

# コンクリート構造物点検のためのデプスカメラベースのマーカ認識手法

北海道大学 ○奥野 洋朗, 金井 理, 伊達 宏昭

## 要 旨

コンクリート構造物の定期近接目視点検が義務化され、その作業効率向上が課題となっている。本研究では、拡張現実による効率的点検作業の支援技術を実現する要素技術として、コンクリート構造物表面を撮影中のカメラ位置・姿勢を実時間推定するマーカベースの3次元 Localization 手法を実現する。本報では、そこで必要となるデプスカメラを用いたマーカ認識手法を提案し、実験室内での認識性能を評価し報告する。

## 1. はじめに

近年、橋脚やトンネルといったコンクリート構造物の定期近接目視点検が義務化され[1]、その点検作業効率の向上が課題となっている。現在、点検作業者は、現地で点検箇所に対応した過去の記録を大量の資料中から探しだし、これらを参照しながら現況構造物がもつ損傷等の観察結果を野帳に記録する作業を強いられているため、IT を活用したその作業支援が望まれている。

そこで本研究では、図 1 のようなコンクリート構造物表面を作業者がカメラ等で撮影した画像データから、構造物に対するカメラの3次元位置・姿勢を推定する Localization 処理を行い、撮影個所に記録されたデータベース内の過去の点検データを検索し、画像上に点検データを重畳し、点検者に即座に提示する AR (拡張現実感) システムの開発を目標とする。

すでに建設現場での進捗度管理を目的に同様の AR システムが研究されているが[2]、この方法は屋外環境にありテクスチャに乏しいコンクリート構造物表面に対しては安定的に処理が行えない可能性が高い。

そこで本研究では市販のデプスカメラと、構造物への施工が容易な Random Dot Marker[3]を用い、本 AR システム構築の基礎となる、コンクリート構造物表面に対し、屋外でも安定的に動作するカメラの3次元 Localization 手法を考案する。本報では、カメラの3次元位置・姿勢推定に必要なランダムドット認識とドット ID 認識アルゴリズム、及び室内での認識実験結果について報告する。

## 2. 提案する Localization 手法

本研究で提案する Localization 手法の概要を図 1 に示す。

### (A0) ランダムドットデータ生成・登録

構造物の各平面上にランダムに配置すべきドット位置を生成し、その位置をデータベースに格納しておく。一方、実構造物の同一位置に小円柱をマーカとして施工時に貼り付けておく。

### (A1) RGB-D 画像からのランダムドット認識

コンクリート構造物表面を RGB-D カメラで撮影し、取得した点群内突起物(ドット)の中心をランダムドットとして認識する。

### (A2) ランダムドットの ID 推定

A1 で認識されたランダムドットと対応しているデータベース内のランダムドットの ID を LLAH[4]を用いて検索し、さらにホモグラフィ分解法[5]を用いて構造物表面に対するカメラの3次元位置・姿勢を推定する。

