

冗長マニピュレータによる押し作業の制御

Control of Pushing Operation by a Redundant Manipulator

80222011 河佐卓慶 (Takanori Kawasa) Supervisor 大西公平 (Kouhei Ohnishi)

1 序論

近年ロボットの利用範囲が拡大するにつれ、ロボットにはさまざまな環境下で作業が行えることが要求されてきている。例えば、人間共存型ロボットとしてAIBOなどや、極限環境下で作業を行う、火星探査ロボットなどがある。これらは従来の工場で働くロボットのように、一つの作業を単純に繰り返すだけのロボットとは異なり、高い自律性が要求される。

そこで本研究では、冗長マニピュレータを用いた、押し作業を取り上げる。なぜなら、押し作業が可能となれば、組み立て作業や工場内の対象物体の移動などにおいて、物体を把持することなく移動できるため、作業時間を短縮することや、手先効果器の簡略化が期待できる。

現在までに、押し作業についての研究は多く報告されている。しかしそれらは“エンドエフェクタの位置・速度制御のみ”に頼って作業を実現している。そのため外乱や対象物のモデル化誤差によって応答が大きく影響を受ける。そこで本研究では、それらの外乱を作業空間オブザーバによって補償する。そのため対象物の指令値は力次元である必要がある。したがって、並進方向に所望の駆動力。そして回転方向に軌道からのズレを反映した、モーメントを指令値として加えることにより、与えられた軌道に追従する制御系を構築する。

2 冗長マニピュレータのモデル化

本研究で用いた冗長マニピュレータを図1の様にモデル化し、順運動学・逆運動学・動力学を以下の様に導出した。

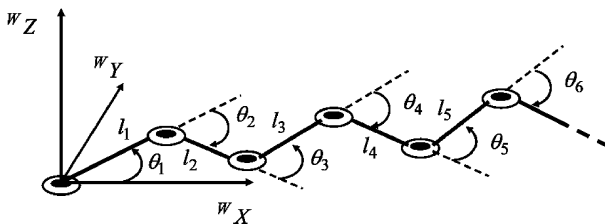


図1: 冗長マニピュレータのモデル

まず運動学は以下の式(1)の様に表される。

$$\dot{\mathbf{x}}_{ma} = \mathbf{J}_{aco} \dot{\boldsymbol{\theta}} \quad (1)$$

次に逆運動学は、擬似逆行列を用いることにより、以下の式(2)の様に表される。

$$\dot{\boldsymbol{\theta}} = \mathbf{J}_{aco}^+ \dot{\mathbf{x}}_{ma} \quad (2)$$

$\dot{\mathbf{x}}_{ma}$: 作業空間ベクトル

$\dot{\boldsymbol{\theta}}$: 各関節を表すベクトル

\mathbf{J}_{aco} : ヤコビ行列

\mathbf{J}_{aco}^+ : ヤコビ行列の擬似逆行列

また動力学は以下の式(3)の様に表される。

$$\boldsymbol{\tau} = \mathbf{M}(\boldsymbol{\theta}) \ddot{\boldsymbol{\theta}} + \mathbf{h}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}}) + \mathbf{g}(\boldsymbol{\theta}) \quad (3)$$

$\boldsymbol{\tau}$: 駆動トルク

\mathbf{M} : 慣性行列

$\mathbf{h}(\boldsymbol{\theta}, \dot{\boldsymbol{\theta}})$: 遠心力とコリオリ力の項

$\mathbf{g}(\boldsymbol{\theta})$: 重力項

3 制御系の設計

3.1 対象物座標系の定義

押し作業においては、対象物体との相対運動が重要となってくるので、対象物の幾何学的中心に原点を持ち、並進方向に ${}^{ob}X$ 座標、垂直方向に ${}^{ob}Y$ 座標をとる、対象物座標系を導入した。ここで対象物座標系を基準とした速度関係式 ${}^{ob}J_{aco}$ は以下の式(4)の様に表される。

$$\begin{aligned} {}^{ob}\dot{\mathbf{x}}_{ma} &= \mathbf{R}(\phi) \mathbf{J}_{aco} \dot{\boldsymbol{\theta}} \\ &= {}^{ob}J_{aco} \dot{\boldsymbol{\theta}} \end{aligned} \quad (4)$$

