

KINECT を用いた 3 次元復元の 産業用ロボット教示への応用

原孝介, 安倍満, 佐藤育郎[†], 神谷孝二^{††}

産業用ロボットを使った生産設備の構築では, 手戻りを減らすために事前に動作シミュレーションを実施する. 本研究ではシミュレーションを支援するための二つのアプリケーションを提案する. (1)手持ちカメラを使った三次元復元を開発した. 利用者は 30 秒ほどの撮影・復元だけで, ロボット周辺の形状をシミュレーションツールに取り込むことができた. (2)ピッキング動作を行うロボットの AR 表示を開発した. 利用者はロボットの配置シミュレーションを実環境で行うことができた. これらのアプリケーションの実現のため KINECT と局所特徴量を使ったカメラトラッキングを開発した.

Application of 3-D reconstruction using the KINECT to industrial robot teaching

Kosuke Hara, Mitsuru Ambai, Ikuro Sato[†]
and Koji Kamiya^{††}

In the construction of production facilities with industrial robots, to prevent readjustment, users simulate the behavior of the robot. In this paper we propose two applications to support the simulation. (1) We developed a three-dimensional reconstruction using a handheld camera. Users are only taken about 30 seconds, and then shape around the robot is reconstructed in a simulation tool. (2) We developed an AR view of the pick and place action. In the real world, users can simulate the placement of the robot. To make these applications, we developed a camera tracking method using local descriptors and the KINECT.

1. はじめに

ロボットを使った生産設備では, より短期間に設備を構築する方法が求められている. 最近では, 実設備の構築前にコンピュータ上で動作シミュレーションを行うことで, 手戻りを減らす製品が発表されている[1]. 具体的にはシミュレーション環境を構築した上で, ロボットの動作プログラムを開発し, 動作時の干渉やサイクルタイムなどを検証する. 検証結果が良好であれば, 実際の設備を構築して調整する. このようなシミュレーションを実施するには, 既存設備の形状や位置を正確にコンピュータ上に入力し, シミュレーション環境を構築しなければならない. 具体的には, まずロボット周辺の装置の CAD モデルを準備し, ロボットに対する相対的な位置を入力する. CAD モデルが無い場合には, 立方体や球体といった基本図形を組み合わせて代用する.

このようなシミュレーションを使った生産設備の立ち上げには, 次のような課題がある.

- (1) シミュレーション環境構築に必要な CAD モデルが全て揃わないことがある. このような抜けがあると, 機器の動作時の干渉チェックが不十分になり, 現場で修正が必要になる.
- (2) 既存設備が複雑であるほど, CAD モデルを準備・配置する作業に時間がかかる. 問題にもよるが多くの場合で数時間かかる.
- (3) CAD モデルを配置しただけの簡素なシミュレーションでは, 実設備との対応付けをイメージしにくいことがある. 特に現場ではロボットをどこに配置すれば良いか迷うことが多く, 実設備との対応付けは重要である.

いずれも既存の実設備とシミュレーションの間に, ギャップがあることによる. 本研究ではギャップを埋める手段として, コンピュータビジョンを利用した次の 2 つのアプリケーションを提案する.

- (1) 手持ちカメラによる 3 次元復元技術を利用し, 実環境をサーフェスに変換した. これにより既存設備の CAD モデルが揃わない場合でも, 復元したサーフェスを使ってシミュレーションができる. また配置の手間も不要である.
- (2) AR(Augmented Reality)技術[2]を利用し, 実設備上に仮想的にロボットを表示して確認した. 表示されるロボットは, マーカーによって指示された教示点にピッキング動作を行うことができる.

これらのアプリケーションは, 手持ちカメラの姿勢の推定 (トラッキング) によって

[†] 株式会社デンソーアイティ—ラボラトリ
DENSO IT LABORATORY Inc.

^{††} 株式会社デンソーウェーブ
DENSO WAVE Inc.

