

研究助成実施報告書

助成実施年度	2018 年度（平成 30 年度）
研究課題（タイトル）	市販の小型レーザースキャナ等を用いた安価でより精確な 3 次元道路空間生成技術に関する研究
研究者名※	窪田 諭
所属組織※	関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 准教授
研究種別	研究助成
研究分野	都市計画、都市景観
助成金額	150 万円
概要	i-Construction が進展するなか、道路の 3 次元維持管理を実現するためには、道路空間の 3 次元データを効率かつ精度良く取得する必要がある。本研究では、都市計画及び道路維持管理の利用に資する 3 次元データの生成を目的に、市販のビデオカメラによる映像と携帯可能な小型レーザースキャナとを用いて、道路空間データを生成する技術を試行し検討した。そこでは、3 次元データ生成に関する機器の調査を踏まえて、カメラとレーザースキャナとによって道路を計測し、3 次元データを生成した。そして、データ品質評価方法を考案して試行し、品質の向上のための計測とデータ生成の両面での課題を明らかにした。
発表論文等	

※研究者名、所属組織は申請当時の名称となります。

() は、報告書提出時所属先。

1. 研究の目的

i-Construction が進展するなか、道路の3次元維持管理を実現するためには、道路空間の3次元データを効率かつ精度良く取得する必要がある。道路空間の3次元データを取得するためには、設計あるいは竣工図面からの3次元化や、Mobile Mapping System による計測等が必要となる。2016年度には国土交通省が車両搭載センシングによる道路基盤地図データの作成実験を実施した。しかし、これらの手法は、データ作成の手間や多大なコストを要するとともに、データ更新を日常的かつ機動的に実施できない課題がある。

そこで、本研究では、都市計画及び道路維持管理の利用に資する3次元データの生成を目指し、中小規模の道路空間でも利用可能な小型レーザスキャナとビデオカメラの安価なセンサ機器によって取得するデータを用いて、3次元の道路空間の生成技術を考案することを目的とする。本研究には、市販のビデオカメラによる映像と携帯可能な小型レーザスキャナとを用いて、道路維持管理に利用可能な3次元道路空間データを生成する技術を開発することに意義がある。3次元道路空間は、都市の3次元構造において重要な要素であり、その安価かつ正確なデータの構築は適切な維持管理のみならず、自動運転の基礎データとすることや人々の都市活動を可視化することに貢献できる。

2. 研究の経過

本研究では、道路維持管理に活用できる3次元データの構築を目的として、道路空間を歩道から歩行しながら計測して取得する3次元点群データを基に生成する技術を開発する。計測には、人が携帯可能な小型レーザスキャナとビデオカメラによる映像を用いる。ビデオ映像では点群データを生成するために写真を抽出し、複数の視点から撮影した写真から3次元空間を構築する SfM (Structure from Motion) 手法を用いる。携帯可能な小型レーザスキャナには、Velodyne 社製の3Dレーザスキャナ VLP-16 HiRes を利用する。数万円程度の安価なビデオカメラと小型レーザスキャナとを組み合わせ生成する3次元点群データを分析し、歩道を歩行しながら車道と歩道の3次元データを構築する実用可能な技術を開発することを目標とする。

(1) 予備実験とデータ計測の計画立案

小型レーザスキャナによる3次元計測精度と計測特性を評価するとともに、1台のビデオ映像を用いて生成可能な点群データを分析し、計測のための計画を立案した。

本研究の対象地物である道路空間は、道路法より、「道路」と「道路付属物」で構成される。図1に示すように、道路と道路付属物に加え、3次元点群データを生成する際の特徴点として「沿道建築物」を定義した。

