

(21) 距離画像センサを用いた構造物の経年変化の検出に関する研究

Research on Detection of Long-term Changes in Structures with Range Image Sensor

北川悦司¹・田中成典²・塚田義典³・安彦智史⁴・若林克磨³

Kitagawa Etsuji, Tanaka Shigenori, Tsukada Yoshinori, Abiko Satoshi, and Wakabayashi Katsuma

抄録：近年、国土交通省の推進によって、道路や橋梁などの構造物におけるアセットマネジメントが実施されている。アセットマネジメントでは、構造物の腐食や塗装剥げ、及び、ひずみや変形などの経年変化をいち早く把握し、最も費用対効果の高い修繕計画を策定することが必要となる。しかし、経年変化の把握は、検査員が目視で行うため、手間が掛かる。そこで、本研究では、まず、距離画像センサから取得した時刻 t と t' の画像と距離画像における構造物を位置合わせする。次に、構造物の色情報と 3 次元情報を比較することで、構造物の色情報と 3 次元情報の経年変化を同時に検出するシステムを開発する。最後に、実証実験を行い、その有用性を確認する。

キーワード：距離画像センサ、画像比較、距離画像比較、アセットマネジメント

Keywords : Range image sensor, Image comparison, Range image comparison, Asset management

1. はじめに

近年、国土交通省の推進¹⁾によって、道路や橋梁などの構造物におけるアセットマネジメントが実施されている。アセットマネジメントでは、構造物の腐食や塗装剥げ、及び、ひずみや変形などの経年変化をいち早く把握し、最も費用対効果の高い修繕計画を策定することが必要²⁾となる。しかし、経年変化の把握は、検査員が目視で行うため、手間が掛かる。そのため、時刻 t と t' における構造物の色情報や 3 次元情報を比較することで、構造物の経年変化を検出するシステムが求められている。

構造物の色情報や 3 次元情報の経年変化を検出するには、デジタルカメラやレーザプロファイラから取得した時刻 t と t' における構造物の色情報や 3 次元情報を比較することが考えられる。しかし、デジタルカメラを用いる場合、ひずみや変形などの構造物の 3 次元情報の経年変化を検出できない問題がある。また、レーザプロファイラを用いる場合、腐食や塗装剥げなどの構造物の色情報の経年変化を検出できない問題がある。

これらの問題を解決するために、本研究では、距離画像センサから取得した時刻 t と t' における構造物の色情報や 3 次元情報を比較することで、構造物の色情報と 3 次元情報の経年変化を同時に検出するシステムを開発する。距離画像センサとは、デジタルカメラとレーザプロファイラの特性を兼ね備えた新しいデバイ

スである。距離画像センサを用いることで、被写体の色情報と 3 次元情報を画像と距離画像として同時に取得できる。

本システムの開発には、四つの問題がある。一つ目は、画像間における構造物の位置合わせである。撮影位置や角度の影響によって時刻 t と t' の画像間における構造物の位置が一致しない場合、構造物の色情報を正しく比較できない問題がある。関連研究としては、時刻 t における画像上の物体の位置を徐々に変化させ、時刻 t' における画像上の物体の位置と最も一致する位置を求めることで位置合わせする手法³⁾がある。しかし、この手法では、時刻 t と t' における物体の色情報に大きな変化が存在する場合、正しく位置合わせできない問題がある。そこで、画像間の対応点から位置合わせする手法⁴⁾がある。しかし、この手法では、位置合わせの対象が平面であることを前提としている。そのため、構造物のような複数の面から構成される立体を対象とする場合、正しく位置合わせできない問題がある。二つ目は、構造物の色情報の比較である。関連研究としては、2 枚の画像上から物体の色相や色彩を検出し、それらを比較する手法⁵⁾、輝度値を検出し、それを比較する手法⁶⁾やエッジを検出し、それを比較する手法⁷⁾がある。これらの手法によって、時刻 t と t' における構造物の腐食や塗装剥げを検出できる。そして、それらを比較することで、構造物の色情報の経年変化を検出できる。三つ目は、距離画像間における構造物の位置合わせである。撮影位置や角度の影響によ

