

推薦論文

トイレトペーパーの回転に基づくトイレ使用者識別手法

倉橋 真也^{1,a)} 村尾 和哉^{2,b)} 寺田 努^{1,3,c)} 塚本 昌彦^{1,d)}

受付日 2016年4月2日, 採録日 2016年9月6日

概要: トイレの便器にセンサを組み込むことで, ユーザの生体情報を日常的に取得し, 健康管理などに活用できるようになった. トイレは多くの場合, 複数人が共用するため採取した生体情報をユーザごとに分類する必要があるが, カメラや音声, 体重計による個人識別はプライバシーの観点から適切ではない. タッチパネルなどの機器を設置して操作することでの個人識別も可能であるが, 本来不要な操作であるため操作を忘れることもある. そこで本論文では, トイレで自然に行われる動作であるトイレトペーパーの巻き取りの個人差に着目し, 芯に角速度センサを設置したトイレトペーパーの回転特性から個人を識別する手法を提案する. 評価実験により提案システムの有効性を確認したところ, 識別精度は実験室環境において5人から1人を識別する場合に83.9%, 実環境において5人から1人を識別する場合に69.2%となった. さらに, 提案手法を用いて, 体調管理を推進するライフログアプリケーションと, トイレトペーパーの使いすぎを抑止するアプリケーションを実装した.

キーワード: 個人識別, トイレ, トイレトペーパー, 角速度センサ

Personal Identification System Based on Rotation of Toilet Paper Roll

MASAYA KURAHASHI^{1,a)} KAZUYA MURAO^{2,b)} TSUTOMU TERADA^{1,3,c)} MASAHIKO TSUKAMOTO^{1,d)}

Received: April 2, 2016, Accepted: September 6, 2016

Abstract: Biological information can be monitored in our daily life by installing sensors to a lavatory bowl. Since lavatory is usually shared among several people, biological information need to be identified. From the viewpoint of privacy, using camera, microphone, or scales is not appropriate. Though personal identification can be done by using a touch panel, the user may forget the action because it is not originally necessary. In this paper, we focus on the difference in the way of pulling a toilet paper roll and propose a system that identifies individuals based on features of rotation of toilet paper roll with a gyroscope. The evaluation results confirmed the effectiveness of the proposed system and we made two applications using our system: an application to show the frequency of lavatory use and an application to prevent overuse of a toilet paper.

Keywords: personal identification, lavatory, toilet paper roll, gyroscope

1. はじめに

トイレは日常生活において最も健康と関わりの深い空間

の1つである. 病原菌が繁殖しやすい排泄物をトイレで衛生的に処理することにより我々は健康でいられるが, 平成20年の時点で, 日本では住宅における水洗式のトイレの普及率が9割を超えている^{*1}のに対し, 世界では約3割の人がトイレや下水設備などを満足に利用できていない^{*2}との

¹ 神戸大学大学院工学研究科
Graduate School of Engineering, Kobe University, Kobe,
Hyogo 567-8501, Japan

² 立命館大学情報理工学部
College of Information Science and Engineering, Ritsumei-
kan University, Kusatsu, Shiga 525-8577, Japan

³ 科学技術振興機構さきがけ
Japan Science and Technology Agency, PRESTO, Kawa-
guchi, Saitama 332-0012, Japan

a) kura-hash@stu.kobe-u.ac.jp

b) murao@cs.ritsumeikan.ac.jp

c) tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

d) tuka@kobe-u.ac.jp

本論文の内容は2015年7月のマルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOMO2015) シンポジウムで報告され, ユビキタスコンピューティングシステム研究会主査により情報処理学会論文誌ジャーナルへの掲載が推薦された論文である.

*1 総務省統計局: 日本の住宅・土地—平成20年住宅・土地統計調査の解説: <http://www.stat.go.jp/data/jyutaku/2008/nihon/2.5.htm>

*2 WHO: Sanitation: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs392/en/>

報告がある。国連で採択されたミレニアム開発目標*3には2015年までに、安全な飲料水と衛生施設を継続的に利用できない人々の割合を半減させるという目標が含まれている。目標は完全に達成できたわけではないが、世界の衛生施設の普及率は1990年から2015年の間に54%から68%にまで増加した*4。この結果を考慮すると、現在トイレが普及していない地域においても今後の優先的な普及により、トイレは家庭における健康管理の拠点となると考えられる。

また、排泄物は健康状態の指標としても利用される。身近な例では、排泄された便の色や形状などから食生活や腸の状態などを推測したり [1], [2], 尿検査により腎臓病を早期に発見したりできる [3]。また、トイレで得られる有用な生体情報を自動で測定するトイレ*5も開発された。Intelの調査*6によると、世界的に70%以上の人々がトイレのセンサによって生体情報を収集されることを受け入れることができると報告されている。これらのことから今後、トイレ空間内に生体情報取得のための様々なセンサが設置されていくと予想される。

ここで、トイレにおける生体情報取得を考えた場合、トイレは複数の人が共用するため、取得した生体情報の使用者を識別し、使用者ごとに分類する必要がある。外出先のトイレで取得した情報を個人が記録したい場合、多くのユーザがスマートフォンや腕時計型のデバイスなどを身につけていると考えられるため、このようなデバイスから個人を識別するIDなどを発信することが最も精度が高く現実的である。一方、家庭においてはウェアラブルデバイスや携帯端末を外していることが多いと考えられるため、トイレ側に個人識別機構を設置する必要がある。本研究では家庭のトイレにおける個人識別手法の確立を目的とする。排泄物から精製したDNAを用いた個人識別 [4]も技術的には可能であるが、時間や金銭的成本がかかり現実的ではない。また、カメラやマイクを用いれば高い精度で個人識別が可能であるが、プライバシーの観点から適切ではない。ボタンやタッチパネルを設置して、使用者に操作してもらうことも可能ではあるが、1日に複数回使用する場所であり、追加の操作を行わせることも望ましくない。したがって、トイレのドアを開ける、便座に座る、トイレットペーパーを巻き取る、水を流すなどトイレ内で行う通常の動作から個人識別を行うことが望ましい。

家庭内のトイレにおけるデータ収集についてユーザが感

*3 ミレニアム開発目標指標：http://www.undp.or.jp/aboutundp/mdg/mdgs.shtml

*4 The Millennium Development Goals Report 2015: http://www.un.org/millenniumgoals/news.shtml

*5 大和ハウス工業株式会社：インテリジェントトイレ II：https://www.daiwahouse.co.jp/release/20081224111714.html

*6 The World Agrees: Technology Inspires Optimism for Healthcare: http://newsroom.intel.com/community/intel_newsroom/blog/2013/12/09/the-world-agrees-technology-inspires-optimism-for-healthcare

じる抵抗感を調査するために、15~41歳（平均24.8歳、標準偏差4.86歳）の男性33人、女性32人にアンケートを行った。尿糖値などを自動的に取得できる健康管理のためのセンサが設置されたトイレを仮定し、データとユーザの関連付けに使用するために個人情報取得する場合の抵抗感の度合いを調査した。質問の対象とした個人情報は、指紋、体重、顔写真、両足のかかとの便座からの距離、声、トイレットペーパーの巻き取り方、ドアの開き方、トイレに入っている時間、水洗レバーの回し方、トイレに入ってから出るまでに水洗レバーを回す回数の10種類である。いずれの項目についても「非常に抵抗を感じる」「抵抗を感じる」「どちらともいえない」「抵抗を感じない」「まったく抵抗を感じない」の5段階のリッカート尺度で回答することとした。結果を図1に示す。「抵抗を感じない」「まったく抵抗を感じない」と回答された割合が両足のかかとの便座からの距離(84.6%)、トイレットペーパーの巻き取り方(80.0%)、ドアの開き方(76.9%)、水洗レバーの回し方(86.1%)、トイレに入ってから出るまでに水洗レバーを回す回数(76.9%)ではおよそ8割であるのに対し、指紋(58.5%)、体重(63.1%)、顔写真(24.6%)、声(30.7%)、トイレに入っている時間(41.5%)ではやや低い結果となった。顔写真や声などが確認して直観的に個人を特定できるデータや、指紋や体重などの個人情報の中でも取扱いがデリケートなデータについては抵抗を感じやすいと考えられる。

