資料 4

社会基盤としての3次元地図の整備・更新技術の開発

②3次元空間モデリングシステムの構築
－廉価に3次元空間をモデル化する技術の開発

国土地理院基本図情報部

平成28年10月

背景と課題

国土地理院

背景

■高精度測位と地理空間情報・ICTを活用した新サービスの実現が期待されている。
- ・自動車や車いすの自動運行による利便性向上・生活の確保
- ・高齢者や弱者にも配慮した歩行者移動支援（ナビゲーション）
- ・災害時の適切な避難誘導による安全、安心の確保　など

⇩

空間内の自己位置を正確に把握する技術的手段が必要

↓

3次元地図

⇩

問題点（課題）

■空間を3次元的に表す地図の整備はコスト高
- ・CADベースの整備方法が主流（1990年代のモデリング方法）
- ・実空間をcmオーダーで測量する方法は確立されていない

⇩

空間を安くモデリングすることはできないか？

本開発の目的

国土地理院

技術的背景

■モデリング手法
・Image Based Modeling (and Rendering)
2000年代からCG分野で用いられるようになった2次元の写真から3次元物体をモデリング（復元）する技術。最近は測量分野でも用いられ始めた。

■空間内の自己位置を正確に把握する技術的手段
・SLAM（Simultaneous Localization And Mapping）
環境地図の作成と位置の推定を同時に行う技術。3次元地図が無い空間で自分の位置を把握することを目的として、特にロボット分野で利用されている技術。

異分野の技術から
アプローチ

目的

とにかく「安く」3次元空間をモデリングする技術を開発する

研究計画

国土地理院

平成27年度

屋内形状取得技術の検討・調査

・SfM/MVSとSLAMをベースとする技術について調査を実施
・採用する技術を選定するために評価用モデリングツールを試作

平成28年度

3次元モデリングシステムの開発

↓ 使用

3次元モデル試作
課題抽出

・評価用モデリングツールで屋内空間を計測して比較し、採用する技術を選定
・採用した技術を実装した3次元モデリングシステムを構築
・同システムを用いて屋内空間の3次元モデルを試作し、課題を抽出
・コストについても評価

平成29年度

3次元モデリングシステムの改修

3次元地図の仕様に沿ったモデルへの変換手法の開発

↓ 使用

3次元モデル作成

↑ 精度検証

精度検証のための精密測量

実証 ⇨ 3次元地図の作成・更新

低コストな
3次元情報取得手法

平成27年度の検討結果

国土地理院

■ 3次元モデル作成手法の調査とモデリングツールの試作

- 6種類の3次元モデリング手法を簡易調査によりスクリーニング

⇩

  - ✓ Structure from Motion(SfM) or visual SLAM(vSLAM)
  - ✓ RGB画像のみの手法 or RGB画像と深度センサーを組合せた手法（RGB-D）

- うち2種類の手法を選定し、評価用モデリングツールを試作

  - ✓ RGB-Dセンサーを用いたvSLAMの手法を選択
    （屋内空間は市販の安価な深度センサー※でも計測可能と見込まれること、またリアルタイム処理による作業コストの低減を考慮）
  - ✓ RGB-D vSLAMの手法として、以下の2種類を選択
    ①特徴点抽出による手法
    ②画像全体の画素を利用するDense Visual手法（Direct Method）
  - ✓ モデリングツールにはミュンヘン工科大のオープンソースのSLAMを利用
  - ✓ センサーは深度センサーの有効計測範囲が比較的広い（～8m）マイクロソフト社のKinect v2（2万円～）を利用

