

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24760364

研究課題名(和文) 外観検査のための画像合成法の開発と評価

研究課題名(英文) An Automatic Image Stitching Method for Visual Inspection of Concrete Structures

研究代表者

藤田 悠介 (Fujita, Yusuke)

山口大学・医学(系)研究科(研究院)・准教授

研究者番号：40509527

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,700,000円、(間接経費) 810,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、コンクリート構造物の外観検査の効率化のために画像合成法を開発した。コンクリート表面の直線を利用したレンズ歪曲歪み補正法により、足場の悪い環境においてズームレンズを使用して取得した画像に対して歪み補正を自動化できることを確認した。また、視点の異なる画像を組合せた画像合成法により鋼材や金網などによる遮蔽領域を自動的に補間できることを確認した。さらに、全景画像に一部の拡大画像を組合せることにより、微細な損傷の可視性の高い合成画像を自動生成できることを確認した。

研究成果の概要(英文)：In this study, an image stitching method for effective visual inspection of the concrete structure is developed. At first, a self-calibration method using straight lines on concrete surfaces was proposed. Even if the focal distance of an image is different from that of other images, lens distortion are corrected automatically before image stitching. Further, images of multiple views are used for image stitching, to acquire a composite image having a supplemented dead angle region part. Thus, the dead angle area of an overview image is canceled and the operator can recognize the damages such as cracks with in the dead angle area of the overview image. After that, the contrasts of each pixel existing in the same position between the synthesized image data are compared with each other, to take out the pixel whose contrast is maximum and create an overview image data, to improve contrast the composite image.

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：構造工学・地震工学・維持管理工学

キーワード：画像処理 コンクリート構造物 維持管理 画像合成 ひび割れ

1. 研究開始当初の背景

20 世紀に建設された社会基盤としてのコンクリート建造物の多くは老朽化を迎えており、既存の建造物の延命化が課題となっている。既存のコンクリート建造物の外観検査では、建造物の耐震性や材料劣化の進展を推定する上で重要なひび割れなどの損傷を定量的に測ることが求められる。目視点検では、建造物の劣化を測るために、幅 0.2mm 以上のひび割れが点検の対象となる。これらを効率的に計測し、記録するためにデジタル画像を用いた点検法が開発されている。

画像処理によるひび割れの評価では、発生箇所を正確に記録し、劣化の状態を評価するために幅や長さなどを定量的に評価することが求められる。これにより、過去のデータと比較して経年変化を評価することが可能になる。経年変化の評価は、建造物の将来の劣化や危険度を予測するためにも重要である。

しかしながら、点検では幅 0.2 mm 程度のひび割れが対象となるため分解能の高い画像で記録する必要がある。点検の対象となる建造物は大きく、高分解能画像で撮影すれば一度の撮影範囲が限定されるため撮影範囲を分割して繰り返し撮影し、既存の画像合成ソフトウェアを利用して画像を繋ぎ合わせることが一般的であるが、撮影条件に制約がある、熟練技術やコストを要するなどの問題がある。さらには、点検を要する建造物の数は膨大であるため、簡易にかつ効率的に画像を合成するシステムが必要とされている。

レンズを使用するカメラで取得した画像には歪曲収差(歪み)が生じる。複数の画像により広域の画像を合成すれば、歪みが原因となり精度良く合成画像を得られない問題がある。この問題に対して、焦点距離が固定されたレンズを使用し、歪み量をキャリブレーションにより補正する技術が知られているが、ズームレンズにより対象に応じて倍率を調整する場合には適応できない。また、コンクリート建造物を撮影する際、検査路や樹木などにより遮蔽が生じる場合には、背景に位置する建造物の状態を記録するために視点を変えて撮影する必要がある。既存の自動パノラマ合成ソフトウェアでは一般的に同一視点からの画像を対象としているため、視差を含む画像には対応できない場合がある。

以上のように、コンクリート建造物の合成画像を容易に生成するためには、図面などの情報を用いない高精度な合成、ズームレンズの調整に適応できる収差歪曲補正、視差を含む画像によるロバストな位置合わせが可能な技術が必要である。