(2) 3次元空間生成手法の考案

歩行しながら3次元データを計測できる既存の機器を調査し、本研究の位置付けを検討した。

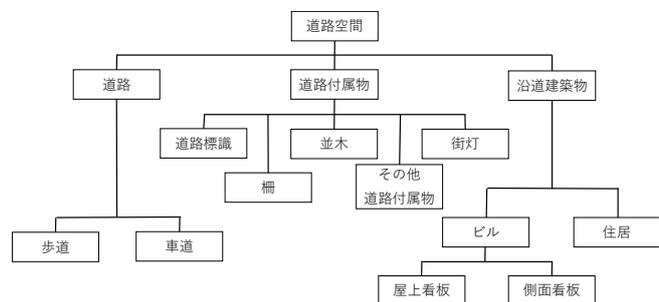


図1 道路空間の定義

可搬型計測機器の対象機器として、Leica 社の Pegasus: Backpack、GEXCEL 社の HERON AC-2、Kaarta 社の Stencil2、PARACOSM 社の PX-80、GeoSLAM 社の ZEB-HORIZON、NavVis 社の NavVis M6、Applanix 社の TIMMS について調査した。

データ計測実験と 3次元空間生成を並行して実施し、データ精度を向上するためのパラメータ設定を実験的に試行した。作業概要は次のとおりである。1) ビデオ映像から道路延長や時間間隔を考慮して写真を選定する。2) 連続写真の位置関係を SfM ソフトにより自動推定する。3) SfM ソフトにより点群データを生成する。4) 点群データのスケールと位置を合わせるために、現地基準点や Web 地図座標を用いて位置補正する。

(3) 計測機器の組合せ及び計測方法の設計

小型レーザスキャナとビデオカメラを用いて道路空間を計測するための機器の組合せとその計測ユニットとを設計した(図2、図3)。計測ユニットは、道路空間を移動するために、台車上に 1.0m と 3.0m 程度の高さで設置して、簡易に実験する。そして、これを用いた計測方法として、歩行速度やセンサ機器の向き等を調整した。

(4) 3次元データの品質評価方法の考案

3次元道路空間データの品質を評価するために、3次元座標空間における位置正確度、地物の洩れ・過剰を計数する完全性、及び地物毎の点群データの網羅性を評価する方法を考案した。

(5) データ計測実験と精度検証

台車にビデオと小型レーザスキャナを設置し、計測実験を行った。そして、前項の品質評価方法に基づき、データの品質を評価した。データ計測実験は、大阪府吹田市内の車道・歩道と泉南市のトンネル・道路を対象とした。

(6) 課題の検討

3次元道路空間データを用いた道路維持管理のユースケースと情報システムの機能要件を検討することにより、3次元データの活用場面を提案した。3次元データの活用場面として、(A) 不可視部分の可視化と地下埋設物の位置把握、(B) 輻輳箇所、作業スペース、経路や検査路の確認、(C) 点検結果の可視化による維持管理の効率化、(D) 損傷箇所とその度合いの可視化、(E) 点検と損傷の情報の一元管理、(F) 斜面の変状の把握、(G) 異なる時期に計測し構築した3次元データの重ね合わせによる災害時の状況把握、(H) 地元説明と協議を抽出した。そして、3次元データを用いた道路維持管理システムを情報システムの定義に基づいて考察した。



図2 計測機器



図3 計測ユニット

3. 研究の成果

(1) 可搬型計測機器の調査結果

既存の可搬型計測機器の調査では、IMU とカメラの搭載の有無、カラー点群の構築可否と質量、利用場面を検討するために屋外での利用可否を判断可能な GNSS の搭載の有無、屋内での利用可否、計測形態、計測範囲と計測精度に着眼した。TIMMS は FARO 社の Focus 3D X-130 を搭載しており、その他の製品はすべて 3D-LiDAR を搭載している。3D-LiDAR には、Velodyne 社の