本論文では、上記のアンケート結果からユーザが採択に対して抵抗感がない情報の中でも、より個人的な特徴が現れると考えられるトイレットペーパーの巻き取り方に着目し、トイレットペーパーの芯の中に角速度センサを設置して、トイレットペーパーの巻き取り方の特徴からトイレの使用者を識別するシステムを構築する。さらに、提案システムを用

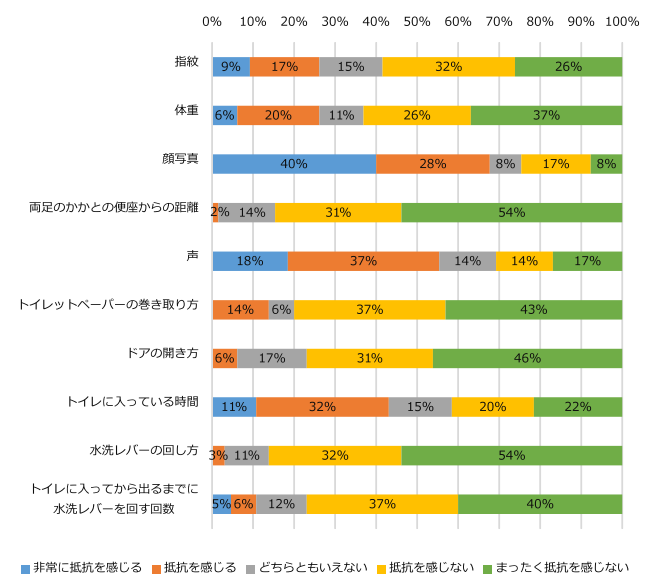


図1 家庭内のトイレにおけるデータ取得の受容性調査の結果
Fig. 1 The result of questionnaire on acceptance of data collection in a lavatory.

いた応用例として、トイレに行った回数をグラフ化するアプリケーションと使用者にトイレットペーパーの節約を促すアプリケーションを紹介する。

以降、2章で関連研究を紹介し、3章では巻き取り動作の特徴に基づく個人識別手法について述べる。4章で評価実験を行い、5章ではアプリケーションを紹介する。最後に、6章で本研究のまとめと今後の課題を述べる。

2. 関連研究

2.1 トイレのセンシングに関する研究

トイレ空間内でユーザの生体情報を取得する際、プライバシーに配慮したシステムの構築が必要となる。生体目らは、トイレにおける身体異常を検知するシステム Life2Guard を提案している [5]。このシステムは赤外線センサと加速度センサを用いて、トイレ内のユーザの異常な動作や、気を失ってまったく動かない状態を検知して警報を発信する。田中らは、トイレにおいて全自動で体重や排泄量、血圧などの生体情報を計測するシステムを提案している [6]。これらのシステムでは、トイレに組み込んだセンサのみを使用しているため、利用者は機器を所持したり操作したりする必要はない。しかしながら、センサ情報から個人識別は行っておらず、ユーザの識別は手動で行う必要がある。また、Fogarty らはマイクを用いた低コストのデバイスを排水管の外側に設置することで、排水管内の流水音から洗濯機やトイレなどの使用を認識するシステムを提案している [7]。排水管に設置するためシステムが人目に触れることなく水の用途を解析することができるが、水の使用者の個人識別は行われていない。

2.2 個人識別に関する研究

人の行動特徴を用いた個人識別に関する研究は数多く行われている。Hayashi らは Microsoft 社の Kinect の深度映像を用いた、身体部位の長さや手振り動作に基づく個人識別手法を提案している [8]。身体部位の長さや手振り動作をそれぞれ単体で用いても信頼できる精度は得られないが、どちらも使うことで高い精度を実現している。しかし、手振り動作を2秒程度続ける必要があり、トイレにおいて通常不要な動作を使用者に強いることになる。また、トイレ空間内ではプライバシーに配慮しなければならないため、カメラの設置は望ましくない。佐藤らはドアノブにカメラを設置し、掌の画像情報から個人認証をするシステムを提案している [10]。このシステムもカメラを使用するが、トイレの外側のドアノブに設置することで心理的抵抗は少なくなると考えられる。また、ドアノブを握ることで個人識別を行うので特別な操作を必要としない。ただし、ドアノブをセンサが入ったものに取り替える必要があり、設置にはやや手間を要する。An らは可視光通信を用いた個人識別を提案している [13]。このシステムは可視光通信に対応し

た LED を天井に設置し、床にフォトダイオードを設置することで連続的に床の影になっている部分を観察することで個人識別を行う。ただし、この手法は大量の LED とフォトダイオードを使用し、システムが大がかりになるため、家庭内のトイレの個室やトイレの前の廊下などに設置することは困難である。Watanabe らは音声情報のみを用いてユーザの行動、会った人、いた場所を記録するライフログシステムを構築している [9]。ユーザは超音波スピーカとボイスレコーダを身に付け、ユーザのスピーカから発信される超音波を自身のボイスレコーダで受信し、音響特性から行動を認識する。また、人や環境に取り付けたスピーカから超音波で ID を発信することで、会った人やいた場所を記録する。しかし、家庭内ではウェアラブル機器を外していることが多いため、装着型機器は用いないシステムが望ましい。Qian らはユーザが歩いている間の床にかかる圧力を用いて個人識別する手法を提案している [11]。この手法は機器の携帯を必要とせず、歩くだけで個人識別が可能であるためユーザへの負担が小さい。ただしトイレの前の廊下などに圧力センサを埋め込む必要があるため、既存の家屋へのシステムの導入が大がかりである。

3. トイレ使用者識別システム

提案システムは、トイレットペーパーの使用量や巻き取り速度の最大値など、トイレットペーパーの回転から得られる特徴量を用いてトイレの使用者を識別する。なお、本論文で想定するトイレとは家庭用の大便器のみの個室や、公衆便所の個室ブースなどトイレットペーパーが備え付けられた個室のトイレで、男性用小便器は対象としない。

3.1 システム要件

トイレにおいて個人識別を行う場合、トイレ使用者のプライバシーへの配慮が必要となる。使用者をカメラで撮影したり、マイクで録音したりすることは心理的抵抗が大きい [12] ためこれらの機器を用いることは望ましくない。

ライフログの研究では装着型センサを用いたものが多く、トイレの利用者識別においても装着型センサや ID タグをユーザに持たせる方式は高精度な識別を可能にすると思われる。たとえば、Tamura らは ID を付与されたデバイスを身に付けることで正確な個人識別ができることを示している [14]。しかし、携帯電話や腕時計、アクセサリなどは家の中では外す場合が多いため、環境側にセンサを設置する方法が望ましい。

日常の生体情報計測は、長期的・習慣的な計測を行い計測値の推移を解析して傾向を読み取ることで疾病の早期発見や予防に役立つ。タッチパネルやボタンの操作などトイレの使用と無関係な操作は、操作を忘れてたり、操作自体が面倒で負担となったりする。そのため、ドアの開け方や閉め方、トイレットペーパーの巻き取り方、水の流し方など、

