

CPS SLAM の研究

第 2 報 CPS とレーザ計測による屋内 3 次元地図の自動構築実験

Study on CPS SLAM

Automatic construction of 3D map by CPS and laser range finder

- 戸畑 享大 (九大) 正 倉爪 亮 (九大) 山田 弘幸 (九大)
村上 剛司 (九大) 正 長谷川 勉 (九大)

Yukihiro TOBATA, Kyushu University, tobata@irvs.is.kyushu-u.ac.jp

Ryo KURAZUME, Kyushu University

Hiroyuki YAMADA, Kyushu University

Kouji MURAKAMI, Kyushu University

Tsutomu HASEGAWA, Kyushu University

Accurate positioning of a mobile robot and accurate and reliable measurements of surroundings are indispensable for an automated construction of an environment map using a mobile robot. However, the accuracy of conventional positioning methods such as dead reckoning or the use of several landmarks is not high in an unknown and rough environment. To overcome this problem, we have proposed a method named “Cooperative Positioning System (CPS)”, which enables to localize robots with high accuracy even in an unknown and rough environment. This paper proposes the combined system of the CPS and a laser range finder to construct highly reliable environment map. The fifth CPS model named CPS-V and experimental results in a large scaled and unknown environment are introduced.

Key Words:SLAM, 3D map, Multiple robot, Cooperative positioning, Laser range finder

1 はじめに

洞窟や災害によって倒壊した建物内など、人間が実際に内部に入って調査を行うのが危険な極限環境では、移動ロボットを用いた環境調査が有効である。また、ロボットが移動しながら何らかの作業を効率よく行うためには、移動すべき環境の状態を記述した「地図」情報を移動ロボットの制御システムの中に保持している必要がある。

未知環境で地図情報を獲得するために、計測用移動ロボットを環境を計測しながら巡回させる手法が考えられる。このような自動化された地図生成手法では、

- (1) 未知環境での移動ロボット自身の正確な位置同定
- (2) 移動ロボットから壁面や什器その他の相対位置関係の正確な計測

などが実現されなければならないが、このうち代表的な位置同定手法として、オドメトリや ICP 法が挙げられる。しかしオドメトリなど内界センサを用いた位置同定手法は、凹凸面や高低差のある環境では同定精度が低く、誤差の蓄積も大きい。また作成された環境地図を基に逐次的に位置同定を行う手法 (SLAM) も、安定なランドマークの設定方法や観測装置の誤差が急速に蓄積されるなどの問題がある。

一方、我々はこれまでに移動ロボットの高精度な位置同定手法として、群ロボットによる協調ポジショニングシステム (Cooperative Positioning System, CPS) を提案している [1]。このシステムは、

レーザによる相対位置計測システムを搭載した複数の移動ロボットを協調的に動作させ、全くの未知、不整地環境でも従来の内界センサとは比較にならない高精度の位置同定を実現するものである。

本研究は、協調ポジショニングシステム (CPS) の有する高い位置同定精度と、3次元環境地図が作成可能なレーザレンジファインダを組み合わせ、従来の SLAM に比較して格段に高精度な未知環境地図の自動作成システムを実現することを目的とする。

本報告では、開発した第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V を紹介し、これと 3 次元レーザレンジファインダを組み合わせ、大規模屋内環境の 3D 地図作成実験の様子とその結果を示す。

2 協調ポジショニングシステム (CPS)

協調ポジショニングシステムとは、複数の移動ロボットを 2 つのグループ A, B に分け、グループ A のロボットが移動している場合にはグループ B は静止し、グループ A の移動終了後にグループ B からの相対位置をレーザなどで精密に計測する作業を A, B が繰り返し行うことで、未知不整地環境でも移動ロボット全体として高精度な位置同定を実現するものである。CPS の例を Fig.1 に示す。この例は、1 台の親ロボットと 2 台の子ロボットからなるシステムにおいて、親ロボットに搭載したレーザ距離測定器により、子ロボットの位置、および親ロボット自身の位置を計測するものである。まずあらかじめ初期位置を計測してある親ロボットを静止

させ、

- (1) 子ロボット 1, 2 を矢印のように移動させた後、停止させる。
- (2) 親ロボットに搭載した計測器により、子ロボット 1 までの相対距離、方位角、仰角を計測し、子ロボット 1 の位置を同定する。
- (3) 同様に子ロボット 2 までの相対距離、方位角、仰角を計測し、子ロボット 2 の位置を同定する。
- (4) 親ロボットを矢印のように移動、停止させ、親ロボットにより子ロボット 1, 2 までの相対距離、方位角、仰角を計測して、親ロボットの位置を三辺測量法により同定する。

