

[5]

氏名	おおつき しょうじ 大月 庄 治
博士の専攻分野の名称	博士 (情報学)
学位記番号	情博第 78 号
学位授与の日付	2023 年 9 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
学位論文題目	点群データのプロダクトモデルを用いた 社会インフラの維持管理の高度化
論文審査委員	主査教授 田中 成典 副査教授 竹中 要一 副査教授 友枝 明保 専門審査委員 教授 伊藤 俊秀 専門審査委員 特別任命教授 清水 則一 (先端科学技術推進機構)

論文内容の要旨

日本の社会インフラストラクチャ(以下, 社会インフラ)の多くは高度経済成長期に整備され, 建設後 50 年以上が経過し, メンテナンスの必要がある建設構造物(地物)の割合が増加している. しかし, 建設業界の就業者は減少しており, 維持管理作業の省力化が急務とされている. そのため, 地物やその部位毎に点群データを構造化して管理することを目的とした点群データのプロダクトモデル, いわゆるセマンティック点群データ(Semantic Point Cloud Data)の考え方が提案されている. セマンティック点群データは, 3 次元地物の領域形状プロダクトモデルにアノテーションを付与して意味付けするものである. しかし, 現時点では点群データのモデル構造が提唱された段階であり, 維持管理における活用方策やその利便性は未検証である.

そこで, 本研究では, セマンティック点群データを用いることで, 社会インフラの維持管理業務を簡便に, しかも効率的に遂行できることの検証と, 持続可能な社会の実現に向けた効果的なデータ更新方法の提案とその実装を目的としている.

第一段階では, 社会インフラの維持管理にセマンティック点群データを用いることの効果を明らかにしつつ, 維持管理フェーズにおけるユースケースを整理・分析している. まず, これまでの二次元・三次元の幾何情報をベースとした維持管理手法と比較し, セマンティック点群データを用いた場合の有用性を明らかにしている. 次に, 特定道路土工の管理が不十分である点に着目し, 道路法面を対象にセマンティック点群データを自動生成する手法を提案している. 最後に, 道路附属物の新設や移設, 撤去に伴う出来形の台帳管理がコスト増につながる点に着目し, 維持管理データの効率的な更新方法を考案している.

第二段階では、セマンティック点群データの視認性の向上が社会インフラの維持管理に有用である点に注目し、地物の点群データの着色に関する技術を提案している。まず、車や人などの動体が写り込んでいる場合、ビデオカメラのフレーム画像の選定に労力を要するため点群データの着色が容易ではない。また、ビデオカメラ非搭載の場合、夜間や悪天候の場合では着色できない。そこで、画像生成技術(GAN:Generative Adversarial Networks)を用いた点群データの自動着色の技術を提案している。さらに、多くの計測機においてレーザースキャナとビデオカメラが同期されていないことより、当該地物のセマンティック点群データに別の地物のカメラ画像が付与される場合がある。この課題に対して、Object Detection(YOLACT:You Only Look At CoefficientTs)を用いて正確に着色できていない不良着色箇所の検出を行い、画像補完技術(DeepFillv2)を用いて補正する技術を提案している。

以上、本研究は、セマンティック点群データの自動生成と維持管理データの更新、そして同時に点群データの着色とその補正について議論したものである。第 1 章では、社会インフラの維持管理の現状と動向について述べている。第 2 章では、既存技術の調査と課題について論じている。第 3 章では、点群データのプロダクトモデルを用いた社会インフラの維持管理手法を既存手法と比較し、その有用性を確認している。第 4 章と第 5 章にて、維持管理データを自動生成する手法と効率的な更新方法の 2 点を提案し、その実用性を検証している。第 6 章と第 7 章にて、点群データの自動着色と不良着色箇所の補正の 2 点を提案し、その有効性を実証している。最後に、第 8 章では、研究成果の総括と今後の展開について述べている。

論文審査結果の要旨

本研究は、地物やその部位毎に点群データを構造化して管理することを目的とした点群データのプロダクトモデル、いわゆるセマンティック点群データを用いることで、社会インフラを維持管理できることの有用性について議論したものである。さらに、意味付けされた社会インフラデータを効率的に更新することで、長期的な業務遂行に寄与する方法についても検討したものである。以下に、審査結果を詳述する。

(1) 社会インフラの維持管理にセマンティック点群データを用いることの有用性の検証

社会インフラの維持管理にセマンティック点群データを用いることは議論されつつあるが、その表記方法が国土交通省の指針として提唱された段階であり、活用方策やその利便性については未検証である。そこで、橋梁や街路樹の維持管理に焦点を当て、セマンティック点群データを用いた場合と、二次元ベースのGISデータや3次元プロダクトモデル(BIM/CIMモデル)を用いた場合とを比較検討している。その結果、セマンティック点群データを用いた方が、従来手法よりも「形状再現の可能性」や「数値精度」の点で優位性があることを明らかにしている。