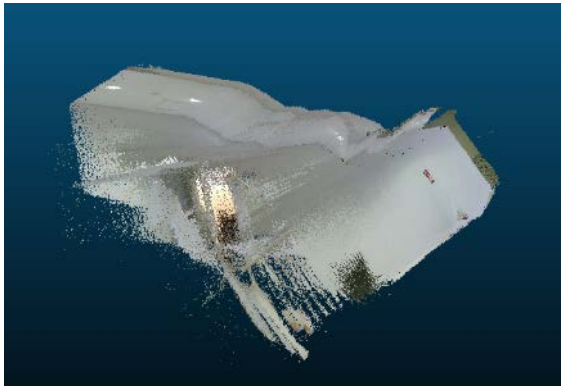
※計測可能距離が数mで太陽光下では計測不可

平成28年度の開発状況

国土地理院

■ 27年度に試作した2種類のモデリングツールにより屋内空間を3次元モデル化し、再現性を比較して採用手法を選定

テクスチャの乏しい廊下を計測
（国土地理院本館）



① 特徴点抽出手法によるRGB-D vSLAM
↓
特徴点の追跡が困難で、モデルが大きく歪んだ。

② Dense Visual手法によるRGB-D vSLAM
↓
特徴点抽出手法よりも良好なモデルが作成できた。

Dense Visual手法によるRGB-D vSLAMの採用を決定

平成28年度の開発状況

■ 3次元モデリングシステムの開発

■SLAMの課題
・SLAMは連続的に計測しリアルタイムに空間をモデル化するが、一般的に計測の継続とともに徐々に歪みが蓄積し、作成されるモデルも歪んでいく

⇩

歪みを補正する手段が必要

⇩

■課題の解決案
・SLAMの処理の中に拘束条件を加えて歪みを補正する

①地下街等の屋内空間は主に壁、床、天井など直交する平面で構成されていることから、空間で支配的な面の向きを決定し、その面の向きに合わせこむことで歪みを補正
②計測時には一周して同一箇所に戻ることで、蓄積した歪みを認識し平均化することで歪みを補正
③既存の3次元地図データがある場合には利用して歪みを補正するとともに、変化箇所のみモデル化

これらの拘束条件を加えたモデリングシステムを発注手続き中

28年度の今後の予定

国土地理院

■3次元モデルの再現性の評価と課題抽出

- 本年度中に屋内空間のモデリングシステムを構築

↓

- このシステムにより屋内空間を実際に計測しモデリングし、再現性の評価と来年度の改良に向けた課題抽出を行う
  ※対象サイトを地理地殻活動研究センターのものに合わせるなど、連携して実施

■コストの評価

- 3次元モデルの作成コスト（計測時間＋処理時間を尺度とした単位面積あたりの工数）の評価を行う

■以下、参考資料

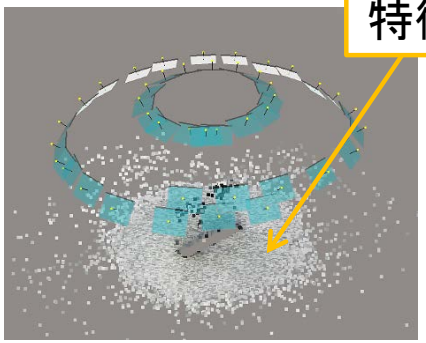
平成27年度の検討状況

国土地理院

①「特徴点によるSfM / MVS」（従来方法）

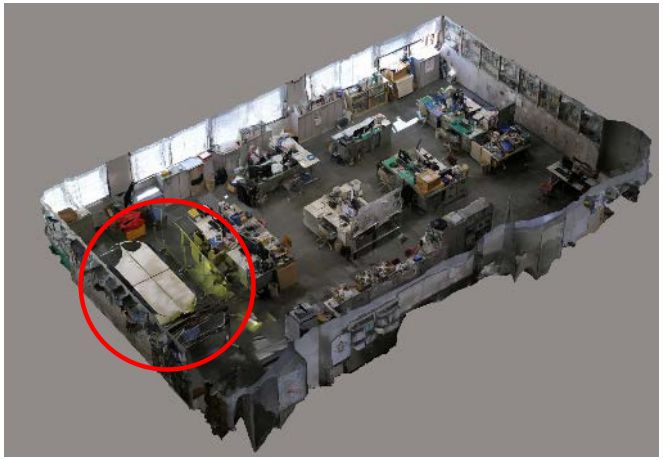
Structure-from-Motion (SfM) / Multi-view Stereo (MVS)

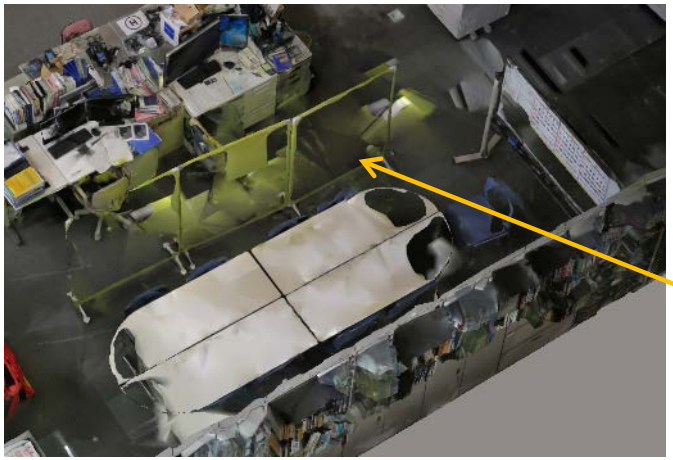
- SfMとは、ある場所をカメラの視点を変えながら撮影した多数の画像から特徴点を抽出し、特徴点の幾何的条件をもとにその3次元座標とカメラパラメータを同時に推定する技術
- MVSとは、SfMにより得られたカメラパラメータおよび画像情報を利用して密な3次元点群を算出することで、テクスチュア付きポリゴンモデルとして復元を行う技術
- より広角のレンズを用いることで処理時間を短縮
- 特徴点の抽出が困難なテクスチャの乏しい物体（平滑な壁など）については、形状復元が困難という欠点がある