VLP-16を採用しているものが多く、仕様が非公開のLiDARを採用しているものもあった。Nav Vis社のNavVis M6は、3D-LiDARに加えて、2D-LiDARを3機搭載している。Leica社のPegasus: Backpackは、唯一GNSSを搭載し、水平向きと鉛直向きに2つの3D-LiDARを設置しているため、空間を隈なく計測できる点とグローバル座標系の点群データを生成可能な点で優れている。GNSS非搭載の製品は、SLAMによる自己位置推定処理を基に3次元データを生成していると考えられる。そのため、時間経過に伴う累積誤差を補正するために、計測開始地点と計測終了地点を一致させる等の計測における工夫が必要となる。

(2) 3次元データの品質評価方法の考案

品質評価においては、国土地理院の地理情報標準プロファイル (JPGIS) における「品質の要求、評価及び報告のための規則」に準拠し、地物の完全性と位置正確度を用いることとした。完全性は、対象空間における地物の過剰と洩れによって評価する。位置正確度は、GNSS (Global Navigation Satellite System) によって取得した値あるいは都市再生街区基準点を基準点として道路空間に絶対座標を付与し、検証点とGNSSあるいは都市再生街区基準点との差を評価する。また、SfM処理によって生成する点群データは、一つの地物においても点群の生成可能な部分と不可能な部分が混在するため、地物の網羅性として、地物毎に点群データが生成できた部分の割合を評価する。

(3) データの計測と品質評価

1) 吹田市内の道路空間における実験

大阪府吹田市内の道路空間を計測した。計測では、約2分間の動画を撮影し、点群データ生成ソフトMetaShapeを用いて点群データ(図4)を生成した。ここでは、写真117枚を使用し、処理に約210分を要した。品質評価では、完全性については、構築した道路空間内の各地物の現地に対する過剰と洩れを検証した。その結果を表1に示す。完全性は約48%であり、車道にある信号や特徴点が少ない並木の3次元データを生成できなかった。地物の網羅性では、点群データから地物を抽出し、メッシュ化してその地物が含まれる割合を算出した。図5の電柱を評価した結果、網羅性は約77%であった。SfM処理では、対象の連続する写真に特徴となる地物があれば、正確な点群データを生成する特性がある。しかし、特徴する点が少ないとデータを生成することができない。点群データ生成には、日照角度、建物の高さや数等の現場環境が影響を与える。また、太陽光が入り込んだ画像を処理すると、3次元点群データを生成できないことがある。

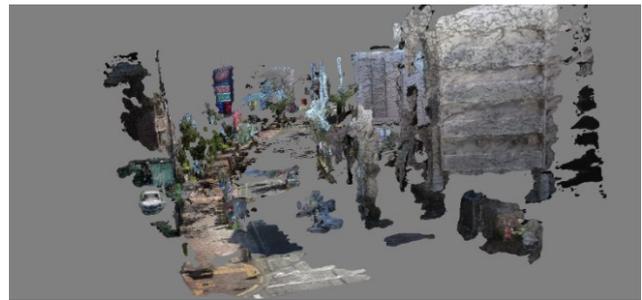


図4 生成した3次元点群データ

表1 完全性の評価結果

	電柱	信号	標識	看板	並木
写真	6	4	3	4	16
データ	3	2	3	2	8



図5 網羅性の評価

2) 泉南市内の道路空間における実験

大阪府泉南市内のトンネルを対象に道路空間を計測した。トンネルにおける実験の様子を図6に示す。カメラでは、GoProを台車に乗せて、トンネルの真ん中を通行して1往復し、撮影時間約1分20秒で計測した。小型レーザスキャナでは、VLP-16を台車に乗せて、トンネルを片道で通行し、約1分間計測した。

トンネルでは、連続写真200枚を切り出し、点群データ生成ソフトPix4Dmapperの点群生成3D Models機能を使用し、3次元点群データを生成した。トンネルのデータにおいて、点群数は4,449,495点、構築時間は約30分であった。トンネルの3次元点群データを図7に示す。