実現される。本研究ではカメラ姿勢を求めるための既知の手がかりが、環境中に無い状況を扱う。このため、カメラの位置姿勢と環境地図の生成を同時に行うSLAM(Simultaneous Localization and Mapping)として実装を行った。

2. 手持ちカメラのトラッキング

2.1 関連研究

手持ちカメラを使ったSLAMは、EKFを使ったMonoSLAM[3]や、より精度の良いバンドル調整に基づくPTAM[4]が提案されている。これらはRGBを取得する広角カメラを使っている。一方で、最近になって安価に使えるようになった距離計測カメラであるKINECT[5]がある。KINECTは従来の距離カメラに比べて、圧倒的に安価であることに加え、入手が容易、RGBカメラとキャリブレーションされているといった利点がある。さらにKINECTを3次元復元やARに使うことの利点は2つある。一つ目は3次元復元による点群を密にできる点である。ロボット動作時の干渉を避けるためには、ロボットの突起物よりも小さい間隔で点群を抽出しなければならない。このためこの利点は重要である。二つ目は、カメラ姿勢の推定精度の向上を期待できることである。この二つの利点から、本研究ではKINECTを利用することにする。

KINECTを利用した3次元復元について関連研究を述べる。LieberknechtらはLucas-Kanadeを用いて特徴点のトラッキングを行い、M推定を導入した非線形最適化によってカメラ姿勢を求めている[6]。この結果、PTAMよりカメラ姿勢が正確に出ることを示している。しかしながらLucas-Kanadeは近傍探索であるため、手持ちカメラの場合、手を大きく動かした際にトラッキングに失敗する事が多い。さらに計算のリアルタイム性を維持し続ける必要があり、非力なCPUでは著しく性能が落ちてしまう。KinectFusion[7]はICP(Iterative Closest Points)をGPGPUによって計算することで、リアルタイムに復元やARを行なっている。優れた性能を示しているがGPGPUを使っているため、動作環境が限定される。製造現場では必ずしもGPGPUは用意されていないため、「まずは手元にあるパソコンで試してみる」といった手軽さは無い。

本研究では、CPUによる計算で局所特徴量[8]を使ったトラッキングを行う。局所特徴量では、2画像間の特徴点のすべての組み合わせで、マッチング計算する。このため、カメラを大きく動かすようなケースでのトラッキングに有利である。しかしながら一般的に局所特徴量は計算負荷が高い。本研究では局所特徴量の計算とマッチングにCARD特徴[9]を採用することで十分な速度を得た。

2.2 KINECTと局所特徴量を使ったカメラトラッキング

本研究の具体的な処理フローを示す(図1)。3次元復元とARはカメラ姿勢の計算まで同じ処理を行う。まずKINECTを用いて撮影を行う。撮影された画像からCARD特徴を計算し、特徴点の画像中の位置と特徴量を得る。KINECTの場合、特徴点にはカメラ座標系における3次元位置を対応付けることができる。初回フレームであれば、ここでフレーム情報を保存して次のフレームに処理を移す。初回フレームのカメラ座標系を世界座標系とする。2フレーム以降は、CARD特徴を使って過去に撮影されたフレームとの画像間で特徴点のマッチングを行う。マッチングに成功した特徴点の3次元位置は、環境中の同じ位置を表していると考えられる。このため特徴点の3次元位置の集合より、過去フレームに対する現フレームの姿勢推定ができる。3次元座標の対応関係からの姿勢推定は様々な解法があるが[10]、ここでは基本的な手法であるSVDを使った方法[11]を用いた。

