

# 4 台の Kinect を搭載した全方向計測ロボットによる環境計測

○ 鄭 龍振\* 石橋 正教\*\* 倉爪 亮\*\*\* 岩下 友美\*\*\* 長谷川 勉\*\*\*

\* 九州大学大学院システム情報科学府

\*\* 九州大学工学部電気情報工学科

\*\*\* 九州大学大学院システム情報科学研究所

E-mail: {yongjin,ishibashi}@irvs.is.kyushu-u.ac.jp, {kurazume,yumi,hasegawa}@ait.kyushu-u.ac.jp

## 1. はじめに

これまでに我々は複数台の移動ロボットによる協調動作と、ロボットに搭載したレーザ計測装置による 3 次元計測により、大規模な 3 次元環境地図を構築する CPS-SLAM を提案している [1] .

CPS-SLAM はレーザ計測装置により正確な 3 次元計測が可能であるが、全周方向のレーザ計測には 45 秒程度の計測時間が必要である．そこで本稿では、従来の正確なレーザ計測システムに加え、低精度かつより短時間で環境計測が可能なシステムの実現を目指し、4 台の Kinect を搭載し全方向の幾何形状を同時に計測できる全方向計測ロボットを開発する．さらにこのロボットと従来の CPS-SLAM を組み合わせ、3 次元環境を Kinect を搭載したロボットにより高速に計測する実験の様子を示す．

## 2. 4 台の Kinect 搭載全周計測ロボットによる環境計測システム

これまでに開発している CPS-SLAM システムを図 1 に、今回開発した 4 台の kinect を搭載した全周計測ロボットによる環境計測システムを図 2 に示す．

従来の CPS-SLAM システムは、1 台の親ロボットと 2 台の子ロボットからなる．親ロボットには測量用トータルステーション (TOPCON, GPT-9005A), 自動整準台 (リズム, AS-21), 1 軸レーザ距離計測装置 (SICK, LMS-151), 1 軸回転テーブル (中央精機, ARS-136-HP), 2 軸傾斜計センサ (Applied Geomechanics Inc, MD-900-TS) が搭載されている．一方、子ロボットには測量用コーナミラー (TOPCON プリズムユニット A3 型), 光リモコン (TOPCON, RC-3) が搭載されている．

一方、今回開発した 4 台の kinect を搭載した全周計測ロボットによる環境計測システムは、1 台の親ロボットと 1 台の探索ロボットからなる．探索ロボットには測量用コーナミラー (TOPCON プリズムユニット A7P 型) と距離計測のための Microsoft Kinect (表 1) が前後左右の全方向に 4 台搭載されている．

Microsoft Kinect は、本体から投影したパターン光をカメラで計測することで、高速に距離画像を得ることができる低価格センサである．さらに RGB カメラとキャリブレーションを行なうことで、色のついた 3 次元モデルを構成できる．開発した全周計測ロボットは、図 3 に示すように Kinect 4 台を前後左右の全方向に搭載し周辺環境を高速に計測する．図 4 に 4 台の Kinect が