3.2 指令値の生成

対象物の運動は、対象物座標系においては並進運動と、回転運動によってのみ表される。したがって、対象物座標系で制御系を構築する場合、力指令値により並進運動を、接触位置指令値により回転運動を実現できる。そこでそれらの指令値を、以下の式(5), (7)に示す。

$$F^{cmd} = (\ddot{x}_{ob}^{cmd} - K_x \Delta y) M_{ob} \quad (5)$$

$$N^{cmd} = (K_y \Delta y + K_\phi \Delta \phi) I_{ob} \quad (6)$$

$$y_{ma}^{cmd} = N^{cmd} / F^{ref} \quad (7)$$

K_x, K_y, K_ϕ : ゲイン

$\Delta y, \Delta \phi$: 軌道からの WY 方向誤差と姿勢誤差

M_{ob}, I_{ob} : 対象物の質量と、慣性モーメント

F^{ref} : 作業空間オブザーバを適用後の力参照値

3.3 制御系の設計

^{ob}X 方向において、安定した接触を保ち、さらに所望の駆動力を対象物に与えられる、インピーダンス制御を採用した。また ^{ob}Y 方向においては、前節で得られた指令値を用いたPD制御を採用した。

$$\ddot{x}_{ma}^{ref} = (F^{cmd} + K_{rp}(x_{ob}^{res} - x_{ma}^{res}) + D_{rv}(\dot{x}_{ob}^{res} - \dot{x}_{ma}^{res})) / M_{ob} \quad (8)$$

$$\ddot{y}_{ma}^{ref} = K_p(y_{ma}^{cmd} - y_{ma}^{res}) + K_v(\dot{y}_{ma}^{cmd} - \dot{y}_{ma}^{res}) \quad (9)$$

制御系全体のブロック線図を以下の図2に示す。

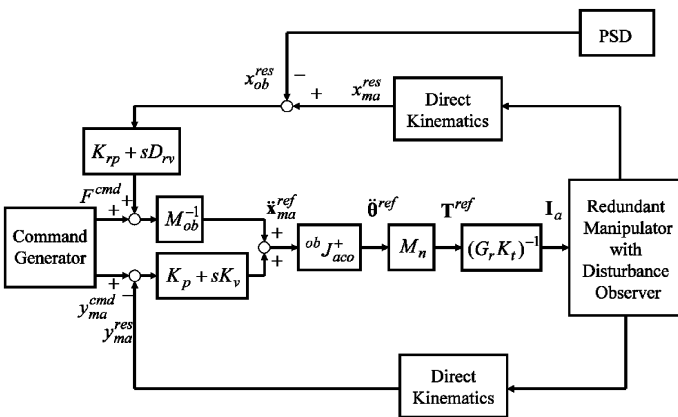


図 2: 制御系全体のブロック線図

4 シミュレーション

提案した制御系の妥当性を検討するために、次の条件の下で、シミュレーションを行なった。対象物初期位

置(0.9,0.0)から目標位置(1.1,0.1)まで、計画された \sin カーブに対する追従性を確かめるものである。結果を以下の図3,4に示す。

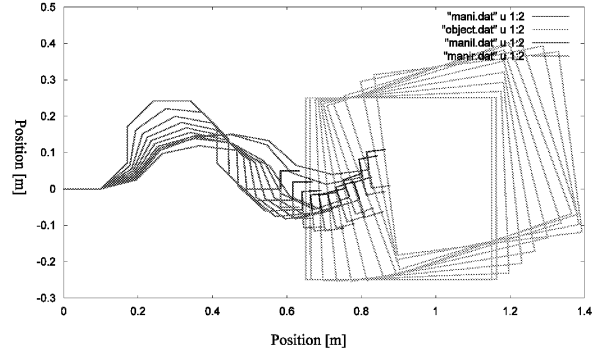


図 3: スティック線図

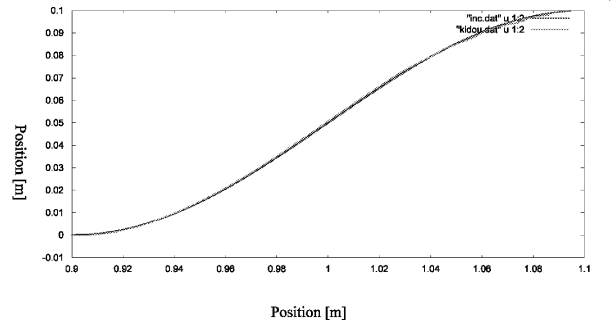


図 4: 対象物の中心の軌道

5 結論

対象物モデルとして、エンドエフェクタとのインピーダンスモデルを採用している。したがって接触位置を変化した際に、対象物が動いてしまうため、接触位置の不連続な変化が見られるが、追従性の面で良好な結果を得られたと言え、対象物の位置と姿勢が制御されている。したがって提案した制御系の有効性が確認された。

参考文献

- [1] T. Kawasa and K. Ohnishi, "A Control Algorithm of Mobile Manipulator for Pushing Operation", IEE Japan, The Papers of Technical Meeting on Industrial Instrumentation and Control, 2003, pp.53-58.
- [2] T.Yoshikawa and M.Kurusu, "Identification of the Center of Friction from Pushing an Object by a Mobile Robot" Proc. Iros '91, pp.449-454, 1991