

協調ポジショニングシステムの研究

第4報：第2次機械モデル CPS-II の最適移動形態

東京工業大学 ○倉爪 亮 広瀬 茂男

(株)富士通研 長田 茂美 指田 直毅

Study on Cooperative Positioning System

Tokyo Institute of Technology : ○ Ryo Kurazume, Shigeo Hirose

FUJITSU LABORATORIES LTD. : Shigemi Nagata, Naoki Sashida

Abstract - We have proposed a new positioning method called "Cooperative Positioning System (CPS)." For CPS, we divide the robots into two groups, A and B. One group, A, remains stationary and acts as a landmark while group B moves. Group B then stops and acts as a landmark for group A. This process is repeated until the target position is reached. In this paper, we introduce a new CPS machine model CPS-II and the result of error measurement experiment. Then we propose optimum moving strategies for CPS-II to minimize the positioning error even after robots move long distances.

Key Words: Multi robots, Positioning, Optimized strategy

1 はじめに

筆者らはこれまでに未知/不整地環境でも高精度な位置同定の可能な、複数ロボットによる「協調ポジショニング法, Cooperative Positioning System, CPS」を提案し、実機を用いた移動測定実験によりその有効性を検討してきた [1,2]。CPS は従来の位置同定法と比較して高精度な位置同定が可能であるが、位置同定精度は移動とともに次第に低下する性質を有する。そこで本報告では試作した機械モデル CPS-II の累積誤差の基本的性質を解明し、CPS-II に対する累積誤差を最小化する最適化された動作シーケンスを提案する。

2 第二次機械モデル CPS-II と基本的計測誤差特性

CPS-II の構成を Fig. 1 に示す。CPS-II は高精度レーザ距離計測装置を搭載した親ロボットと上部に6つのコーナキューブを搭載した2ないし3台の子ロボットからなる [2]。CPS-II の同定精度測定の予備実験として、室内環

い、冗長な位置情報を最尤推定法により融合し、精度向上を図った場合の位置同定精度は0.12%であった。

次に測定誤差の基本的性質を調べるために、CPS-II のによって定点観測を多数回行い、CPS-II の測距、測角誤差精度を計測した。実験はコーナキューブをレーザ距離計測装置本体から 2m ~ 60m の距離に設置し、各コーナキューブまでの距離を繰り返し計測して測定距離の読み値の分散を求めた。結果を Fig. 2(a) に示す。次にコーナキューブを測定器本体から 60m 離して設置し、距離と方位角を繰り返し計測して読み値の頻度分布を求めた。結果を Fig. 2(b) に示す。これらの実験から、以降の解析

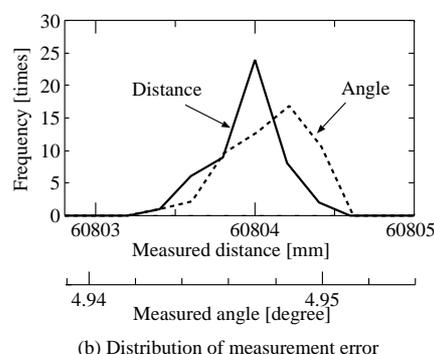
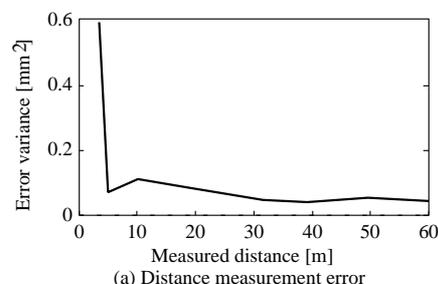


Figure 1: Total view of the mechanical model CPS-II.

境において各ロボットを適当に移動させる移動測定実験をまず行った結果、3台のロボットを用いた場合の位置同定精度は移動距離の0.28%であり、4台のロボットを用

Figure 2: Errors of distance and angle measurement

ではCPS-IIの測定誤差は以下の性質が設定できると考えることにした。

1. 測角、測距誤差は中心0のガウス分布で与えられる。

2. 測距，測角誤差の分散値は，計測距離，角度によらずある一定値で与えられる．

3 CPS-II の最適移動形態

これは CPS-II の移動形態と位置同定精度の関係を計算機シミュレーションによって検討し，位置同定精度を評価基準とした最適な動作シーケンスを提案する．

まず Fig. 3 に示すように，3 台のロボットからなる CPS-II を考え，親子ロボット間距離を r_1, r_2 ，親ロボットからみた子ロボットの方角角を ϕ_1, ϕ_2 として各ロボットを配置し，ある 1 つの移動形態 (r_1, r_2, ϕ_1, ϕ_2 の組) を目標位置まで繰り返す場合を考え，Newton 法により初期値を様々に変えて位置同定誤差を最小にする移動形態を求めた．ただし計測器の測距精度は標準偏差 3mm，測角精度を標準偏差 5 秒とし，各ロボットは 1km 先に設定された各々の目標位置に向けて，直線的に移動距離 10m ずつ交互に 100 回移動する運動を想定した．その結果 Table 1

