

学 位 論 文 内 容 の 要 旨	
学位論文題目	Tissue Classification of Atherosclerotic Coronary Plaque from Imbalanced IVUS Data Sets Using Deep Boltzmann Machine
氏 名	NGUYEN TRONG KUONG
<p>This dissertation presents a study of tissue characterization of human atherosclerotic coronary plaque by deep Boltzmann machine (DBM). The research data sets include intravascular ultrasound (IVUS) radiofrequency signals acquired from human coronary arteries. IVUS tissue characterization has been an issue of great concern in medical application studies for the reason that coronary heart disease (CHD) statistically accounts for a high proportion of mortality whereas the formation of atherosclerotic plaque is a leading cause of CHD.</p> <p>In machine learning, deep networks have attracted much interest in recent years, which play as powerful frameworks to handle with large and high dimensional data sets. Restricted Boltzmann machine (RBM) is a good initialization for constructing deep networks. In addition, RBM is developed as a stand-alone classification network for supervised learning, so it has attracted many studies recently. The aim of this thesis is to provide insights into learning features of imbalanced IVUS data sets to classify IVUS tissues by the use of RBM and DBM.</p> <p>Structurally, this dissertation is organized in seven chapters. The two first chapters introduce about our IVUS data sets and the interested classifiers. The next chapters present the results of tissue classification with respect to specific methods. The details of each chapters are summarized as follows:</p> <p>Chapter 1 describes the IVUS data sets and our target problem of IVUS tissue classification. Related work and background in the literature of IVUS tissue characterization are briefly reviewed. In particular, a brief description of how to acquire IVUS signals, concerned techniques of IVUS signal preprocessing are presented. Besides that, the literature of imbalanced dataset learning is analyzed in relation to our present topic, specially, the evaluation for multiclass classification and the difficulties of class imbalance problem.</p> <p>Chapter 2 describes the network structure of RBM. Its capacity for unsupervised learning and learning stability are discussed. Regarding supervised learning, RBM is developed as a stand alone classification model, it is called classification restricted Boltzmann machine (ClassRBM). Next, deep Boltzmann machine (DBM) is presented as an interested deep network. With a step-by-step approach, our first results in this dissertation are mainly from using ClassRBM. After dealing the difficulties of class imbalances and understanding the learning capacity of ClassRBM, the deep network DBM is a next consideration in order to improve tissue classification performance.</p> <p>Chapter 3 presents the IVUS tissue classification by ClassRBM in comparison to integrated backscatter method (IB-IVUS) which is as a conventional method in the literature of IVUS tissue characterization. The results show a better classification evaluation performed by ClassRBM as compared to IB-IVUS for the same task. Above all, this study shows a more understanding of ClassRBM when featured IVUS patterns are proposedly binarized. That work proves an advantage as compared to the classification of ClassRBM performed with real-valued featured patterns, hence the bit level of IVUS data is a considerable point regarding the use of ClassRBM.</p> <p>Chapter 4 shows efforts to deal with the class imbalances of IVUS data sets that hinder the training of RBM. Balancing training sets is first concerned by the use of adaptive synthetic</p>	

sampling technique (ADASYN) which employs oversampling, undersampling and synthetic sample creating to balance training sets. Another consideration is the use of multiclass AdaBoost which ensembles ClassRBMs. This chapter mainly focuses on the frequency domain of IVUS signals. The tissue class imbalances are still obstacles and challenges for training of ClassRBM although the results show little improvement of tissue classification by comparison of ClassRBM with neural networks and support vector machine.

Chapter 5 takes pixel level of dataset into account and presents a proposed training algorithm of ClassRBM with a misclassification cost-sensitive algorithm to address IVUS dataset imbalances. In words, the proposed algorithm is a strategy to accumulate training sets step-by-step which is based on the misclassification rate of each class. The proposed misclassification cost-sensitive algorithm supports the training of ClassRBM better as compared to neural network for the same network size and same task.

Chapter 6 shows an application of deep Boltzmann machine with the understandings from previous chapters. Particularly, the misclassification cost-sensitive training algorithm in chapter 5 is simplified. In addition, using unsupervised learning is first considered and fed for supervised learning in the upper layer of DBM. In other words, DBM contains stacked RBMs of which the first RBM squeezes input data and feeds for the upper one where the uppermost layer is ClassRBM. DBM proves a high representation for the tissue classification. The results also show the better performance by DBM as compared to IB-IVUS. In addition, in this chapter, different sizes of IVUS patterns are paid attention to specify a better size in IVUS pattern extraction.

Chapter 7 is for our conclusion, the achieved results are promising to encourage us to improve the IVUS issue towards the application of deep learning. The limitations of our method are inevitable points discussed here for future work.

In sum, in attempting to improve the IVUS tissue classification, this dissertation shows a step-by-step approach to deal with the obstacles of IVUS data sets as well as the network derived from restricted Boltzmann machines. In a nutshell, the data binarization and misclassification cost-sensitive training algorithms of ClassRBM and DBM are the key solutions to solve the IVUS tissue classification issue.