トイレの使用にともなう動作から個人識別できるシステムが望ましい。これらの動作は環境側に設置したセンサで計測でき、プライバシーに関する情報を取得することもないが、特にトイレトーパーパの巻き取り方はトイレトーパーパの使用量などからユーザの状況に関する新たな情報を得られる可能性がある。加えて、他人のトイレトーパーパの巻き取り方を見て自分との違いに気づいたり、他人に見られて巻き取り方を指摘されたりする機会はほとんどない。したがって、トイレトーパーパの巻き取り方は他人の影響を受けにくく、巻き取る速度や量などに個人差が現れると考えられる。本論文では、このようなトイレトーパーパの巻き取り動作に着目して個人識別を行う。

健康に関するデータをトイレでセンシングして個人ごとに分類するにあたり、個人識別結果が誤った状態でデータを分類することは、ライフログを用いた健康モニタリングの利便性を大きく損なうことになる。しかしながら、提案手法のように行動から個人を推定する場合には100%に近い精度で個人を識別することは困難である。そのため、提案手法では識別結果をリアルタイムでフィードバックし、誤りがあれば訂正できるようなタブレット端末のようなものを設置することを前提とする。この場合、個人識別手法の精度がどうであれ、個人識別の結果を利用するアプリケーション側は個人識別の精度が100%であると想定して設計することができる。ただし個人識別手法の精度が低い場合、手入力で訂正する回数が増えることになり、結果利便性を損なうことになる。

3.2 システム設計

本論文で提案するトイレ使用者識別システムでは、図2に示すように樹脂性の筒状のアタッチメントの中央に角速度センサ(ATR-Promotions社製 TSND121, 37×46×12mm, 22g)を取り付けたものをトイレトーパーパの芯に設置する。アタッチメントの外側に滑り止めをつけることで、アタッチメントがトイレトーパーパの芯と一緒に回転せずに空回りすることを防いでいる。本システムはセンサを芯に設置するため、取付けや取外しは容易である。また、市販のロールタイプのトイレトーパーパを挟み込む形で保持す

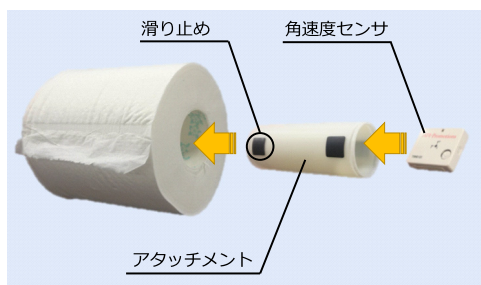


図2 デバイスの設置方法
Fig. 2 Device configuration.

るタイプのホルダを持つあらゆるトイレに適用可能である。システム構成として现阶段では、図3のようにセンサからデータをBluetoothにより送信し、中継器を介してWi-Fiで家のサーバに送り、データを解析する。中継器への給電はトイレ内のコンセントから行い、デバイスの充電は必要に応じてトイレトーパーパ取り換えのタイミングで行うことを想定する。ただし今回行った評価実験では、センサからBluetoothでPCへ送信し、解析している。なお、本手法はトイレトーパーパの芯を軸としたトイレトーパーパ回転方向の1軸の角速度を、サンプリング周波数100Hzで取得する。使用センサは角速度センサのみであるため、不要なプライバシー情報を取得しない。また、トイレトーパーパを巻くというトイレ内で自然に行われる動作に基づいて個人識別するため、使用者はシステムの存在を意識しなくてよく、使用者が機器を身に着ける必要もない。

3.3 個人識別手法

提案システムはまずはじめに、センサから得られた角速度を用いてトイレトーパーパの巻き取り速度を算出する。得られた巻き取り速度の変化から巻き取り開始と巻き取り終了を検出し、トイレトーパーパを引き出してから切り取るまでの1回の巻き取り動作のデータを切り出す。切り出したデータから巻き取り速度の平均値や分散値などの特徴量を算出し、事前に登録している巻き取り動作のデータ(学習データ)と比較することでユーザを識別する。1回のトイレの間に複数回の巻き取り動作が行われた場合、それらに対する識別結果を総合して1回のトイレのユーザを識別する。以下、各処理について説明する。

3.3.1 巻き取り速度の算出

単位時間あたりのトイレトーパーパを巻き取る長さ(以下、巻き取り速度 $v(t)$ [m/s])が同じでも、トイレトーパーパの残量の減少にともないロールの半径が小さくなるため、計測される角速度は増加する。したがって、下記のように角速度から巻き取り速度を算出する。

ある時刻 t における角速度 $\omega(t)$ [rad/s]、トイレトーパーパロールの半径 $R(t)$ [m] を用いて、トイレトーパーパの巻き取り速度 $v(t)$ [m/s] は次式で表される。

$$v(t) = R(t)\omega(t) \tag{1}$$

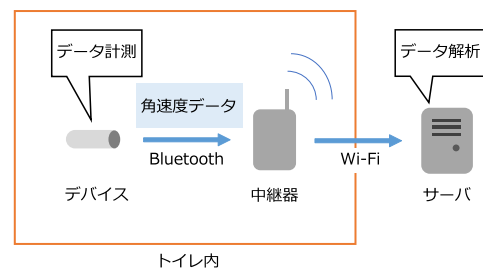


図3 システム構成
Fig. 3 System configuration.

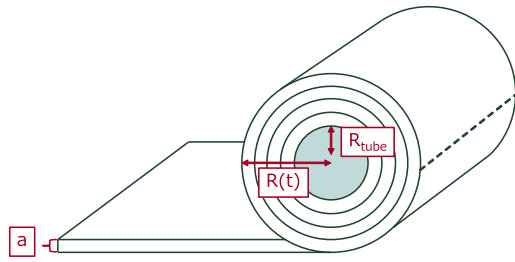


図 4 使用するトイレットペーパーのモデル
Fig. 4 Layered cylindrical paper model.

このとき、時刻 $t-1$ から t の間に巻き取られたトイレットペーパーの長さ $L(t)$ はセンサのサンプリング周期を Δt [s] とすると次式のように表せる。

$$L(t) \approx R(t)\omega(t)\Delta t \quad (2)$$

さらに、 $R(t)$ は微小な変化しかしないためロールを図 4 のようなバウムクーヘン状のモデルで考える。このモデルでは、1 周の間は $R(t)$ は変化しないものとしている。

トイレットペーパーの初期全長 L_0 [m]、ロールの初期半径 R_0 [m]、および芯の半径 R_{tube} [m] は商品固有であるため、既知とする。ここで、ロールの初期の巻き数を n_0 [回]、トイレットペーパーの厚さを a [m] とすると、 L_0 および R_0 は次式で表現できる。

$$R_0 = R_{tube} + n_0 \cdot a \quad (3)$$

$$L_0 = \sum_{i=1}^{n_0} 2\pi(R_{tube} + i \cdot a) \quad (4)$$

これを変形すると a が得られる。

$$a = \frac{(R_0 - R_{tube})(R_0 + R_{tube})}{\frac{L_0}{\pi} - R_0 + R_{tube}} \quad (5)$$