SfM

MVS





平滑な面は
モデル化が困難

平成27年度の検討状況

国土地理院

② SfM / MVS + MWS / DMI

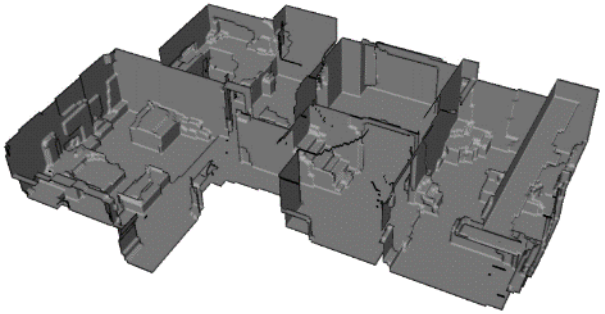
Manhattan-World Stereo (MWS) / Depth map Integration (DMI)

- ワシントン大学とMicrosoft Reseachが2009年に発表した手法
- SfM / MVSにより構築された3Dモデルを入力として、面の直交性の制約を与える（MWS）ことで壁・床・天井などの存在を推定し、デプス（深度）マップを作成
- 作成した深度マップをSfM / MVSにより構築された3Dモデルと合成(DMI)し、テクスチャの乏しい箇所の再現性を向上
- 詳細な調査の結果、評価ツールの構築に必要な公開情報が不足しており評価が不可能

SfM / MVSではテクスチャの乏しい箇所の再現性が不十分（穴だらけ）

支配的な3軸を選定

元画像（左）と深度マップ（右）



Manhattan-World Stereoに基づき作成した深度マップをSfM / MVSで作成したモデルと合成

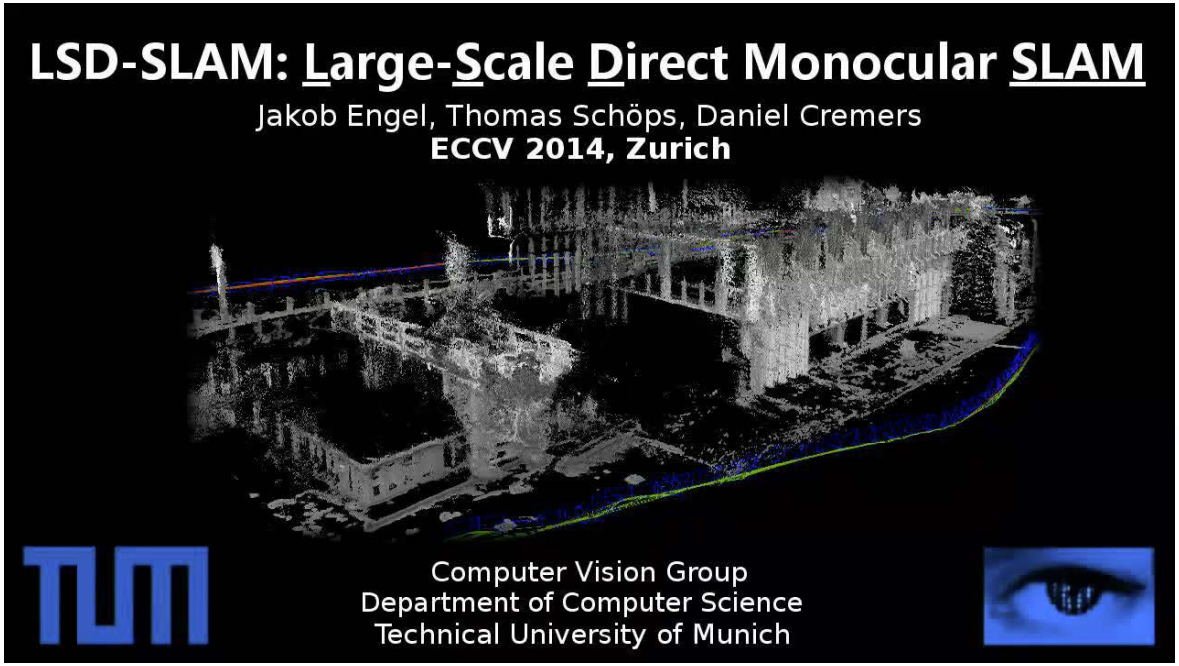
Furukawa et al.（2009）

平成27年度の検討状況

国土地理院

④ Direct Methodによる vSLAM
⑥ Direct Methodによる vSLAM＋RGB-D（深度センサ）

- Direct Method：特徴点に限定せず、すべての画素の三次元情報を利用して位置合わせを行う手法
- 特徴点より密な画素地情報を利用できるため、関心が高まりつつある
- 特徴点が抽出できない場所でも適用できる可能性がある