小型レーザスキャナを用いてスキャンしたデータは、VLP-16の専用データ形式(.pcap)に保存される。VLP-16専用のソフトウェアveloviewで取得した3次元データを50個フレームでCVS形式保存し、Cloud Compareで一つの3次元データに結合した。結合した3次元データを図8に示す。点群数は1,263,554点である。



図6 トンネルにおける実験の様子



図7 トンネルのデータ生成結果

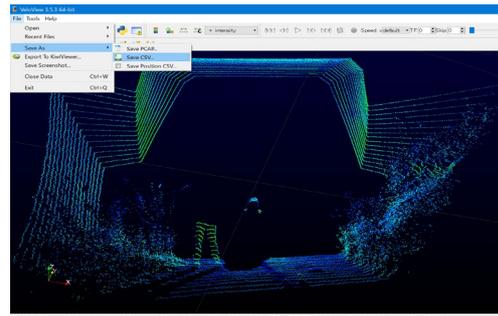


図8 小型レーザスキャナによる生成結果

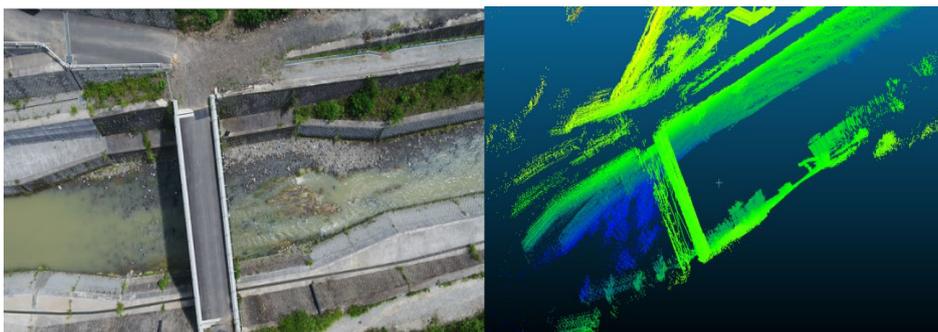


図9 小型レーザスキャナによる計測結果

トンネルは一つの地物であるため、3次元データの品質検証では、写真と3次元データを目視して、外観や形状で判断した。その結果、構築した3次元データのトンネル外観、形状、植生、排水、道路の区画線の表示を確認できた。小型レーザスキャナによる計測については、トンネル付近の橋梁と護岸を計測した(図9)。その3次元データと上空で撮影した写真を比較した結果、橋梁と護岸の形状を確認できた。

(4) 3次元データの活用検討

3次元データを用いることにより、道路に関する情報を3次元空間内に蓄積し参照する情報システムに展開できる。情報システムは、3次元データの計測による「情報の収集」、ノイズ除去の「処理」、複数の計測機器データの組み合わせによる「伝達」、業務での「利用」というプロセスが実施され、3次元空間の任意の箇所に属性情報を関連付けて管理できる。3次元データを用いた情報システムを図10に提案する。

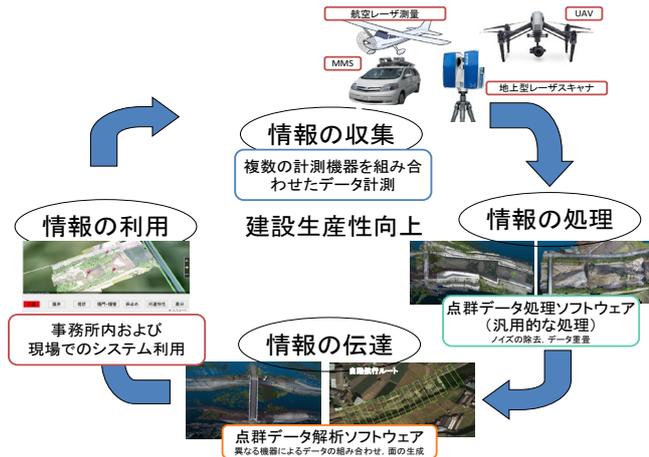


図10 情報システムの考察

・情報の収集

本研究における情報収集は、小型レーザスキャナとビデオカメラを用いたデータ計測による。

・情報の処理

計測した3次元点群データには、道路上の不要な移動体や周辺の樹木、植生等のノイズが含まれるため、これらを除去する。また、機器を移動して複数回計測するため、特徴点を基準にこれらの計測データを重ね合わせる処理もある。