角速度センサから得られる角速度の累積値 $d(t) = \sum_{i=0}^t \omega(i)$ [rad] から、初期値を 0 とした累積回転数 $n_{used}(t)$ [回] は以下のように得られる。

$$n_{used}(t) = \left\lfloor \frac{d(t)}{2\pi} \right\rfloor \quad (6)$$

よって、時刻 t におけるロールの半径 $R(t)$ は以下となる。

$$R(t) = R_0 - n_{used}(t) \cdot a \quad (7)$$

式 (7) を式 (1) および式 (2) に代入することで時刻 t における巻き取り速度 $v(t)$ と時刻 $t-1$ から t の間に巻き取った長さ $L(t)$ が得られる。

$$v(t) = \{R_0 - n_{used}(t) \cdot a\}\omega(t) \quad (8)$$

$$L(t) = \{R_0 - n_{used}(t) \cdot a\}\omega(t)\Delta t \quad (9)$$

実際にトイレットペーパーを巻き取って、式 (9) によりトイレットペーパーの長さを計算したところ、誤差は 1% 以下であった。

3.3.2 波形の切り取り

提案システムは 1 回の巻き取り動作に対して個人識別す

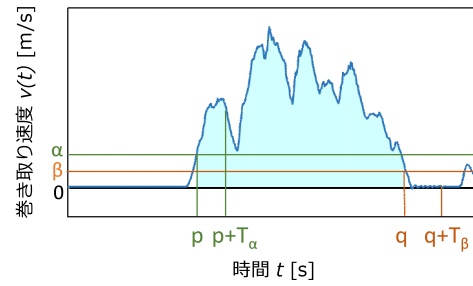


図 5 巻き取り速度の波形と切り出し手法

Fig. 5 An example of waveform of pulling velocity when pulling a paper.

るため、巻き取り動作の開始と終了を検出する必要がある。なお、トイレットペーパーを引き出し始めてからちぎるまでの一連の動作を巻き取り動作と定義する。図 5 にトイレットペーパー巻き取り時の巻き取り速度 $v(t)$ [m/s] の時間変化例を示す。 p は巻き取り開始時刻、 q は巻き取り終了時刻である。切り取られる波形の領域は図の水色で着色した部分である。提案手法では、 $v(t) > \alpha$ が T_α の間満たされたとき、 T_α のうちの最初の時刻 p において巻き取り動作が始まったと判定する。同様に $v(t) < \beta$ が T_β の間満たされたとき、 T_β のうちの最初の時刻 q において巻き取り動作が終了したと判定する。ただし、 α [m/s] および β [m/s] はそれぞれ、開始および終了を判定する巻き取り速度の閾値である。

3.3.3 特徴量抽出

巻き取り動作区間のデータから式 (10)~(14) に示す 5 種類の特徴量 (使用量 $Used$ [m]、巻き取りに要した時間 $Time$ [s]、巻き取り速度の最大値 Max [m/s]、巻き取り速度の平均値 Ave [m/s]、巻き取り速度の分散値 Var [m^2/s^2]) を計算する。

$$Used = \sum_{t=p}^q L(t) \quad (10)$$

$$Time = q - p \quad (11)$$

$$Max = \max_{p \leq t \leq q} v(t) \quad (12)$$

$$Ave = \frac{1}{n} \sum_{t=p}^q v(t) \quad (13)$$

$$Var = \frac{1}{n} \sum_{t=p}^q \{v(t) - Ave\}^2 \quad (14)$$

ただし、 p は巻き取り開始時刻、 q は巻き取り終了時刻、 $v(t)$ は巻き取り速度、 n は区間内のデータの個数である。

一般に行動認識では Time Domain の特徴量と Frequency Domain の特徴量が用いられるが、トイレットペーパーの巻き取り動作は、「歩く」や「走る」などのように特定の動作パターンが継続するものではないため、Frequency Domain の特徴量は有効でないと考え、Time Domain の特徴量を 5 つ採用した。

得られた5次元の特徴量ベクトル $\mathbf{X} = \{Used, Time, Max, Ave, Var\}$ の各特徴量はスケールが異なり等価に扱えないため、 \mathbf{X} を $\mathbf{Z} = (\mathbf{X} - \mathbf{M})/S$ に従い正規化し、5次元の特徴ベクトル $\mathbf{Z} = \{z_1, z_2, z_3, z_4, z_5\}$ (平均0, 分散1) を得る. ここで $\mathbf{M} = \{m_1, m_2, m_3, m_4, m_5\}$ および $\mathbf{S} = \{s_1, s_2, s_3, s_4, s_5\}$ は正規化前の学習データ $\mathbf{X} = \{Used, Time, Max, Ave, Var\}$ の各成分の平均および標準偏差である.

3.3.4 学習データとの比較

正規化した学習データとテストデータのユークリッド距離を計算し、K-Nearest Neighbour 法 ($K = 1$) によりユーザを識別する. 具体的には、次式に示すように i 番目の学習データ $X_i = \{x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, x_{i4}, x_{i5}\}$, テストデータ $Y = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}$ のユークリッド距離 $Euclid_i$ をすべての学習データについて計算し、最も距離が小さい学習データの人物を識別ユーザとする.

$$Euclid_i = \sqrt{\sum_{j=1}^5 (x_{ij} - y_j)^2} \quad (15)$$

また、一度のトイレ使用で複数回巻き取り動作が行われることがある. このとき、まず単体の巻き取り動作ごとに個人識別を行い、一度のトイレ使用で得られた複数回の巻き取り動作の識別結果から多数決を行う. 多数決で決まらない場合は最もユークリッド距離が小さくなった巻き取り動作の識別結果を採用する.

4. 評価実験

提案手法を評価するために、実験室環境、実環境それぞれにおける評価実験を行った. 実験室環境における実験では、トイレットペーパーの巻き取り方に個人の特徴が現れるという仮説を検証するために、実際には用をたさずに20回ペーパーを巻き取る動作を被験者に繰り返し行ってもらい、そのデータをもとに識別精度を評価した. 実環境における実験では、実際にトイレで用をたした際のペーパー巻き取り動作のデータを採取し、提案手法の有効性を評価した. なお、いずれの実験においても、単体の巻き取りに基づく識別と複数回の巻き取りに基づく識別のそれぞれの場合での識別率を評価した. なお、これらの実験は神戸大学研究倫理審査委員会の承認を得て行った.

4.1 実験室環境における実験

4.1.1 実験環境

大学内のトイレの個室のトイレットペーパーに提案システムを設置して、19~28歳の男性27人、女性14人の被験者からふだんどおりの巻き方で20回分の巻き取り動作のデータを収集した. 実験の様子を図6に示す. 実験に使用したトイレは神戸大学内の筆者らの研究室に最寄りの男性用、女性用の洋式トイレの個室それぞれ1室ずつである. トイレに備え付けのトイレットペーパーホルダは便座に座っ



図6 評価実験の様子

Fig. 6 A snapshot of the laboratory environment.

て右側に設置されているが、トイレットペーパーの自由な取付け、取外しが困難な型のため、便座に座って左側、床からの高さが71cm、便座からの距離が45cmのところ市販のトイレットペーパーホルダを設置して使用した. データの受信および識別処理を行うPCとしてPanasonic社のLet's note CF-S9を使用し、ソフトウェアはMicrosoft社のVisual C#で開発した. トイレットペーパーは全長60m、芯の半径19mm、ロールの初期半径58.5mmのシングルタイプのものを用いた.

評価は1回の巻き取り動作のみで識別を行う場合と、複数回の巻き取り動作から識別を行う場合それぞれについて行った. 識別対象人数が変化するにつれてどのように精度が変化するかを確認するため、評価では識別対象の被験者集合を2~41人で変化させる. 41人から識別対象人数 x の被験者を選ぶ組合せ数 ${}_{41}C_x$ が10,000以下のときは全組合せについて識別率を評価し、平均の精度を算出した. 組合せ数が10,000を超える場合には計算量の都合上、10,000組を無作為に抽出して用いた. すべての組について10-fold cross-validationで検証を行って識別率を検証した. 複数回の巻き取りによる個人識別の評価は、cross-validationの結果を2~4個を1セットとし、前章に記した方法によりこれらを総合して評価した.