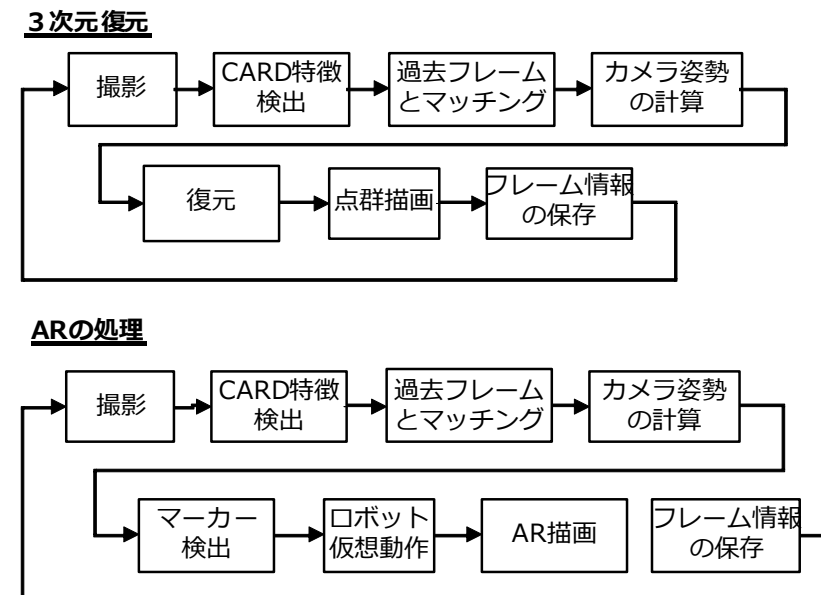


図1 処理の流れ

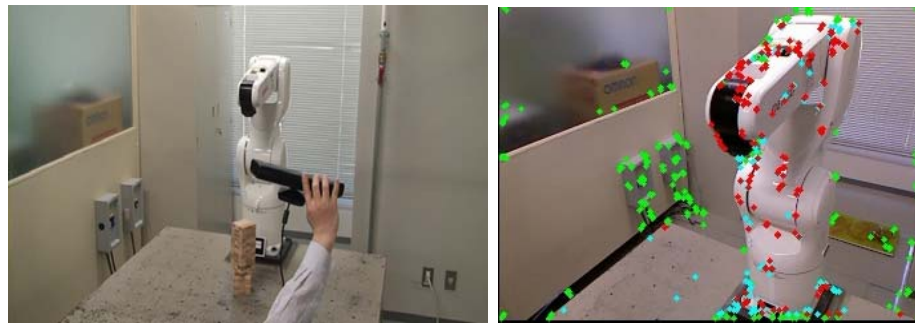
3. 3次元復元の産業用ロボット応用

3.1 3次元復元の処理

KINECT で撮影される画像はカメラ座標系における3次元点群と扱うことができる。この点群を前節で求めたカメラ姿勢を使って、世界座標系において重ね合わせた。さらに点群に対してサーフェスを生成する処理を行った。これは点群に対してドロネー分割を行い、しきい値処理を行うシンプルな処理で行った。サーフェスはロボット向けのツールで読み込みやすい VRML,および DirectX 形式で出力した。

3.2 実験結果

ロボット動作環境の復元例を示す。ユーザは KINECT を手に持って、環境を撮影しながら復元を行った(図 2a)。また検出された特徴点の示す(図 2b)。赤点がマッチングに成功した点であり、カメラ姿勢を求めるための十分な数が確保されていることがわかる。



(a) 撮影の様子

(b)撮影した画像中の特徴点

図 2 復元処理の様子

復元結果の点群を示す(図 3)。ロボットの突起物や印字などが鮮明に復元されていることがわかる。撮影にかかった時間は約 30 秒であり、従来の手作業による環境構築と比べて、十分に短い期間で復元しているといえる。さらに点群にサーフェスを生成し、ロボットのシミュレーションツール[1]に読み込んだ結果を示す(図 4)。ロボット環境を復元する場合、ロボットそのものは CAD モデルがあるため消したいことがある。ここではロボットの形状から点群を自動消去し、その後にサーフェスを生成している。

