

ふるかわ しょうた

氏名 古川 翔大
授与学位 博士（理学）
学位記番号 理工博甲682号
学位授与年月日 平成28年3月17日
学位授与の要件 学位規則第4条1項
研究科，専攻の名称 理工学研究科（博士後期課程）自然科学基盤系専攻
学位論文題目 スパースコーディングを用いた冠動脈プラークの組織性状判別に関する研究
(A Study on Tissue Characterization of Coronary Plaque by Using Sparse Coding)

論文審査委員 主査 山口大学 教授 内野 英 治
山口大学 教授 山本 隆
山口大学 教授 宮田 雄一郎
山口大学 教授 菊 政 勲
山口大学 教授 末竹 規 哲

【学位論文内容の要旨】

近年、食生活の変化などの原因により、急性心筋梗塞や不安定狭心症などの急性冠症候群が増加している。急性冠症候群は、冠動脈内に形成されるプラークの破綻によって生じる血栓が原因となって引き起こされる。プラークは、破綻しにくい安定プラークと破綻しやすい不安定プラークの2つに大別される。急性冠症候群を未然に防ぐためには、プラークの組織性状を高精度に同定し、その結果を診断に反映させることが重要となる。

この急性冠症候群の代表的な検査方法に、血管内超音波 (Intravascular Ultrasound: IVUS) 法がある。医師は、通常、この IVUS 法から得られる B モード画像を用いて血管内の検査やプラーク体積の評価などを行う。しかし、B モード画像は、プローブからの距離に応じた超音波の減衰や赤血球などによる超音波の散乱が原因で不明瞭な画像となる。したがって、医師が B モード画像のみからプラークの組織性状を正確に判別することは非常に困難である。この問題を解決するために、プラークからの直接の反射超音波信号である RF 信号からプラークの組織性状の判別を行う手法がこれまでに提案されている。

本論文では、より高精度な組織性状の判別を実現するために、スパースコーディングを用いた RF 信号の特徴量抽出法およびその特徴量を用いたプラークの組織性状判別法について述べる。

第1章は序論である。

第2章では、急性冠症候群とその検査方法の1つである血管内超音波法と組織性状判別の従来手法について述べる。

第3章では、スパースコーディングを用いた RF 信号の特徴量抽出法について述べる。スパースコーディングは、基底関数とその係数の積和表現によって対象とする信号を表現する手法の一つである。スパースコーディングの特徴は、基底関数の集合に対応する係数行列がスパース行列となる点である。この特徴から、スパースコーディングにより得られる基底関数の係数パターンを特徴量とすれば、数少ない情報で正確に RF 信号の特徴が記述できることになる。具体的には、複数の組織から得られた RF 信号を学習データとして、スパースコーディングによりまず基底関数を作成する。続いて、識別対象となる RF 信号をこの基底関数を用いて表現し、その際に出来た係数パターンを RF 信号の特徴量とする。この特徴量を用いた組織性状判別については次章で議論する。

第4章では、冠動脈プラークの組織をスパースコーディングから得られた RF 信号の特徴量を k -近隣法を用いて線維性組織と脂質性組織に分類する手法について述べる。 k -近隣法は最近傍決定則に基づき、特徴空間上で入力データとの距離の近い訓練データの属するクラスを識別結果として出力する。この k -近隣法は単純なアルゴリズムであるものの、これまで多くのパターン識別に適用され、その有効性が示されている。本章では、スパースコーディングから得られた特徴量を k -近隣法により識別し、その特徴量の有効性を示した。

第5章では、スパースコーディングから得られた特徴量を基に部分空間を構成し、冠動脈プラークの組織性状

を判別する手法について述べる。k-近隣法は高精度な識別結果が得られるものの、計算量が多く処理に時間がかかる。そのため、効率的なプロトタイプ決定アルゴリズムや並列計算を用いた手法などが提案されているが、根本的な計算量の改善には至っていない。本章では、スパースコーディングから得られる特徴量の性質に鑑み、部分空間法を用いることによる高速かつ高精度な組織性状判別法を提案する。実際のウサギとヒトから得られた RF 信号に本提案手法を適用し、その有効性を示した。