4.1.2 実験結果

図7, 図8, 図9に男女41人、男性27人、女性14人をそれぞれ母集団とした場合の実験結果を示す. いずれの結果においても識別対象人数が5人程度であれば70%以上の識別率が得られた. このことから男女ともにトイレットペーパーの巻き取り方の特徴に個人差が存在することが確認できたといえる. 例として図10に被験者のうち3人の巻き取り動作の巻き取り速度波形を示す. このように個人間で波形に特徴がみられ、これらが識別に貢献していると考えられる. 複数回巻き取りによる識別については、一度の識別に利用される巻き取り動作の数が増えるほど精度が向上する傾向が認められる.

ここで5人家族を想定して、41人の男女混合データで母集団の識別対象が5人のときの10,000通りの組合せの

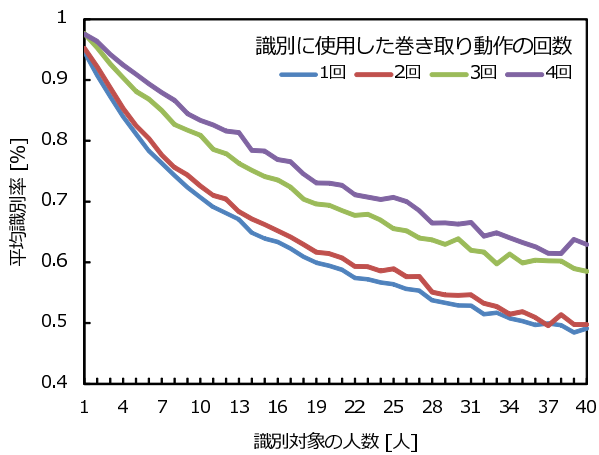


図 7 実験室環境実験の識別対象人数に対する平均識別率 (男女混合)
 Fig. 7 Identification accuracy vs. the number of participants in the laboratory environment (male and female).

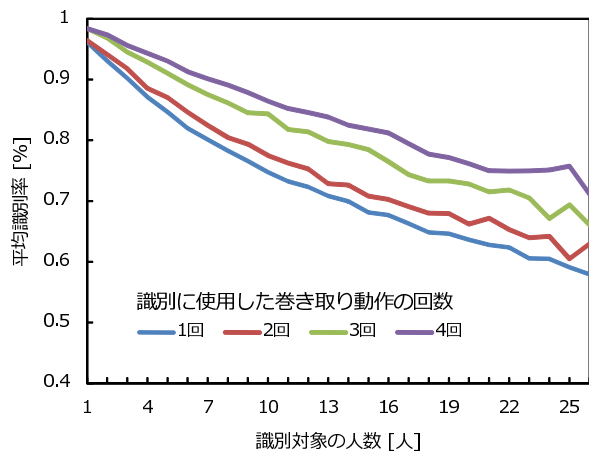


図 8 実験室環境実験の識別対象人数に対する平均識別率 (男性)
 Fig. 8 Identification accuracy vs. the number of participants in the laboratory environment (male).

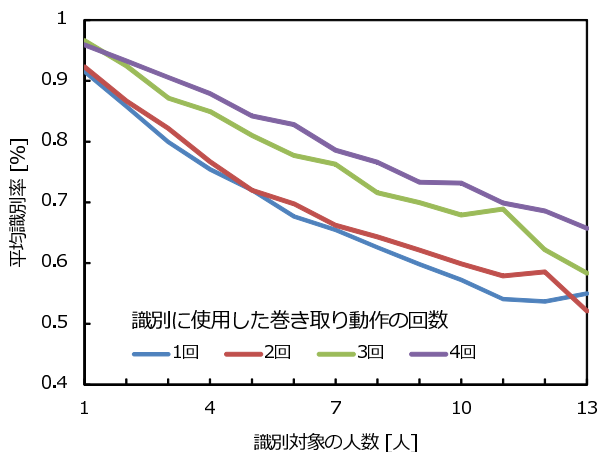


図 9 実験室環境実験の識別対象人数に対する平均識別率 (女性)
 Fig. 9 Identification accuracy vs. the number of participants in the laboratory environment (female).

個人識別率のヒストグラムを図 11 に示す。平均識別率は 83.9%、標準偏差は 9.2%、最小値は 41%、最大値は 100%となり、被験者の組合せに大きく依存することが分かる。

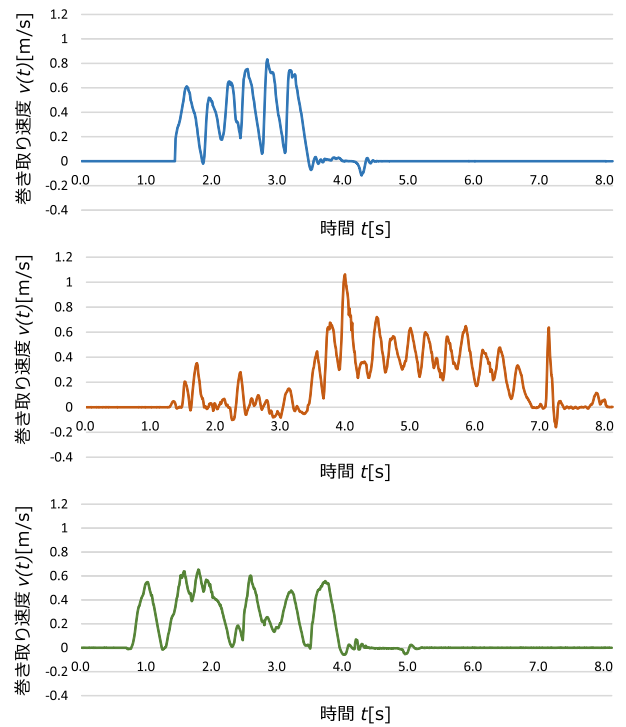


図 10 被験者のうち 3 人の巻き取り速度
 Fig. 10 Waveforms of pulling velocity obtained from three of the participants.

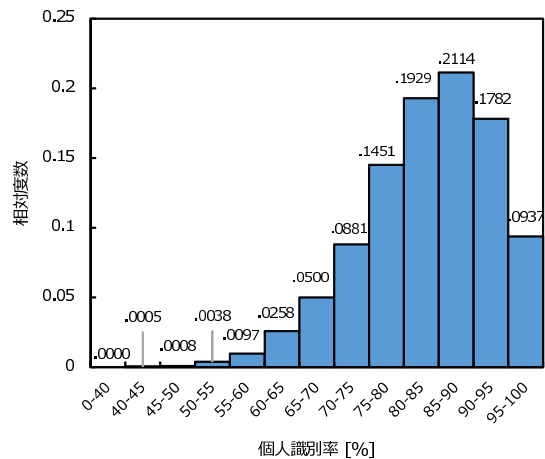


図 11 実験室環境における 5 人から 1 人を識別する際の個人識別率
 Fig. 11 Identification accuracy in the laboratory environment for five-people group.