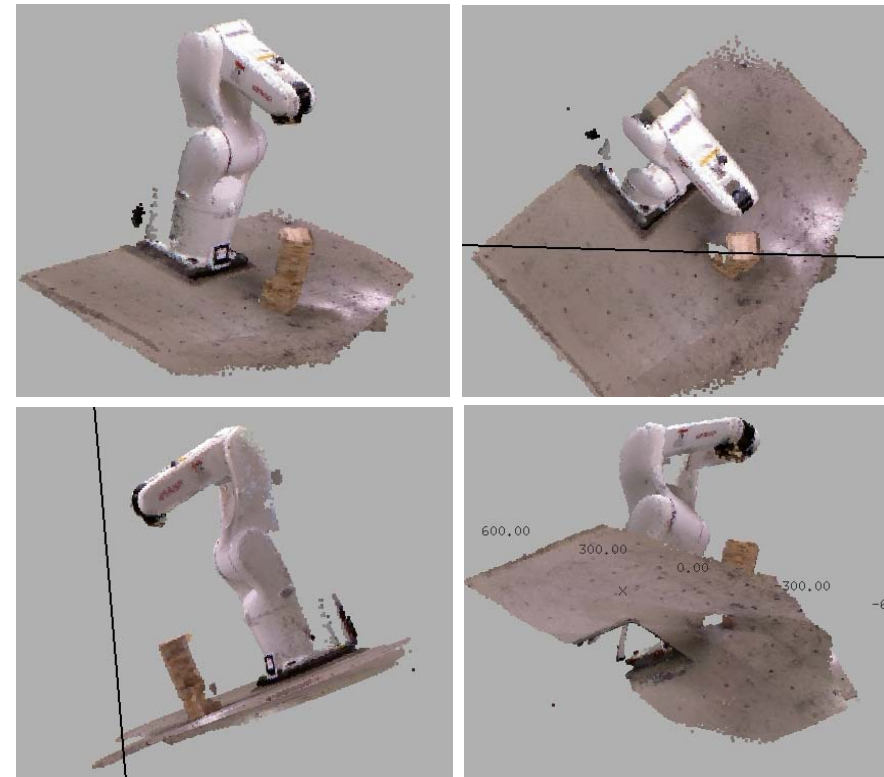


図 3 点群の復元結果

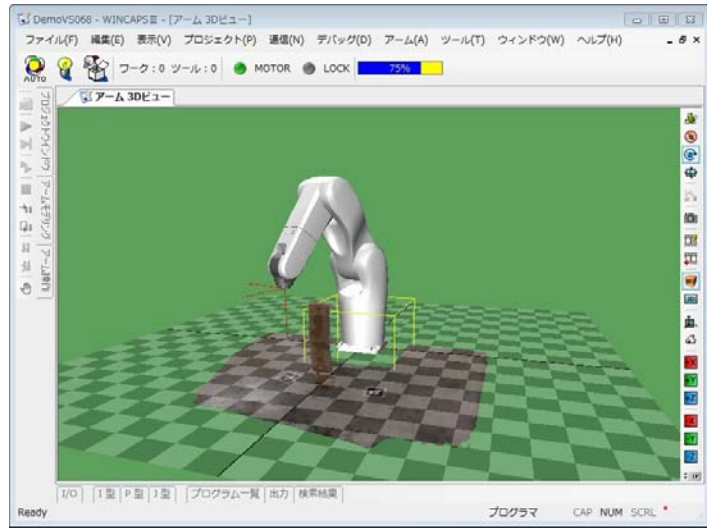


図 4 ロボットシミュレーションソフトに読み込んだ結果

4. ARの産業用ロボット応用

4.1 ARの処理

ARではカメラ姿勢に加えて、配置したいロボットの位置をユーザが入力する必要がある。本研究では一般によく使われる矩形マーカーを使って教示した(図 5)。さらに、ロボットのピッキング動作の教示点も同様に割り当て、動作軌道を生成した。この動作軌道を用いて、ロボット動作をAR描画した。

本手法の他にも矩形マーカーからカメラ姿勢を推定してロボットを表示した試みはある[12]。しかしながらマーカーからカメラ姿勢を求めているため、十分な精度で推定するには、マーカーが画像中に十分なサイズで写っている必要がある。一般的な産業用ロボットの動作半径は小型のものでも50cmはある。このサイズのロボットを設備に配置して検討しようとする、カメラを離す必要があり、必然的にマーカーが巨大化する。巨大なマーカーは既存設備の上に自由におけるとは限らない。さらに自由な視点は取ることができず、十分な検討ができるとは限らない。

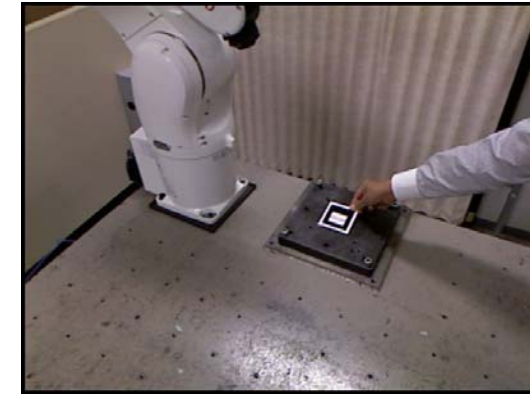


図 5 矩形マーカーによるロボット位置の指示

5. ARの結果

ロボット動作をAR表示した例を示す(図 6)。マーカーによるロボット・教示点の位置検出や、それを使った動作軌道は毎フレームごとに更新しており、利用者はマーカーの配置を変えながらロボットの配置を実世界で検討することができる。マーカーが画像中に写っていない場合でも、利用者は自由な視点で検討することができる。