本研究は、社会インフラの維持管理にセマンティック点群データを用いることで、点群データの検索、切出、分析、比較の省力化、ひいては業務の高度化・効率化に大きく貢献するものであることを確認している。

(2) セマンティック点群データの運用性の検証

広域の道路土工構造物の道路法面にセマンティック点群データを適用した場合について議論している。その結果、道路法面の地物自動識別には有効に作用しないことがわかった。領域形状を適切に切り出せない場合、アノテーションを付与することが難しい。そこで、MMS (Mobile Mapping System) だけでなく、航空レーザ測量によるLP (Laser Profiler) データも組み合わせた領域点群データから、道路法面を対象に領域拡張法と最下点抽出法を組み合わせることで、道路法面の維持管理データを自動生成する手法を提案している。そして、実証実験により、その実用可能性を証明している。

次に、前述の地物領域の点群データに位置誤差があることにより、構造物の維持管理が適切に行えない課題がある。このことで、道路附属物の新設や移設、撤去に伴う台帳更新のコスト増につながる。そこで、地物を自動識別する技術を活用した上で、周辺地物から平均誤差を求めることで維持管理データの位置補正や識別漏れを発見しながら、効率的な更新方法を提案している。実証実験から、約4割の精度向上を確認し、その利便性を明らかにしている。

本研究は、地物の自動識別技術の活用による維持管理データの運用に関する大幅な人的コスト減に寄与するものである。

(3) 点群データの自動着色及び不良着色箇所の補正技術の提案とその実証

レーザースキャナは、3次元座標値と反射強度を保持した点群データを計測できるが、環境に応じてその値が変動するため、地物の視認性が低下する。そのため、一般的には、点群データの取得と同時にビデオカメラ画像を撮影し、点群データにRGB値を付与することが多い。その色付き点群データは、反射強度のみの点群データと比較して地物の視認性が高く、様々なシーンで広く活用されている。しかし、人物や車などの動体が写り込むことにより、適切なフレーム画像を選択することに労力を要する。また、ビデオカメラ非搭載の機器の場合、夜間や悪天候の場合では着色できない。そこで、GANを用いることで点群データに自動的に着色する技術を提案している。実験結果から、色相(H)、彩度(S)、明度(V)のHSVの平均距離値で約3割の改善を確認している。

さらに、多くの計測機においてレーザースキャナとビデオカメラは一体型ではないため、走行車両などの動体は、レーザースキャナの計測時刻と異なるタイムスタンプでビデオカメラに写り込み、その結果、当該地物のセマンティック点群データに別の地物のフレーム画像が付与される。そのため、現場では、目視で不良着色箇所を見つけながら、色付け元の画像を適切なものに差し替える作業を行っている。この作業は、膨大な手間がかかっており、不良着色の補正を効率的に行う方法が求められている。そこで、点群データにおいて正確に着色できていない箇所の画素単位での検出にYOLACTを使用し、車道の点群データに写り込んだ車両の部位を特定して、それを削除した上で周辺車道の色情報から画像補完技術のDeepFillv2を用いて不良着色箇所の復元と補正を行う手法を提案している。実証実験により、車両の色によっては精度が低くなる傾向が見られたが、平均距離値からの確に不良着色箇所を補正できていることを確認している。

本研究により、着色への対応にかかる膨大な手間を解消し、より視認性の高い点群データの生成が可能になった点が先進的である。また、住民説明やモデル化作業の支援等、点群データの活用範囲の拡大に大いに寄与するものである。

以上のことから、セマンティック点群データを用いた社会インフラの維持管理において、点群データの効率的な更新方法の提案とその実装を行い、その実用性を明らかにした。さらに、セマンティック点群データの自動着色や不良着色箇所の色補正に関する提案技術の有用性も明らかにした。将来、セマンティック点群データに位相情報を付加することで、新たな3次元プロダクトモデルの概念の下、高頻度かつ低コストの3次元モデルの自動更新が実現できる。現在、国土交通省は都市のデジタルツインである3次元モデルのプラットフォームPLATEAU(プラトール)を推進しており、そこに搭載する3次元モデルの網羅性・鮮度に本研究の成果が大いに貢献するものとなる。したがって、社会インフラの維持管理の高度化に繋がる実践的な研究であるため、博士論文として価値のあるものと認める。