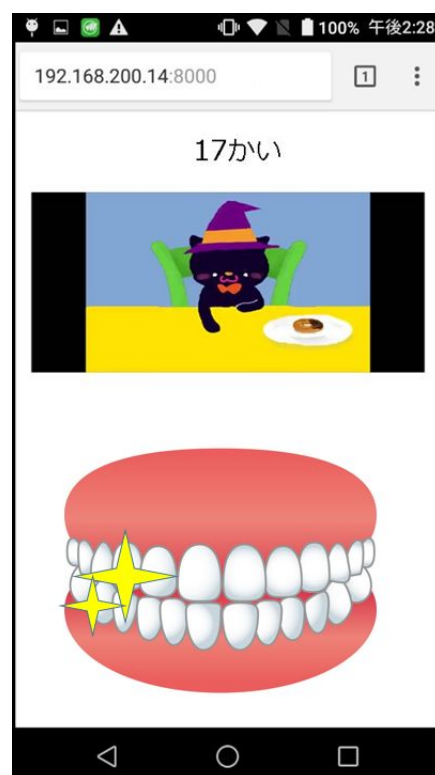


図 6 アプリケーションの動作画面

5. 実装と実験

前述の実験結果より、各ユーザに適したセット長でデータセットを作成する必要があることがわかった。そこで歯磨き箇所特定の精度を高めるために、各ユーザに最適な

セット長を自動検出する機能を migaco に追加実装した。所定の認識率に達する、または、所定量の認識率上昇が無くなるまで、セット長 L を自動的に増やす仕様となっている。ただし、セット長が長くなりすぎると CNN に入力するまでの時間遅れが問題となるため、今回の用途ではセット長 L=40 (2 秒遅れに相当) を最大値と定めた。

セット長自動検出機能が追加されたシステムを用いて前記歯磨き 4 箇所の識別実験を行ったところ、被験者 1 の認識率は 99.0 % (セット長 L=36)、被験者 2 の認識率は 98.6 % (セット長 L=40) となり、平均認識率が 98.8 % に向上する結果となった。

構築したアプリケーションの動作画面を図 6 に示す。migaco により特定された歯磨き箇所が星マークが瞬く場所として逐次示される。

6. まとめ

歯ブラシに取り付けた磁石とスマートフォンに搭載されている地磁気センサを用いた幼児対象歯磨き支援システム migaco について提案した。試作システムを利用したユーザからの「子どもが歯全体をちゃんと磨いているか知りたい」、「磨き残し箇所がわからないか?」という要望に応えるため、磨いている箇所を特定する機能 (歯磨き箇所特定機能) を追加することとし、この機能の実現のために機械学習を導入した。その結果、歯磨き箇所の特定が実用的な精度で可能となった。

しかしながら歯ブラシ動作は人によって個人差があるため、実際に使用するユーザや使用環境に併せて学習を行う必要があることがわかった。そこで各ユーザに最適なセット長を自動検出する機能を追加し、所定の認識率に達する、または、所定量の認識率上昇が無くなるまで、セット長 L を自動的に増やすようにした。

なおセット長自動検出方法については、セット長 L を 40 から自動的に減らすように構成することも可能である。その場合は所定の認識率を下回る、または、所定量の認識率下降が現れる寸前まで自動的にセット長を減らすようにする。また、機械学習のハイパーパラメータ探索の手法を応用してより高速に最適セット長を求められるように構成することも可能である。これについては今後の研究課題としたい。

本研究は JSPS 科研費 16K00506 の助成を受けたものです。

参考文献

- [1] 井上: ゲーミフィケーション, NHK 出版.
- [2] ゲーミフィケーションとは?, SMMLab (ソーシャルメディアマーケティングラボ) <http://smmlab.aainc.co.jp/?p=19553> (2014)
- [3] Yuhas, D.: Three Critical Elements Sustain Motivation, Scientific American,

- <http://www.scientificamerican.com/article/three-critical-elements-sustain-motivation/> (2014)
- [4] 小田川, 篠塚, 市村: migaco:歯ブラシ動作計測による幼児対象歯磨き支援, 情報処理学会 グループウェアとネットワークサービス研究会報告, GN-101 (9), PP.1-8 (2017)
 - [5] 子どもの歯みがきに関する調査, ウィステリア製薬株式会社, <https://prtmes.jp/main/html/rd/p/000000003.000019240.html> (2016)
 - [6] GUM Play, サンスター, <https://www.gumplay.jp/> (2018)
 - [7] 市村, 矢澤, 戸丸, 渡邊: 家事をゲーミフィケーション化する試み ~掃除への適用~, 情報処理学会 DICO2014, 6A-2, pp.1285-1290, (2014)
 - [8] Ichimura, S.: Introducing Gamification to Cleaning and Housekeeping Work, Proceedings of 9th International Conference on Collaboration Technology (CollabTech'17), LNCS10397, Springer, pp.182-190 (2017)
 - [9] 吉野, 森田: AR を用いたコンセンタブラグを抜く習慣付け支援システム「ぶらとん」の開発と評価, 情報処理学会 DICO2013, pp.632-640 (2013)
 - [10] 根本, 高橋, 林, 水谷, 堀田, 井上: ゲーミフィケーションを活用した自発的行動支援プラットフォームの試作と実践, 情報処理学会 グループウェアとネットワークサービス研究会報告 GN-87 (17), pp.1-8 (2013)
 - [11] Chainer: A flexible framework for neural networks, <https://chainer.org> (2018)
 - [12] 斎藤: ゼロから作る Deep Learning - Python で学ぶディープラーニングの理論と実装, オライリー・ジャパン (2017)
 - [13] <https://www.python.org/> (2018)