大阪府立大学博士論文

競合型ニューラルネットワークによる
リモートセンシングデータの分類法に関する研究

論文要旨

平成１０年 3月

伊　藤　陽　介

競合型ニューラルネットワークによる リモートセンシングデータの分類法に関する研究

論 文 要 旨

リモートセンシングは，人工衛星，スペースシャトル，航空機などに搭載されたセンサを用いて，地球表面から反射または放射される電磁波を 2次元的に観測し，それを処理する技術である．人工衛星 LANDSAT は，光学的センサ (Optical Sensor: OPS) を搭載し，人工衛星によるリモートセンシングの普及に貢献してきた．しかし，OPS による観測は，気象条件に影響されやすいという欠点があった．一方，合成開口レーダー (Synthetic Aperture Radar: SAR) は，能動型センサであり，観測条件に左右されにくいという利点を有している．したがって，SAR は，全天候性，昼夜観測，偏波および干渉差を利用した計測などの特徴をもち，様々な分野での応用が期待されている．

リモートセンシングのデータ解析では，各種補正の後，地表面がどのようなカテゴリーで被覆されているかを識別するカテゴリー分類を行う必要がある．この分類に対しては，現在までに様々なパターン認識手法が適用され，統計的手法である最尤法が広く用いられてきた．最尤法は，各カテゴリーの確率分布が多次元正規分布に従い，かつその出現確率が等しいという仮定の下で，ベイズの定理を利用して分類を行う方法である．しかし，設定すべきカテゴリーは，応用分野によって定められるものであり，すべてのカテゴリーが前述した仮定を満たしているとは限らない．そのため，最尤法ではカテゴリー分類した結果の中に多くの誤分類を含むことがあった．

近年，前述した最尤法の問題点を回避するために，カテゴリーの確率分布を仮定しない新しい分類手法として，ニューラルネットワーク手法が提案された．とくに，誤差逆伝播法 (Error Back-Propagation Method: BP 法) を用いて学習した階層型ニューラルネットワークが，リモートセンシングデータ解析に応用され，BP 法による分類精度の向上および分類画像の改善がなされたということが多数報告されてきた．しかし，勾配法の原理に基づいている BP 法のアルゴリズムには，ローカルミニマム問題および学習に要する計算時間の問題があり，これらが未解決の問題として残されていた．また，学習時に用いるトレーニングデータによってニューラルネットワークの収束性が大きく変化する場合もあり，リモートセンシングデータの分類手法として実用的でない側面もあった．

一方，競合型ニューラルネットワークは，競合学習によって入力データをそれらの類似度

に応じて分類する能力を自律的に獲得していくという特徴をもっている．このネットワークは，BP 法と比較して，(1) 競合学習によってローカルミニマム問題を回避できる，(2) 単純な学習アルゴリズムでかつ少ない学習回数で分類能力を獲得して学習時間を短縮できる，(3) ニューラルネットワークの収束性がトレーニングデータによって影響されにくい，という利点がある．

本研究では，これらの利点を活用した競合型ニューラルネットワークを新たにリモートセンシングデータの分類手法として適用することを提案し，実際のリモートセンシングデータ解析を通してその有用性を検証した．本論文は，競合型ニューラルネットワークを OPS データおよび SAR データの分類手法として適用する場合のニューラルネットワークの構造，学習アルゴリズム，トレーニングデータおよび特徴ベクトルの選定方法に関する研究成果をまとめたものである．

第１章では，本研究の背景，目的および内容の概略を示し，本論文の構成について述べた．

第２章では，基本的な競合型ニューラルネットワークが OPS データのカテゴリー分類手法として有用であることを示すため，自己組織化ニューラルネットワークと *k*-最近隣法 (*k*-Nearest Neighbor Method: *k*-NN 法) を組み合わせたカテゴリー分類手法を提案した．ここで，自己組織化ニューラルネットワークは，カテゴリーごとに教師なし学習を行う競合型ニューラルネットワークを示している．このニューラルネットワークでは，競合学習によって各ニューロンの発火確率が等しくなることが知られている．この性質から重みベクトルが代表する領域の大きさと入力データの出現頻度との関係を求めることができ，カテゴリーの確率分布がニューロンの重みベクトルによって表現可能となる．提案手法は，各カテゴリーについて学習した競合層のニューロンをまとめて競合させ， *k*-NN 法に基づいて入力データを分類している．分類実験では，LANDSAT のセマティック・マッパ (Thematic Mapper: TM) データを対象とし，主成分分析の結果に基づいてバンド３，４，５を入力データとして用いた．まず，設定したカテゴリーの確率分布が重みベクトルによって表現されていく過程を求め，エントロピーを用いてニューロンの重みベクトルがカテゴリーの確率分布を表現していることを示した．さらに，TM データを６カテゴリーに分類し，提案手法の有用性を定量的に検証した．

第３章では，カテゴリーごとにニューラルネットワークの学習を行う第２章の方法を改善するため，Kohonen の学習ベクトル量子化法 (Learning Vector Quantization Method: LVQ 法) を新たに導入した．ここでは，LVQ 法によって学習する単一の競合型ニューラルネットワークを OPS データのカテゴリー分類手法として適用することを提案した．LVQ 法は，教師なし学習の特徴を活かしつつ入力データに対応した特定のニューロンが発火するように教師付き