1 : 正会員 情博 阪南大学 准教授 経営情報学部

(〒580-8502 大阪府松原市天美東5丁目4番33号, Tel :072-332-1224, E-mail : kitagawa@hannan-u.ac.jp)

2 : 正会員 工博 関西大学 教授 総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

3 : 非会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

4 : 学生会員 関西大学大学院 総合情報学研究科 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2丁目1番1号)

って時刻 t と t' の距離画像間における構造物の位置が一致しない場合、構造物の 3 次元情報を正しく比較できない問題がある。関連研究としては、時刻 t における距離画像上の物体の位置を徐々に変化させ、時刻 t' における距離画像上の物体の位置と最も一致する位置を求めることで位置合わせする手法⁹⁾がある。しかし、この手法では、時刻 t と t' における物体の 3 次元情報に大きな変化が存在する場合、正しく位置合わせできない問題がある。そこで、距離画像間の対応点から位置合わせする手法⁹⁾がある。この手法によって、時刻 t と t' における構造物の 3 次元情報に大きな変化が存在する場合でも、正しく位置合わせできる。四つ目は、構造物の 3 次元情報の比較である。関連研究としては、時刻 t と t' における物体を構成する 3 次元空間上の点、線や面の位置や角度を比較する手法^{10), 11)}がある。しかし、これらの手法では、物体を構成する全ての点、線や面の位置や角度を比較する必要があるため、計算量が膨大となる問題がある。

上記から、画像間における構造物の位置合わせ、及び、構造物の 3 次元情報の比較に関しては、既存手法による実現が困難である。そこで、本研究では、距離画像センサを用いて構造物の色情報と 3 次元情報の経年変化を同時に検出するシステムを実現するために、以下の問題を解決する。

- 画像間における構造物の位置合わせ
- 構造物の 3 次元情報の比較

前者の問題に対しては、画像間における対応点と構造物を構成する面間の境界線を用いて、画像上の構造物を構成する面を抽出する。そして、抽出した面ごとに位置合わせすることで、画像間における構造物の位置合わせ手法を提案する。後者の問題に対しては、まず、時刻 t と t' における距離画像間の距離値の差分を求めることで、構造物の 3 次元情報の経年変化が発生した箇所を検出する。構造物の 3 次元情報を 3 次元空間上ではなく、距離画像上で比較することで、既存手法^{10), 11)}よりも少ない計算量での 3 次元情報の比較を実現する。次に、距離画像センサの焦点距離と距離画像におけるピクセル間の実距離を用いて、距離画像上の 3 次元情報を 3 次元空間上に投影することで、構造物の 3 次元情報の定量的な比較手法を提案する。

2. 研究の概要

本研究では、距離画像センサを用いて構造物の色情報と 3 次元情報の経年変化を同時に検出するシステムを開発する。本システムの概要を図-1 に示す。本システムは、色情報の経年変化の検出機能と 3 次元情報

