

## 加速度センサを用いた手指衛生行動識別手法の検討

濱 恵美子<sup>†,††</sup> 納谷 太<sup>†</sup> 野間 春生<sup>†</sup> 小暮 潔<sup>†</sup> 土田 敏恵<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> ATR 知識科学研究所 〒619-0288 京都府相楽郡精華町光台 2-2-2

<sup>††</sup> 大阪大学大学院情報科学研究科 〒565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

<sup>†††</sup> 兵庫医療大学 〒650-8530 兵庫県神戸市中央区港島 1-3-6

E-mail: <sup>††</sup>hama.emiko@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>†</sup>{naya,noma,kogure}@atr.jp, <sup>†††</sup>tsuchida@huhs.ac.jp

**あらまし** 我々は、加速度センサを用いて手洗いや消毒といった手指衛生行動を識別する手法を開発している。これは、看護師に適切な手指衛生行動を促し、院内感染を予防することを目的としたものである。手指衛生行動の識別は、識別対象のクラス数が多いこと、継続時間が短い行動が存在することなどから困難な問題である。これらの課題に対し、スライディングウィンドウ方式で特微量計算を行う際の、ウィンドウサイズについて検討した。3種類のウィンドウサイズを用いて看護師5人のデータをもとに識別を行ったところ、大きいウィンドウサイズでは濯ぎ動作などの継続時間の短いクラスが欠落する問題があること、ウィンドウサイズを小さくすると「手袋装着」や「手拭き」のクラスの精度は低下し、「消毒液ブッシュ」、「ペーパータオル取り」などの瞬間動作の精度は向上することが分かった。

## Hand-Hygiene Activity Classification with Accelerometers

Emiko HAMA<sup>†,††</sup>, Futoshi NAYA<sup>†</sup>, Haruo NOMA<sup>†</sup>, Kiyoshi KOGURE<sup>†</sup>, and

Toshie TSUCHIDA<sup>†††</sup>

<sup>†</sup> ATR Knowledge Science Laboratories Hikoridai 2-2-2, Seika-cho, Soraku-gun, Kyoto, 619-0288 Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University, Yamadaoka 2-1, Suita, Osaka 565-0781 Japan

<sup>†††</sup> Hyogo University of Health Sciences Minatojima 1-3-6, Chuo-ku, Kobe, Hyogo 650-8530 Japan

E-mail: <sup>††</sup>hama.emiko@ist.osaka-u.ac.jp, <sup>†</sup>{naya,noma,kogure}@atr.jp, <sup>†††</sup>tsuchida@huhs.ac.jp

**Abstract** We have been developing an accelerometer-based hand-hygiene activity classification method in order to encourage nurse's hand-hygiene activities and to prevent hospital infections. Hand-hygiene activities include many similar classes and some of them are performed in less than a second, which make it difficult to classify them. We use the sliding window method and evaluate classification results of five nurses' activity with three different window sizes. The results show that the method fails to detect "rinsing activities" of short duration time with larger window sizes, and can detect instant activities of "pump antiseptic" and "pull paper towels" etc. with shorter window sizes while raising and lowering the classification accuracies of "wearing gloves" and "wiping hands" etc.

### 1. はじめに

近年、医療機関における院内感染が社会問題となっているが、その対策としては医療従事者の手洗いや消毒といった手指衛生行動が重要である。米国の疾病予防管理センター (CDC) によるガイドライン [1] では、石鹸と流水で手指の各部分を細かく洗い、消毒においても同様に消毒薬を手指の各部分に摺り込むことが推奨

されている。しかし、実際の医療現場における遵守率 (コンプライアンス) は高くないといわれている [2]。

手指衛生行動のコンプライアンスを高めるためにはこれらを適切に評価し、評価結果に基づいた確かなアドバイスをを行うことが効果的だと考えられる。コンプライアンスの評価方法として、従来は直接観察、アンケート調査、石鹸や消毒薬の消費量調査などが用いられていたが、これらは全て主観的あるいは定性的な評価で