という動作を繰り返す。これまでに屋外長距離の移動でも、移動距離の 0.3% という高い同定精度を確認している [2]。

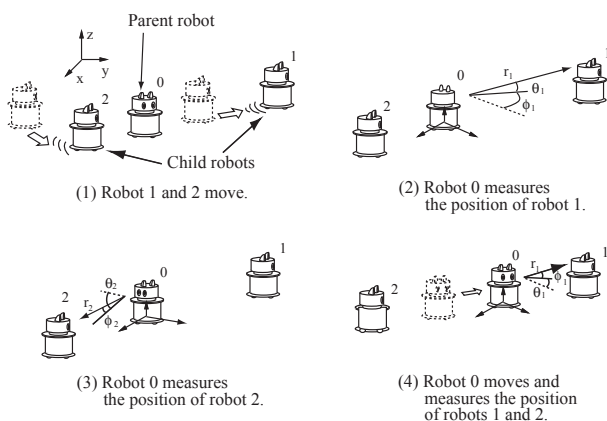


Fig.1 協調ポジショニングシステム (CPS)

提案した CPS は未知の 3 次元環境でも非常に高精度な位置同定が実現できることから、ロボットに周囲環境測定用センサを搭載することで、未知環境における位置同定および環境地図の作成を同時に行う、いわゆる SLAM が実現できる。我々は、これまでに CPS とアクティブタッチ型移動ロボットを組み合わせた SLAM システムを提案した [3] (Fig.2)。このシステムは、壁に接触しながらセンサレスで移動するアクティブタッチロボットを、CPS ロボットに搭載したレーザ距離計測装置により測定することで、アクティブタッチロボットの軌跡、すなわち未知環境での壁や柱の 2 次元配置を自動獲得するものである。しかし、このシステムでは、アクティブタッチロボットが接触したある一定の高さの壁や柱の地図が正確に得られるものの、壁の高さなど、その他の 3 次元情報は得られなかった。

3 第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V

今回、我々はより詳細な 3 次元環境地図の自動獲得システムの実現を目指し、3 次元レーザレンジファインダを搭載した新たな第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V を構築した (Fig.3)。このシステムは、1 台の親ロボット (P-cle, Parent mobile unit, Fig.5) と 2 台の子ロボット (HPI Japan 製, Fig.4) からなる。親ロボットは 2 次元レーザレンジファインダ (LMS 200, Sick) と、子ロボットとの相対位置算出のための測量器 (AP-L1, TOPCON Ltd.)(Table 1) を搭載している。このレーザレンジファインダは 2 次元スリット状の距離データを、最大 80m、角度 180° の範囲で得ることが

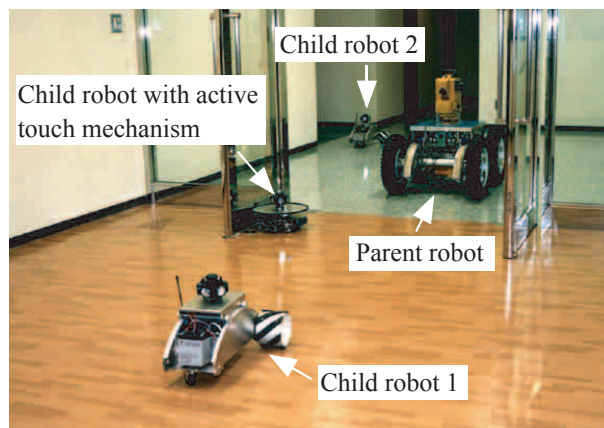


Fig.2 アクティブタッチ型 CPS SLAM [3]

できる (Table 2)。また、親ロボットは、本体上部に搭載した回転テーブルを垂直軸周りに回転させ、回転を行いながら 2 次元レーザレンジファインダからスライス状の距離データを連続して計測することで、ロボット全周囲の 3 次元距離データを得ることができる (Fig.5)。なお、一回の全周囲の距離データ取得に要する時間は 37.8 秒である。この 3 次元距離データの取得作業を CPS 動作による移動、位置同定と組み合わせ、未知環境においても高精度な 3 次元環境地図を作成する。

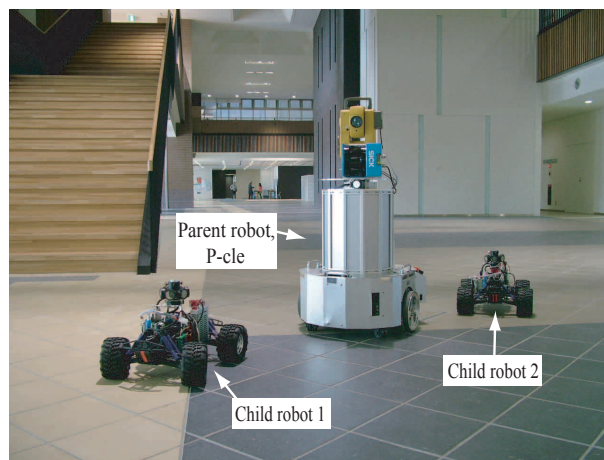


Fig.3 第 5 次 CPS 機械モデル CPS-V

AP-L1 (TOPCON Ltd.)	
Range	4 ~ 400[m]
Resolution (distance)	0.2[mm]
Resolution (angle)	5
Precision (distance)	± 3 + 2ppm[mm]
Precision (angle)	± 5

