

Development of a plastic landmine visualization system based on complex-valued neural networks

1061018 (登録番号)

研究者代表 東京大学 准教授 廣瀬 明

[研究の目的]

対人プラスチック地雷の探知は世界人類の急務であるが、未だに困難な課題である。これを実現するための具体的な技術開発はさまざまな内容を含む。なかでも、現場の作業者にわかりやすい対人プラスチック地雷の可視化のシステムの実現が決定的に重要である。これも「人間と機械の調和の促進」を具現化する課題である。

申請者らはこれまでに、CMRF(複素マルコフ・ランダム・フィールド)モデルに基づく適応的地中可視化レーダを提案・構築し、その有効性を実証している。それによって対人プラスチック地雷を有効に探知する道を世界に先駆けて切り拓いた。さらに進んで、対人プラスチック地雷を地雷らしさも含めてわかりやすく可視化するシステムを構築するためには、適応的な地表区分化と地雷らしさの推定が可能な可搬システムの構築が必要となるのである。

本研究の目的は、複素ニューラルネットワークによって有用な地表区分と地雷らしさの可視化を実現する可搬システムを構築することである。そして地雷除去と人類・機械の調和に貢献しようとするものである。

[研究の内容と成果]

これまでに報告者らは、独自の CMRF モデルによるプラスチック地雷可視化システムを提案し、その有効性を実証している。この方法は、地中

レーダの反射波を複素振幅画像として適応的に扱うものである。すなわち、位相感受型のフロントエンドで反射波を受信して得られる複素振幅イメージを、複素振幅の「複素テクスチャ(もよう)」の特徴に基づいて適応的に分類する。そして画像を地雷部分のクラス、粗い砂利部分のクラス、細かい砂利部分のクラスなどに分類するものである。その分類された画面を人間が見て、地雷の確率が高いかどうかを判断する。この方法によって多くの場合、地雷は地雷としてひとつの地雷(と思われる)クラスに分類され、地雷探知の有用な方法であることが確認された。しかし現システムは実験室内などでのみ利用可能な大型のものである。まず可搬型のシステムの構築が必要である。機能的にも、状況によっては地雷が2つ以上のクラスに分かれることもあり、その画面から地雷の存在を見出すことが困難な場合もある。そのため、地雷クラスと思われる場合のその地雷らしさを表現することも望ましい。

本研究は、可搬がたシステムを構築することを目的とする。また各クラスの地雷らしさを複素ニューラルネットワークによって判断・表現して提示する方法も開発する。すなわち、クラスのテクスチャの特徴が複素特徴ベクトルで表されているため、その特徴ベクトル空間に複素ニューラルネットワークの方法によって自己組

織的にメトリック（距離）を構成して、地雷特徴に対する近さ・遠さを表現する。それによって、あるクラスがどれぐらい地雷らしいのか可視化するとともに、地雷らしさの高い複数のクラスが自然に一体に見えるようなシステムを実現する。そして可搬型のシステムを構築し、その方式の有用性について実際に現場で使用してもらうことにより評価を行い、改善の余地と方向についての知見も得る計画とした。

次のように研究を進め成果を得たので報告する。

(1) 複素ヘブ則による地雷クラス同定のソフトウェア作製と原理確認

報告者らが提案している複素ヘブ則を利用して、上記課題を解決できるのではないかと考えた。複素ヘブ則とは、ニューラルネットワークの基本自己組織化法則として広く知られているヘブ則を、複素数を扱うように拡張したものである。特に電磁波や光波などの波動情報を扱うのに適している。複素ヘブ則は、複素情報空間での信号点の相関をニューロ結合に埋め込むものであり、これを利用すると複素空間での距離（メトリック）が自己組織的に形成されると期待される。これを基本原理として、テスト画像に含まれるどの領域クラスが地雷に対応しているか、すなわち地雷クラスの同定が可能になると考えた。この考えに基づき、地雷領域クラスを同定する適応的信号処理を行うソフトウェアを作製し、原理確認実験を行った。計測専用のノートPCを購入し、フロントエンドの制御、得られた反射画像の格納と適応的画像区分、および同定ソフトウェアによる地雷らしさを含めた可視化を行った。対象土壌は、まずはじめに東京の通常土壌とし、これに対象物体として金属缶（金属地雷の代替）および模擬プラスチック地雷を埋設した。その結果、定性的に良好な結果を得



図1 カンボジア CMAC のメンバーとともにラテライト土質の場合のデータ取得とシステム評価

た。すなわち、地雷領域が分割された場合でもそれらとともに地雷クラスと同定し融合する効果を得ることができた。

(2) 可搬型システムの有用性の実証(現地実地実験を含む)