あり、客観的な評価や定量的な評価ができなかった。

そこで我々は、手指衛生行動を客観的に評価する枠組みとして、装着型センサや環境設置型センサを用いた手指衛生行動の識別手法を開発し、これによって看護師の行動を客観的に評価し、評価結果をもとに必要なに応じて警告を出すことにより、感染症の予防につなげることを目的としたシステムの構築を目指している。

人の行動識別に関する研究は数多くなされており、その手法には、光学的手法を用いるもの [3] や、加速度センサのようなウェアラブルセンサを用いるもの [4] の大きく 2 種類がある。光学的手法の例としては、カメラ映像やモーションキャプチャシステムなどがある。カメラ映像を用いた行動識別では、ユーザは身体にデバイスを装着する必要がなく、固定点における人物の長時間の計測に向いているが、死角やオクルージョンなどの問題がある。モーションキャプチャシステムでは、精度の高い計測や識別が可能であるが、計測環境が限定される。一方、加速度センサでは、行動を計測する環境が限定されず、装着者のみのデータが取得できるが、センサの装着によって身体への負担や行動を妨げる要因になる可能性がある。

我々の目指すシステムは、医療機関での利用を想定するため、患者のプライバシー保護の観点からカメラを用いるのは難しい。また、環境が限定されていないため、モーションキャプチャシステムの使用も現実的ではない。さらに、装着するデバイスは、看護師の本来の業務を阻害しない、十分小さなものでなくてはならない。

上記を考慮して、本稿では、装着者自身のデータのみを取得でき、身体への負担が比較的小さく、カメラなどで発生する死角やオクルージョンの問題のない小型無線加速度センサを用いて行動の識別を行うための手法を検討する。

以降、2 章では、本稿で用いた加速度センサによる手指衛生行動識別手法について述べ、3 章では、看護師を対象とした手指衛生行動の実験と、取得したデータに対し 3 種類ウィンドウサイズで識別を行った際の結果を示し、4 章でその結果について考察する。5 章では本報告をまとめ、今後の課題について述べる。

## 2. 手指衛生行動の識別

手指衛生行動のコンプライアンスを評価するためには、洗っている箇所の変化による細かな手の動きの違いを識別する必要があるため、識別の対象となるクラスは類似したものが多い。例えば、掌を洗う動作と指の間を洗う動作は、指を交差しているか否かが異なるが、いずれも掌をこすり合わせる動作である。このような行動の細分化によって必然的に識別対象クラス数

も多くなる。また、各動作の継続時間が短いことにより識別の難易度は高くなっている。これらの課題に対して、センサ装着位置の制約や継続時間の短い行動への対応を考慮した手法を検討した。

### 2.1 加速度センサ

提案手法で用いる小型無線加速度センサは、3 軸の加速度センサを内蔵し、200 Hz、 $\pm 3G$  までの計測が可能である [5]。大きさは 36 mm(W) $\times$ 46 mm(H) $\times$ 18 mm(D)、重さは 21 g であり、センサ装着による行動への影響は無視できる程度だと考えられる。

センサの装着位置に関して、手指の詳細な動きを識別するためには、できる限り掌に近い位置へのセンサ装着が望ましい。しかしながら、前腕へのセンサ装着は本来の業務の妨げになること、センサ自体に耐水性がないことから、看護師の手洗い識別には不適切である。これらの理由から、センサ装着位置は左右上腕とした。また、看護業務中に常時センサを装着し、業務中の手指衛生行動を切り出すことを見据え、胸ポケットと腰背部を加えた図 1 の 4 箇所をセンサ装着位置とした。