2. 研究の目的

本研究では、コンクリート建造物の点検の効率化のために、コンクリート表面を分割して撮影した画像データを用いて、点検の記録

や損傷の定量評価に用いる全景画像を自動合成するシステムを開発することを目的とする。このようなシステムの実現のために(1)ズームレンズを使用して撮影した画像のレンズ歪曲収差歪みを自動補正する方法の開発、(2)分割して撮影した画像の自動位置合わせ法の開発、(3)コンクリート表面の遮蔽を補間する合成法の開発、の三点を本研究の目標とした。また、実際の建造物を撮影した画像データを用いて評価実験を行う。

3. 研究の方法

(1) 画像のみによるレンズ歪曲収差補正法

ズームレンズを使用した撮影すると画像ごとに焦点距離が異なるため、画像それぞれに歪み補正パラメータを推定して画像を補正する必要がある。焦点距離が固定される場合は、事前に補正用パラメータを推定しておくことが可能であるが、ズームレンズを使用する場合には不可能である。

本研究では、画像上に見られる直線などの形状が既知であるものを基準として画像の歪曲収差補正パラメータを推定し、自動補正する方法を確立する。

(2) コンクリート表面画像の自動位置合わせ法

画像を合成するためには、各画像間の相対位置を求める必要がある。コンクリート建造物を撮影した画像には、例えば床板を対象とした場合に、鋼材や点検路が見られる。これらはコンクリート面に対して立体的な構造を持つため、視点を変えて撮影すると画像上で視差が生じる。また、コンクリート面には特異的な特徴をもつ点が多く見られないことや類似したテクスチャが多く見られる。本研究では、SIFT などの特徴点を用いる位置合わせ法と画像の誤差最小化に基づく位置合わせ法を適用し、二つの方法の有効性を検証する。また、検証結果にもとづき、コンクリート表面画像に有効な自動位置合わせ法を確立する。

撮影時には、撮影範囲を分割して連続的に撮影する他に、全景を撮影可能な場合には全景を撮影し、画像合成に全景画像を用いる方法も検証する。

(3) 画像合成法

コンクリート建造物を撮影した画像には、例えば、床板を対象とした場合には鋼材や点検路によりコンクリート面の遮蔽が生じる。画像を点検記録として残すには都合が悪い。視点の異なる画像を組合せて遮蔽領域を補間することにより遮蔽のないコンクリート表面の画像を生成することが可能である。本研究では、多視点から撮影した画像を組合せて遮蔽領域を補間する自動合成法を確立する。

4. 研究成果

(1) 画像のみによるレンズ歪曲収差補正法の成果

コンクリート構造物に見られる直線を基準としたレンズ歪曲収差歪みの自動補正法を開発した。歪曲収差歪みの補正モデルとして、

$$\begin{aligned}x_d &= (1 + \kappa_1 r^2 + \kappa_2 r^4)x_u \\y_d &= (1 + \kappa_1 r^2 + \kappa_2 r^4)y_u\end{aligned}$$

を用いた。 (x_d, y_d) は歪曲収差の影響がある画像上での位置、 (x_u, y_u) は歪曲収差の影響がない理想的な位置を表す。本研究では、歪み補正係数として κ_1 のみを推定し、歪み補正を行った。 κ_1 の推定には直線を検出する Hough 変換を用いた。一般的には、直線の角度 θ と原点から直線までの距離 ρ の二つのパラメータに投票することにより直線を検出する。本研究では、 θ と ρ に加えて、 κ_1 をパラメータとして投票することにより、画像上の直線の位置および歪みパラメータを同時に推定した。



図 1：提案法による歪み補正



図 2：Zhang 法による歪み補正

図 1 に直線を利用した歪み補正画像を、図 2 に従来の Zhang の手法による歪み補正画像を示す。この合成に用いた画像の焦点距離は、18~28mm である。足場が悪く、撮影ごとに被写体距離が異なるため焦点距離を調整して撮影している。Zhang の手法では、予め焦点距離別に補正パラメータを推定しておき、焦点距離を Exif データより取得して補正を行った。提案法では、画像上の直線により補正が可能のため補正パラメータを必要としないが、図のように従来法と同様に歪み補正が可能であることを確認した。

