



Title	Sensor-based Recognition and Evaluation of Daily Human Activities for Practical Ubiquitous Healthcare
Author(s)	Korpela, Joseph
Citation	大阪大学, 2017, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/61863">https://hdl.handle.net/11094/61863</a>
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name ( Joseph Korpela )

Title

Sensor-based Recognition and Evaluation of Daily Human Activities  
for Practical Ubiquitous Healthcare  
(ユビキタスヘルスケアのためのセンサを用いた人間日常行動認識および評価)

## Abstract of Thesis

People around the world spend every day carrying various forms of computers such as smartphones and smartwatches on their person. These devices have a number of sensors that enable us to collect data from these users that gives us a great deal of insight into their lives. One of the most important applications of that data is its use in ubiquitous healthcare. Using ubiquitous computing, caregivers can collect reliable long-term data on their patients' daily-life activities to extract information about their patients' health. This data can be used to increase the quality of care given to the patients and can also significantly reduce the cost of care.

The support given to healthcare by ubiquitous computing can be grouped into two levels of support: macro-level support and micro-level support. At the macro level, ubiquitous computing is supporting a quantitative analysis of the activities, giving caregivers information about what daily-life activities their patients are conducting, when they are conducting them, and for how long they are conducting them. This gives caregivers a rough overview of the daily life of the patients and allows the caregivers to check that essential activities such as medication intake are being performed and that activities such as exercise are being performed for an adequate amount of time. While this support to healthcare can greatly increase the quality of care, it can also place an increased burden on the patients, as the processes needed to continuously recognize activities can quickly drain the batteries of the devices needed to collect this data, e.g., smartwatches.

At the micro level, ubiquitous computing is supporting a qualitative analysis of activities, allowing caregivers to analyze the patient's performance at specific activities. This level of support can greatly increase the quality of care, but also has challenges that must be addressed. First, enabling this type of support can place an increased burden on the patients by requiring them to purchase specialized sensors to enable support, e.g., requiring patients to purchase specialized toothbrushes in order to enable an analysis of their toothbrushing. Second, enabling this level of support can place a large burden on experts and researchers, as these systems are typically handcrafted for a specific activity, requiring a large effort to design and train.

In this work, we address each of the challenges listed above in our pursuit of ubiquitous healthcare that is accessible to patients at low cost and with low burden. We first address the challenge facing macro-level support to ubiquitous healthcare, i.e., the excessive energy used when conducting activity recognition continuously throughout the day by proposing an energy-efficient solution for conducting activity recognition when using a smartwatch coupled with a smartphone. We then address the challenges facing micro-level support to ubiquitous healthcare, i.e., the need for specialized sensors and the burden placed on researchers when creating performance evaluation systems. Using the task of toothbrushing, we address the need for specialized sensors in our work on evaluating toothbrushing performance using audio data collected by a commodity smartphone. We then address the burden placed on researchers in our work on applying deep learning to performance evaluation in order to automate feature extraction processes.

This thesis is comprised of five chapters. In Chapter 1, we go into detail on the background, motivation, and content of this work, and then provide an outline of the thesis. In Chapter 2, we propose an energy-efficient method for recognizing both repetitive and non-repetitive actions in acceleration data collected by a smartphone.

In this study, we recognize both repetitive and non-repetitive actions using a tree structured classifier that combines features that are widely used to recognize repetitive actions with dynamic time warping-based k-nearest neighbor classifiers that are capable of recognizing non-repetitive actions. In Chapter 3, we present a method for evaluating toothbrushing performance using audio data collected by a smartphone. This method first conducts activity recognition on the audio data to classify segments of the data into several classes based on the brushing location and type of brush stroke used. These recognition results are then used to generate input for an SVM regression model, with the output of the SVM model derived from evaluation scores assigned to each session of toothbrushing by a dentist who specializes in dental care instruction. In Chapter 4, we propose a method for conducting toothbrushing performance evaluation through the use of deep learning. We exploit the ability of deep neural networks to automatically extract meaningful features from raw data to conduct performance evaluation without the need to create handcrafted features for the data or create an intermediate activity recognition process such as the one used in Chapter 3. In Chapter 5, we conclude the thesis and discuss our future work.

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 ( Joseph Korpela )		
論文審査担当者	(職)	氏 名
	主査 教授	松下 康之
	副査 教授	原 隆浩
	副査 教授	下條 真司
	副査 教授	藤原 融
	副査 教授	鬼塚 真

## 論文審査の結果の要旨

近年のセンサ技術の進展によって人の日常生活行動を計測することが容易になりつつあり、センサから得られた行動情報に基づきヘルスケアに関するさまざまなサービスを提供することができるようになっている。日常生活行動を用いたヘルスケアサービスには、長期間に渡って観測された様々な日常行動情報を用いて行われるマクロレベルなサービスと、特定の行動にのみ着目して行われるマイクロレベルなサービスがある。マクロレベルなサービスでは、例えば一日中に渡って観測された行動情報に基づき算出された活動度などの健康指標を提供するため、長期的な観測を行うウェアラブルセンサのバッテリ消費が問題となる。一方マイクロレベルなサービスでは、多くの既存研究が専用のデバイスを用いてきめ細やかな行動情報を計測しているため、導入コストの問題があった。本論文ではこのような問題を解決するマクロおよびマイクロレベルなサービスを実現することを目標としている。本論文の主要な研究成果を要約すると次の通りである。

- (1) スマートフォンおよびそれにペアリングされた手首に装着する腕輪型デバイスを用いて行動とジェスチャを低消費電力に推定する手法を提案している。提案手法では、腕輪型デバイス上の加速度センサにより観測されたセンサデータの特徴に応じて、適用する処理を適応的に変更することで低消費電力な認識を実現している。例えば、デバイス上の簡単な処理で認識可能なデータが観測された場合、認識処理をデバイス上で行い、その認識結果のみをスマートフォンに送信することで消費電力を低減する。一方で、複雑な処理が必要なデータの場合、データ自体をスマートフォンに送信し、スマートフォン上で認識を行う。このような適応的な処理を行う処理パイプラインを機械学習のアプローチを用いてデータ自体から学習している。
- (2) 日常生活行動の中でも誰しもが毎日行う歯磨き行動に着目し、今や誰しもが持っているスマートフォンを用いて歯磨き行動を評価する手法を提案している。具体的にはスマートフォンのマイクにより録音された音声を分析して、歯磨き行動のスコアを機械学習のアプローチを用いて推定している。提案手法では、隠れマルコフモデルにより認識した歯磨きイベント（粗い磨き方やきめ細やかな磨き方など）のラベリング結果から説明変数の計算を行ったあとSVM回帰を用いてスコアを推定している。
- (3) 上述の歯磨きのスコアを推定する手法では、歯磨きイベントを認識する隠れマルコフモデルを学習するためのラベルあり学習データを必要とした。しかし、歯磨きの音声データに対してそのようなラベルを用意することはコストが大きい。また、イベント認識のための特徴設計を研究者が行うことも難しい。そのため、提案手法では深層学習を用いて自動的に特徴抽出を行い、その結果から算出された一般的な統計的指標を説明変数としてスコアを推定する手段を用いることで、特徴設計およびイベント認識に要するラベルを必要としないスコア推定を実現している。

以上のように、人間行動認識のヘルスケア適用に関する先駆的な研究として、情報科学に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（情報科学）の学位論文として価値のあるものと認める。