図 12 と図 13 に、それぞれ識別率が 41%のときの被験者と、100%のときの被験者の特徴量分布を示す。識別率が低い被験者の組合せでは、被験者間でいずれの特徴量分布も類似しているが、識別率が高い被験者の組合せでは、各特徴量ごとに個人差が見られる。また、複数回の巻き取り動作を使用した場合の精度を表 1 に示す。結果より、一度の識別に利用される巻き取り回数が増えるほど平均識別率が向上している。ただし 2, 3 回の巻き取りを総合する場合においては単体の巻き取りを使用して識別する場合に比べて最低識別率が低下する結果となった。これは単体の巻き取りによる識別率が 41%と低いため、多数決を使用したこと

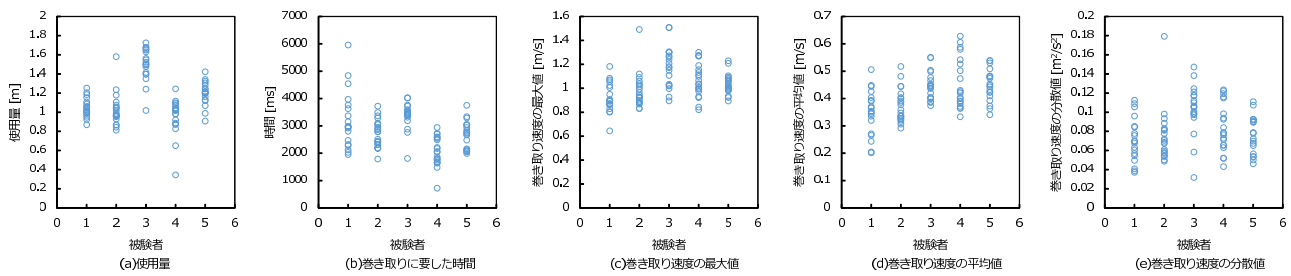


図 12 個人識別率 41%の被験者の組合せにおける特徴量分布

Fig. 12 Distribution of feature values for the group whose identification accuracy is 41%.

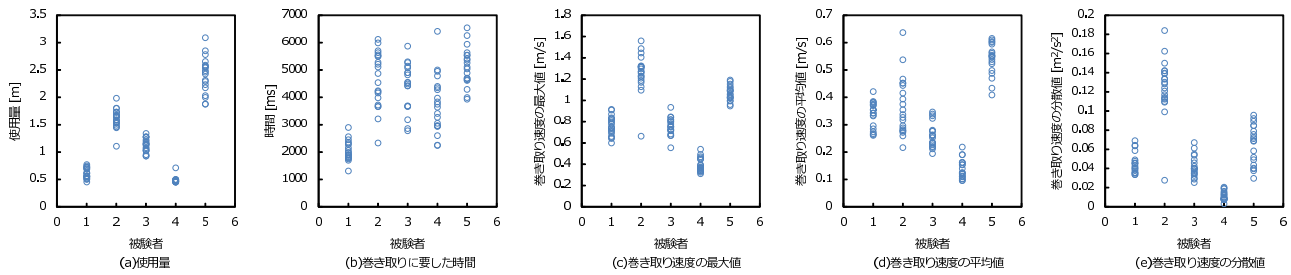


図 13 個人識別率 100%の被験者の組合せにおける特徴量分布

Fig. 13 Distribution of feature values for the group whose identification accuracy is 100%.

表 1 1回の識別に使用する巻き取り回数と識別率

Table 1 Identification accuracy vs. the number of pulling actions.

巻き取り回数	識別精度 [%]			
	平均値	最大値	最小値	標準偏差
1回	84.0	100	41.0	9.2
2回	85.3	100	34.0	10.0
3回	90.3	100	40.0	8.9
4回	92.5	100	44.0	7.9

で、いくつかの正しい識別結果が誤った識別結果に変わってしまったためである。したがって、複数回の巻き取りによる識別手法は、単体の巻き取りによる識別率が50%に満たない場合には使用せず、50%以上の場合は使用するという運用が望ましい。

実用時における複数回の巻き取り動作に基づく個人識別の適用可能性を検証するために、アンケート調査を実施した。実験室環境における実験の被験者のうち13人を含む20~28歳の男性7人、女性7人を対象に、1週間場所を問わず洋式の大便秘器を利用した際に何回トイレットペーパーを巻き取ったかを報告してもらった。報告内容は、大便と小便どちらの用をたしたか、ペーパーの使用回数の2つである。回答者ごとのトイレの使用1回あたりの平均巻き取り回数を図14に示す。横軸のラベルにおけるMとFはそれぞれ男性、女性を表す。結果より、14人中12人の回答者が大便時に1回のトイレ利用で平均2回以上ペーパーを巻き取っていることから、大便時には大部分のユーザに対して複数回の巻き取り動作での個人識別を行うことができ、

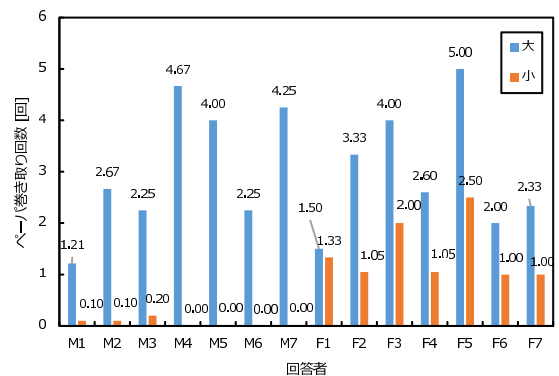


図 14 トイレ1回あたりの平均のペーパー巻き取り回数

Fig. 14 The number of pulling action per a use of lavatory.

より安定して高い精度を確保できると考えられる。一方小便時には、男性はほとんどペーパーを使用しないのに対し、女性は平均1.41回使用するということが明らかになった。男性についてはペーパーをほぼ使用しないため、小便時に提案手法による個人識別は困難である。したがって小便時にも個人識別を必要とするアプリケーションにおいては、手入力あるいは他の個人識別手法と組み合わせる必要がある。女性については小便時には巻き取り回数が少ないため、大便時に比べると複数回の巻き取りによる識別を適用することによる精度向上は期待できない。

4.2 実環境における実験

4.2.1 実験環境

実利用における提案手法の有効性を検証する実験を行っ

た. 1カ月間, トイレの利用者が多いと考えられる昼から夕方
の時間帯に, 神戸大学内の筆者らの研究室に最寄りの男子
トイレの個室にセンサを取り付けたトイレトペーパーを
設置し, 21~28歳の研究室の男子学生13人から実際にト
イレを利用した際の巻き取り動作のデータを取得した. 実
験環境は実験室環境実験で男性のデータを採取したとき
のものと同一である. 実際のトイレ利用者を明らかにす
るために, 被験者にはトイレに行った後に使用時刻を報
告してもらった. 得られたデータに対して, あらかじめ登
録しておいた13人それぞれの20回分の巻き取り動作の学
習データをもとに個人識別を行った. この学習データは
実験室環境における実験で同一被験者から採取したも
のである. 実験室環境においても, 前節と同様に被験者
集合を2~13人で変化させて評価を行った.

実験室環境においてはプライバシーの問題でデバイスを
常時女性用トイレに設置することができなかったため, 女
性のデータは取得していない. しかし実験室環境実験に
おいて男女ともに個人ごとにペーパーの巻き取り方に
特徴があることが確認でき, また1回のトイレにおける
ペーパーの使用回数に関するアンケートの結果から大便時
には男性と同様女性についても複数回の巻き取りに基
づく識別の適用可能性が確認できた. 小便時のペーパー
の使用行動については男性がまったくペーパーを使用し
ないのに対し女性は平均して1回以上巻き取るという差
異が存在したが, 複数回の巻き取りに基づく識別が適
用できる割合が男性に比べて下がることにより精度の
低下が予想されるのみで, 個人識別が不可能になる程
度の減少幅ではない. よって男女間で大きな差異は認
められないため, 男性のみのデータによる精度評価が
女性に対してもある程度適用可能であると考えられる.