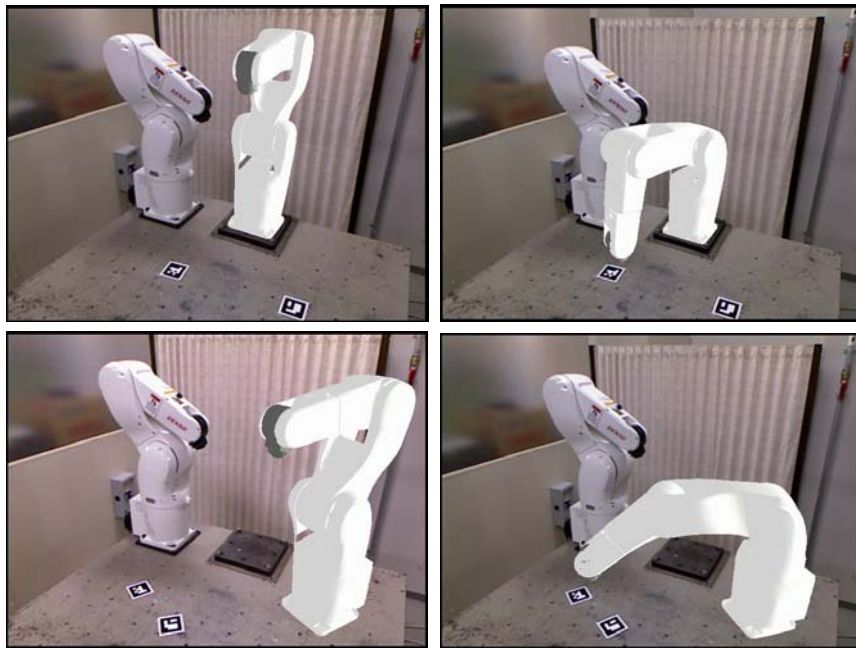


図 6 ロボット動作の AR 表示の結果
(上段と下段でロボットと教示点の位置を変えている)

6. まとめ

産業用ロボットを利用した設備立ち上げについて、そのシミュレーションを容易にする、次の2つのアプリケーションを提案した。

(1) 手持ちカメラを使った三次元復元を開発した。これを用いると、30秒ほどの撮影・復元だけで、ロボット周辺の形状をシミュレーションツールに取り込むことができた。

(2) ピッキング動作を行うロボットの AR 表示を開発した。これを用いることで、利用者はロボットの配置シミュレーションを実環境で行うことができた。

これらのアプリケーションを実現するにあたって、KINECT と局所特徴量を使ったカメラトラッキングを開発した。

参考文献

- 1) WINCAPS III, <http://www.denso-wave.com/ja/robot/product/latest/wincaps3/>
- 2) 加藤博一, Mark Billingham, 浅野浩一, 橘啓八郎, マーカー追跡に基づく拡張現実感システムとそのキャリブレーション, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 4, No. 4 pp.607-616 (1999).
- 3) Davison, A., Reid, I., Molton, N.D., Stasse, O.: MonoSLAM: Real-time single camera SLAM. IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence 29, 1052-1067(2007) .
- 4) Klein, G., Murray, D., Parallel tracking and mapping for small ar workspaces. In Proc. of ISMAR 2007, pp. 225-234(2007).
- 5) KIENCT, <http://www.xbox.com/ja-JP/kinect>.
- 6) S. Lieberknecht, A. Huber, S. Ilic, S. Benhimane, RGB-D Camera-Based Parallel Tracking and Meshing, The 10th IEEE and ACM International Symposium on Mixed and Augmented Reality, Basel, Switzerland, Oct. 26 - 29(2011).
- 7) Richard A. Newcombe, Shahram Izadi, Otmar Hilliges, David Molyneaux, David Kim, Andrew J. Davison, Pushmeet Kohli, Jamie Shotton, Steve Hodges, and Andrew Fitzgibbon, KinectFusion: Real-Time Dense Surface Mapping and Tracking, in IEEE ISMAR, IEEE, October 2011.
- 8) 藤吉 弘亘, 安倍満, 局所勾配特徴抽出技術-SIFT 以降のアプローチ, 精密工学会誌, Vol.77, No.12(2011).
- 9) M.Ambai and Y.Yoshida: CARD: Compact And Real-time Descriptors, In Proc. International Conference on Computer Vision (ICCV), (2011).
- 10) 玉木徹, 姿勢推定と回転行列, 信学会技報. SIS, 2009.
- 11) K. S. Arun, T. S. Huang, and S. D. Blostein. Least-squares fitting of two 3-D point sets. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 9, No. 5, pp. 698-700,(1987).
- 12) MagicAR(国際ロボット展 2011 における展示), <http://magicar.cec-ltd.co.jp/index.html>