基礎動作が確認されたため、図1に示すように、平成19年3月末に現地実地実験を行って本方式の有用性を確認した。カンボジアの地雷除去センター (Cambodian Mine Action Center: CMAC)の協力を得て、シエムレアプ地区のテストサイトでの実験を行った。これによって現地のラテライト土質でのデータを取得するとともに、実際に現地で除去活動を行っている作業員等の意見を得た。ラテライトは透磁率が高く比較的大きな散乱を引き起こすため、地中レーダにとって難しい土壌である。われわれのシステムでも東京の土に比べて困難さは増したものの、強く湿った状況以外では十分な区分結果が得られ、システムの優秀性が示された。また作業員から得られた意見からは、われわれの区分データ提示による可視化方法は基本的に大変有効であり、近い将来の除去活動の強力な手段となりうることが確認された。

ただしその際、(輸出規制法規の関係でスキヤンの遅いベクトルネットワークアナライザを持参して利用していた理由もあり)2次元反射データの取得時間が1スキャンあたり約20分かかっていた。通常使用している早いスキヤンのものを用いたとしても、10分弱の速さになる。これは実用上は問題になる遅さである。従前のシステムで機械的にアンテナをスキヤンしていたときに1時間以上の時間がかかっていたことに比べれば大幅な時間削減が実現できたといえる。しかし、一層の短縮が望ましいことも明らかになった。また、現在は機械的な高周波スイッチを使用しているため、システム全体の重量が約

20kgあり、減量が望ましい。アンテナ部分自体はわずか200gであり、半導体スイッチ等を使用すればかなりの軽量化が可能であると考えられる。

(3) 現地実験結果の検分とシステムの改良

現地実験によって得られたデータの詳細な検分を行った。特に適応区分に重点をおいた。図2は、少し湿った砂地に5cmの深さに埋設されたPMN地雷の計測および処理結果である。ある周波数点における(a)振幅画像と(b)位相画像、および(c)10の周波数点のデータを用いてCSOMによる適応区分を行った結果である。区分結果画像のうち、白いクラスが地雷クラスを示している。

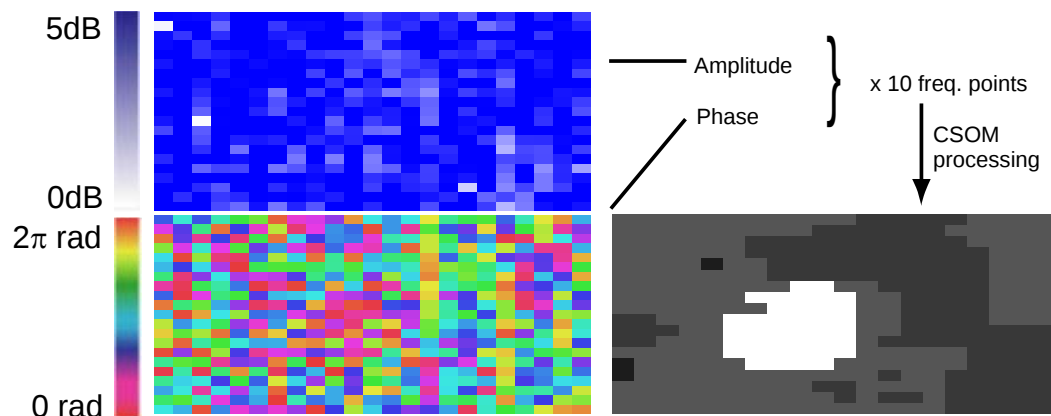


図2 少し湿った砂地に5cmの深さに埋設されたPMN地雷の計測および処理結果：ある周波数点における(a)振幅画像と(b)位相画像、および(c)CSOMによる適応区分結果

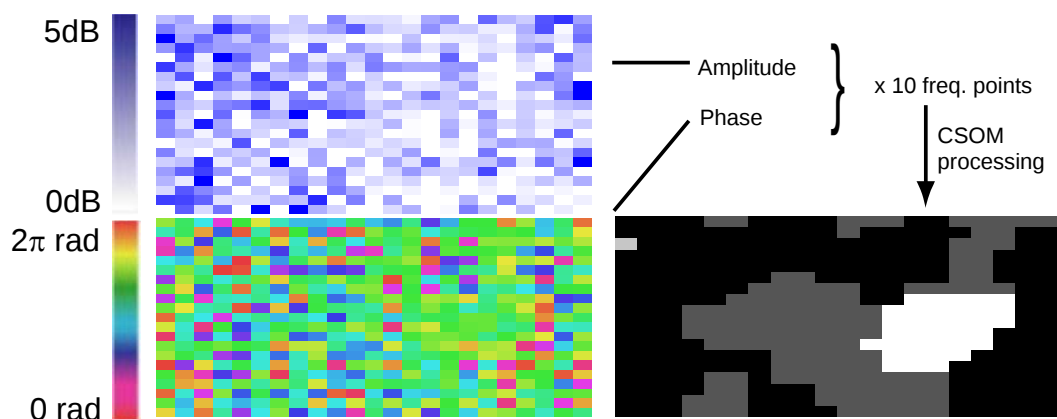


図3 湿ったラテライト土に5cmの深さに埋設されたPMN地雷の計測および処理結果：ある周波数点における(a)振幅画像と(b)位相画像、および(c)CSOMによる適応区分結果