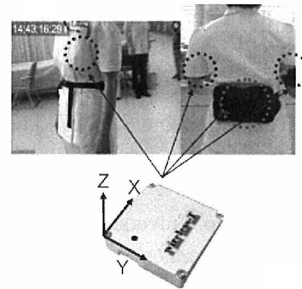


図 1 センサ装着位置

### 2.2 特徴抽出

加速度からの特徴量の抽出においては、時系列のデータを一定時間のスライディング・ウィンドウに分割し、そのウィンドウ毎に特徴量を求める手法 [4] を採用した。ここで、人の行動の周波数は高々 50 Hz [6] であることから、データのサンプリング周波数は標準化定理より、その 2 倍の 100 Hz とした。また、手指衛生行動の継続時間は平均 1.6~2.1 秒程度であることから、ウィンドウサイズはこの値の前後の、64 (0.64 秒)、128 (1.28 秒)、256 (2.56 秒) の 3 種類とした。

加速度から、ウィンドウ毎に、平均、標準偏差、エネルギー、周波数領域エントロピー、相関係数の 5 種類の特徴量を求める。これらは、前述の先行研究 [4] で用いられた特徴量であるが、特に周波数領域の特徴量は、手洗いのように周期的な反復動作の多い行動の識別に適していると考えられる。平均と標準偏差はそれぞれ

各軸の加速度の平均と標準偏差であり、エネルギーは、各軸の加速度にFFTを行い、振幅の自乗和として求める。ただし、直流成分と折り返しの部分を除く。周波数領域エントロピは周波数スペクトルの確率分布に基づく。これは、FFT成分から直流成分と折り返しの部分を除いたものを、全成分の総和で正規化することによって求める。相関係数は、センサ内とセンサ間の軸間の加速度に関する相関係数である。

### 2.3 クラス分類器

識別を行うために、上記手法で抽出した特徴量に対して、識別対象の行動をラベルとする教師あり学習を適用する。クラス分類器としては、加速度センサを用いた行動識別に対して先行研究で多クラスの識別において有効性が示されているSMO (Sequential Minimal Optimization) および1次元の多項式カーネルを用いる。実装にはWeka [7] を使用する。

## 3. 実験

### 3.1 予備実験

手指衛生行動の識別にあたって、適切なウインドウサイズについて検討する必要がある。今回、サンプルの切り出しの際には、ウインドウ内に複数のクラスラベルが含まれているサンプルは棄却し、単一のクラスのみが含まれるもののみをサンプルとして抽出する。そのため、ウインドウサイズが大きすぎると、ウインドウ内に複数のクラスラベルが現れ、学習されないクラスが生じる一方、短すぎると特徴が抽出しきれない恐れがある。本稿では、2.2節で述べた、サンプル数64, 128, 256 (以下それぞれW=64, W=128, W=256) の3種類について、識別に与える影響を比較する。

手指衛生を専門とする看護教員1名を対象に予備実験を行い、医療看護で推奨される手指衛生行動のデータを取得した。ここで、正しい手指衛生行動の手順とはCDCのガイドライン [2] に基づくものである。具体的には、「石鹸をつけて両手の手掌、手背、指先、母指、手首の各箇所について5回以上摩擦し、濯ぎ時にも同様に摩擦して石鹸を除去する。消毒時も同様に、各箇所に消毒薬を搾り込む」といったものである。これらの各箇所について、それぞれ「洗い」、「濯ぎ」、「消毒」を識別対象クラスとし、蛇口の開閉、消毒液や石鹸液プッシュ、手拭きなども識別対象とした。また、手指衛生において、看護業務中の適切なタイミングで手袋を着脱することも重要であるため、手袋の装着と除去についても識別の対象とし、人手による観測から表1に示す40クラスの行動を抽出し、識別を行った。実験手順の一部を図2に示す。ただし、本来の業務中には、「手袋装着脱」、「石鹸と流水による手洗い」、「消毒薬による擦

表1 識別対象クラス

手袋	蛇口・石鹸	手洗い	濯ぎ	乾燥	消毒
手袋装着	蛇口開け	手掌洗い	手掌濯ぎ	ペーパータオル取り	消毒液プッシュ
手袋除去	蛇口閉め	指交差洗い	指交差濯ぎ	手拭き	指先消毒*
	手拭らし	手背洗い*	手背濯ぎ*	ペーパータオル捨て	消毒液の右手掌注ぎ
	石鹸液プッシュ	母指洗い*	母指濯ぎ*		手背消毒*
		指先洗い*	指先濯ぎ*		母指消毒*
		手首洗い*	手首濯ぎ*		手首消毒*
					指交差消毒