4.2.2 実験結果

図15に識別対象人数に対する平均識別率を, 単体の
巻き取りに基づく識別手法, 複数回の巻き取りに基
づく識別手法それぞれについて示す. 実験室環境実験
のときと比較すると精度が低下しているが, 複数回の
巻き取りによる識別ではすべての識別対象人数にお
いて50%以上の精度を実現している. ここで5人家族
を想定して, 識別対象が5人のときの全組合せ ${}_{13}C_5 = 1,287$
通りの複数回の巻き取りによる識別の識別率のヒ
ストグラムを図16に示す. 平均識別率は69.2%, 標
準偏差は11.5%, 最小値は33.3%, 最大値は93.3%
となった. なお単体の巻き取りによる識別での結
果は平均識別率は61.2%, 標準偏差は11.7%, 最小
値は25.0%, 最大値は89.1%であった. 図16に
示した累計度数から分かるように, 9割の組合せに
おいて50%以上の精度を得ることができた. 実験
室環境のときと比べて識別率の最小値が10%近く
低い値になっているが, 実験室環境では状況に応
じてペーパーの使用量が変化することがあり, 実験
室環境の場合に比べて巻き取り特徴にゆらぎが生
じるためであると考えられる.

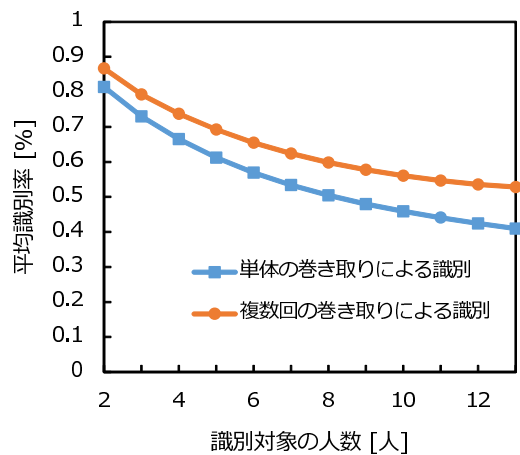


図15 実験室環境実験の識別対象人数に対する平均識別率
Fig. 15 Identification accuracy vs. the number of participants in the practical environment.

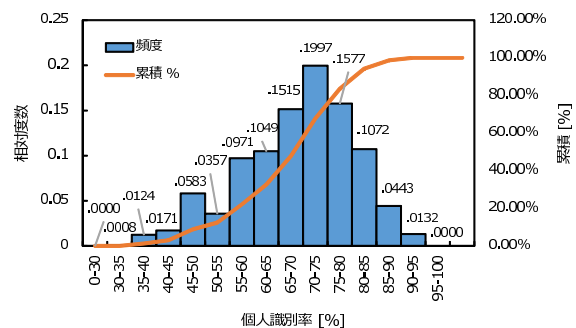


図16 実験室における5人から1人を識別する際の個人識別率
Fig. 16 Identification accuracy in the practical environment for five-people group.

5. アプリケーション

提案システムの使用例として, トイレに行った回数を可
視化するトイレログアプリケーションと, 使用者にトイ
レットペーパーの節約を促す節約促進アプリケーションを
実装した.

5.1 トイレログアプリケーション

下痢など胃腸の不調が発生した場合にトイレに行った
タイミングを振り返ることで, トイレに行く以前の食
事や行動などを参照でき, 原因究明と再発防止に役立
つと考えられる. また, トイレに行く頻度を知ることで,
下痢や便秘になった日や日数などの情報を知ることが
できる. これらの情報を長期的に収集することは生活
習慣の見直しにも有効である. そこで, 筆者らは記
録した時刻データをもとにトイレに行った回数をグ
ラフ表示するアプリケーションを実装した. 図17に
アプリケーションの画面を, 図18に使用例を示す.
PCのみでなくスマートフォンでも閲覧できるように,
Webベースでアプリケーションを構築した. プログ
ラムの作成にはHTMLとJavaScriptを用い, グラフ

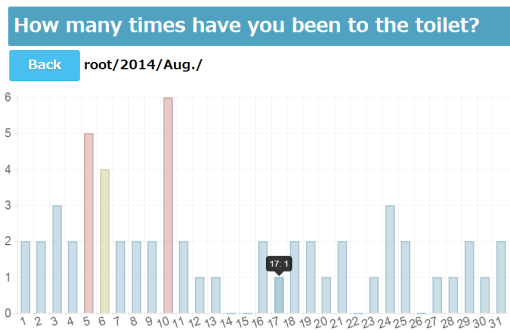


図 17 グラフ表示アプリケーション

Fig. 17 Screenshot of application for toilet logging.

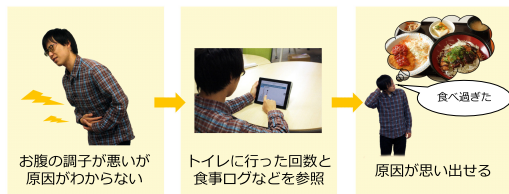


図 18 グラフ表示アプリケーション使用例

Fig. 18 Usage of toilet logging application.

の描画にはオープンソースライブラリである Chart.js^{*7}を使用した。ホーム画面では年ごとにトイレに行った回数を棒グラフで表示する。棒グラフをクリックすると、その年の月ごとの回数を表示する。月ごとの回数を表示している状態で、ある月の棒グラフをクリックすると、その月の各日の回数を表示する。さらにある日の棒グラフをクリックすると、その日の1時間ごとの回数を表示する。下痢の傾向を容易につかめるよう、1日に4回トイレに行っている日、5回以上行っている日の棒グラフをそれぞれ黄色と赤色で描画し、それ以外の日は青色で描画する。

5.2 節約促進アプリケーション

総務省の調査では平成26年の2人以上の世帯のトイレトーパーパに対する1年あたりの支出額は平均3,393円である^{*8}。この情報に加え総務省が公開している平成26年の小売物価^{*9}より、1世帯あたり約150ロール消費していることが分かる。また、木1本から作られるトイレトーパーパは250個である^{*10}。このように、トイレトーパーパの使用は環境や家計にとって無視できるほど小さなものではない。そこで筆者らは、ユーザにペーパーの節約を促すアプリケーションを実装した。図19にアプリケーション画面のスナップショットを示す。本アプリケーションは図20に示すようにトイレ内に設置した画面に表示して利用するこ

*7 Chart.js: <http://www.chartjs.org/>

*8 総務省統計局一家計調査(家計収支編)調査結果: <http://www.stat.go.jp/data/kakei/2.htm>

*9 総務省統計局—小売物価統計調査年報平成26年: <http://www.stat.go.jp/data/kouri/doukou/2014np.htm>

*10 リサイクル効果—イトマン株式会社: <http://www.e-itoman.jp/cmp-rcy03.htm>

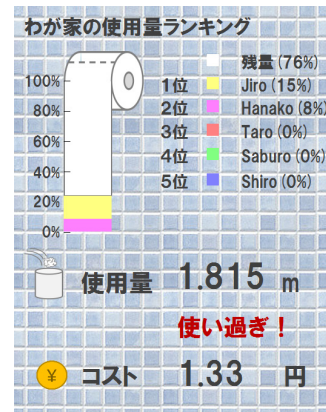


図 19 節約促進アプリケーションの画面

Fig. 19 Screenshot of application for practicing economy.



図 20 節約促進アプリケーションの設置例

Fig. 20 Installation example of application for practicing economy.

