

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011～2013

課題番号：23710180

研究課題名(和文) 3次元レーザ計測に基づく大規模環境高度診断技術の開発

研究課題名(英文) Advanced Diagnosis of Large Environment based on 3D Laser Scanning

研究代表者

溝口 知広 (MIZOGUCHI, Tomohiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号：30547831

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円、(間接経費) 1,050,000円

研究成果の概要(和文)：近年、3次元レーザ計測機の急速な性能向上に伴い、その利用範囲が従来の小型オブジェクトから、プラント、建築、土木、森林といった大規模環境計測へと拡大している。本研究では、保守点検コストの高いコンクリート製インフラ構造物、環境問題を考える上で重要な森林を対象とし、その3次元レーザ計測データから、申請者がこれまで研究を行ってきた機械系CADの分野に蓄積されている高度なデータ処理技術を応用し、コンクリート製インフラ構造物の定量的劣化診断、CO2吸収量診断のための森林バイオマス全自動推定を、短期間・低コストで高精度に実現する技術の開発を目的とする。

研究成果の概要(英文)：As the performance of terrestrial laser scanner improves, it has been widely used in many fields, such as industrial plant, civil engineering, and forest management. In this work, we focus on concrete infrastructure which need high cost for their monitoring and maintenance, and forest which is the most important target in considering an environmental problem. We developed the new method for quantitatively evaluating level of damage of concrete bridges caused by scaling based on terrestrial laser scanning. We also developed the several techniques, such as scan segmentation, trunk extraction, and ground surface estimation, which are required in biomass estimation of forest from its scans.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：社会・安全システム科学 社会システム工学・安全システム

キーワード：社会工学 レーザ計測 コンクリート構造物 森林バイオマス

1. 研究開始当初の背景

地上型レーザスキャナの急速な性能向上に伴い、危険で立ち入ることが困難な場所であっても、数百メートル程度の遠距離から数ミリ程度の誤差で高精度に、対象物の3次元データが取得可能となった。このスキャナは、人工物および自然物の既存状態を正確に把握する目的で、産業プラント、建築、土木、森林など、様々な分野での利用されるようになった。しかしながら取得した大規模点群を対象とした研究はこれまであまり進んでおらず、実業務で利用可能な点群処理技術が不足しているのが現状である。

2. 研究の目的

そこで本研究では、地上型レーザスキャナにより取得した大規模点群データを実業務で有効活用することを目的とし、以下の2つの技術の開発を行った。

- (1)コンクリート製の道路橋を対象とし、スケーリングによる構造物表面の剥離・剥落を定量的に評価可能な技術
- (2)森林バイオマスの高精度推定に不可欠なセグメンテーション技術、対話的な樹幹検出技術、及び胸高直径算出技術

3. 研究の方法

(1)コンクリート構造物の竣工時から現在までの合計スケーリング深さを推定するためには、竣工時の構造物表面形状を推定する必要がある。スケーリングは構造物全体というよりも、水掛り部でのみ局所的に発生する。そのため竣工時の構造物表面が残っている箇所も存在する。このような箇所では、その計測データ表面が滑らかであることが容易に判断できる。

この事実に基づき本手法では、領域成長法を利用し、竣工時の構造物表面形状を高い信頼性のもとで推定可能な技術の開発を行った。本手法の概要を図1に示す。本手法ではまず、スケーリングが進行していない箇所にユーザが対話的にシード点を指定する。その後、曲面フィッティングと境域拡大を反復的に自動で繰り返すことで、結果としてスケーリング発生以前の表面形状が推定できる。

これにより、推定表面形状と計測点群との比較から、構造物の竣工時から現在までの合計剥離深さの評価を実現した。また現地で精密調査した結果と本手法による結果との比較を行った。

一方、スケーリング深さの経年変化を高精度に評価するためには、2時期計測点群を高精度に整列させることが不可欠である。そこでよく知られた計測点群ペアの整列法であるICP法に特徴サンプリングを組み合わせた新しい整列技術を開発した。