Microsoft WEBサイトより引用

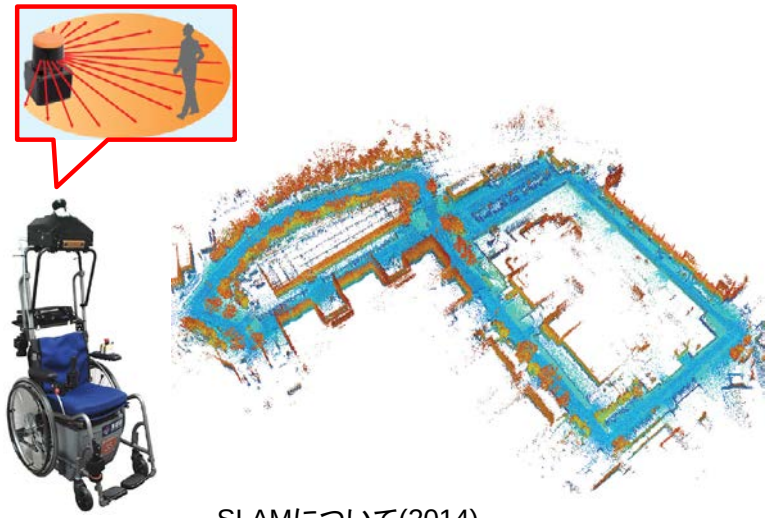
Kinect v2

https://www.youtube.com/watch?v=GnuQzP3gty4 より

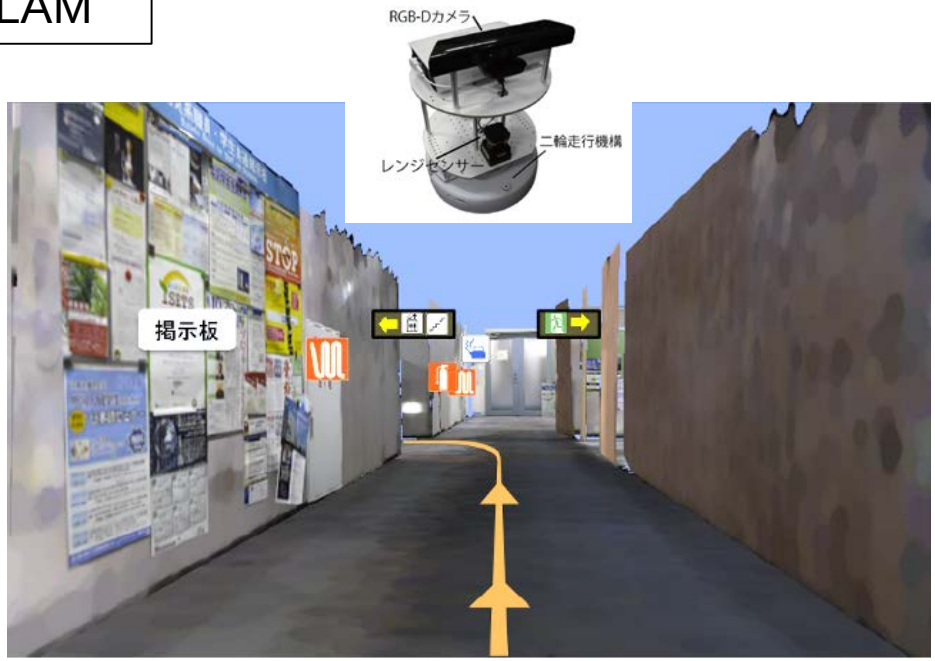
平成27年度の検討状況

国土地理院

⑤ 特徴点とRGB-D（深度センサ）によるvSLAM



SLAMについて(2014)
横塚将志（産業技術総合研究所）
https://staff.aist.go.jp/y-ichisugi/brain-archi/20140422YokozukaMasashi.pdf



小型無人移動体を用いた3次元地図の自動生成に関する研究
尾崎宏樹（名古屋大学、2012）より引用

カメラの映像と深度センサを併用しつつ
環境地図の作成と自己位置の推定を同時に行う技術

レーザレンジセンサとカメラから環境地図をリアルタイムに作成し、3次元地図と比較しながら自律移動する際などに用いられる。本研究では、リアルタイムに実行される環境地図の生成部分の技術に着目する。