Table 1 トータルステーション AP-L1

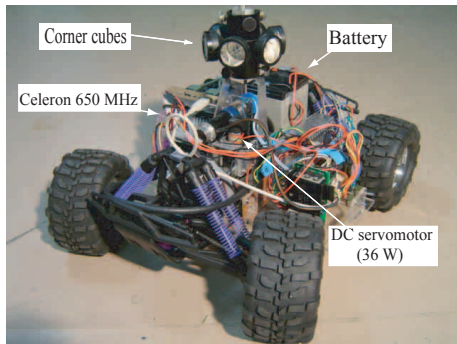


Fig.4 第5次 CPS 機械モデル 子ロボット

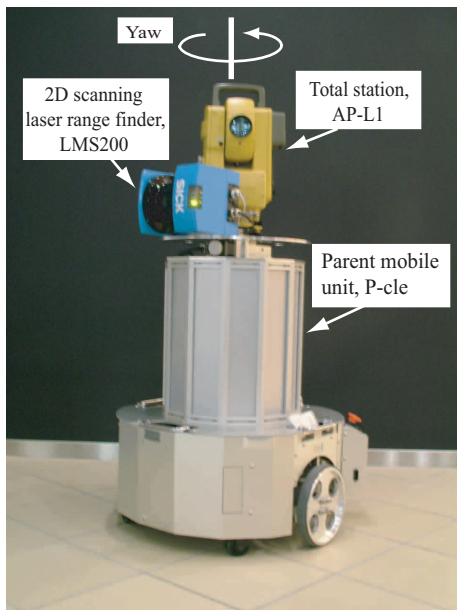


Fig.5 親ロボット搭載の Yaw 軸回転ステージを利用した 3次元計測

LMS 200 (SICK Corp.)	
Range	80[m]
Field of view	180 °
Resolution (distance)	10[mm]
Resolution (angle)	0.5 °

Table 2 レーザレンジファインダ LMS200

4 屋内環境地図作成実験

4.1 実験概要

構築した第5次 CPS 機械モデル CPS-V を用い、広い屋内空間における 3次元環境地図の構築実験を行った。

実験では各ロボットを 1 回約 4 m ずつ移動させ (Fig.6), 親ロボットが静止した地点で親ロボットに搭載した回転ステージを垂直軸周りに回転させてレーザレンジファインダをスキャンし、得られた 3次元距離データから環境構造を測定した。異なる地点に

おいて取得した環境構造を、CPS によって同定された位置情報のみを用いて位置合わせすることで、ICP 法等の後処理を全く用いことなく 3次元環境地図が生成できる。



Fig.6 ロボットの移動の様子

4.2 実験結果

親ロボットの移動軌跡を Fig.7 に示す。親ロボットは最大で、x 軸方向に 39m, y 軸方向に 10m 移動した。また、実験の結果得られた 3次元地図を Figs.8,9 に示す。それぞれの図中の 3次元地図内に開いた穴は、親ロボットが環境計測を行った位置を表しており、親ロボットは移動中にレーザによる環境計測を 23 回行った。また、a2,b2 は点で、c2 は得られた点データに三角パッチを貼り、面で表示している。実験の結果から、CPS のみでも高精度な地図作成が可能であることが分かる。なお、本実験の結果得られた CPS の位置同定誤差は、親ロボットの総移動距離 86.21m に対し、1.25m (総移動距離の 1.45%) であった。

5 まとめ

従来の SLAM に比較して格段に高精度な未知環境地図の自動作成システムの実現を目指し、協調ポジショニングシステム (CPS) の有する高い位置同定精度と、3次元環境地図が作成可能なレーザレンジファインダやステレオカメラを組み合わせた、CPS SLAM システムを提案した。また新たに開発した第5次 CPS 機械モデル CPS-V を紹介し、これと 3次元走査型レーザレンジファインダを組み合わせた、広い屋内空間での 3D 地図作成実験の様子を示した。今後はより高精度な環境地図作成を目指し、CPS によるロボットの自己位置同定精度の向上を図る。

文献

- [1] 広瀬茂男, 倉爪亮, 長田茂美, “群ロボットによる協調ポジショニング法”, 日本ロボット学会誌, Vol.13, No.6, pp.838-845, 1995.
- [2] 倉爪 亮, 広瀬 茂男, “協調ポジショニングシステムの研究 (第8報: CPS-III による長距離移動測定実験)”, 第16回日本ロボット学会学術講演会予稿集, pp.169-170, 1998.
- [3] 倉爪 亮, 広瀬 茂男, 岩崎 倫三, 長田 茂美, “協調ポジショニングシステムの研究 (CPS アクティブタッチ融合型地図生成法)”, 日本ロボット学会誌, Vol.17, No.1, pp.84-90, 1999.