(2) コンクリート表面画像の自動位置合わせ法の成果

コンクリート表面を撮影した複数の画像を用いて、構造物の合成画像を自動生成する方法を開発した。実験には、高架橋の床板や橋脚を撮影した画像データを用いた。

本研究では、SIFT などの特徴点にもとづく位置合わせ法と画像の誤差最小化に基づく位置合わせ法を適用し、二つの方法の有効性を検証した。画像の誤差最小化に基づく方法では、画像の重なる割合が小さいこと、画像内に類似するパターンが繰り返し見られるこ

と、重なる領域が画像によって明るさやコントラストなどの見えが異なることが原因で成功率が低かった。

特徴点にもとづく方法では、SIFT を適用した。まず位置合わせの対象となる画像からそれぞれ特徴点を抽出し SIFT 特徴量を記述した。画像間で特徴量を用いて特徴点の対応づけを行った。対応付けされた特徴点群から画像間の相対位置を表す平面射影変換行列を推定した。本研究での対象はコンクリート平面であるため、平面射影変換モデルを適用している。また、特徴点の対応には誤対応や対応は正しいが立体的な構造部分における視差による位置ずれなどにより全ての対応を用いると推定誤差が大きくなる。そこで、ロバスト推定の RANSAC を適用した。これにより、誤対応や視差による位置ずれを含む対応から画像の相対位置推定を安定化できることを確認した。

また、特徴量の記述では、SIFT の他に SURF や ORB を用いた実験も行ったが、SIFT を用いたときに最も高い成功率が得られた。

(3) 画像合成法の成果

視点の異なる複数の画像の位置合わせを行い、合成時に周囲の画素値を比較して画素を選択することにより死角を補間する方法を開発した。例えば、床板の画像ではコンクリート面に対して鋼材が見られるため遮蔽が生じる。鋼材はコンクリート面に対して輝度が高いため輝度の低い画素を選択することによりコンクリート面の遮蔽部分を補間した画像を合成することが可能である。

図 3 に床板の画像の合成結果を示す。鋼材部分を除去した画像合成に成功していることが確認できた。図 4 に橋脚を撮影した動画



図 3：床板の死角補間画像



図 4：橋脚の死角補間画像

を用いて画像合成した結果を示す。橋脚の手前には金網が見られるが、撮影時に上下方向にカメラを移動させて撮影することにより、金網の背景にあるコンクリート面の画像を連続的に取得している。この動画像を用いてコンクリート面で位置合わせを行い、合成画像をすることにより、図4のように金網を除去した画像を合成できることを確認した。



図5：橋脚の元画像



図6：橋脚の合成画像

次に全域を撮影できる場合の合成結果例を図5, 6に示す。図5は橋脚全体を撮影した画像であり、図6はその一部を撮影した画像を合成して得られた画像である。全景の元画像(図5)では解像度が低く、また、影の部分では暗く、日照が強い部分では明るい、すなわち、局所的にコントラストが弱いため、ひび割れなどの損傷を画像上で計測あるいは評価することが困難である。合成画像(図6)では損傷箇所の解像度も高く、コントラストも高いため、損傷の評価が可能であり視認性の高い画像を得ることができた。全景を撮影できる場合には全体の形状を損なうことなく画像を自動合成することができるため、撮影および画像合成を省力化が可能であると考えられる。

以上のように、本研究では、コンクリート構造物の点検の効率化のために画像合成法を開発した。画像上の直線を利用したレンズ歪曲歪み補正法により、足場の悪い環境においてズームレンズを使用して取得した画像に対して歪み補正を自動化できることを確認した。また、視点の異なる画像を組合せた画像合成法により鋼材や金網などによる遮蔽領域を補間できることを確認した。さらに、全景画像と一部の拡大画像を組合せることにより、損傷の計測や評価が可能な合成画像を自動生成

できることを確認した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計2件)

- ① 和田 脩平, 藤田 悠介, 浜本 義彦, コンクリート構造物の外観検査のための画像合成法, 情報処理学会第76回全国大会, 情報処理学会第76回全国大会予稿集, 2, 355-356, 2014年3月11日~13日, 東京電機大学(足立区).
- ② 藤田 悠介, 中村 秀明, 浜本 義彦, 画像処理によるコンクリート構造物のひび割れ幅の分類, コンクリート工学年次論文集, Vol. 34, No. 1, pp. 1792-1797, 2012年7月4日~6日, 広島国際会議場(広島市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

藤田 悠介 (FUJITA YUSUKE)

山口大学大学院・医学系研究科・准教授

研究者番号：40509527