

3 リンクマニピュレータの力制御シミュレーション

都築 昂史*, 吉田 靖夫**

Simulation of Force Control of a Three Link Manipulator

Kouji TSUZUKI* and Yasuo YOSHIDA **

(Received October 31, 2005)

We propose that operations which need a static pressing force can be performed by a manipulator using a spring which is a simple force-controlled end effector. This paper describes the simulation of the hybrid position/force control of a horizontal three link manipulator with a spring end effector. Digital velocity control method is used. Tip position of the manipulator is controlled to follow the desired position trajectory along with the wall constraint surface and tip reaction force that is perpendicular to the wall is simultaneously controlled.

Keywords: position control, force control, velocity control, manipulator

1. 結 論

グラインダがけのような一定押し付け力を必要とする磨き作業やねじを締めるような接触を伴う組立作業などは、位置制御に加えて力制御が必要である。位置と力のハイブリッド制御法^{1),2)}は位置と力为目标値に一致させるように制御する方法である。実用的な信頼性のあるハイブリッド制御は確立されているとはいいがたく、広範囲に使用されていないようである。ほとんどの加工組立作業の場合、静的に押し付け力を必要とし、力制御すべき方向は作業面の法線方向に限定される場合が多い。このような場合、手先に一方向の力を発生させる簡便な機構を付加すればよいであろう。ここでは、手先効果器としてばねを有する 3 リンクマニピュレータを取り上げ、速度制御による位置と力のハイブリッド制御のシミュレーションを行った結果を報告する。

2. 理 論

2.1 モデル

図 1 は、リンク長さを l_1, l_2, l_3 , 先端にばね定数 K を有する 3 リンクマニピュレータであり、 J_1, J_2, J_3 は第 1, 第 2, 第 3 関節である。

*機械工学専攻大学院生(Graduate student, Department of Mechanical Engineering)

**機械工学科 (Department of Mechanical Engineering)

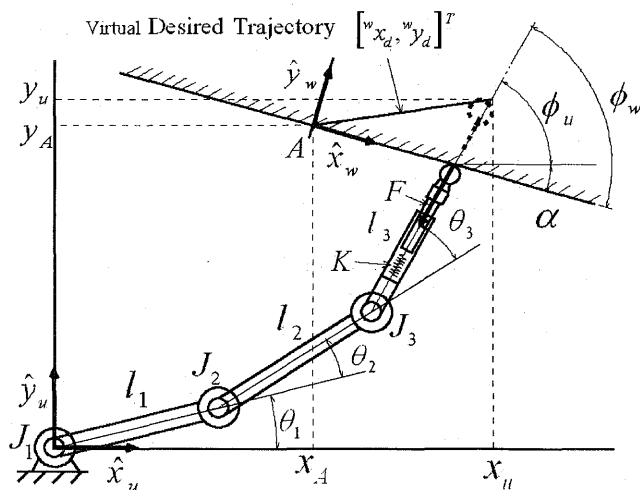


Fig.1 Horizontal three link manipulator model

第 1 関節に基準座標系 $\hat{x}_u, \hat{y}_u$ を設け、 $\hat{x}_u$ に対して傾斜角 α なす壁に作業座標系を定め、壁面方向を $\hat{x}_w$ 、壁面に垂直方向を $\hat{y}_w$ とする。壁の傾斜角 α は $\hat{x}_u$ と $\hat{x}_w$ のなす角とし、アーム関節角を $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ とし、リンク先端の姿勢角 $\phi_u (= \theta_1 + \theta_2 + \theta_3)$ とする。アーム先端の目標軌道 ${}^w x_d, {}^w y_d$ とする。 ${}^w x_d$ は壁面に沿った $\hat{x}_w$ 軸方向の位置軌道、 ${}^w y_d (= F_d / K)$ は、壁面に垂直な $\hat{y}_w$ 軸方向の目標力 F_d による仮想位置軌道である。

