

氏 名 DOAN PHONG TUNG

学位(専攻分野) 博士(情報学)

学位記番号 総研大甲第 2273 号

学位授与の日付 2021年9月 28日

学位授与の要件 複合科学研究科 情報学専攻  
学位規則第6条第1項該当

学位論文題目 Differentiable Models for Sequential Representation Learning  
and Segmentation

論文審査委員 主 査 高須 淳宏  
情報学専攻 教授  
計 宇生  
情報学専攻 教授  
山岸 順一  
情報学専攻 教授  
相原 健郎  
情報学専攻 准教授  
小野 順貴  
東京都立大学 システムデザイン研究科  
情報科学域 教授

(Form 3)

## Summary of Doctoral Thesis

Name in full: DOAN PHONG TUNG

Title: Differentiable Models for Sequential Representation Learning and Segmentation

Sequential data is becoming more and more ubiquitous in a wide range of fields and application scenarios due to the advance of technologies in data collection and storage. The collected data sequences are often of high dimension and large volume that impede performances of the machine learning algorithms. Fortunately, the underlying process of the data could be much simpler and we can compress them in terms of both dimensionality and volume. In this dissertation, we focus on sequential representation learning and segmentation - two different but related research fields in sequential analysis for obtaining compressed and concise representation for sequential data. More precisely, sequential representation learning compresses the dimensionality of the data into a smaller space regarding order relations among data samples in the sequence. Meanwhile, sequential segmentation compresses the volume of the data by partitioning data samples into several non-overlapping and homogeneous segments.

In sequential representation learning, it is crucial to know correspondence between data samples among different sequences. However, this information is often missing due to man-made reasons and collection device errors. Therefore, learning representation in sequential settings often requires jointly solving the alignment problem. A common challenge of the alignment and segmentation problems is their related optimization over discrete variables with combinatorial constraints. This inhibits development of efficient sequential learning models and scalable sequence segmentation methods. The aim of this dissertation is to propose models with differentiable objectives for sequential representation learning and segmentation of sequences that can succeed in dealing with the aforementioned challenge. There are three main advantages of the differentiability. First, it allows us to update all the variables in a unified manner during optimization. This is contrary to existing models where their parameters are updated alternatively. As a result, sub-optimal solutions are likely to be avoided. Second, stochastic gradient descent is now applicable to train or learn the model parameters. This helps to reduce both the time and memory complexities, enabling the models to handle large-scale sequential data. Finally, the differentiable models are now more extendable to handle multiple data sequences. The main contributions of the dissertation are:

**Sequential representation learning.** First, we introduce “Generalized sequential correlation analysis” (GSCA) - a deep model for multi-view learning from sequential data. Despite the fact that collected data sequences are often unaligned and the sample-wise correspondence information is missing, GSCA can implicitly discover sample correspondence while learning representations. Thanks to the differentiable objective, the optimal alignment and representation in GSCA are obtained in a unified manner, avoiding sub-optimal solutions - a common issue of the existing models. Second, we combine GSCA with reconstruction losses of autoencoders to form the second model called “Generalized sequentially correlated autoencoders” (GSCAEs). GSCAEs provides a better trade-off between within-sequence and cross-sequence relations for sequential representation learning. Third, we develop an extension of GSCA termed “Generalized multiple sequences analysis” (GMSA) to handle multiple (more than two) data sequences.

**Segmentation of sequences.** First, we introduce “Kernel clustering with sigmoid-based regularization” (KCSR) - a segmentation model based on kernel clustering. With a novel sigmoid-based regularization, the objective of KCSR is smooth and can be effectively solved using gradient-based algorithms. Second, we develop a stochastic variant of KCSR termed “Stochastic kernel clustering with sigmoid-based regularization” (SKCSR). Time and memory complexities of SKCSR are much lower than those of the original KCSR and almost existing kernel-based models that prohibit them from handling extremely long data sequences. Third, we propose an extension of KCSR called “Multiple kernel clustering with sigmoid-based regularization” (MKCSR) for simultaneous segmentation of multiple data sequences.