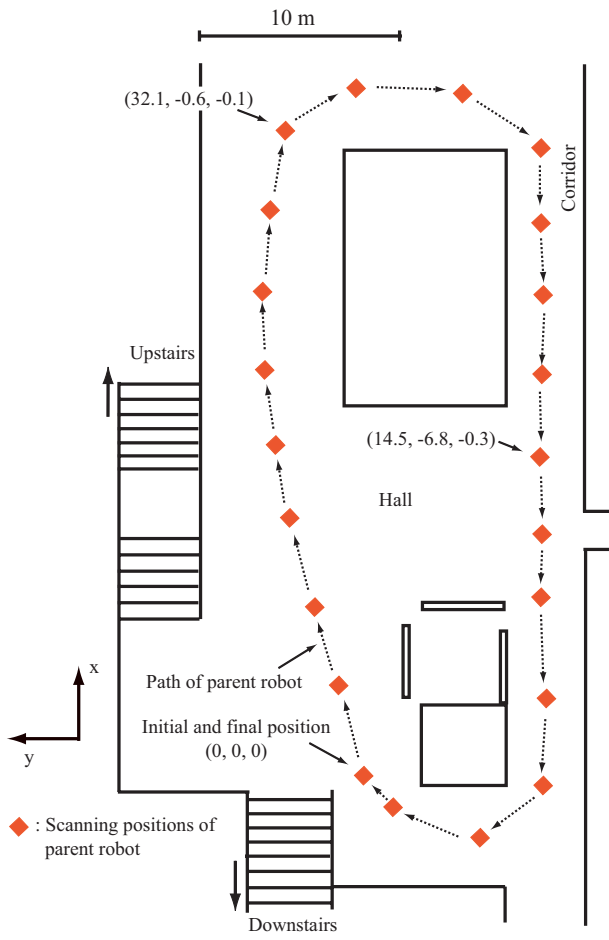


Fig.7 親ロボットの移動軌跡

[4] 戸畑 享大, 倉爪 亮, 村上 剛司, 長谷川 勉, “CPS SLAMの研究 (CPS-V の構築と SLAM 実験)”, 第 24 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2N17, Sep. 2006.

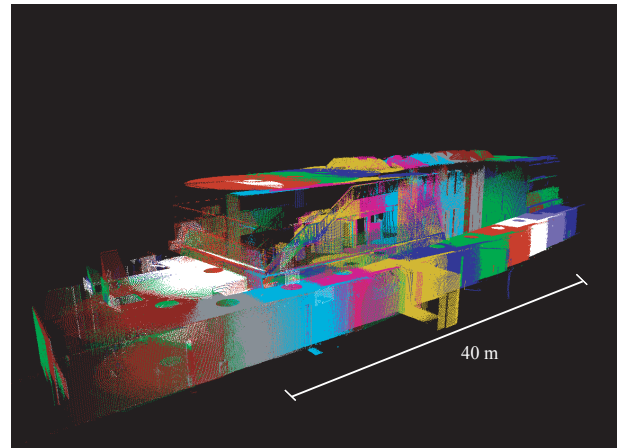
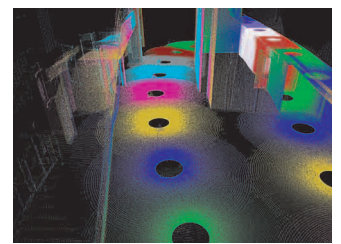


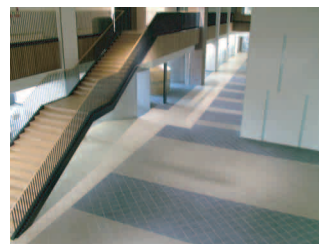
Fig.8 取得した 3 次元地図 (全体図)



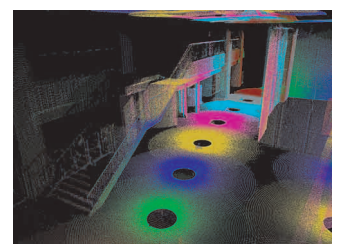
(a1)



(a2)



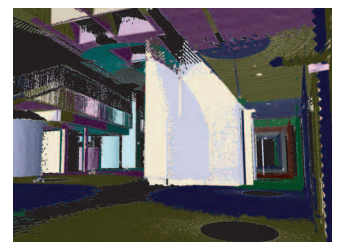
(b1)



(b2)



(c1)



(c2)

Fig.9 取得した 3 次元地図