# 学位論文審査の結果及び最終試験の結果報告書

(博士後期課程博士用)

山口大学大学院理工学研究科

報告番号	理工博甲 第 754 号	氏名	Nguyen Trong-Kuong
最終試験担当者		主 査	内野 英 治
		審 査 委 員	脇 田 浩 二
		審 査 委 員	野 崎 浩 二
		審 査 委 員	末 竹 規 哲
		審 査 委 員	韓 先 花
【論文題目】			
Tissue Classification of Atherosclerotic Coronary Plaque from Imbalanced IVUS Data Sets Using Deep Boltzmann Machine (ディープ・ボルツマン・マシンを使ったデータ数が不均衡な IVUS データからの動脈硬化冠動脈プラークの組織分類)			
【論文審査の結果及び最終試験の結果】			
<p>本論文は、冠動脈プラークの組織性状判別問題において、ディープ・ボルツマン・マシン (Deep Boltzmann Machine: DBM) を用いた新たな方法を提案したものである。冠動脈内に形成されたプラークの組織性状 (構造) は、冠動脈疾患の発症に大きく影響しており、冠動脈プラークの組織性状判別は、医療応用研究において非常に重要である。</p> <p>近年、機械学習において、深層ネットワークは大規模で高次元なデータ・セットの処理が可能な強力なフレームワークとして注目されている。また、制約付きボルツマン・マシン (Restricted Boltzmann Machine: RBM) は、深層ネットワークを構築するための良い構成要素であり、教師あり学習のためのスタンド・アローン分類ネットワークとして、近年多くの開発研究が行われてきた。</p> <p>本論文の各章の詳細は以下のとおりである。</p> <p>第 1 章では、まず実際の動脈硬化患者から取得する冠動脈内超音波 (Intravascular Ultrasound: IVUS) 信号の簡単な説明と、IVUS 信号の前処理、および冠動脈プラークの組織性状判別問題とその背景について説明している。また、不均衡なデータ・セット (分類クラスごとに学習データ数がアンバランスなデータ・セット) を用いた学習の難しさについても言及している。</p> <p>第 2 章では、RBM のネットワーク構造について説明した後、RBM の教師なし学習と教師あり学習の学習安定性について述べている。教師あり RBM は、Classification Model of RBM (ClassRBM) と呼ばれている。また、ディープ・ボルツマン・マシンについても述べている。</p> <p>第 3 章から第 6 章が本論文のメインである。これらの章においては、ClassRBM の学習性能を向上させ、これらの ClassRBM を用いて DBM を構成し、さらに、クラス不均衡問題を克服し、これらにより冠動脈プラークの組織性状判別精度を高める手法を提案している。以下に各章の内容を具体的に説明する。</p> <p>第 3 章では、ClassRBM の入力として IVUS 信号パターンの二値化画像を用いることを提案し、通常の連続 IVUS 信号パターンを用いる場合との比較実験により、本提案法の有効性を確認している。</p> <p>第 4 章では、学習を妨げる IVUS データ・セットのクラス不均衡問題を克服するため、各クラス内でオーバー・サンプリングとアンダー・サンプリングを行い、また、アダプティブ・サンプリングにより新たなデータを追加し、学習データの偏りをなくしている。組織性状判別精度の向上が見られたが、完全にクラス不均衡問題が解決された訳ではなく、これは今後の課題であるとしている。</p>			

第5章では、IVUS データ・セットのクラス不均衡問題を緩和するために、Misclassification Cost-Sensitive Training Algorithms を用いた ClassRBM の学習アルゴリズムを提案している。これは、誤判別率を用いて再学習を行う新たな学習アルゴリズムである。本提案アルゴリズムを用いたプラークの組織性状判別結果とニューラル・ネットワークによる結果とを比較し、分類精度の向上を確認している。

第6章では、ディープ・ボルツマン・マシン (DBM) を用いてプラークの組織性状判別を行っている。入力層の RBM で入力データを符号化し、それを上位層に送り、最上位層の ClassRBM では、第5章で提案したアルゴリズムにより教師あり学習を行っている。従来手法の Integrated Backscatter Method (IB-IVUS) と比較し、本手法による分類精度の向上を確認している。

第7章は結論である。本研究の成果を総括している。

公聴会においては、ClassRBM と一般的な RBM の性能の違いはどうか、将来の課題はどんなものがあるか、この手法は頸動脈のエコー検査にも使えるのか、MRI や X 線の信号への応用可能性はどうか、帰国後はこのようなデータは容易には入手できないと思うが、今後どのようなデータを用いて研究を継続していくのか、将来の研究プランは、などの質問が出たが、いずれも発表者からの確かな回答がなされた。また、公聴会終了後に、出席者の一人から、今はペットにお金をかける時代である。人ではなくペットの動脈硬化診断をやったらどうかと言うコメントもいただいた。

以上より、本論文は独創性、信頼性、有効性、実用性ともに優れ、博士 (理学) の論文に十分値するものと判断した。

論文内容及び審査会、公聴会での質問に対する応答などから、最終試験は合格とした。

なお、主要な関連論文の発表状況は下記のとおりである (関連論文 計5編、参考論文 計1編)。

- 1) Kuong Trong Nguyen, Eiji Uchino and Noriaki Suetake, "IVUS tissue characterization of coronary plaque by classification restricted Boltzmann machine," *Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics*, Vol. 21, No. 1, pp. 67-73, 2017.
- 2) Kuong Trong Nguyen, Eiji Uchino and Noriaki Suetake, "Recognition of coronary atherosclerotic plaque tissue on intravascular ultrasound images by using misclassification sensitive training of discriminative restricted Boltzmann machine," *Journal of Biomimetics, Biomaterials and Biomedical Engineering*, Vol. 37, pp. 85-93, 2018.
- 3) Kuong Trong Nguyen, Eiji Uchino and Noriaki Suetake, "Coronary plaque classification with accumulative training of deep Boltzmann machines," *Innovative Computing, Information and Control Express Letters*, Vol. 12, No. 9, 2018, to be published.