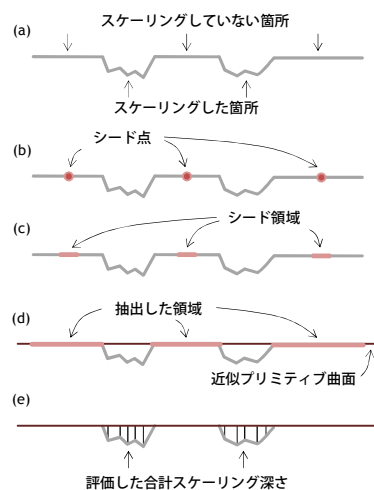


図1 合計スケーリング深さ評価手法の概要

提案手法の概要を図2に示す。本手法ではまず、各計測点の近傍点集合に対する主成分分析により、形状の凹凸を示す特徴量を算出する。次にこの特徴量を利用して、形状が大きく湾曲した領域から多くの点を、逆に平らな箇所からは少ない数の点をサンプリングする。最後に、このサンプリング点をICP法に利用し、2時期計測点群の整列を行う。

提案手法では、道路橋脚等に多く見られる、平面領域が多い形状に対しても、既存手法と比べて高精度な整列が可能となった。これにより、剥離深さの経年変化の高精度評価を実現した。この技術についても、実道路橋に対する様々な実験より、その有効性を検証した。

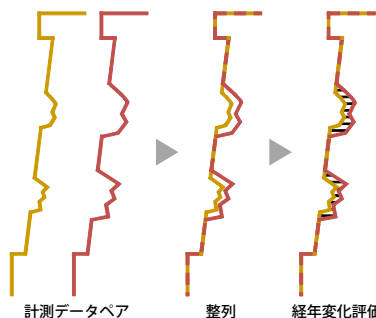


図2 スケーリング経年変化評価手法の概要

(2)地上レーザ計測に基づく森林バイオマスの高精度推定を目的とし、これに必要不可欠な、局所点密度評価に基づく計測点群のセグメンテーション技術、ユーザ操作に基づく樹幹検出技術、及び胸高直径算出技術を開発した。

森林バイオマス推定のためには、まず森林内に存在する数百本程度の樹木を1つ残らず独立に抽出することが必要となる。ただし森林計測点群はその点数が数億から数十億にもなるほど膨大であり、これを効率的に処理することが課題となる。そこで本研究では、

計測点群中の樹木がおおよそ+z 方向に伸びると仮定し、点群を xy 平面上にまず投影する。次に投影平面を 1 辺が 10cm のピクセルに分割し、各ピクセル内の点数を数え、点密度画像を作成する。樹木が存在するピクセルでは、存在しないピクセルと比べその点数が大きくなる。そこで点密度画像にラプラシアンスムージングを複数回適用した後、点数が局所最大となるピクセルを抽出する。その後各計測点を、その距離が最も小さい局所最大ピクセルへ統合するよう、点群のクラスタリングを行う。これにより、各クラスタ内の点群をそれぞれ 1 本の樹木に相当する点群として全自動でセグメンテーションできる。概要を図 3 に示す。

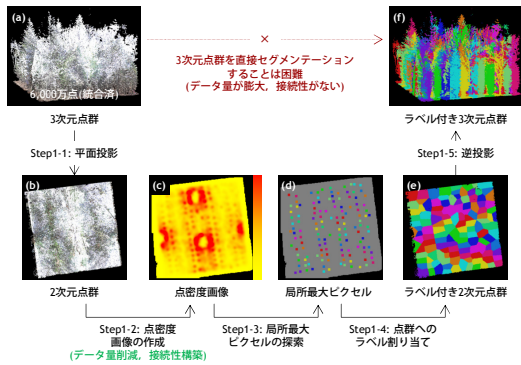


図 3 セグメンテーション手法の概要

一方で、計測点群を円筒座標展開に基づき距離画像へ変換すると、3 次元点群の状態では把握が困難であった、計測地点近辺の樹木が容易に視覚的に認識できる。本研究では、この距離画像中の各樹幹をなぞるようにユーザが対話的に線分を入力することで、対応する樹幹点群が抽出可能なシステムを開発した。概要を図 4 に示す。

