

研究課題中間評価表

1. 研究課題名：AIを活用した地物自動抽出に関する研究
2. 研究期間：平成30年4月～令和5年3月（5年間）
3. 予算科目名：特別研究

4. 中間評価時点における成果の概要

地図作成において、デジタル航空カメラやGNSS/IMUなどの導入により、取得されるデータはデジタル化されている一方で、判読図化、地図編集といった工程は依然としてアナログ時代と大きく変わらない労働集約的な手法が用いられている。本研究は、将来的に地図の自動作成や自動更新の実現を目指すステップとして、判読図化の工程を対象とし、空中写真画像に写った地物の種類とその範囲を特定し地理空間情報として自動的に抽出する手法の実現を目的としている。さらに、その手段として、画像認識分野で性能向上が著しい「畳み込みニューラルネットワーク（CNN）と深層学習を用いたセマンティックセグメンテーション」といういわゆるAIの技術を導入し、①作業規程の準則の標準図式として定められている地図情報レベル2500の項目のうち40項目以上の地物に対し、基盤地図情報の精度の範囲内で、人間が判読した場合に匹敵する抽出成功率の達成、②レコード数ベースで80%以上の抽出率の達成、という2つの数値目標を掲げて研究を実施している。その結果、現在までに以下のような成果が得られた。

1) 地図作成のための多様性豊かな抽出性能評価用データセットの構築

先行研究による地図作成を目的としたセマンティックセグメンテーション用のデータセットは、項目数、データに含まれる地域数が限定されていた。本研究で構築したデータセットは、性能検証用に項目数36、地域数547という極めて豊かな多様性を持っており、抽出対象の母集団の分布とも一致させたことで普遍的な性能評価を実現しようとするものである。ただし、36項目中27項目は、普遍的評価という観点からは出現する各項目のピクセル総数が不足していることが判明し、さらに追加の検証用データを構築中である。

また、学習用のデータセットとして、この抽出性能評価用データセットとは全く別に、セマンティックセグメンテーション用の項目別に合計42010枚（令和3年1月25日時点）、画像分類用に4項目1606枚（同）を構築している。

2) 使用するCNNの選定

当初は、使用するニューラルネットワークをConditional-GAN（敵対的生成ネットワーク）としていたが、このうちのGenerator部分に用いられているU-Net構造16層のCNNが常に高い性能を示すことが確認されたことから、これを使用するネットワークとして選定した。また、より高い性能を示すネットワークも存在するものの、使用するネットワークの変更は学習データの仕様に影響を与えることから、CNNは相対的にやや低めの性能であるU-Net構造のまま数値目標の達成を目指すこととした。

3) 同一箇所を複数方向から撮影した空中写真を用いる独自の抽出補完手法の開発

地図作成をテーマとするセマンティックセグメンテーションは、入力画像としてオルソ画像を用いるのが一般的である。しかし、オルソ画像では抽出精度の向上に限界があることから、同じ場所を複数方向から撮影した空中写真の特徴を生かし、オルソ処理を加えていない「生の」空中写真を用いた抽出結果をオルソ変換したうえで論理和を取ることで、オルソ画像を用いる手法より適合率（Precision）を落とさずに抽出率（Recall）を向上させる手法を開発した。本手法による抽出率向上の有効性が道路及び濁水の抽出において、定性的ながら確認されている。また、抽出結果の論理積を取ることで正射影を取得する手法も開発しており、該当項目の学習

用データ整備後に実証を行う計画である。

4) 3) の手法を完全自動で処理するシステムの開発

入力画像から CNN の学習済モデルを用いて対象画素を抽出し、ラスタベクタ変換やノイズ削除等の後処理を行ったうえでカメラパラメータと地形データ (DEM) を用いて正射変換し、複数画像の抽出結果の論理和及び論理積を取って最終的な地理空間情報とする一連の工程を、完全自動で処理するシステムとして構築した。道路縁抽出の場合、1 コース 22 枚の空中写真を 2 時間 17 分で自動処理した。

5) 3) の独自手法実現のための、抽出性向を制御する学習データ構成法

空中写真を用いた抽出結果の論理和及び論理積を取って抽出性能を向上させたり、正射影を取得したりするためには、学習済モデルの性能をそれぞれ、Precision 優位 (Precision/Recall 比=PR 比>1) 及び Recall 優位 (PR 比<1) の抽出性向に誘導する必要がある。本研究の中で、学習データの構成に工夫をしない場合は学習データの数が多くなるほど Recall 優位となりやすい傾向が確認されており、Precision 優位の抽出性向に誘導する手法を工夫した。主要な地物項目では総じて Precision 優位の学習済モデルが構築されている。

