

## 距離画像情報を用いた室内マーカレス AR とその応用

山川 健司† 梶 克彦‡ 河口 信夫‡  
 †名古屋大学工学部 ‡名古屋大学大学院工学研究科

## 1 はじめに

近年、環境問題が重要視され、一般家庭では節電が急務となっている。次世代住宅スマートハウスの機能の1つに電力の「見える化」があり、ユーザの節電行動を促進する [1]。ユーザは専用モニターやスマートフォン等から電力使用状況を確認できるが、現状では直感的に理解することは難しい。本研究の目的は、室内に AR 技術を適用し、家庭内の電力情報をユーザに直感的に理解させることである。AR (Augmented Reality: 拡張現実感) とは、実世界をコンピュータによって生成された情報によって拡張する技術を指す。室内の電化製品に電力消費情報を、天井、床、壁等に対し配電状況をアニメーション表示する。さらに、擬人化エージェントを用いた提案機能等により、ユーザに節電を促す。本稿では、このシステムを電力スコープと呼ぶ。

上述の AR システムを実現するためには、電力スコープがどこから何を見ているか把握しなくてはならない。本稿では、AR 対象とその周囲を含んだ空間情報 (以下、シーンと呼ぶ) を取得し、位置推定及びオブジェクト同定を行う手法について検討し、さらに AR システムへの応用例を紹介する。本稿では特に、平面オブジェクトの同定を行う。空間情報の取得には、距離画像センサを用いる。距離画像とは撮影位置から撮影対象の物体までの距離によって構成される画像のことである。距離画像をポイントクラウドに変換することで 3D 情報を得る。ポイントクラウドとは、3D 空間に分布する点の集合である。本稿では特に、距離画像センサとして Mesa Imaging 社の SwissRanger SR4000 (5m レンジ、広角版) を用いる。SR4000 からは距離画像の他に赤外線反射強度画像も取得できる。

## 2 位置推定及びオブジェクト同定手法

AR コンテンツを正しく表示するためには、適当な AR コンテンツを選択し、その後適切な位置に適切な姿勢で表示する必要がある。前者の実現のために、位置推定及びオブジェクト同定が必要となる。後者の実現のために、実世界とセンサの座標の関係の把握が必要となる。この2つの処理を、事前学習シーンと現在のシーンとの比較により行う。ただし、シーン1つ1つを点毎に比較するのは非効率的である。そこで本手法では、シーン中に含まれる平面に注目する [2]。初めに扱う対象を点から平面に変更することで、情報を削減し、大まかな推定を行う。その後、点毎に位置合わせを行い、精密な推定を行う。事前学習シーンの特徴量は予め計算した上でデータベースに登録する。現在のシーンの特徴量はリアルタイムに計算する。

Indoor Markerless AR Using Depth Image and Its Application  
 Kenji Yamakawa† Katsuhiko Kaji‡ Nobuo Kawaguchi‡  
 †School of Engineering, Nagoya University  
 ‡Graduate School of Engineering, Nagoya University

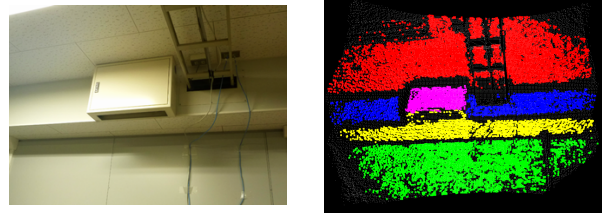


図 1: 撮影環境 (左) と平面抽出結果 (右)

## 2.1 室内情報のモデル化

## 2.1.1 平面抽出

距離画像センサから得られるポイントクラウドには 2 種類の雑音が含まれている。必ず発生するランダム雑音と測定不能による雑音である。前者を解決するために、各点の Z 軸方向成分に対してバイラテラルフィルタを適用し平滑化を行う。後者を解決するために、k 近傍法を用いる。ノイズ除去後、法線ベクトルを計算する。次に、平面抽出を行う。RANSAC 法によって平面方程式を推定し、最も大きな平面を繰り返し抽出する。平面抽出の様子を図 1 に示す。

## 2.1.2 特徴量抽出

抽出した平面より特徴量を計算し、シーンモデルとする。本稿では平面の数  $n$ 、平面間の角度  $a$ 、平行平面間の距離  $d$  の 3 つを特徴量として用いる。

## 2.2 空間情報マッチングとセンサ姿勢推定手法

平面に基づく大まかな空間情報マッチングを行った後、点に基づく精密なマッチングを行い、センサの姿勢を推定する。

## 2.2.1 平面に基づく大まかな推定

現在のシーン  $S^{\text{curr}}$  中の平面の数  $n$  が一致するデータベース  $M$  内の学習シーン  $S_i^{\text{model}} \in M (0 \leq i \leq n, i \in \mathbb{Z})$  を探索する。次に、 $S^{\text{curr}}$  と  $S_i^{\text{model}}$  に含まれる平面  $p_j^{\text{curr}}, p_j^{\text{model}, i} (j = 1, 2, \dots, n)$  の全組み合わせ  $n!$  通りに対して、各シーン内の平面間角度の差  $\Delta a_k$  と平行平面間距離の差  $\Delta d_k (k = 1, 2, \dots, nC_2)$  をそれぞれ計算し、その最大値が小さくなる平面の組み合わせを探索する。これにより、モデルとそれに含まれる各平面の対応関係を大まかに推定する。

## 2.2.2 点に基づく精密な推定

点と点を比較し位置合わせを行うために Iterative Closest Point (ICP) アルゴリズム [3] を適用する。ただし、ICP は前提条件として、大まかに初期位置合わせを行わないと局所解に陥ってしまう。そこで、先ほど推定した平面の対応関係と平面方程式から剛体変換行列を推定

表 1: 位置推定及び平面オブジェクト同定結果: 行は登録シーン, 列は検索対象.