\* それぞれ左右の手に関する2クラスを含む

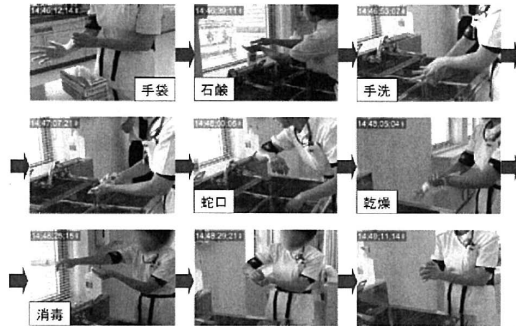


図2 予備実験における手指衛生行動の手順

消毒」は連続して行われる必要はない。

手洗い、消毒、手袋装着のデータを5試行分取得し、試行に関する1つ抜き交差検定法 (Leave-one-trial out: 以下LOTO) で識別を行った。これは、5試行中4試行分のデータをトレーニングデータとし、残り1試行分をテストデータとして識別を行うことを、データの組み合わせを変えて5通り行うものである。

まず、ウインドウサイズと各クラスのサンプル数の関連について検討した。ウインドウサイズによるサンプル数の変化を図3に示す。図3の結果から、ウインドウサイズを大きくすると、動作継続時間の短いクラスでは複数の行動がウインドウ内に現れるため、抽出されるクラスの欠落数が増えていることがわかる。欠落したクラス数は全40クラス中、W=64で1クラス、W=128で4クラス、W=256で7クラスであり、W=256では全クラスの半数以上である22クラスでサンプル数が5以下と非常に少なくなっている。W=64では基本的にはほぼ全てのクラスのインスタンスを取得できているが、「ペーパータオル取り」のように欠落するクラスも存在した。これは、「ペーパータオル取り」の行動継続時間が0.5秒程度であったため、0.64秒のウインドウサイズでも観測しきれなかったことによるものである。また、W=256では濯ぎ動作がほぼ欠落しているため、濯ぎ動作の識別を行うためにはW=256では不十分で

あることがわかる。

次に、ウインドウサイズと各クラスの適合率 (precision) の関係を調べた。結果を図 4 に示す。W=256 における種々の濯ぎ動作のように、サンプルがほぼ観測されず学習が不十分であるため、当該クラスに識別されるサンプルが 0 となった結果、適合率が 0% になるクラスが多く見られる。W=64 でのみ観測できた「指交差洗い」、「手掌濯ぎ」、「左母指濯ぎ」のようなクラスは、適合率が低くなる傾向がある。これは、サンプル数が少なく学習が不十分なためだと考えられる。

また、観測されたクラスでは、平均して 85% 以上の識別精度を達成した。

### 3.2 看護師による実験

予備実験は、ガイドラインに基づく手洗いのデータであったが、実際の看護師の手指衛生行動に適用し、検討する必要がある。ここでは、実際の医療現場として病院の手洗い場を利用し、現役看護師 5 名による実験を行った。取得した行動の種類は予備実験と同様、石鹸による手洗い、消毒、手袋装着であり、それぞれについて 1 人当たり 5 試行分のデータを取得した。ただし、データ取得の際には、正しい洗い・消毒の手順については説明せず、被験者自身が正しいと思う方法で手洗いを行ってもらった。センサ装着位置は予備実験と同様であり、識別対象クラスは予備実験のクラスに、新しく見られた「手掌消毒」、「消毒液の左手掌注ぎ」を加えた 42 クラスとした。