5. 中間評価時点における当初目標の達成度

[当初目標]

以下の数値評価目標を達成する。

1) 作業規程の準則の標準図式として定められている地図情報レベル 2500 の項目のうち

- ・40 項目以上の地物に対し、
- ・基盤地図情報の精度の範囲内、(都市計画区域内は水平位置の標準偏差 2.5m 以内、都市計画区域外は同 25m 以内)
- ・人間が判読した場合に匹敵する抽出成功率 (F 値 ≥ 0.800 としている)

の達成

2) レコード数ベースで 80% 以上の抽出率の達成

[達成度]

F 値は、成果の概要の 1) の性能評価用データセットを用いて算出している。学習データに性能評価用データセットのデータは含まれていない。学習データとして実際に使用する枚数は、3 方向の回転画像を追加するため記載している枚数の 4 倍となる。また、項目名に付与した 4 桁の数値は、公共測量標準図式の分類コードである。

1) F 値 ≥ 0.800 をクリアした項目は、(2101 道路縁、2106 庭園路等：学習データ 7800 枚時点、F 値=0.807)、(3001 普通建物：学習データ 5800 枚時点、F 値=0.803)、(5101 水涯線 (河川・湖池・海岸線)、5105 湖池：学習データ 3200 枚時点、F 値=0.862) の 5 項目である。他に、自然植生が学習データ 900 枚時点で F 値=0.853 となっているが、これは複数の地図記号の集合としての抽出結果であるため、成果としてはカウントしない。よって、達成率は 40 項目に対して 5 項目、12.5% である。

水平位置の標準偏差は、位置座標を測量成果である空中写真の外部標定要素と基盤地図情報の DEM を用いて算出しており、空中写真が本来的に有する誤差が含まれているが、想定範囲内と評価する。学習済 CNN による抽出直後の画像上での判読精度は、誤抽出、抽出漏れが発生していない正常抽出箇所において、道路や軌道の中心線といった線状データでおおむね 1 画素以内 (水平誤差 20cm 以内)、普通建物等の面状データで直線部分はおおむね 1 画素以内、端部でおおむね 5 画素以内 (水平誤差 1m 以内) である。

2) レコード数ベースでの抽出率は、国土地理院の電子国土基本図 (地図情報) データベース内に存在するレコードのうち、等高線や注記等を除く本研究の対象レコード数は 180,972,404 レコードである。このうち、1) をクリアした 5 項目に相当するレコード数に F 値を乗じたレコード数は、88,949,363 レコードであり、抽出率 49.15%。目標の 80% に対する達成率は 61.44% である。

6. 中間評価時点における成果公表状況

研究報告書	3件
発表論文	0件
口頭発表	2件

7. 中間評価時点における成果活用の見込み

本研究の成果のうち、論理和型の抽出手法は、令和元年度に終了した浸水状況把握のリアルタイム化に関する研究を通じて、総合流域防災対策事業調査費により開発中の災害状況（濁水・土砂）自動判読システム（令和3年度完成予定）に活用されており、防災ヘリの斜め撮影映像を入力として撮影から30秒以内で濁水の範囲を抽出して地図データ化することが可能となっている。加えて、同手法は、同じく土砂崩壊部の抽出機能としても実装が進んでいる。

また、本研究で構築した項目別の学習済モデルを用いて空中写真から目的の地物を抽出して地理空間情報への変換までを完全自動で行うシステムを構築済みであり、F値 ≥ 0.8 をクリアした地物では、これを用いて既存の地図情報との間で変化情報の抽出を行うことがすでに可能であると考えられる。

8. 中間評価時点における達成度の分析

（必要性の観点からの分析）

いわゆるAIと称されるCNNと深層学習を用いた技術について、利用できるコンピュータ資源に限界のある中で、目的に応じて学習データの内容を工夫し、人手を一切介すことのない完全自動システムとしての構成要素をすべて検討することができた。システムとして論理和型のものはすでに完成し、論理積型のものも実証を待つみの状態である。これらは達成度の評価数値としては一切反映されていないが、既にリアルタイム系の自動判読システムとして実装・実証済みであり、本研究の大枠は完成したものと考えている。システムは、コアとなる抽出対象の学習済モデルを交換するだけで様々な抽出対象に対応させることができ、汎用に使用することが可能である。

