OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Learning Sleep Pattern based on Audio Data
Author(s)	Wu, Hongle
Citation	大阪大学, 2018, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/69710
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

論 文 内 容 の 要 旨

氏 名 (WU HONGLE)	
論文題名	Learning Sleep Pattern based on Audio Data (音データに基づく睡眠パターンの学習)

論文内容の要旨

A good sleep is important for a healthy life. Recently, several consumer sleep devices have emerged on the market claiming that they can provide personal sleep monitoring; however, many of them require additional hardware or there is a lack of scientific evidence regarding their reliability. The objective of our research is to develop a more practical and economical approach that provides acceptable accuracy of sleep study. We have achieved two major achievements.

Firstly, we propose a method to discover sleep patterns via clustering of audio events recorded during sleep. The proposed method extends the conventional self-organizing map algorithm by kernelization and sequence-based technologies to obtain a fine-grained map that visualizes the distribution and changes of sleep-related events. We introduced features widely applied in audio processing and popular kernel functions to the proposed method to evaluate and compare performance. By visualizing the transition of cluster dynamics, sleep-related audio events were found to relate to the various stages of sleep. In addition, we calculated the conditional probabilities of an audio event given the current sleep stage, quantified the correlation between sleep-related sound events and sleep stages. The conditional probabilities demonstrate that snore events have the strongest relationship with deep sleep and body movement is more related to rapid eye movement (REM) and light sleep than deep sleep. Teeth grinding most frequently occurs during Non-REM sleep. The proposed method provides a new aspect of sleep monitoring because the results demonstrate that audio events can be directly correlated to an individual's sleep patterns, and empirically warrant future study into the assessment of personal sleep quality using audio data.

Our second research topic is assessing the sleep quality through audio events. We used subjective sleep quality as training label, combined several machine learning approaches including kernelized self-organizing map, hierarchical clustering and hidden Markov model, obtained the models to indicate the sleep pattern of specific quality level. We found there is no significant difference on sleep stage sequence HMMs between different sleep quality, on the contrary, the HMMs of sound events from different sleep quality level have obvious difference. This evidence is interesting that sleep stage sequence is useless for assessing sleep quality. Therefore, the HMMs of sound events from good and poor sleep quality were used to model the sleep quality. The likelihoods between an input audio event sequence and HMMs are calculated as input vectors, then several classification methods are applied, including support vector machines (SVM), adaptive Boosting (Adaboost), majority decision, etc. According to the experiment, the classifier by HMMs obtained a feasible result, which empirically warrants our approach on the assessment of personal sleep quality by audio data.

様式７

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名（　Wu HONGLE　）		
	（職）	氏　名
論文審査担当者	主 査　教 授	沼尾 正行
	副 査　教 授	谷田　純
	副 査　教 授	鈴木 秀幸
	副 査　准教授	福井 健一
	副 査　教 授	加藤 隆史（大学院歯学研究科）

論文審査の結果の要旨

睡眠ポリソムノグラフィ(PSG)検査によって、睡眠の診断が病院や専門の研究施設において医療目的で行われてきたが、家庭で簡便に計測することはできなかった。最近、睡眠診断や睡眠サイクルに応じたアラームの機能を持ったスマートフォンアプリが出ているが、科学的な根拠に乏しく、個人差は考慮されていない。そこで、家庭で簡単に計測でき、かつ体調や周囲の環境によって異なる睡眠パターンを把握することが可能なシステムの開発が重要となる。本論文では、睡眠環境音から個人の睡眠パターンを機械学習により可視化・評価する人工知能技術について述べる。本研究の主要な結果は、次の二つである。

一つ目は、睡眠中の音から機械学習により個人の睡眠パターンを視覚化し、評価する技術である。睡眠中の生体活動によって生じる音、バーストイベントを抽出する技術を応用し、睡眠関連音を適切に抽出した。周波数パワースペクトルを入力ベクトルとして、抽出した音イベントデータに様々な自己組織化マップ（SOM）アルゴリズムを適用して、クラスタマップを得る。その際、KLカーネルを周波数パワースペクトルの分布構造を把握するための類似尺度として導入した。さらに、一晩の睡眠関連音のクラスタダイナミクスの遷移を視覚化するために、シーケンシングウェイト関数を導入したシーケンスベースのSOM（Sb-SOM）を用いた。カーネルSOMの特性に基づいて、KLカーネルをSb-SOMに導入し、シーケンスベースのカーネルSOM（Sb-KSOM）を提案して、睡眠期間の睡眠関連イベントの分布と変化を反映するクラスタマップを生成する。有効性を確認するために、Sb-KSOMで得られたクラスタマップと、PSGデータに基づいて医師がスコアリングした睡眠ステージ系列との比較を行った。 その結果、睡眠段階の変化に伴って睡眠関連音のクラスタ分布が同期的に変化することを明らかにして、Sb-KSOMによって生成されたクラスタマップを使用して、音イベントから睡眠パターンを把握することの実現可能性を示した。

二つ目は、睡眠中の音に基づく睡眠パターンのモデル化、および睡眠の質を推定する技術である。クラスタマップ上のセル間の距離を計算し、階層的クラスタリングによってKL-KSOM上の主要クラスタを自動的に決定できるようにした。この主要クラスタを入力音イベントの分類器として使用して、記号データ系列を形成した。この記号データ系列を隠れマルコフモデル（HMM）の入力として使用し、主観的なアンケート回答において良好な睡眠と乏しい睡眠のそれぞれについて、HMMを訓練した。良好な睡眠と乏しい睡眠の判別には、異なる隠れ状態数からなる複数のHMMを訓練し、入力記号データ系列との尤度を特徴ベクトルとして、サポートベクトルマシン(SVM)、アダブースト、多数決などを含むいくつかの分類方法を適用した。36名の被験者でクロスバリデーションを行った結果、提案法はSVMを用いたとき最大77%の精度を達成した。学習したHMMの状態遷移確率から、良好な睡眠のモデルは自己ループ確率が高く安定していた。それとは対照的に、乏しい睡眠のモデルの状態遷移確率は様々であり、音に関連した特定の睡眠パターンを持たないことが確認された。また、PSGデータに基づいて医療専門家によってスコアリングされた睡眠段階の系列を入力として学習したHMMでは、良好な睡眠と乏しい睡眠の間に有意な差はないことがわかった。睡眠段階の系列が（主観的な）睡眠の質を評価するのに役に立たないわけであり、新しい知見を示している。

以上を要するに、本論文は、睡眠中の音からの機械学習により、個人の睡眠パターンの視覚化と睡眠の評価を行って、その効果を確かめたもので、ヘルスケアおよび機械学習の分野において情報科学技術の果たす役割の進展に大きく貢献するものである。よって、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。