Through extensive experimentation on different widely public datasets, performances of the proposed models were evaluated and compared with those of various baselines. The experimental results validate the advantages of our models over all the competitors.

## 博士論文審査結果

Name in Full  
氏名 DOAN PHONG TUNGTitle  
論文題目 Differentiable Models for Sequential Representation Learning and Segmentation

本学位論文は、系列データの分析に必要となる系列データの表現学習法および系列データの分割法を提案している。系列データは一般に高次元のデータとして表されることが多く、また、長い系列を扱う場合にはデータ量も大規模となる。本研究は、1つの事象を複数の観点や多様な計測機器で観測した結果得られる複数の系列データを対象とし、高次元かつ大規模な複数系列データを効率的に分析する技術を構築することを目的としている。複数系列データの分析では、系列間のマッピングやクラスタリングのような組み合わせ最適化と深層学習におけるパラメタ推定のような連続関数の最小化が混在した問題を扱うことも多い。本博士論文では、このような2種類の最適化問題を含む多系列データの表現学習および分割問題を取りあげ、それぞれ微分可能なモデルを構築することで確率的勾配降下法のような効率的な最適化アルゴリズムの適用を可能し、また、評価用データセットおよび実データを用いた実験により、複数系列データの分類、クラスタリング、分割タスクにおける提案手法の有効性を示している。

本学位論文は6章で構成され英語で書かれている。

第1章では、本研究が扱う系列データ分析の概要と研究の意義、本研究で取り組んだ課題および本研究の主な貢献を示している。

第2章では、系列データの分析に用いられる最適化アルゴリズムの概要と表現学習および系列データの分割に関する関連研究をまとめている。

第3章では、複数系列データの表現学習を提案している。系列間のデータを関連づける問題は組み合わせ最適化問題として定式化され動的計画法を用いて解かれることが多いが、本研究では微分可能な目的関数を使った最適化問題として定式化することで深層学習を用いた表現学習と統合したモデルを提案している。

第4章では、系列データの分割問題を解くための微分可能なモデルを提案している。系列の分割問題は各観測点がどの部分系列に属するかを表す離散変数を導入することで最適化問題として定式化される。提案モデルではシグモイド関数を用いることで各観測点の部分系列所属を連続変数で表すことを可能にし、微分可能なモデルを構築している。確率的勾配降下法を用いることで長い系列データに対しても効率的に系列データを分割できることを示している。

第5章では、本研究で提案した複数系列データの分析モデルを橋梁を通過する車両の検出に応用し、その有効性を検証している。まず、橋梁に設置された各センサから取得される信号に対してノイズ除去およびピーク検出を行い、続いて提案モデルを用いて各センサのピークの対応づけを行うことで通過車両の検出精度の向上がはかれることを確認して

いる。

第6章は、以上の結果をまとめるとともに今後の課題を示している。

公開論文発表会では、出願者はおよそ45分で博士論文の内容を説明し、その後、質疑応答が行われた。続いて審査員による非公開の審査を行い、提案手法の優位性や提案手法の車両検出への応用の詳細等について質問とコメントが寄せられ、出願者は適切に回答した。

非公開の審査後に審査委員会を開催し、審査委員で議論を行った。博士論文審査の結果、出願者は情報学分野の十分な知識と研究能力を持つと認められた。研究内容は、複数系列データの分析に微分可能な目的関数を用いる新たな最適化手法を与えたものであり、分析タスクの定式化に新たな方法を与えた理論的な貢献に加え、分析処理の効率化による実用面での貢献も大きい。本論文の内容に関し、国際学術雑誌に1編、査読付き国際会議に3編の主著論文が採択されている。以上より、審査委員会全員一致で、博士論文として十分な水準の研究であると認め、学位の授与に値すると判断した。