5 人分のデータをもとに、被験者に関する 1 つ抜き交差検定法 (Leave-one-subject out: 以下 LOSO) を行った。LOSO は、1 人分を除いたデータをトレーニングに用い、残り 1 人分をテストデータとして識別を行うものである。その際、ウインドウサイズを W=64, W=128, W=256 と変化させたときの、識別に与える影響について調べた。

### 3.3 結果

まず、実際の看護師の手指衛生行動と理想的な手指衛生行動の差を見るため、最もウインドウサイズの小さい W=64 で、看護師 1 人あたりのサンプル数を予備実験のものと比較した。サンプル数は当該クラスの行動実施時間に比例するため、サンプル数によって洗い方の傾向を見ることができる。結果を図 5 に示す。

次に、ウインドウサイズによる適合率と再現率の変化について調べた。結果を図 6、図 7 に示す。図 6 において、観測されたクラスの適合率の平均は、W=64 で 37.5%、W=128 で 38.5%、W=256 で 32.5% であった。また、図 7 において観測されたクラスの再現率の平均は、W=64 で 30.3%、W=128 で 30.5%、W=256 で 28.8% であった。

## 4. 考 察

まず、図 5 の予備実験とのサンプル数の比較結果について考察する。全体として、看護師のデータは予備実験の洗い方と比較してサンプル数が少ないことから、洗い方が不十分になる傾向があることがわかる。ウインドウサイズは最も小さい 64 であるにもかかわらず、看護師のデータではサンプル数が 10 以下のクラスが 6 クラスあり、濯ぎ関連のクラスのサンプルがほぼ欠落している。このことから、実際の看護師では、洗いと比較して濯ぎに時間をかけていないことが分かる。

濯ぎ関連のクラスに加え、図 5 においてサンプル数の少ない消毒の各クラスと左右の手首洗いについては、W=256 で欠落が起こった。これらのクラスは、手指衛生のガイドラインに示されている重要な動作クラスであることから、256 サンプルのウインドウサイズを用いるべきでないことが分かる。

次に、識別精度について考察する。まず、図 6 の結果を図 4 と比較すると、図 6 では全体として適合率が低下している。これは、予備実験で用いた LOTO はトレーニングデータとテストデータが同一被験者のものであるが、本実験で用いた LOSO はそれらが異なる被験者のものであるため、その際に生じる個人差によるものである。予備実験と同様、動作時間の短い「石鹸液プッシュ」や消毒関連などのクラスでは、適合率、再現率はそれぞれ 4~17%、4~27% とともに低くなる傾向が見られる。

また、複数のウインドウサイズで観測されたクラスで識別の精度を比較すると、「手袋装着」、「手拭き」においては、ウインドウサイズが小さいほど適合率が下がっている。手袋や手拭きの動作には、洗い動作のように周期的な動きがなく、このようなランダムな動きを含む行動には、ウインドウサイズが大きい方が特徴をうまく抽出できる傾向があることを示している。図 6、図 7 から、「手袋装着」、「手拭き」のクラスでは、ウインドウサイズが 64 サンプル (0.64 秒) と 128 サンプル (1.28 秒) の場合に再現率が適合率より約 10% 高くなっている。これは、今回の特徴量を用いた場合、短いウインドウサイズではランダムな動作の特徴は捉えきれず、クラス内分散が増大する傾向にあるため、表 2 に示す混同行列から分かるように、他のクラスから「手袋装着」や「手拭き」への誤識別が増えることによるものである。

一方、「消毒液プッシュ」、「ペーパータオル取り」、指先洗い、指先消毒、手背消毒などの各クラスでは、ウインドウサイズが小さいほど適合率が上がっている。また、これらのクラスでは、適合率が再現率より 2~20% 程度