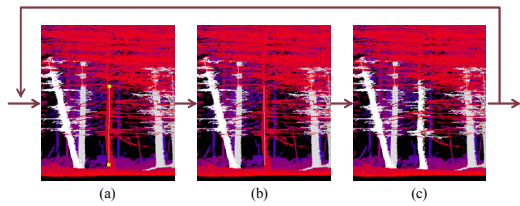


図 4 対話的な樹幹検出手法の概要

さらに、バイオマス推定に不可欠な胸高直径を算出可能な技術を開発した。概要を図 5 に示す。ここではまず、上述の手法で得られる各樹木、各樹幹の点群のうち、一般的に対象とされる地上から 130cm の高さの点群を入力とし、円弧当てはめに基づいた RANSAC 法により、枝葉に該当する点群を除外し、幹部点群のみを抽出する。その後この幹部点群に対して円筒モデルを最小自乗法で当てはめ、その直径を胸高直径として算出する。

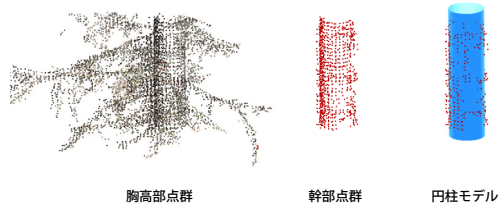


図 5 胸高直径算出手法の概要

以上の技術について、実際の森林内にて取得したデータに基づく様々な実験より、その有効性を検証した。

4. 研究成果

図 6 に、本技術による合計スケーリング深さの評価結果の一例を示す。指定したシード点の周辺の小さなシード領域が拡大され、設計時に 1 つの平面として定義され、なおかつスケーリングが発生していない箇所(point cloud)が適切に抽出できていることがわかる。また定量的かつ直感的な評価が実現できていることもわかる。現地での精密調査結果との比較より、本技術では、約 2 ミリ程度の誤差で高精度に評価できることを確認済みである。

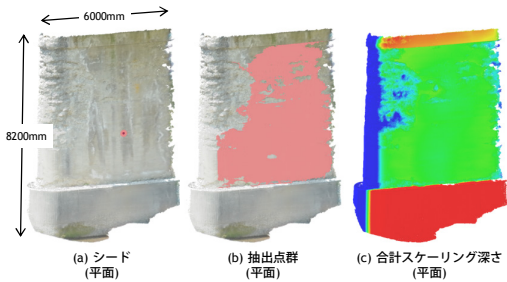


図 6 スケーリングの合計深さ評価結果

図 7 には、スケーリング深さの経年変化を評価した結果を示す。同時に撮影した高解像度写真との比較により、変化箇所がほぼ一致しており、結果の妥当性が証明できている。精度的には、2~3 ミリ程度の誤差で評価可能であることを実験より示している。さらにはスケーリングの過程で進行するコンクリート表面のわずかな浮きも検出できることを確認済みである。

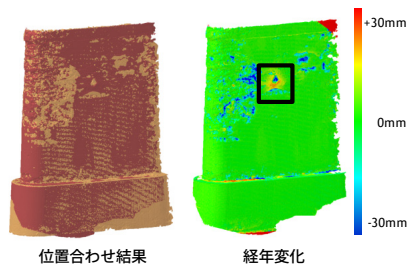


図 7 スケーリング深さの経年変化評価結果

図 8(上)には、本手法によるセグメンテーション結果の例を示す。このデータには、136本の樹木が存在することを目視で確認している。一方で提案手法では、合計132個のセグメントが抽出された。そのうち100個では図 8(下)に示すように、1本ずつ樹木の幹部分が含まれており、セグメンテーションに成功した。残りの32個では、①樹木同士が非常に近い距離にある場合に、1つのセグメントに2本、または3本の樹木が含まれていたり、逆に、②幹部分が含まれず枝葉のみしか抽出できていない場合もあった。既存手法では、同程度の規模の点群セグメンテーションに、数十分から数時間程度の計算時間が必要になると考えられるが、本手法による計算時間は114秒であり、効率的に処理が行えていることが確認できた。