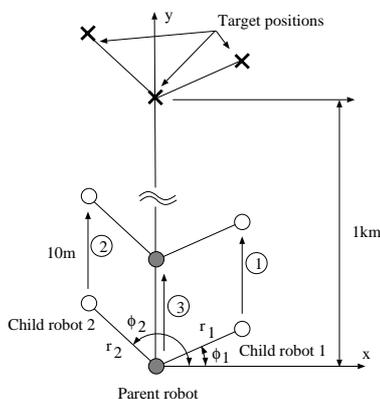


Figure 3: Simulation model.

に示すように，移動後の同定誤差を最小化する移動形態として A,B,C の 3 つの局所解が存在することがわかった．このうち Fig 4 に示すように，解 A,B はロボットの進行

Table 1: Optimum robots configurations.

	$r_1[m]$	$r_2[m]$	$\phi_1[deg.]$	$\phi_2[deg.]$	$\sigma_x^2 + \sigma_y^2$
A	80.3	80.3	3.0	176.1	0.0203
B	528.2	518.0	53.1	126.3	0.0218
C	72.7	106.2	89.6	-90.5	0.0207

方向に対して左右対称に子ロボットを配置する場合であり，解 A はすべてのロボットが進行方向に対して垂直にほぼ横一線に並ぶ配置，解 B は親ロボットから子ロボットへの方位角が $45 \sim 55[deg.]$ となる配置である．また解 C は進行方向の前後にロボットを配置する場合である．

次に 2 つの異なる移動形態を交互に繰り返す場合を考え， r_1, r_2, ϕ_1, ϕ_2 等の変数を連続する 2 つの移動形態に与え，Newton 法により初期値を様々に変えて位置同定誤差を最小にする連続する 2 つの移動形態を求めた結果，上記の移動形態 A,B,C を組み合わせた解が得られた．これらから前述の移動形態 A,B,C は最適性の高いものであることが推定でき，これらを最適化移動形態と呼ぶことにす

Figure 4: Basic moving configurations.

る．CPS-II ではこれら最適化移動形態を組み合わせることによって，位置同定精度の高い移動が可能であるとされる．

さて，著者がこれまでに指摘したように，CPS によりロボット群が移動した時の位置同定精度は，誤差分散行列を用いて一連の漸化式として求めることができるが [1]，一般的にはこの漸化式の解の誘導は困難である．しかし前項の計算機実験で得られた最適化移動形態は，観測方程式の各項が単純化できるため，これら漸化式を解析的に解け，誤差解析がしやすいという特徴を有する．例えば最適化移動形態 A,B で各ロボットが n 回ずつ移動した後の x 軸方向（移動の垂直方向）の位置同定精度は

$$\sigma_{x,n}^2 = n \frac{12d^6 + \dots + 12h^2}{12d^2 L_1^2 L_2^2} \sigma_r^2 + \frac{nl^2(2n^2 + 1)}{6} \sigma_\phi^2 \quad (1)$$

と求められる．ここで σ_r, σ_ϕ は測距測角精度， d, l, h, L_1, L_2 は移動形態を表すパラメータである．各最適化移動形態に対して解析解を導き比較した結果，

1. 最適化移動形態 A,C では各 x, y 方向の位置同定に測距器の測距，測角値をそれぞれ独立して用いているのに対し，最適化移動形態 B では干渉させて用いている．
2. その結果，ロボット間距離が小さい場合には，基本形態 A,C を用いることで精度良く位置が同定でき，広い範囲を探索する場合などロボット間距離が大きい場合には，計測器の測角誤差の影響により次第に基本形態 B が有利になる．

ことがわかった．

参考文献

- [1] 広瀬，長田，倉爪：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] 指田，長田，広瀬，倉爪，群ロボットによる協調ポジショニングシステム - 第 3 報：第 2 次移動ロボットシステムの構築と測定実験，第 13 回日本ロボット学会学術講演会予稿集，pp.849-850 (1995).