### (A3) カメラ Localization と重畳表示

撮影画像上に過去の点検データを重畳表示し、ユーザーに即座に提示する。

本報ではこのうち、A1 及び A2 のアルゴリズムを開発し、実装した。3.4 章にて詳細を述べる。

## 3. デプスカメラ画像からのランダムドット認識

デプスカメラから取得した構造物表面を計測した 3 次元点群から 2 値化画像を生成し、楕円フィッティングを行うことによりランダムドット中心点の認識を行う。

### 3.1 点群からのランダムドット認識

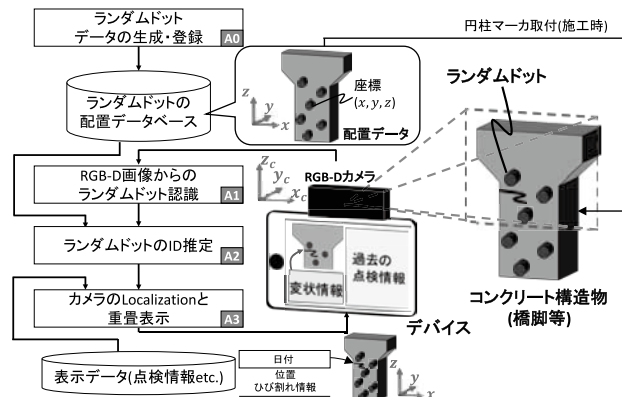


図 1 提案 Localization 手法概要

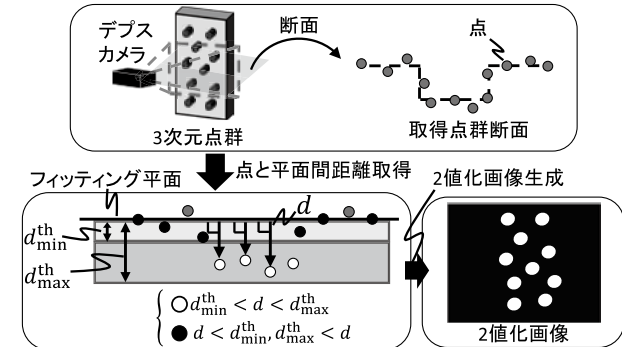


図 2 2 値化画像生成手法

- ① 平面フィッティング  
デプスカメラから取得した点群に対し、RANSAC で平面フィッティングを行い、その平面法線を取得する。
- ② 2 値化画像生成(図 2)  
①で取得したフィッティング平面と点群各点との平面法線方向の距離  $d$  を計算し、 $d$  が深さ閾値以内 ( $d_{\min}^{\text{th}} < d < d_{\max}^{\text{th}}$ ) であれば円柱マーカ部分であると判断し、対応するデプス画像と同一構造の画像の画素値を 1(白)に、そうでなければ画素値を 0(黒)とし、2 値化画像を生成する。
- ③ 楕円フィッティング  
OpenCV を用いて②で生成した 2 値化画像に対して輪郭抽出を行い、その輪郭にフィットする楕円を最小二乗推定を用いて計算し、楕円の中心座標と長・短半径を求める。
- ④ ランダムドット判定  
楕円の長半径  $r_{\text{major}}$  と短半径  $r_{\text{minor}}$  が、マーカ円柱形状で既定される範囲内 ( $r_{\min}^{\text{th}} < r_{\text{major}}, r_{\text{minor}} < r_{\max}^{\text{th}}$ ) であり、かつ楕円中心の 2 値化画像の画素値が 1 であれば、この中心点をドット位置と判定する。また、近接するドット間距離が閾値  $d_e$  以下であれば、誤認識ドットとして除去する。

## 4. ランダムドットの ID 推定

[3]の手法を用いて、各ドットとその周辺ドットの配置から特徴量を計算し、データベース内のドットとの対応付けを行い、ドット ID の推定を行う。

#### 4.1 ドット特徴量算出

- ① 近傍点選択(図 3①)  
特徴量を求める注目点 $p$ を1つ選択し、 $p$ 周辺の $n$ 個の近傍点を取得する。
- ② 選択点取得(図 3②)  
近傍点集合内からランダムに選択した $m$ 点の選択点集合内から、1点 $p_0$ をランダムに選択し、集合内の各点に時計回りに順序を与える。
- ③ 部分点列作成(図 3③)  
選択点集合から部分点4点を選択するすべての部分列を作成し、辞書式順列に並べる。
- ④ 特徴量算出(図 3④)  
各部分列 $i$ に対して、下式(1)を用い $i$ 内の部分点4点( $p_0, p_1, p_2, p_3$ )で作られる2つの三角形の面積比を $k$ レベルに離散化した $p$ の離散化特徴量 $r(i)$ を算出する。

$$r(i) = C_k \left( \frac{A(p_0, p_1, p_2)}{A(p_0, p_2, p_3)} \right) \quad (1)$$

$k$ : 離散化レベル数  
 $C_k 0$ :  $k$ レベルの離散化を与える関数  
 $A(a, b, c)$ :  $a, b, c$ を頂点とする三角形の面積

#### 4.2 ドット ID の登録

ランダムドットの生成時に、データベース内のドットをハッシュ表に予め以下の方法で登録しておく。図 4 のように注目点 $p$ の離散化特徴量 $r(i)$ を用いて、式(2)のハッシュ関数よりハッシュインデックス $H_{index}$ を算出し、表面 ID、ドット ID と共に、 $r(i)$ を List 内に追加する。また、 $H_{index}$ が重複・衝突した際には、先に登録した List 要素の後に追加する。この処理は施工時の1度のみ行う。

$$H_{index} = \left( \sum_{i=0}^{mC_4-1} r(i)k^i \right) \bmod H_{size} \quad (2)$$

$H_{size}$ : ハッシュ表のサイズ

#### 4.3 ドット ID の認識

一方現場では、デブスカメラ点群から認識したドットとデータベース内のドットの対応付けを行い、ドット ID を取得する。始めに式(2)を用いて注目点 $p$ の $H_{index}$ を算出し、その $H_{index}$ に登録されている全 List 要素を取得する。そして、 $p$ の離散化特徴量 $r(i)$ との一致度を調べ、一致していればその List 要素に投票を行う。この処理を $p$ のすべての選択点集合で行い、最多投票数の List 要素のドット ID を $p$ のドット ID として決定する。