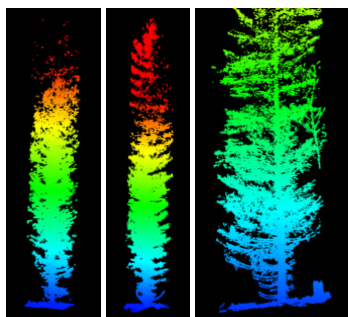
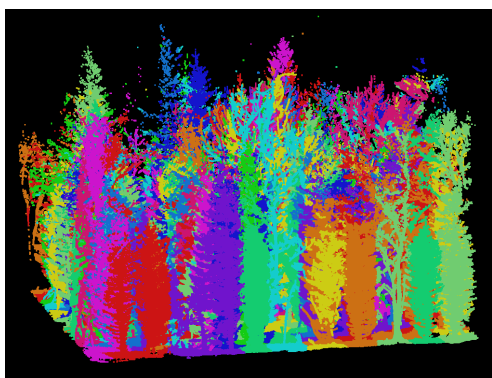


図 8 セグメンテーション結果

図 9 に、森林計測点群からの樹幹検出結果の一例を示す。この例では合計で255本分の樹幹が抽出できた。一方で、距離画像上の樹木本数を目視で数えたところ299本であり、樹幹抽出率は85.3%であった。操作時間は1本当たり3秒から5秒程度であった。抽出に要した時間は、画像の拡大縮小や平行移動等の処理、及び抽出結果の途中確認等も含めると、おおよそ90分であった。計測地点から水平距離で20m以内にある樹木に対しては、95%程度の高い検出率を達成した。抽出に失敗する場合として、主に計測地点から遠くにある樹木では、樹幹が手前の樹木や枝等に遮蔽され、視覚的に確認できる部分がおおよそ半分以下である場合があり、その場合には抽出が困難であった。

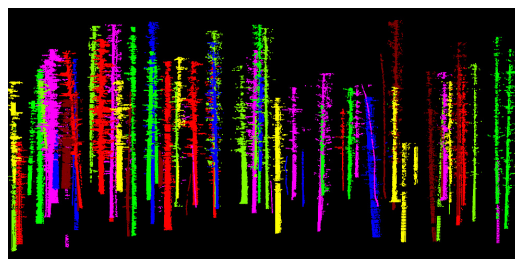


図 9 森林計測点群からの樹幹検出結果

さらに、100本の樹木のデータに対する幹部点群抽出及び円柱当てはめ結果を目視で確認したところ、87本で妥当な当てはめ結果が得られ、胸高直径も1, 2cm程度の誤差で算出できることが確認できた。それ以外の13本では、幹部点群が適切に抽出できない場合や、点群が抽出できても円柱当てはめが高精度に行えない場合があった。計算時間はトータルで151秒であった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Tomohiro Mizoguchi, Yasuhiro Koda, Ichiro Iwaki, Hiroyuki Wakabayashi, Yoshikazu Kobayashi, Yasuhiko Hara, Kenji Shirai and Hwa-Soo Lee, “Quantitative scaling evaluation of concrete structures based on terrestrial laser scanning,” *Automation in Construction*, Volume 35, pp.263-274, 2013. (査読あり)
- ② 溝口知広, 小林義和, 白井健二, 若林裕之, 原靖彦, 子田康弘, 岩城一郎, 李和樹, 「地上型レーザスキャナを用いた森林バイオマス推定のための樹木パラメータの全自動推定手法」, *日本大学工学部紀要*, 54巻, 2号, pp.45-50, 2013年. (査読あり)
- ③ Tomohiro Mizoguchi, Tomokazu Kuma, Yoshikazu Kobayashi, and Kenji Shirai, “Manhattan-World Assumption for As-Built Modeling Industrial Plant,” *Key Engineering Materials (Proc. ICPE2012)*, Vol. 523-524, pp. 350-355, 2012. (査読あり)

[学会発表] (計13件)

- ① Tomohiro Mizoguchi and Yoshikazu Kobayashi, “Interactive Trunk Extraction from Forest Point Cloud,” *Proc. ISPRS Technical Commission V Symposium*, accepted, 2014 June, Riva del Garda, Italy.
- ② 黒須理, 溝口知広, 小林義和, 「地上型レーザスキャナによる森林計測点群からの枝・幹の特定と評価」, 平成25年度第5回情報処理学会東北支部研究会, 2014年1月31日, 郡山.