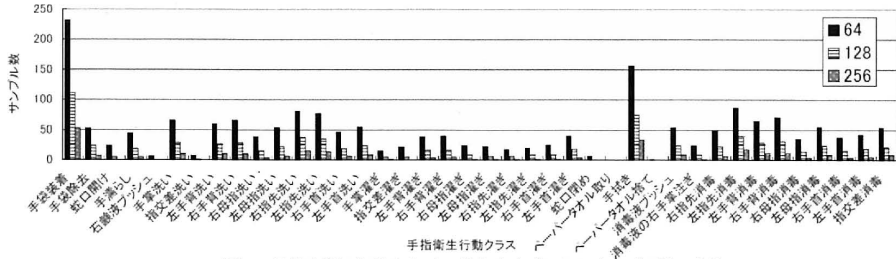


図3 予備実験におけるウィンドウサイズによるサンプル数の変化

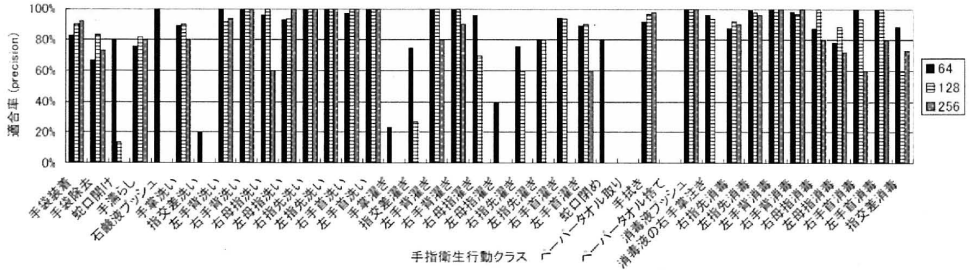


図4 予備実験におけるクラスごとの平均適合率

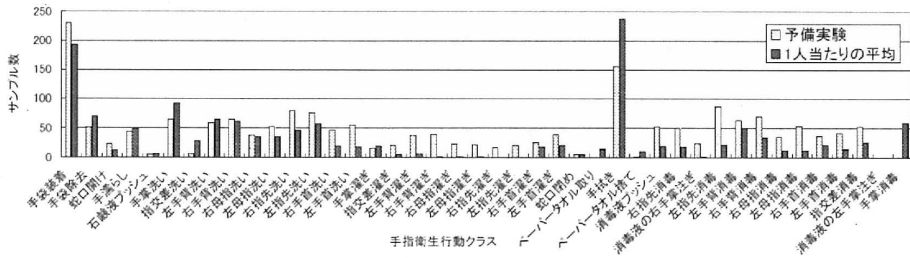


図5 予備実験とのサンプル数の比較

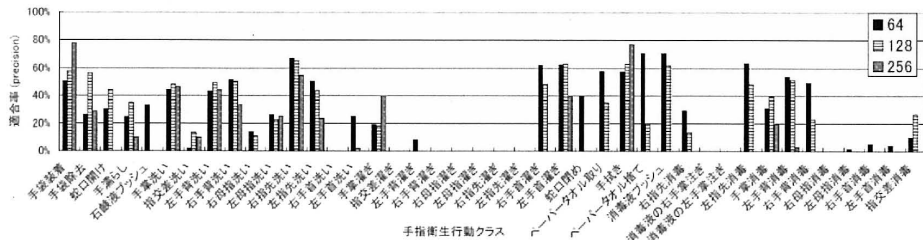


図6 ウィンドウサイズによる平均適合率の変化

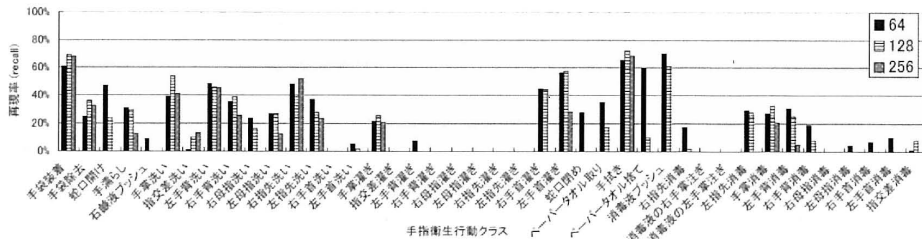


図7 ウィンドウサイズによる平均再現率の変化