#### 5. 室内でのドット認識実験

室内に設置した縦 1.18m, 横 0.60m, 厚さ 20mm の模擬コンクリート板上に、直径 50mm, 高さ 30mm の白色プラスチック製の円柱マーカをランダムに 20 個設置した。Kinect2.0 をデブスカメラとして約 1.5m の距離から板とほぼ平行にカメラを設置して 3 次元点群の取得を行い、その点群を用いてドット ID の認識を行った。データベース内のドット ID を図 6(a), ドット ID 認識結果を図 6(b)に示す。図中の数字はドット ID であり、図中の楕円がマーカにフィッティングされた楕円である。同一カメラ位置で 10 回計測した点群からドット ID の認識を行ったところ、20 個中 16~17 個のドット ID を常に正しく認識でき ID 認識率は 80~85%であった。これは今後、ドット ID からホモグラフィ分解によりカメラの 3 次元位置を推定するには十分な結果である。なお、処理時間は約 346ms/frame であった。

#### 6. おわりに

本報では、コンクリート構造物点検のためのデブスカメラベースのマーカ認識手法を提案し、マーカ認識の精度の評価を行った。その結果、直径 50mm, 高さ 30mm の円柱マーカであればコンシューマクラスのデブスカメラでも 85%の認識率でドット ID を認識することができ、撮影箇所を十分認識可

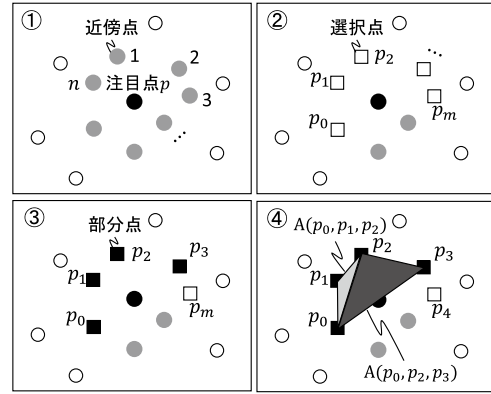


図 3 ランダムドットの特徴量計算

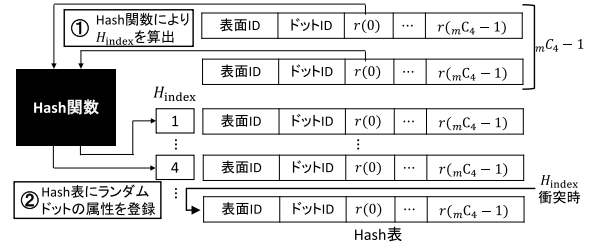


図 4 データベース内ドットのハッシュ表登録手法

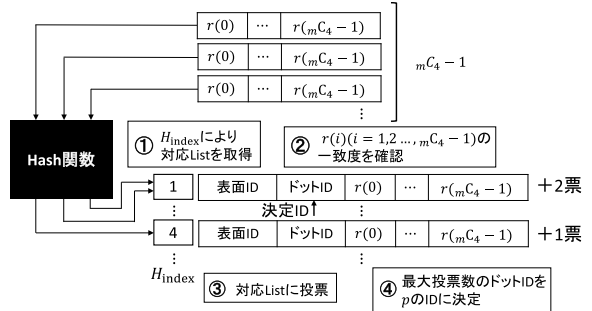
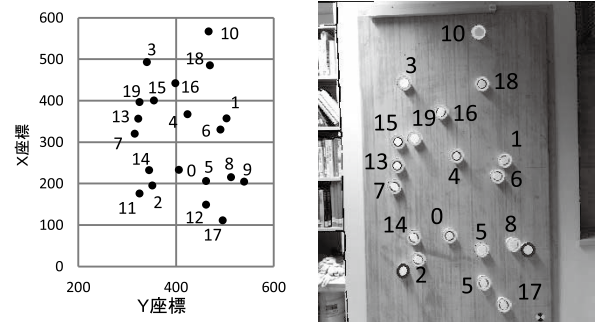


図 5 ドット ID の認識手法



(a)データベース内ドット ID (b)ドット ID 認識結果

図 6 マーカからのドット ID 認識

能であることを確認した。今後は、カメラの Localization と重量表示(図 1(A3))の開発、及び処理時間の短縮を行う。

#### 参考文献

- [1] 国土交通省: 「道路橋定期点検要領」, 平成 26 年 6 月, [http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/yobo4\\_1.pdf](http://www.mlit.go.jp/road/ir/ir-council/pdf/yobo4_1.pdf). (2014).
- [2] M. Golparvar-Fard, et al.: "D\*AR -A 4-dimensional augmented reality model for automating construction progress monitoring data collection, processing and communication", J. of Information Technology in Construction, 14, pp.129-153,(2009).
- [3] H.Uchiyama et al: "Random Dot Markers", Proc. IEEE Virtual Reality Conference, pp.35-38, (2011).
- [4] 中居 ほか: 「処理速度とメモリ効率の改善された LLAH によるカメラベース文書画像検索」, 画像の認識・理解シンポジウム(MIRU2008)論文集, pp.1252-1259, (2008).
- [5] Zhengyou Zhang: "A Flexible New Technique for Camera Calibration", IEEE Trans.on Pattern Analysis and Machine Intelligenc,22(11),pp.1330-1334, (2000)