- ③ 渡邊慧, 溝口知広, 小林義和, 「地上型レーザ計測に基づく森林地形点群の抽出」, 平成 25 年度第 5 回情報処理学会東北支部研究会, 2014 年 1 月 31 日, 郡山.
- ④ Tomohiro Mizoguchi, Yasuhiro Koda, Ichiro Iwaki, Hiroyuki Wakabayashi, and Yoshikazu Kobayashi, "Precise Scan Alignment for Quantitative Scaling Evaluation of Concrete Structures," Proc. 1st International Conference on Civil and Building Engineering Informatics, pp.39-45, 2013 November, Tokyo, Japan.
- ⑤ 溝口知広, 「地上型レーザスキャナを用いた実道路橋におけるスケーリングの定量的評価」, 精密工学会春季大会シンポジウム, 2013 年 3 月 13-15 日, 東京, 招待講演.
- ⑥ Tomohiro Mizoguchi, Tomokazu Kuma, Yoshikazu Kobayashi, Kenji Shirai, "Manhattan-World Assumption for As-Built Modeling Industrial Plant," Proc. International Conference on Precision Engineering, 2012 November, Awajishima, Japan.
- ⑦ 溝口知広, 子田康弘, 岩城一郎, 若林裕之, 小林義和, 白井健二, 原靖彦, 李和樹, 「地上型レーザスキャナを用いた実道路橋におけるスケーリングの定量的評価」, 第 37 回土木情報学シンポジウム, pp.61-64, 2012 年 9 月 25-26 日, 東京.
- ⑧ 溝口知広, 子田康弘, 岩城一郎, 若林裕之, 小林義和, 白井健二, 原靖彦, 李和樹, 「地上型レーザスキャナを用いたコンクリート構造物のスケーリング定量的評価」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, D78, 2012 年 9 月 13-17 日, 北九州.
- ⑨ 溝口知広, 小林義和, 白井健二, 「地上型レーザスキャナによる森林バイオマス推定」, 精密工学会北海道支部学術講演会, pp.37-38, 2012 年 9 月 1 日, 室蘭.
- ⑩ 熊友和, 溝口知広, 小林義和, 白井健二, 「マンハッタン仮説を用いたプラント計測データからの配管認識」, 計測自動制御学会東北支部第 268 回研究集会, 268-14, 2011 年 11 月 26 日, 郡山.
- ⑪ 生田目貴徳, 溝口知広, 小林義和, 白井健二, 「マンハッタンワールド仮説を用いたアズビルドモデリング」, 精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, F06, 2011 年 9 月 20-22 日, 金沢.
- ⑫ 溝口知広, 子田康弘, 岩城一郎, 若林裕之, 「3 次元レーザ計測に基づくコンクリート構造物のスケーリング評価」, 日本リモートセンシング学会第 50 回 (平成 23 年度春季) 学術講演会論文集, pp.7-8, 2011 年 5 月 26-27 日, 東京.
- ⑬ 溝口知広, 子田康弘, 若林裕之, 岩城一郎, 「3 次元レーザスキャナを用いた実 RC 部材のスケーリング計測手法の考

案」, 第 65 回セメント技術大会, pp.198-199, 2011 年 5 月 18-20 日, 東京.

[その他]

ホームページ:

<http://kenkyu-web.cin.nihon-u.ac.jp/Profiles/80/007914/profile.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

溝口 知広 (MIZOGUCHI, Tomohiro)

日本大学・工学部・准教授

研究者番号: 30547831