3. シミュレーション結果

アームの長さはそれぞれ $l_1 = 0.26\text{m}$, $l_2 = 0.23\text{m}$, $l_3 = 0.27\text{m}$ 姿勢角 $\phi_u = 20^\circ$ のモデルを用いて、手先を壁に沿って 0.3m 移動させ、目標力 $F_d = 20\text{N}$ を発生させるようなシミュレーションを行った。サンプリングタイムは 0.1s でゲイン極指定パラメータ $\sigma = -1.0$, $\omega = 1.0$, $\beta = 2.0$ である。壁の原点 A は $(^u x_A, ^u y_A) = (0.4\text{m}, 0.35\text{m})$ で、図中 Without offset はマニピュレータの先端の初期位置が壁の原点と一致している場合、With offset はマニピュレータの先端の初期位置が $(^u x_A, ^u y_A) = (0.3\text{m}, 0.45\text{m})$ とし、壁の原点からそれぞれ 10cm 離れた場合である。図3は3リンクマニピュレータの始めと終わりの姿勢を示したものである。

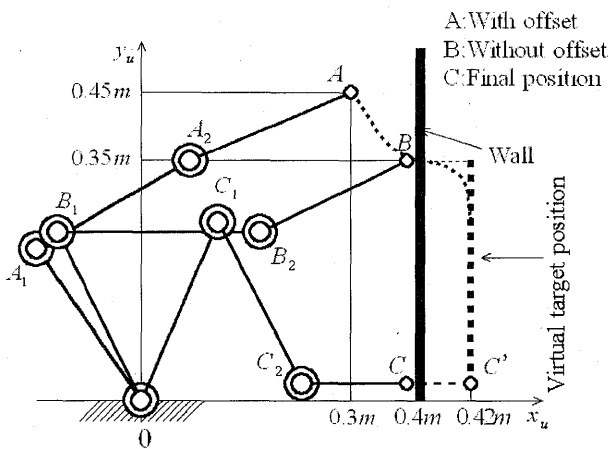


Fig.3 Start and end shapes of three link manipulator

3.1 目標力一定のとき

図4はu座標系から見たx方向の応答変位で、目標力 F_d を発生させるために、仮想目標軌道として壁の内側に目標軌道が存在する。測定時間は 10s である。Without offset の場合は始めに壁に先端が接触しているので目標軌道にほぼ沿っていて 4s 後には完全に目標軌道に沿っている。With offset の場合は 5s 後には完全に目標軌道に沿っている。

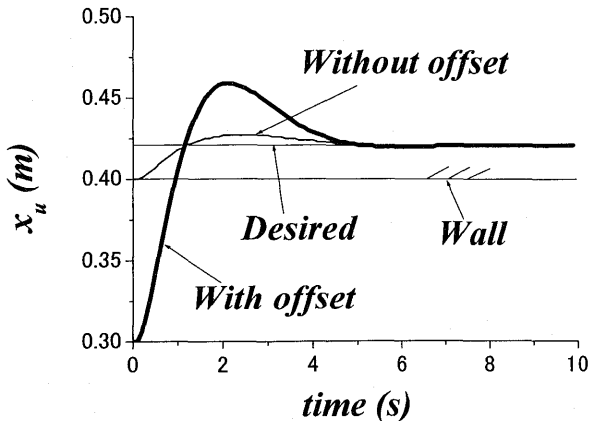


Fig.4 Time response of displacement x_u

図5はu座標系から見たy方向の応答変位で測定時間は 10s としている。Without offset は完全に目標軌道と一致している。With offset は 4s 後には目標軌道と一致している。