システムはよく区分を実行し、可視化に成功していることがわかる。図 3 は、少し湿ったラテライト土に 5cm の深さに埋設された PMN 地雷の計測および処理結果である。図 2 の場合とほぼ同等に区分に成功していることがわかる。データの周波数に対する変化を詳細に観察したところ、地雷部分の反射複素振幅に周期的な変化が明確に、あるいはぼんやりと、観測されることが確認された。これは共振現象を示唆しており、CSOM の特徴抽出の考え方の正しさに裏づけを与えるものであると考えられる。

[今後の研究の方向と課題]

以上の研究の結果、次のことが明らかになった。基本的に、本システムは優れた地雷可視化能力を有することが確認された。現在、地雷除去現場では金属探知機が広く利用されている。この場合、取りこぼしは非常に少なく、その結果 安全は確保される。しかし、爆弾破片などの地雷以外のものに反応する 誤り警報率が非常に高く、作業効率が低くなりがちであることに問題がある。(プラスチック地雷にも微量の金属が含まれている。) 次世代となる地中レーダは未だ開発段階である。現在、実用化が近いと考えられている地中レーダは、通常のレーダと同様に反射波の強度や反射断面積を観測するものである。そのため、金属片とプラスチック地雷の区別をつけづらい。

本研究が提案しているシステムは、この区別を実現しうるところに特長がある。その意味では、次々世代の技術であるといえる。CMAC もこの点を高く評価している。本研究の結果をもとに、今後、スキヤンの高速化と重量の軽量化を行い、より実用に近いシステムを構築する予定である。また金属探知機と本システムとを組み合わせることにより、取りこぼしが少なく、かつ地雷区別度が高いシステムが構築されることが考えられる。今後、そのようなデュアルセンサ

システムの開発につなげてゆく予定である。

[成果の発表、論文等]

- [1]R.Yamaki, A.Hirose, "Singularity- spreading phase unwrapping," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, to appear
- [2]A.Hirose, S.Masuyama, K.Yasuda, "High-resolution walled-LTSA-array ground penetrating radar system using adaptive complex-valued self-organizing-map processing," Asia Pacific Microwave Conf. (APMC) 2007 Bangkok, Proc. (Dec. 11-14, 2007, Bangkok) to be presented
- [3]A.Hirose, S.Masuyama, "UWB measurement, complex-amplitude texture, and Walled-LTSA array in plastic landmine visualization," Int'l Conf. on Ultra Wideband (UWB) 2007 Singapore, Proc. (Sept. 24-29, 2007, Singapore) to be presented
- [4]S.Masuyama, A.Hirose, "Walled LTSA array for rapid, high spatial resolution, and phase sensitive imaging to visualize plastic landmines," IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing, 45, 8 (2007) 2536-2543
- [5]R.Yamaki, A.Hirose, "Weighted singular unit restoration in interferograms based on complex-valued MRF model for phase unwrapping," Int'l Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2007 Niigata, Proc. (Aug. 20-24, 2007, Niigata) 812-815
- [6]S.Masuyama, K.Yasuda, A.Hirose, "Removal of direct coupling in an Walled-LTSA array for visualizing plastic landmines," Int'l Symposium on Antennas and Propagation (ISAP) 2007 Niigata, Proc. (Aug. 20-24, 2007, Niigata) 1238-1241
- [7]R.Yamaki, A.Hirose, "Phase Unwrapping by Spreading Phase Singularity in Airborne Interferogram," Progress in Electromag. Research (PIERS) 2006 Tokyo, Proc. (August 2-5, 2006, Tokyo) 311
- [8]S.Masuyama, A.Hirose, "Plastic Landmine Imaging with Integrated Walled LTSA Handset," Progress in Electromag. Research (PIERS) 2006 Tokyo, Proc. (August 2-5, 2006, Tokyo) 463
- [9]A.Hirose, R.Yamaki, "Phase unwrapping with phase-singularity spreading," Int'l Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2006, Denver, Proc. (July 31-Aug. 4, 2006, Denver) Prof. 1259-1260
- [10]S.Masuyama, A.Hirose, "Integrated walled-LTSA handset for quick and high-spatial-resolution phase-sensitive imaging," Int'l Conf. on Ground Penetrating Radar (GPR) 2006 Columbus, Proc. (June 19-22, 2006, Ohio) UXO.7
- [11]A.Hirose, "Complex-Valued Neural Networks," Studies in Computational Intelligence, vol.32, Springer-Verlag (August 2006) ISBN 3-540-33456-4