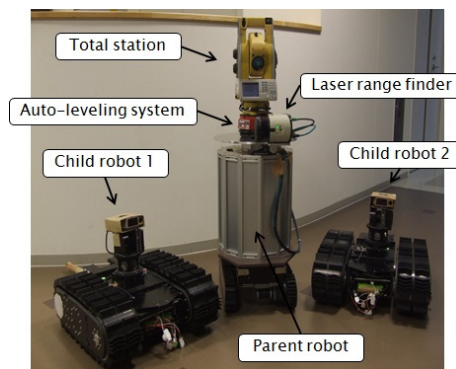


図 1. CPS-SLAM システム

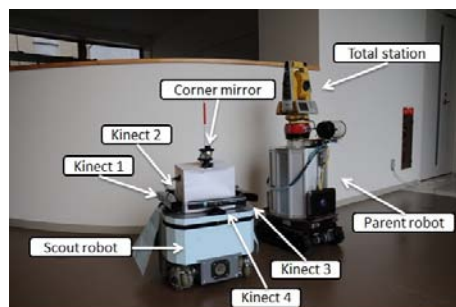


図 2 . 4 台の kinect を搭載した全周計測ロボットによる環境計測システム

表 1. Microsoft Kinect の仕様

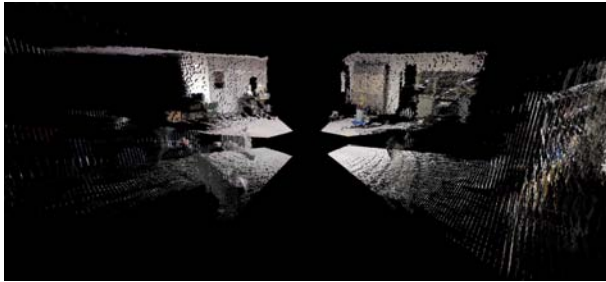
Horizontal field of view	57°
Vertical field of view	43°
Image size	640 * 480
Scanning frequency	30Hz
Depth sensor range	1.2m - 3.5m

ら得られた 3 次元環境形状の一例 (上) と CPS-SLAM ロボットに搭載したレーザ距離計測装置により得られた 3 次元環境形状の一例 (中), および計測ロボットの位置を用いて重ねて表示した一例 (下) を表す．データ計測時間は Kinect の場合 0.03 秒, CPS-SLAM ロボットに搭載したレーザ距離計測装置では 45 秒 [2] であった．

図 5 に従来の CPS-SLAM システムの計測手順を示



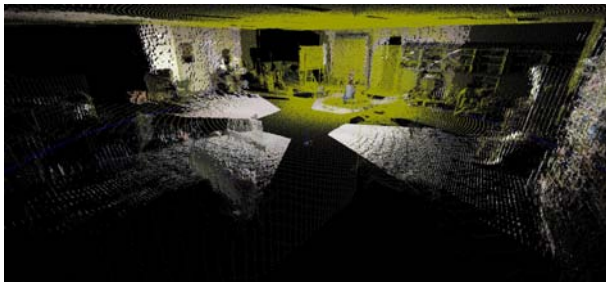
図 3. Kinect を 4 台搭載



4 台の Kinect から得られた 3 次元環境形状



レーザ距離計測装置から得られた 3 次元環境形状



重ね合わせ結果

図 4. Kinect およびレーザ距離計測装置で得られた 3 次元環境形状

す。本手法では、まず (a) 親ロボットが現在の位置で計測作業を行う。(b) 親ロボットが静止した状態で、子ロボット 1, 2 が移動、静止する。次に親ロボットが搭載した測量用トータルステーションにより静止した子ロボット 1, 2 の位置を計測し、確定する。(c) 親ロボットが移動、静止し、子ロボット 1, 2 を観測して、自身の位置を計測する。(d) 最初のステップに戻り計測作業を行う。各ステップでの詳細は [1] を参照されたい。

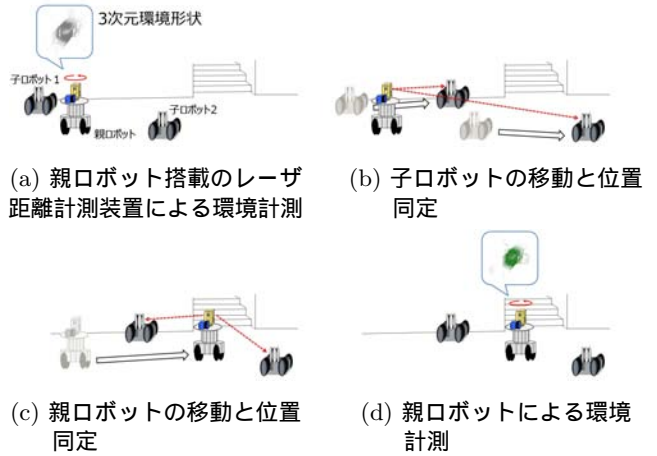


図 5. CPS-SLAM システムによる計測手順



図 6. 全周計測ロボットを加えた CPS-SLAM の計測手順

一方、図 6 に今回開発した 4 台の Kinect を搭載した全周計測ロボットによる環境計測システムの計測手順を示す。本手法はおおむね従来の CLS-SLAM の計測手順と同じであるが、親子ロボットの移動前にまず全方向計測ロボットが移動しながら周囲環境の大まかな計測作業 ((b) および (c)) を行い、親子ロボットの移動に必要な環境情報を短時間で獲得する。これにより、レーザ計測からは死角となる環境形状や遠方からの計測では検出不可能な小さな段差など、親子ロボットの安全な走行に必要な情報を取得する。またレーザ計測ほどの高精度な計測が不要な環境情報も、全方向計測ロボットにより取得する。この際、CPS-SLAM の親ロボットから全方向計測ロボットが観測可能な場合、親ロボットに搭載した測量用トータルステーションの自動追尾機構により、全方向計測ロボットに搭載したコーナミラーを連続的に計測し、正確な位置を決定する。親口