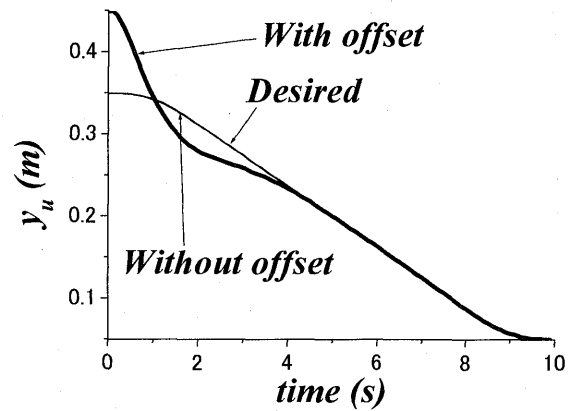


Fig.5 Time response of displacement y_u

図6は力の応答で測定時間は 10s である。Without offset は 5s 後には完全に目標力に一致している。With offset は壁に接触した瞬間大きな力が発生しているが 5s 後には目標力に一致している。

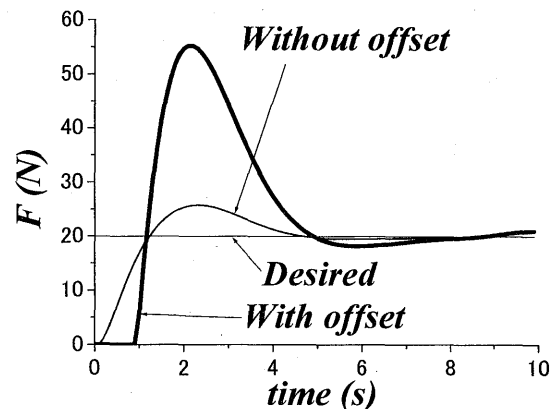


Fig.6 Time response of reaction force F

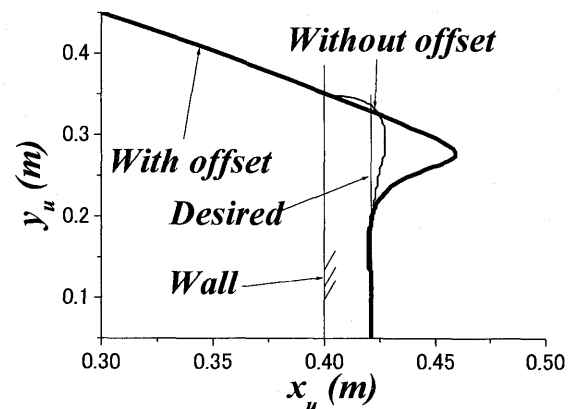


Fig.7 Trajectory of tip end

図7は手先の軌道で、横軸に u 座標系での x 値、縦軸に y 値を示している。Without offset はほぼ目標軌道に沿っている。With offset は $y=0.20\text{m}$ あたりから目標軌道に沿っている。

図8はマニピュレータの姿勢角 ϕ_u の応答を示した。With offset, Without offset とともに一致している。

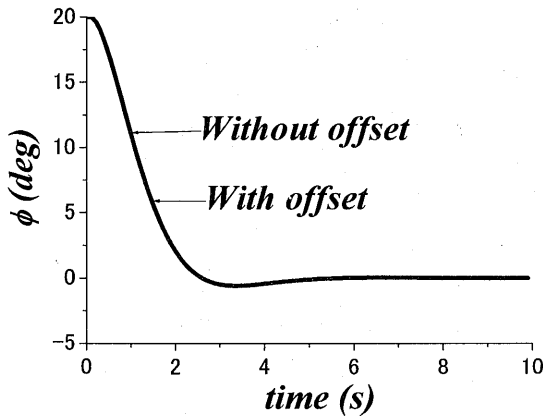


Fig.8 Time response of orientation ϕ_u

図9はマニピュレータの各関節角を示した。 θ_1, θ_3 は4s後、 θ_2 は3s後にWith offset, Without offset が一致している。