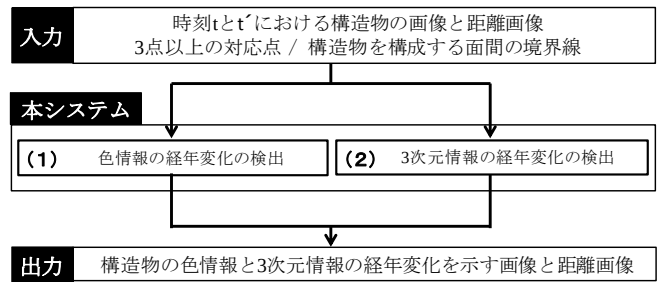


図-1 本システムの概要

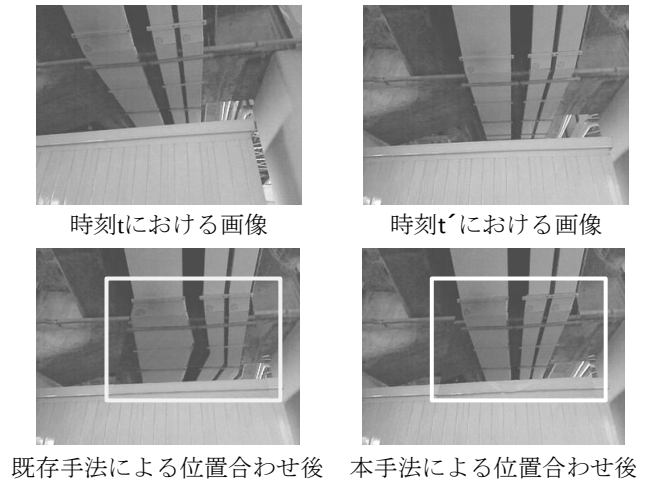


図-2 画像間における構造物の位置合わせ例

の経年変化の検出機能から構成される。入力データは、距離画像センサから取得した時刻 t と t' における構造物の画像と距離画像、画像間と距離画像間における 3 点以上の対応点と構造物を構成する面間の境界線とする。出力データは、構造物の色情報の経年変化を示す画像と 3 次元情報の経年変化を示す距離画像とする。

（1）色情報の経年変化の検出機能

本機能では、時刻 t と t' の画像間における構造物の位置合わせと色情報の比較を行うことで、構造物の色情報の経年変化を検出する。既存手法⁴⁾では、位置合わせの対象が平面であることを前提としている。そのため、構造物のような複数の面から構成される立体を対象とする場合、正しく位置合わせできない問題がある。そこで、本研究では、まず、入力データである画像間における対応点を基にドロネー分割¹²⁾を行い、TIN(Triangulated Irregular Network)を発生させる。次に、入力データである構造物を構成する面間の境界線と TIN の交点を基に TIN を再発生させる。これによって、画像上の構造物を構成する面を抽出する。さらに、画像間の対応する TIN と TIN を構成する 3 点を基に射影変換を行うことで、画像上の構造物を構成する面ごとに位置合わせする。これによって、時刻 t と t' の画像間における構造物の位置合わせを実現する。画像間における構造物の位置合わせ例を図-2 に示す。最後に、

既存手法⁵⁾を用いて、画像間における構造物の色情報を比較することで、構造物の色情報の経年変化を示す画像を出力する。

(2) 3次元情報の経年変化の検出機能

本機能では、時刻 t と t' の距離画像間における構造物の位置合わせと 3 次元情報の比較を行うことで、構造物の 3 次元情報の経年変化を検出する。既存手法^{10), 11)}では、物体を構成する全ての点、線や面の位置や角度を比較する必要があるため、計算量が膨大となる問題がある。そこで、本研究では、まず、既存手法⁹⁾を用いて、入力データである距離画像間における対応点を基に時刻 t と t' の距離画像間における構造物を位置合わせする。次に、距離画像間の距離値の差分を求めることで、構造物の 3 次元情報の経年変化が生じた箇所を検出する。構造物の 3 次元情報を 3 次元空間上ではなく、距離画像上で比較することで、既存手法^{10), 11)}よりも少ない計算量での 3 次元情報の比較を実現する。3 次元情報の経年変化の検出例を図-3 に示す。最後に、距離画像センサの焦点距離と距離画像におけるピクセル間の実距離を用いて、経年変化が生じた箇所の 3 次元情報を 3 次元空間上に投影する。距離画像は、距離画像上の位置を示す x と y と距離画像センサから被写体までの実距離を示す z から構成される。そのため、距離画像上における被写体の長さを実尺度で計測できない問題がある。そこで、3 次元情報を 3 次元空間上に投影し、距離画像上の位置を示す x と y を実距離を示す x' と y' に変換する。これによって、実尺度で計測可能な構造物の 3 次元情報の経年変化を示す距離画像を出力する。