ロボットから観測できない場合には、オドメトリにより位置を推定する。

### 3. 複数台の Kinect 制御

USB ルートハブには 1 台の Kinect しか認識できない。このため、複数台の Kinect を制御するには、図 8 に表すような USB2.0 カードが必要である。この USB2.0 カードにより、1 台のパソコンに 2 台の Kinect を接続することができ、さらにこれをカスケード化することで、4 台の Kinect を 2 台のパソコンで制御する。システムの構成図を図 7 に表す。パソコン間はソケット通信を行い、コントローラとの通信は無線 LAN を用いて行う。

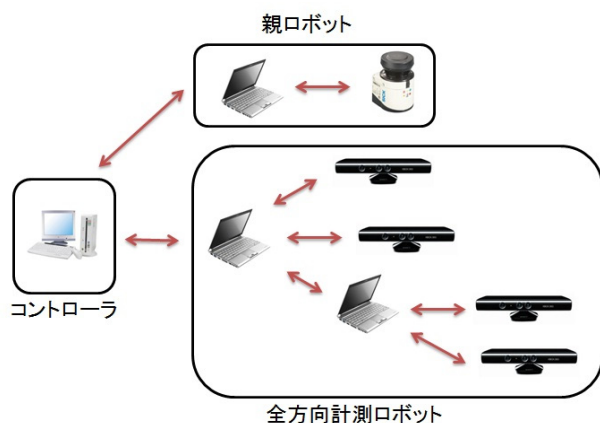


図 7. レーザ距離計測装置と 4 台の Kinect の接続図



図 8. USB2.0 用 PCM カード (U204P)

### 4. 全方向計測ロボットによる環境計測実験

図 9 に表す複雑な形状の廊下環境において、全周計測ロボットによる環境計測実験を行った。廊下の 2 次元形状と各ロボットの移動軌跡を図 10 に、実験の様子は図 11 に表す。図 12 に表すように親子ロボットからの環境計測では死角領域が存在する。そこで、親子ロボットの移動前にまず全方向計測ロボットが親子ロボットから死角となる領域を一周しながら 4 回にわたり周囲環境の大まかな計測作業を行なった。得られた 3 次元環境形状を図 13 に表す。

### 5. 結論

本稿では、複数台の移動ロボットが搭載されたレーザ計測装置で環境の 3 次元形状を計測するシステム (CPS-SLAM) に対し、従来の正確なレーザ計測システムに加え、低精度かつより短時間で環境計測が可能な、4 台