学習を行う方法である．提案手法では，競合型ニューラルネットワークの構造，LVQ 法の学習アルゴリズム，パターン距離測度およびトレーニングデータの選定方法について考察した．LVQ 法の学習アルゴリズムとして，Kohonen によって提案された基本アルゴリズムである LVQ1 およびその改良型アルゴリズムである最適化学習率 LVQ1 (Optimized-learning-rate LVQ1: OLVQ1) を用い，パターン距離測度として，ユークリッド距離，重み付きユークリッド距離，マハラノビス距離を用いた．さらに，カテゴリーごとの面積の割合を考慮したトレーニングデータの選定方法を導入し，第２章と同じ TM データを 6 カテゴリーに分類する実験結果から，OLVQ1 とマハラノビス距離を適用した LVQ 法の有用性を示した．

第４章では，スペースシャトル Endeavour に搭載されたスペースボーン・イメージング・レーダ -C (Spaceborne Imaging Radar-C: SIR-C) の 4 偏波モード (水平および垂直偏波の送受信による観測モード) によって，L バンドおよび C バンドで観測された多周波ポラリメトリック SAR データを解析対象とした．この SAR データを競合型ニューラルネットワークによって，基本カテゴリーである水域，都市域および植生域に分類する手法を提案した．さらに，分類精度を改善するために，分類識別面を微調整可能な LVQ2.1 によって競合型ニューラルネットワークを再学習する方法を提案した．また，観測周波数と各偏波の後方散乱係数の組み合わせからなる特徴ベクトルに対して分類実験を行い，基本カテゴリー分類に適する特徴ベクトルを選定した． 提案手法を用いて SAR データを分類した実験結果から，特徴ベクトルとして L バンドおよび C バンドのクロス偏波の後方散乱係数が有効であることを明らかにし，提案した重みベクトルの再学習法によって分類精度が向上できることを示した．

第５章では，第４章で考察したポラリメトリック SAR データをより詳細なカテゴリーに分類するため，特徴ベクトルとして偏波間位相差を用いることを提案した．水平偏波による送受信と垂直偏波による送受信での後方散乱係数間の偏波間位相差は，後方散乱したマイクロ波の散乱過程を示すことが知られている．とくに，水域のように 1 回散乱が支配的な領域においては，前述の偏波間位相差の確率分布が 0° を境として不連続になる場合があり，それを回避するために，提案手法では疑似位相差を導入した．さらに，特徴ベクトルの選定方法としてカテゴリーの分布間距離を測る指標のひとつであるジェフリーズ・松下距離 (Jeffries-Matusita Distance: JM 距離) を適用した．LVQ 法で学習した競合型ニューラルネットワークによる分類結果を従来手法の結果と比較して，疑似位相差の有効性を明らかにした．

第６章では，マイクロ波による散乱状態を考慮したカテゴリーにポラリメトリック SAR データを分類するため，散乱クラスと第５章のカテゴリー分類手法を併用した新たな分類手法を提案した．この分類手法は，散乱したマイクロ波の特徴から地表面物体の散乱状態を推定し，カテゴリー分類した結果と組み合わせて SAR データを分類する方法である．散乱クラ

スは，奇数回反射，偶数回反射およびその他の３クラスとし，それらはMueller行列とStokesベクトルを用いて小領域ごとに求める．提案手法では，van Zylの方法と比較して偶数回反射領域においてSARデータを正確に分類し，散乱クラスを推定するバンドとしてCバンドが有効であることを示した．第５章と同じ特徴ベクトルとニューラルネットワークの学習法を適用し，前述の散乱クラスごとにニューラルネットワークの構造を実験的に定め，11カテゴリーに分類した．その結果得られた分類画像をグランド・トゥルースと比較検討し，提案手法の有用性を検証した．

第７章では，本研究で得られた結果と知見を総括して結論とし，今後の研究課題について述べた．

本論文の基礎となる発表論文

No.	論　文　題　目	著者名	発　表　誌　名	本論文との対応
1	Category Classification Method Using a Self-Organizing Neural Network	Y. Ito S. Omatu	International Journal of Remote Sensing, Vol.18, No.4, pp.829-845 (1997)	第２章
2	Category Classification Using Self-Organization Model	Y. Ito S. Omatu	Proceedings of the 1994 International Symposium on Noise and Clutter Rejection in Radars and Imaging Sensors, pp.537-542 (Kawasaki, Japan, 1994)	第２章
3	競合型ニューラルネットワークによる土地被覆分類法	伊藤　陽介 大松　繁	写真測量とリモートセンシング, Vol.35, No.3, pp.5-17 (1996)	第３章
4	Extended LVQ Neural Network Approach to Land Cover Mapping	Y. Ito S. Omatu	IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing (to be published)	第３章
5	ニューラルネットワークによるポラリメトリックSARデータの分類	伊藤　陽介 大松　繁	写真測量とリモートセンシング, Vol.36, No.3, pp.13-22 (1997)	第４章
6	Land Cover Mapping Method for Polarimetric SAR Data	Y. Ito S. Omatu	Proceedings of SPIE, Algorithms for Synthetic Aperture Radar Imagery IV, Vol.3070, pp.388-397 (Orlando, U.S.A., 1997)	第５章
7	Polarimetric SAR Data Classification Using Competitive Neural Networks	Y. Ito S. Omatu	International Journal of Remote Sensing (to be published)	第５章
8	散乱モデルとニューラルネットワークによるポラリメトリックSARデータの分類法	伊藤　陽介 大松　繁	システム制御情報学会論文誌 (掲載決定)	第６章
9	Polarimetric SAR Data Classification Using Scattering Models and Neural Networks	Y. Ito S. Omatu	Proceedings of SPIE, Image Processing, Signal Processing, and Synthetic Aperture Radar for Remote Sensing, Vol.3217, pp.132-140 (London, U.K., 1997)	第６章