・情報の伝達

計測機器を用いた3次元データ計測は、計測時間、範囲、測距精度と点密度などの特性が異なるため、これらを組み合わせて利用することにより、広域かつ高精度な3次元データを構築できる。また、利用目的に応じて、点群データから構造部材を抽出することや面を生成することができる。

・情報の利用

情報システムでは、点群データからの亀裂等の把握、現場で撮影した写真の重ね合わせ等の機能を提案する。点群データに係わる国土交通省の規程類には点群データの網羅性が定められていないが、本研究では品質として形状を目視で確認できる網羅性を提案する。3次元データの利用には、道路の表現精度は高くなるが、膨大なデータ量を処理する工夫が必要である。

本研究の3次元データは、道路空間のうち舗装面では、(C)点検結果の可視化による維持管理の効率化、(D)損傷箇所とその度合いの可視化、(E)点検と損傷の情報の一元管理の場面で利用できる。また、道路空間の構造物では直方体や円柱で部材の形状を表現するレベルと外形形状を正確に表現するレベルで利用し、図面が存在しない構造物の外形形状を表現できれば、同じく(C)、(D)、(E)の場面で活用できると考える。

4. 今後の課題

(1) 3次元道路空間データ生成に関する課題

カメラ計測による3次元点群データでは、点密度の高い3次元点群データを一定の精度で生成するためには、地物の特徴点を捉えきれないことや、処理画像をすべてアライメントできない等

の課題が残った。計測時に車両とすれ違ったため、処理画像の連続性が途切れてしまったことが原因である。また、処理画像がすべてアライメントできない原因は、処理枚数が多くなるほど特徴点が増え、特徴点を重ね併せることができていないためと考える。

今後の課題は、カメラ計測による3次元点群データと小型レーザスキャナによる3次元点群データの融合による3次元データの構築である。両者の計測結果を組み合わせることで効率的に広範囲かつ高精度な3次元データを構築する方法を検討する。また、可搬型計測機器では、小型レーザスキャナやカメラを搭載して、SLAM (Simultaneous Localization and Mapping) と SfM を用いて自己位置を推定しながら対象物の3次元データを計測する。SLAM を用いて、3次元データを構築する技術を開発することが必要である。そして、道路空間において、3次元データを用いた情報システムを開発したいと考えている。

(2) 品質評価に関する課題

カメラ計測による3次元点群データの完全性の結果を地物別に分析すると、電柱と標識については、洩れが少なく3次元データを生成することができた。また、並木と信号については、地物全体を生成する精度には至らなかった。その原因として、並木と信号は、電柱や標識と比べると形状が複雑であり、特徴点を捉えきれなかったためと考える。今後は、対象地物すべての過剰と洩れの判断基準を設定し、完全性を検証することが必要である。また、過剰と洩れの判断基準として、対象地物の網羅性を基準に定義することが考えられる。網羅性においては、90%を超える精度で3次元点群データを生成できた。今後の展開としては、メッシュを細かくし、より精緻な精度を求めることである。完全性と網羅性は3次元点群データの生成度合に関係しているため、3次元点群データが欠損する原因がわかり、その問題を解決できればさらに高い精度で検証結果を得られる。位置正確度においては、車道の計測を行うときに車両をよけるために道路の端を歩く必要があるため、片側ずつの3次元点群データの生成しか行えない。これは、データ計測を低速で行う等の計測方法の工夫へのフィードバックが必要である。