第6章は結論であり、本研究を総括する。

【論文審査結果の要旨】

急性冠症候群は急性心筋梗塞、不安定狭心症などの心臓突然死の総称である。急性冠症候群は、冠動脈内に形成されたプラークが破綻し、それに伴い生じる血栓が原因となり引き起こされる。プラークはその組織性状により、破綻しにくい安定プラークと破綻しやすい不安定プラークの2つに大別される。したがって、プラークの組織性状を高精度に同定することが、心臓突然死を引き起こすプラークの診断に非常に重要となる。

プラークの代表的な検査方法に、血管内超音波 (Intravascular Ultrasound: IVUS) 法がある。通常、この IVUS 法から得られる B モード画像を基に、血管内の状態やプラークの体積が評価される。しかし、B モード画像は血流などの影響により、不鮮明な画像となる場合が多く、B モード画像のみからプラークの組織性状を正確に診断することは、たとえ熟練した医師であっても非常に困難である。この問題を解決するため、プラークからの直接の反射超音波信号である RF (Radio Frequency) 信号からプラークの組織性状の判別を行う手法がこれまでに提案されている。

本論文は、より高精度な組織性状の判別を実現するため、スパースコーディングを用いた RF 信号の特徴量の抽出法、およびその特徴量を用いたプラークの組織性状判別法について述べたものである。本論文は6章から構成されている。

第1章は序論であり、本論文の背景と目的について述べている。

第2章では、急性冠症候群とその検査方法について述べ、その後、従来の組織性状判別法について説明している。従来の代表的なプラークの組織性状判別法として、IB 法と周波数解析に基づく手法が挙げられている。IB 法は信号のエネルギー値、周波数解析に基づく手法は信号の周波数成分に着目した手法であり、それらの問題点について指摘している。

第3章では、スパースコーディングを用いた RF 信号の特徴量抽出法について述べている。スパースコーディングは、信号を基底関数の線形結合で表現する際、より少数の基底関数を用いて信号を表現しようとする。この特徴から、スパースコーディングにより得られた基底関数の係数パターンを特徴量とすれば、数少ない情報で正確に RF 信号の特徴が記述できる点に言及している。この係数パターンを用いた組織性状判別法については次章で議論している。

第4章では、冠動脈プラークの組織性状判別に対し、スパースコーディングで得られた RF 信号の特徴量に k-近隣法を適用する手法について述べている。k-近隣法は、特徴空間上で入力データと距離の近い k 個の教師データを基に、その入力データのクラスを決定する手法である。本章では、スパースコーディングから得られた特徴量を k-近隣法により実際に識別し、その特徴量の有効性を検証している。

第5章では、スパースコーディングで得られた特徴量を基に部分空間を構成し、冠動脈プラークの組織性状を判別する手法について述べている。k-近隣法は高精度な識別結果が得られるものの、計算量が多く処理に時間がかかることを指摘している。本章では、スパースコーディングで得られた特徴量の性質から、部分空間法を用いることによる高速かつ高精度な組織性状判別法を提案している。実際のウサギとヒトから得られた RF 信号に本提案手法を適用し、その有効性を検証している。

第6章は結論である。

公聴会においては、組織により判別時間にばらつきがあるが、計算時間の違いは何故起きたのか、プラークの場所は事前にわかっているのか、繊維性組織と脂質性組織に判別精度の差があるのは何故か、学習データを識別したら 100%の識別ができるのか、プラークの位置情報を判別に利用できないか、周波数を高くすれば判別精度は向上するのか、スパースコーディングにおける基底関数の形状が RF 信号の特徴をよく捉えていると言うのはどういう意味か、スパースコーディングにおける係数は一意に決まるのか、その他について

説明が求められたが、いずれも発表者からの確な回答がなされた。

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7編、参考論文 計1編）。

T. Koga, S. Furukawa, E. Uchino and N. Suetake, “High-Speed Calculation for Tissue Characterization of Coronary Plaque by Employing Parallel Computing Techniques,” *Int. J. of Circuits, Systems and Signal Processing*, Vol.5, No.4, pp.435-442, 2011.

S. Miwa, S. Furukawa, E. Uchino and N. Suetake, “Effectiveness of Averaged Learning Subspace Method for Application to Coronary Plaque Tissue Classification,” *J. of Signal Processing*, Vol.19, No.4, pp.171-174, 2015.

S. Furukawa, E. Uchino, T. Azetsu and N. Suetake, “Coronary Plaque Characterization Considering Continuity of Tissue by Sparse Modeling of 2D IVUS Signal,” *Int. J. of Biomedical Soft Computing and Human Sciences*, Vol.20, No.2, pp.23-29, 2016. (in press)