3. システムの実証実験

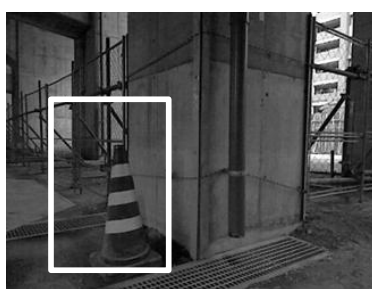
実証実験では、距離画像センサから取得した様々な構造物の画像や距離画像を用いて、画像間における構造物の位置合わせ精度と構造物の 3 次元情報の比較精度を検証することで、本手法の有用性を確認する。

(1) 実験内容

本手法の有用性を確認するために、Microsoft 社が提供する Kinect¹³⁾ から取得した構造物の画像と距離画像を用いて、システムの実証実験を行う。実験では、画像間における構造物の位置合わせ精度と構造物の 3 次元情報の比較精度を検証する。前者では、距離画像センサから取得した全 30 セットの時刻 t と t' における構造物の画像を用いて、画像間における構造物の位置合わせ精度を検証する。位置合わせができたかは以下の手順で確認する。まず、位置合わせする 2 枚の画像上の構造物に同一箇所を示す 10 個のマーカを配置する。次に、画像間における構造物を位置合わせする。そして、位置合わせした画像と位置合わせの基準とした画像において対応するマーカ間の画像上の距離を計測する。最後に、10 個のマーカ間の平均距離が目視で位置が一致していると認識できる 10 ピクセル以内であれば位置合わせ成功とする。後者では、距離画像センサから取得した全 30 セットの距離画像に対して、構造物の 3 次元情報の経年変化の検出精度を目視で検証する。そして、経年変化を正しく検出できた全 24 セットに対して、経年変化が発生した箇所における任意の 2 点を選択し、2 点間の距離と実際にその箇所を計測した距離を比較する。本研究では、2 点間の距離と実際にそ



時刻 t における距離画像



時刻 t' における距離画像



3次元情報の経年変化



時刻 t における距離画像



時刻 t' における距離画像



3次元情報の経年変化

図-3 3次元情報の経年変化の検出例

の箇所を計測した距離の差が Kinect から取得する距離値に含まれる平均誤差 5cm 以内であるものを計測成功とする。

（２）結果と考察

画像間における構造物の位置合わせの実験結果を表－１に示す。結果から、100%の精度で画像間における構造物を位置合わせできることがわかる。しかし、構造物が複数の面から構成される場合、全ての面間の境界線を入力する必要があるため、手間が掛かる問題がある。この解決策としては、3 次元情報から構造物を構成する面間の境界線を検出することが考えられる。3 次元情報の経年変化の検出の実験結果を表－２に示す。結果から、80%の精度で構造物の 3 次元情報の経年変化を検出できることがわかる。しかし、次の二つの原因によって、撮影した構造物によっては、経年変化の一部を正しく検出できなかった。一つ目は、Kinect から取得する距離情報に 5cm 程度の誤差が存在したためである。二つ目は、太陽光の影響によって構造物の距離値を正しく取得できなかったためである。これらの解決策としては、距離画像センサで構造物を撮影する際に、複数の距離画像を取得しておき、それらを用いて誤差や欠損が少ない距離画像を生成することが考えられる。距離の計測の実験結果を表－３に示す。結果から、100%の精度で距離を計測できることがわかる。

表－１ 構造物の位置合わせの実験結果

	総データ数	成功数	成功率
本手法	30セット	30セット	100%

表－２ 3 次元情報の経年変化の検出の実験結果

	総データ数	成功数	成功率
本手法	30セット	24セット	80%

表－３ 距離の計測の実験結果

	総データ数	成功数	成功率
本手法	24枚	24枚	100%

４．おわりに

本研究では、距離画像センサから取得した時刻 t と t' の画像間における構造物の位置合わせ手法と構造物の 3 次元情報の比較手法を提案することで、構造物の色情報と 3 次元情報の経年変化を同時に検出するシステムを開発した。そして、実証実験を行い、その有用性を確認した。本システムでは、3 点以上の対応点と構造物を構成する面間の境界線を入力データとするため、構造物が複数の面から構成される場合、手間が掛かる問題がある。そこで、画像間における構造物の色情報を基に対応点を抽出する手法や距離画像上の 3 次