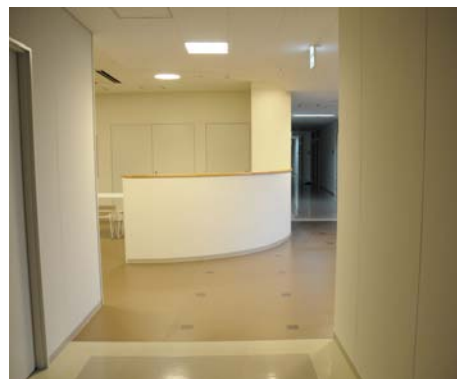


図 9. 複雑な形状の廊下環境

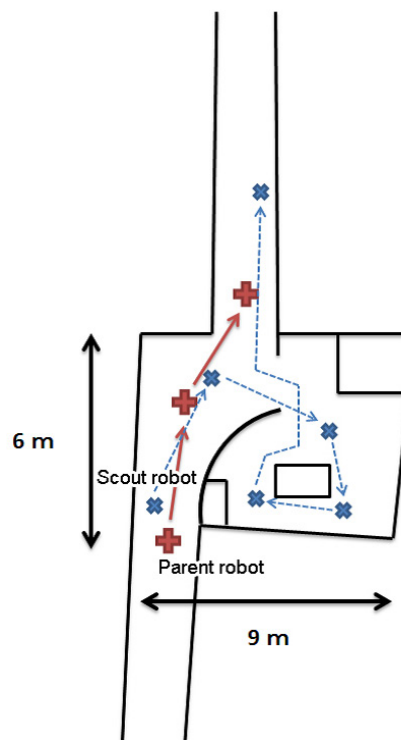


図 10. ロボットの移動経路



図 11. 全周計測ロボットによる環境形状計測実験の様子

の Kinect を搭載した全方向計測ロボットを紹介した。さらにこのロボットと従来の CPS-SLAM を組み合わせ、レーザ計測に先立ち、3 次元環境を Kinect により高速に計測する実験を紹介した。今後は、レーザ計測結

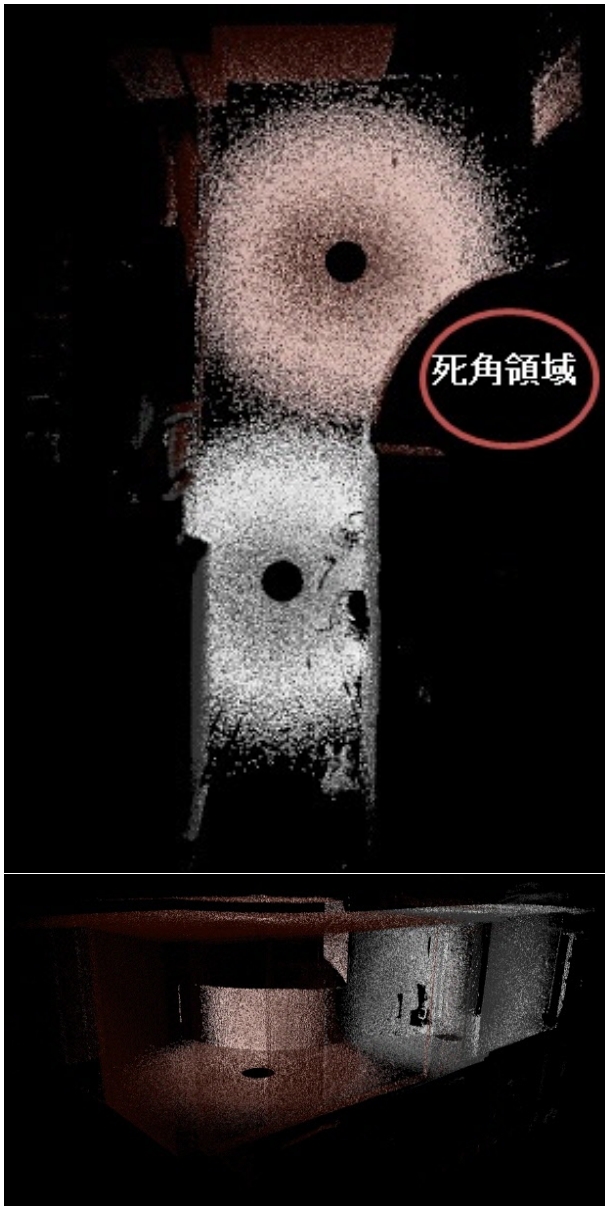


図 12. 親ロボットから得られた 3 次元環境形状



図 13. 全周計測ロボットから得られた 3 次元環境形状

果と Kinect による計測結果を適切に融合する手法の開発を行う予定である。

謝辞 本研究の一部は文部科学省科学研究費補助金基盤研究 (B) (課題番号 23360115) の支援を受けた。

参考文献

- [1] 倉爪 亮, 戸畑 享大, 村上 剛司, 長谷川 勉: “CPS-SLAM の研究-大規模建造物の高精度 3 次元幾何形状レーザ計測システム”, 日本ロボット学会誌, vol.25, no.8, pp.1234-1242, November 2007.
- [2] 鄭 龍振, 倉爪 亮, 岩下 友美, 長谷川 勉: “自動化された協調ポジショニングシステムによる 3 次元環境地図の自動生成”, 第 11 回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会, 113-4, 2010.