

宇宙ロボットの制御実験 —強化学習による自律化—

泉田 啓 藤原 直史 菅沼 直樹
藤井 信治 近藤 貴之 山本 泰之
金沢大学大学院 自然科学研究科

1. 研究の背景と目的

宇宙ロボットとは...

宇宙飛行士に代わって、宇宙ステーションなどの構築、運用、メンテナンスを行う

宇宙飛行士の安全確保と作業の効率化

宇宙ロボット実現への課題

- ・ロボットの自律化
- ・高性能ロボットの開発
- ・高い信頼性の実現

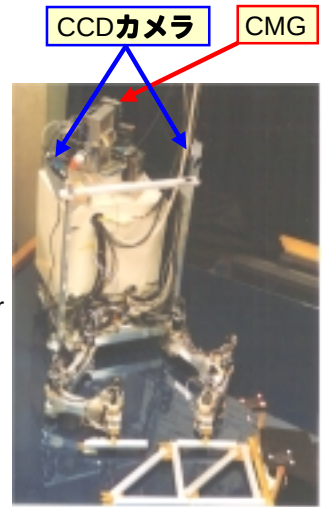
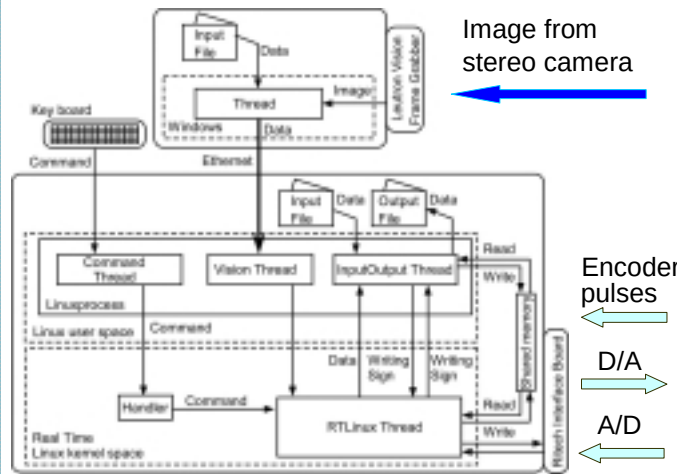
研究目的

- ・宇宙ロボットの**模擬実験システム**の構築
- ・**自律化と知能化**
- ・構造物組立実験などによる有用性の例証



宇宙ロボット (FTS)

2. 模擬実験システム



- ・空気潤滑によりテーブルとの摩擦をゼロにし、軌道上の宇宙ロボットを模擬
- ・**トルクサーボ**を持つ3関節双腕SCARA型マニピュレータでの力制御を実現
- ・**CCDステレオカメラ**で環境を計測し組立作業を行う
- ・**CMG**1台とスラスト4個からなる位置姿勢制御系
- ・RT-Linuxによる実時間制御

3. トラス組立実験

トラス構造物組立のシーケンス

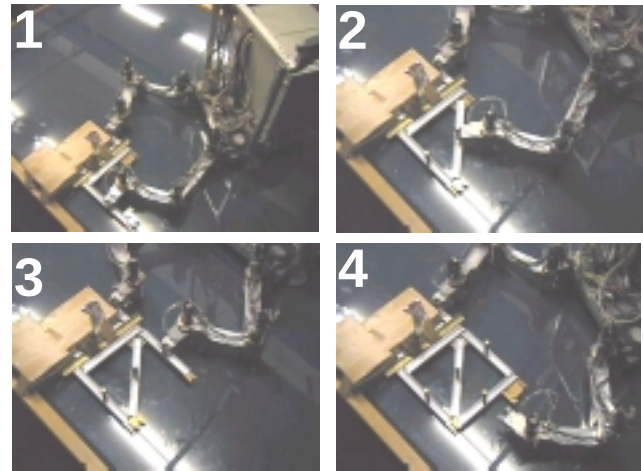
- ・ステレオビジョンにより取っ手の位置と部材の組付け位置を認識し1~4の順に組立
- ・ロボット・フレンドリな組立トラス
- ・環境の拘束を考慮した位置と力のハイブリッド制御で組付け

課題

ビジョンの計測誤差(約2mm)等のため、組付け(Peg-in-Hole)に失敗する場合があります

宇宙ロボットの自律化が必要

環境に計測誤差や想定外の障害物といった**不確定性・変動**があっても作業を遂行するように**強化学習**により、自動化する



4. 強化学習を用いた自律化へのアプローチ

Peg-in-Hole タスクの特徴

- ・構造物組立作業のモデル
- ・環境との相互作用のある代表的タスク
- ・形状の誤差や弾性変形などの不確定性や変動がある
- ・各状態の遷移が僅かな力の差に依存する
- ・接触状態が非常に多い(2次元でも数十の接触状態)
- ・接触状態の違いに応じ、制御即を変える必要性



自律化の必要性

位置制御、モデルベースの制御でのタスク達成は困難

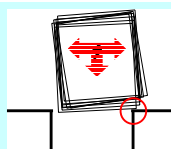
環境、タスクに合わせて**コントローラを自律生成**

自律化へのアプローチ方法

宇宙ロボット P_H に適用する3タイプのコントローラ K_Q

TYPE 1 : **誤差を含まないモデル** P_M 上での学習を行い(コンピュータ内)コントローラ K_Q を獲得した後、宇宙ロボット(実機) P_H に適用

→ 視覚誤差など**僅かな誤差**に起因したタスク失敗



TYPE 2 : TYPE 1で得られた情報(力・トルク、カメラ計測)を基に修正したモデル P_M' (コンピュータ内) で再度学習、コントローラ K_Q' 獲得後、実機 P_H に適用

TYPE 3 : TYPE 1のモデルに**予測可能な(計測)誤差** ΔP を追加したモデル P_M'' 上において、TYPE 1と同様に学習(コンピュータ内)を行いコントローラ K_Q'' を獲得した後、実機 P_H に適用

→ 誤差に**ロバストな技能**(ペグを辺に沿わせながら移動、回転)の取得により、容易に**タスク達成**



→ **人間と同じ技能を得た**