元情報を基に構造物を構成する面間の境界線を抽出する手法を考案することで、本システムの操作性の向上を目指す。さらに、距離画像センサから取得した複数の距離画像を結合することで、本システムの道路橋などの大規模な構造物への適用を目指す。

謝辞：本研究の一部は、2010 年から 2013 年度関西大学先端科学技術推進機構社会基盤情報学応用研究グループ（研究課題「社会基盤情報学に基づくメンテナンス技術開発」）から助成を受け、その成果を公表するものである。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1) 国土交通省：長寿命化修繕計画策定事業費補助制度、
<<http://www.amci-npo.jp/kokoushou-top.htm>>、（入手 2012. 7. 13）。

2) 小林潔司：予防保全型管理の重要性、土木学会誌、土木学会、Vol. 95, No. 12, pp. 14-17, 2010 年。

3) 上瀧剛，内村圭一：固有値分解テンプレートによる高精度な画像照合、電気学会論文誌、電気学会、Vol. 131-C, No. 1, pp. 237-238, 2011 年。

4) 北川悦司，田中成典，安彦智史，若林克磨，姜文淵：撮影環境に依存しない工事写真からの写真管理項目の抽出とその認識に関する研究、土木学会論文集、Vol. 67-F3, No. 2, pp. I_76-I_84, 2011 年。

5) 安彦智史，北川悦司，杉町敏之，田中成典，古田均，石河和喜：あいまい性を考慮した画像差分システムの研究開発、土木情報利用技術論文集、土木学会、Vol. 19, pp. 141-148, 2010 年。

6) 岩田健司，佐藤雄隆，尾崎竜史，坂上勝彦：統計的リーチ特徴法に基づくロバスト背景差分、電子情報通信学会論文誌、電子情報通信学会、Vol. J92-D, No. 8, pp. 1251-1259, 2009 年。

7) 吉田英司，三田誠一：輪郭上の点と重心で構成される三角形の面積、角度の分布を利用した物体の表現方法とその形状比較への応用について、電子情報通信学会論文誌、電子情報通信学会、No. J92-D, No. 9, pp. 1555-1567, 2009 年。

8) 日浦慎作，森谷貴行，佐藤宏介：入力画像と生成画像の差の最小化に基づく実時間運動追跡、情報処理学会論文誌、情報処理学会、Vol. 2-CVIM, No. 1, pp. 14-31, 2009 年。

9) 大石岳史，佐川立昌，中澤篤志，倉爪亮，池内克史：分散メモリシステムにおける大規模距離画像の並列同時位置合わせ手法、情報処理学会論文誌、情報処理学会、Vol. 46, No. 9, pp. 2369-2378, 2005 年。

10) 大淵竜太郎：3 次元形状の検索、映像情報メディア学会誌、映像情報メディア学会、Vol. 64, No. 7, pp. 967-972, 2010 年。

11) 栢場皓之，金子俊一，高氏秀則，戸田昌孝，久野耕嗣，菅沼孫之：三次元形状欠陥認識を指向したモデル形状評価型ロバスト点群照合法、電子情報通信学会論文誌、電子情報通信学会、Vol. 95-D, No. 1, pp. 97-110, 2012 年。

12) 高城貴光，齊藤文彦：群化要因に基づくドロネー分割を用いた視覚的連続曲線の認識、電気学会論文誌、電気学会、Vol. 131-C, No. 9, pp. 1616-1624, 2011 年。

13) Microsoft：Kinect、<<http://www.xbox.com/ja-JP/kinect/>>、（入手 2012. 7. 13）。