一方で、数値目標であるF値 ≥ 0.8 を達成する学習済モデルを構築するには、項目毎に十分な数の学習データを作成する必要がある。5.の達成度の欄に記載したとおり、F値は4000枚～6000枚前後の学習データ数で0.8を超えていることから、各項目5000枚程度の学習データの作成が当面必要であると考えられるが、学習データの作成は、上記検討のため出現数の多い数項目（道路、建物、水部、自然植生）に絞って実施してきたため、半数以上の項目（21項目）で学習データ作成数が1000枚に満たない状況である。これに起因して、項目別のF値は低い値に留まっている項目が多く、数値目標の達成率は低く、不十分である。これに対し、もう1つの数値目標であるレコード数ベースに対する全体の達成率は、61.44%と、単純に5年計画の3年目とした場合の60%を超えており、出現数の多い地物に研究対象を絞った効果が発現している。本研究の成果は、地図作成の劇的な効率化につなげられる可能性が高く、個別項目の学習データ作成の促進が求められる。

（有効性の観点からの分析）

本研究で開発したCNNと深層学習を用いて入力画像から対象地物を自動的に抽出するシステムは、従来判読に必要とした時間を大幅に短縮することができることは実証済みであり、有効性の高い成果を達成していることは論を待たない。しかし、本研究が標榜するブレークスルーというレベルの達成には数値目標として設定されているレベルでは不十分である。そのような中で、論理和型のシステムでは一部の地物でブレークスルーに挑戦可能なレベルに到達していると考えられ、道路や建物等の主要地物において、抽出率（Recall）0.97程度以上（F値0.9クラス）の達成が視野に入る。

(効率性の観点からの分析)

システムの大枠の検討にあたっては、人的リソースが当初計画より制限される中であって、対象地物を限定し、より厳しい性能評価値を得る検証データセットを使って反復的に学習と推論を繰り返し、F 値 ≥ 0.8 のクリアに必要な要件を早期に明らかにすることができた。また、事前評価時点で懸念されていた計算機資源についても、研究着手当初に性能評価を行ってコストパフォーマンスの高い GPU を多数確保することができたことで、研究の大枠の完成までは非常に効率的に実施することができた。

しかし、数値目標達成のための項目毎の学習済モデル構築に必要な学習データの作成は、オルソ画像ではなく空中写真を使用すること、既存の地図情報作成時点と空中写真の撮影時点の内容に不一致が多いこと、国土地理院の保有する既存の地図情報でデータ化されていない項目が少なからず存在することから、既存の地図情報を使用することができず、学習データ作成の効率化には限界がある。より少ない学習データ数で効率的に F 値 ≥ 0.8 をクリアできるような画像選定のノウハウ醸成が必要である。

9. 中間評価時点において残された課題と新たな研究開発の方向

- ・項目別学習済モデル作成のための学習データ作成

数値目標 1) の達成に向け、項目別学習データの整備促進

- ・学習データ作成方針の変更

論理積型の AI 実証において、3002 堅牢建物、4235 高塔、4239 風車の学習データが必要。論理積型の AI では学習データ数が直接性能に反映されるとみられるため、当該 3 項目の学習データを優先して構築。

- ・高さを認識できる新たな抽出手法の開発

数値目標 2) の達成には、レコード数の約 16%を占める(6101 人工斜面、6102 土堤)で数値目標 1) をクリアすることが必須であるが、空中写真 1 枚毎に CNN でセマンティックセグメンテーションを行う現在の手法では達成は困難と考えられる。高さ方向を考慮する新たな抽出手法の開発が必要。本件はほかに(6110 被覆、レコード数約 2%)が該当する。

- ・使用するデータの種類から MMS の点群データと衛星データ(先進光学衛星)を除外

当初計画では MMS の点群データも用いることとしていたが、点群データから得られるデータは地図情報レベル 500 又は 1000 の項目であり、地図情報レベル 2500 をターゲットとする本研究ではスペック過剰のため、対象データから除外する。

また、当初計画では令和 3 年度から先進光学衛星のデータを使用することとしていたが、先進光学衛星の打ち上げが延期されており、データが入手できるのは早くても令和 4 年度になると思われることから、十分な数の学習データの作成と深層学習の時間を確保が困難と考えられるため、対象データから除外する。

10. その他、課題内容に応じ必要な事項

特になし。

11. 提案課・室名、問合せ先

国土地理院 地理地殻活動研究センター 地理情報解析研究室

TEL : 029-864-5941

FAX : 029-864-2655

e-mail : ohno-h96bp@mlit.go.jp

代表担当者 : 地理情報解析研究室 大野 裕幸