		Desk1(4)	Desk2(5)	Desk3(5)	Fridge(2)	SB(5)
Desk1	Left(4)	O <sub>1</sub>				
	Front(7)					
	Right(3)					
Desk2	Left(7)					
	Front(5)		O <sub>2</sub>	X		X
	Right(5)		O <sub>3</sub>	X		X
Fridge	Left(3)					
	Front(2)				O <sub>4</sub>	
	Right(3)					
SB	Left(5)		X	X		O <sub>5</sub>
	Front(5)		X	X		O <sub>6</sub>
	Right(7)					
Estimate		Desk1	Desk2	None	Fridge	SB

して, 初期位置合わせを行う. その後 ICP を適用し, 2 つのシーンの一致度を計算する. 一致度として各点間の 2 乗誤差の和を用いる.

### 3 評価実験

提案手法による位置推定及び平面オブジェクト同定の実験を行った. 予め室内の 4 種類の環境 (“Desk1”, “Desk2”, “Fridge”, “Switchboard(SB)”)について, 3 つの異なる視点から撮影したシーンを学習モデルとしてデータベースに登録する. 次に, 登録した環境 4 つと登録していない環境 1 つ (“Desk3”) の合計 5 つを少し視点を変えて 1 度撮影し, 提案手法を適用した. 今回すべての物体は移動しないことを前提とし, どのシーンも平面部分が大きく露出していることを前提とする.

表 1 にその結果を示す. 丸括弧内は平面数を表す. 空白欄は平面数の違いにより不一致と見なされた組み合わせを表す. 表中の X は平面間角度及び平行平面間距離の差の最大値が閾値を超えたために除外された組み合わせを表す. 表中の O は一致と見なされた組み合わせを表す. 表から, 4 つの環境すべてが正しく推定されていることがわかる. また, 登録されていない “Desk3” は該当なしと推定された. ただし, O<sub>3</sub> では平面オブジェクト同定が正しく行われなかった. これは 2 つの平面のみが平行であり, 上限関係を正しく特定できなかったためである.

### 4 室内家電機器の電力情報表示システムへの応用

提案手法によって求まる位置や姿勢, 物体情報を基にした, 電力スコープへの応用を検討中である. 電力情報はスマートハウスから出力されるデータや家電機器に接続された小型電力センサ [4] から得る. 電力スコープのイメージ図を図 2 に示す. 見える化する内容は対象に応じて次のように考えている. 家電機器

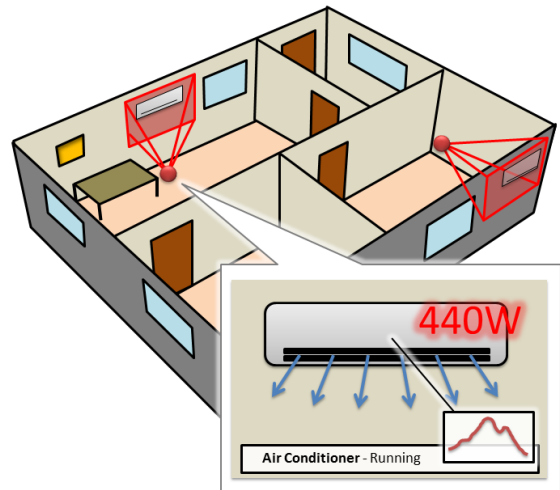


図 2: 電力スコープのイメージ図

については, 電力センサからリアルタイムな電力使用量を取得し, 表示する. データを蓄積し, 履歴の表示も行う. 壁等には家電機器への配電状況を表す仮想的な配線を表示する. 配線の太さ等で電力使用量を直感的に理解する. また, 隣の部屋や屋外にある機器の電力状況を, 壁等を透視するように表示する.

### 5 今後の課題

平面抽出アルゴリズム等の精度を改善することと, 計算量の削減が課題としてあげられる. 今後は点に基づく推定に関しても検証を行い, 提案手法を用いた AR システムを実装したい.

### 参考文献

- [1] 松井加奈絵, 落合秀也, 山形与志樹, 砂原秀樹. 事業体における電力消費データ見える化システムの導入と節電効果の検証. インターネットコンファレンス 2012(IC2012), November 2012.
- [2] K. Yamakawa, K. Kaji, and N. Kawaguchi. A localization method for markerless ar using a depth image sensor. In *Proceedings of the the International Workshop on Advanced Image Technology (IWAIT)*, January 2013.
- [3] P. J. Besl and N. D. McKay. A method for registration of 3-d shapes. In *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI)*, Vol. 14, pp. 239–256, 1992.
- [4] N. Kawaguchi. Small-sized Power Sensor and Wireless Display for Fine-grained Measurement and Presentation. R09 Twin and World Congress Poster session, 2009.