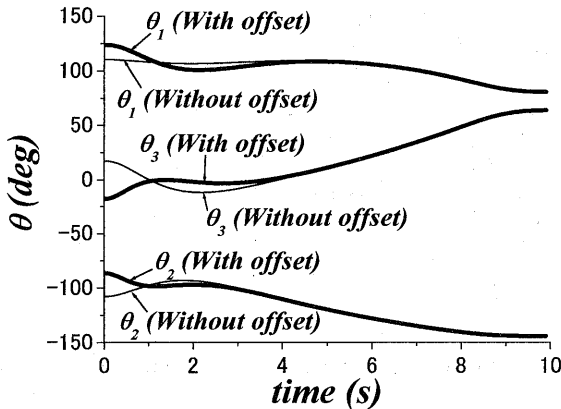


Fig.9 Time response of joint angles $\theta_1 \sim \theta_3$

3.2 目標力変化のとき

目標力を0～10sまでに20N発生させ、10～15sまでは20N一定で保ち、15～25sでゼロNにするような台形状にする。測定時間は25sである。

図10は力の応答を示していて、Without offset はほぼ目標軌道に沿っていて5s後には完全に目標軌道に沿っている。With offset は壁から先端が離れているので、壁に接触した瞬間に大きな壁反力が発生しているが5s後にはほぼ目標軌道に沿っている。

図11は手先の軌道で、横軸に u 座標系での x 値、縦軸に y 値を示している。Without offset はほぼ目標軌道に沿って

いる。With offset は壁から先端を離れているので壁に近づける加速度が発生しているため壁の内側の仮想空間に大きく入っているが $y=0.30\text{m}$ あたりからは目標軌道に沿っている。

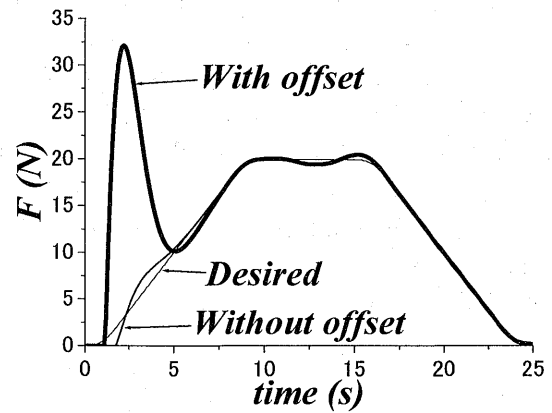


Fig.10 Time response of reaction force F

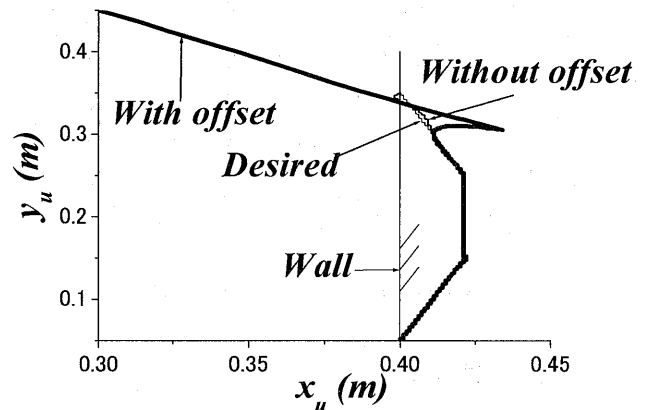


Fig.11 Trajectory of tip end

4. まとめ

先端にばねを有する3リンクマニピュレータの速度制御による力制御シミュレーションを行った。初期姿勢としてマニピュレータ先端を壁から少し離すと壁内側に設けた目標軌道との偏差が大きく生じ、結果として初期に壁反力も大きく生じ目標力に沿うには時間がかかることが分かった。初期に壁から離さないとほぼ目標軌道に沿うことを示した。このシミュレーション結果をもとに3リンクマニピュレータでの実験を予定している。

参考文献

- 1) M. H. Raibert and J. J. Craig : Hybrid Position/Force Control of Manipulators, Trans. ASME, Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control, Vol.102, pp.126-133, 1981
- 2) T. Yoshikawa, T. Sugie and M. Tanaka, Dynamic Hybrid Position/Force Control of Robot Manipulators - Controller Design and Experiment, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol.4, No.6, pp.699-705, 1988