とを想定しており、ユーザが巻き取ったペーパーの長さと同程度の金額を表示する。また、家族など登録ユーザのトイレ1回あたりの使用量をランキング形式で表示するため、自身の使用量を見直すことができる。また、設定した使用量を超えた場合使いすぎであることを警告する。

本アプリケーションによりペーパーの節約が進むにつれて個人識別の精度が低下することが想定されるが、アプリケーション画面に識別結果をリアルタイムでフィードバックし、誤識別が生じた場合にユーザ自身で訂正できるようにして訂正後データを新たに学習してシステムを最新の巻き取り特徴に順応させていくことにより解決できると考えられる。

6. まとめ

本論文では角速度センサを用いたトイレ使用者識別システムを提案した。提案手法では1軸の角速度センサをトイレトーパーパの芯に設置するだけでトイレトーパーパの巻き取り動作から個人識別を行う。実験室環境における評価実験より5人を単体の巻き取り動作により識別する手法で平均83.9%の精度で個人が識別できた。また、実環境における評価実験では単体の巻き取り動作により5人を識別する場合で識別精度61.2%、複数回の巻き取り動作により識別する場合で識別精度69.2%であった。さらに、提案手法を利用して、トイレに行った日時や回数をグラフで表示することで体調管理を推進するアプリケーションと、トイ

レットペーパーの使用量や相当額を表示することでトイレレットペーパーの使いすぎを抑止するアプリケーションを実装した。

今後の課題として、ユーザの組合せなどによって識別率が悪い場合に対応するための新たなトイレレットペーパー巻き取り動作の特徴の提案があげられる。さらに、現在の識別精度でも利用できるよう、識別結果をうまくユーザにフィードバックして訂正させる方式を考案する。

謝辞 本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業（さきがけ）および科学研究費補助金基盤研究（B）（15H02698）によるものである。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- [1] Riegler, G. and Esposito, I.: Bristol Scale Stool Form. A Still Valid Help in Medical Practice and Clinical Research, *Techniques in Coloproctology*, Vol.5, No.3, pp.163-164 (Oct. 2001).
- [2] Probert, C.S.J., Emmett, P.M., Cripps, H.A. and Heaton, K.W.: Evidence for the Ambiguity of the Term Constipation: The Role of Irritable Bowel Syndrome, *Gut*, Vol.35, No.10, pp.1455-1458 (Feb. 1994).
- [3] Yamagata, K., Iseki, K., Nitta, K., Imai, H., Iino, Y., Matsuo, S., Makino, H. and Hishida, A.: Chronic Kidney Disease Perspectives in Japan and the Importance of Urinalysis Screening, *Clinical and Experimental Nephrology*, Vol.12, No.1, pp.1-8 (Feb. 2008).
- [4] Salonen, A., Nikkilä, J., Jalanka-Tuovinen, J., Immonen, O., Rajilić-Stojanović, M., Kekkonen, R.A., Palva, A. and de Vos, W.M.: Comparative Analysis of Fecal DNA Extraction Methods with Phylogenetic Microarray: Effective Recovery of Bacterial and Archaeal DNA Using Mechanical Cell Lysis, *Journal of Microbiological Methods*, Vol.81, No.2, pp.127-134 (May 2010).
- [5] 生天目直哉, 中澤 仁, 高汐一紀, 徳田英幸: Life2Guard: カメラ利用が制約される環境下でのセンサ群を用いた異常検知手法の研究, 電子情報通信学会論文誌 (ユビキタス・センサネットワーク研究会), Vol.108, No.399, pp.139-144 (Jan. 2009).
- [6] 田中佐和子, 本井幸介, 五十嵐朗, 上野博志, 麻野井英次, 田中志信, 根本 鉄, 山越憲一: 全自動生体計測システムの開発と医療支援への応用, 電子情報通信学会論文誌 (MBE 研究会), Vol.107, No.72, pp.49-52 (May 2007).
- [7] Fogarty, J., Au, C. and Hudson, S.E.: Sensing from the Basement: A Feasibility Study of Unobtrusive and Low-Cost Home Activity Recognition, *Proc. 19th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST 2006)*, pp.91-100 (Oct. 2006).
- [8] Hayashi, E., Maas, M. and Hong, J.I.: Wave to Me: User Identification Using Body Lengths and Natural Gestures, *Proc. SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI 2014)*, pp.3453-3462 (Apr. 2014).
- [9] Watanabe, H., Terada, T. and Tsukamoto, M.: Ultrasound-based Movement Sensing, Gesture-, and Context-Recognition, *Proc. 17th International Symposium on Wearable Computers (ISWC 2013)*, pp.57-64 (Sep. 2013).
- [10] 佐藤公則, 篠原耕成, 鹿嶋雅之, 渡邊 睦: 掌紋認証を装備したインテリジェントドアノブシステムの開発, 画像電子学会誌, Vol.40, No.5, pp.778-784 (Mar. 2011).

- [11] Qian, G., Zhang, J. and Kidane, A.: People Identification Using Floor Pressure Sensing and Analysis, *IEEE Sensors Journal*, Vol.10, No.9, pp.1447-1460 (Sep. 2010).
- [12] 有賀玲子, 浦 哲也, 定方 徹, 田中智博, 小林 稔: 照度センサを用いた住環境における生活状態パターンの抽出方法に関する基礎検討, 情報処理学会研究報告 (ユビキタスコンピューティングシステム研究会), Vol.38, No.58, pp.1-6 (May 2013).
- [13] An, C., Li, T., Tian, Z., Campbell, A.T. and Zhou, X.: Visible Light Knows Who You Are, *Proc. 2nd International Workshop on Visible Light Communications Systems (VLCS 2015)*, pp.39-44 (Sep. 2015).
- [14] Tamura, T., Kawarada, A., Nambu, M., Tsukada, A., Sasaki, K. and Yamakoshi, K.: E-healthcare at an experimental welfare techno house in Japan, *The Open Medical Informatics Journal*, Vol.1, pp.1-7 (June 2007).

推薦文

本論文では、トイレ利用における個人識別を行うにあたり、トイレレットペーパーの巻き取り方の個人差に着目し、芯に角速度センサを設置したトイレレットペーパーの回転特性から個人識別を行う手法を提案している。研究目的自体とユーザには何も装着せずペーパー軸の回転特性のみから判別を行う点は新規性が高く、論文誌に掲載するにふさわしい論文であると判断し、ここに推薦する。

(ユビキタスコンピューティングシステム研究会主査 大内一成)



倉橋 真也

2015年神戸大学工学部電気電子工学科卒業。同年より同大学大学院工学研究科電気電子工学専攻博士課程前期課程、現在に至る。



村尾 和哉 (正会員)

2006年大阪大学工学部電子情報エネルギー工学科卒業。2008年同大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。2010年同大学院情報科学研究科博士後期課程修了。同年より独立行政法人日本学術振興会特別研究員PD。2011年神戸大学大学院工学研究科助教。2014年立命館大学情報理工学部助教、現在に至る。博士(情報科学)。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等4学会の会員。本会シニア会員。



寺田 努 (正会員)

1997年大阪大学工学部情報システム工学科卒業。1999年同大学大学院工学研究科博士前期課程修了。2000年同大学院工学研究科博士後期課程退学。同年より大阪大学サイバーメディアセンター助手。2005年より同講師。

2007年神戸大学大学院工学研究科准教授、現在に至る。博士(工学)。ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等7学会の会員。本会シニア会員。



塚本 昌彦 (正会員)

1987年京都大学工学部数理工学科卒業。1989年同大学大学院工学研究科修士課程修了。同年シャープ(株)入社。1995年大阪大学大学院工学研究科情報システム工学専攻講師。1996年同専攻助教授。2002年同大学院情報科学研究科マルチメディア工学専攻助教授。2004年神戸大学大学院工学研究科教授、現在に至る。博士(工学)。

ウェアラブルコンピューティング、ユビキタスコンピューティングの研究に従事。ACM, IEEE等8学会の会員。本会シニア会員。