E-3

異構造マスタ・スレーブにおけるエンドエフェクタへの速度入力

Speed Input to the End Effector for Master Slave Manipulator System with Different Configurations

○時枝快己 [1]，　吉田洋明 [2]

*Yoshiki Tokieda[1]，　Hiroaki Yoshida[2]

Abstract: Intuitive operation is difficult for a manipulator with complicated structure. Operator need a long time to get use to difficult operation. In this paper, we propose different configuration master slave manipulator system for intuitive operation. Operator can intuitive operation that speed control to end effecter by master unit. This paper shows simulation and experimental results of speed input to the end effector.

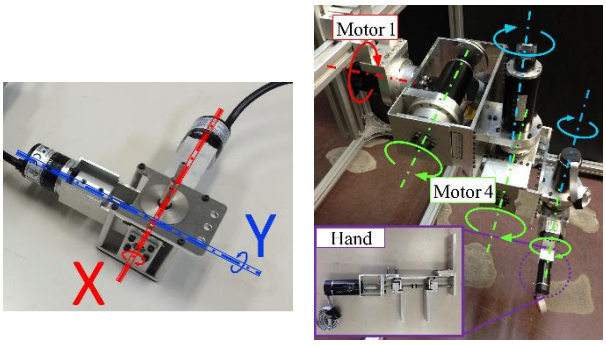
1.　背景

近年，建設機械においてアームを 2 本に増やした重機の開発が行われている．従来の重機では 1 本のアームを両手で操縦していたが，アームを 2 本にする場合 1 本のアームを片手で操縦する必要がある．

より繊細な作業を行うためには，人間の腕と同じ自由度を持つアームが望ましい．そして，この様なアームを操作するには，オペレータの腕に装着する装置が考えられている．しかし，この様にマスタ装置とスレーブ装置が同構造の場合，繰り返し作業が多いと作業者の負担となる.そこで,マスタ装置とスレーブ装置を異構造にし，マスタ装置を作業者が少ない動作ですべて入力を行えるような構造にすれば，作業者の負担を減らすことができる．以上より本研究では作業者の作業可能な範囲の拡大と疲労の軽減といった，作業効率の向上に向けた異構造マスタ･スレーブシステムの研究を行う．また、先行研究にてエンドエフェクタへの位置入力ではエンドエフェクタの軌道に引き込み距離が発生していた[1]．この問題の解決方法として提案したエンドエフェクタへの速度入力の検討を行う．

2.　マスタ･スレーブ装置の構成

Figure1 にマスタ･スレーブ装置を示す．



(a)　Master Unit　　b)　Slave Unit

Figure1.　Master Slave Unit

マスタ装置はスティックタイプとし，Fig.1(a)のように 2 基のロータリーエンコーダがレバーの傾きによって生じる軸の回転角を読み取り，入力情報とする．なお、入力は各エンコーダを各関節の回転角への入力ではなく，エンドエフェクタのx，y，z方向の入力とすることで直感的な動作が可能になるようにした．

本研究で製作したスレーブ装置(Fig.1(b))の構造は，対象物を把持した状態で作業が行えるロボットアーム(スレーブアーム)として，人間の腕に近い自由度を持つようにした．しかし，人間の腕は 7 自由度であり冗長性を持つため，ここでは各関節角を唯一に決定することができる，6 自由度のアームとした．また，このスレーブアームの自由度は手首の上下･ひねりで 2 自由度，肘のひねり･曲げで 2 自由度，肩の上下･ひねりで 2 自由度の合計 6 自由度である．また，最終的に対象物の運搬を行えるようにするため，エンドエフェクタにハンドが取り付けてあり，本体重量を軽くし高トルクを出力できるように設計してある[2]．

3.　モデル化

Figure1 に示したスレーブ装置のx y平面内の動作に着目し，肩の根元から 1 つ目，4 つ目のモータ(以下モータ 1，4)のみを動かし，2 自由度アームとして扱う．今回使用する 2 自由度アームの座標系を Fig.2 に示す．

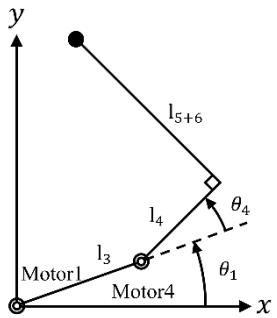


Figure 2.　Model of the Slave Unit

1：日大理工･院（前）･精機　2：日大理工･教員･精機

エンドエフェクタをマスタ装置で速度制御を行う．これにより，小さい目標位置が繰り返し入力されることになるため，先行研究にて発生した引き込み距離の改善される．Figure2 より、マスタ装置でエンドエフェクタの速度を決定した時の各モータの目標角速度は逆運動学から以下のように得られる．

$$\dot{\theta}_1 = A\{(l_4 C_{14} - l_{5+6} S_{14})\dot{x} + (l_4 S_{14} - l_{5+6} C_{14})\dot{y}\} \tag{1}$$

$$\dot{\theta}_4 = -A\{(l_3 C_1 + l_4 C_{14} - l_{5+6} S_{14})\dot{x} + (l_3 S_1 + l_4 S_{14} + l_{5+6} C_{14})\dot{y}\} \tag{2}$$

$$A = \frac{1}{l_3 l_4 S_4 + l_3 l_{5+6} C_4} \tag{3}$$

ただし，$C_i = \cos\theta_i$，$S_i = \sin\theta_i$，$C_{nm} = \cos(\theta_n + \theta_m)$，$S_{nm} = \sin(\theta_n + \theta_m)$とする．

4.　制御則

エンドエフェクタの目標速度を決定した際，各モータには逆運動学より目標速度が与えられる．この目標速度に追従するために速度フィードバック系を設計する．モータ一つに対して設計したブロック線図と伝達関数は以下のようになる．

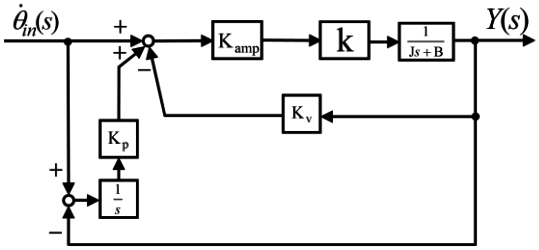


Figure 3.　Block Diagram of Speed input system

$$G(s) = \frac{Y(s)}{\dot{\theta}_{in}(s)} = \frac{(s + K_p)K_{amp}k}{Js^2 + (B + K_V K_{amp} k)s + K_p K_{amp} k} \tag{4}$$

J：等価慣性モーメント [kg･m^2]
B：等価粘性減衰係数 [N･m･s/rad]
$\dot{\theta}$ ：モータの角速度 [rad]
k：モータ定数 [N･m/V]
K_{amp}：アンプの増幅率
K_v：速度フィードバックゲイン
K_p：角度フィードバックゲイン

また，式(4)における角速度フィードバックゲインK_vと角度フィードバックゲインK_pは根軌跡上で 45 度となるように根を配置することで決定した．

5.　実験結果

本研究ではy方向への平行移動に注目した．ここで，初期位置はθ_1，θ_4をともに 0rad とする．今回はx方向の位置を変えずにy方向へ 0. 05m/s で移動させた場合の各リンク及びエンドエフェクタの位置の変化について調べた．

実機での測定結果とシミュレーション結果を比較したものを Fig.4 に示す．Figure4 より，エンドエフェクタの軌道に注目すると，シミュレーションでは直線で移動しているのに対し，実機では蛇行した．これは，パラメータの変化やモータ自身が運動していることをシミュレーションでは考慮していなかったためと考えられる．

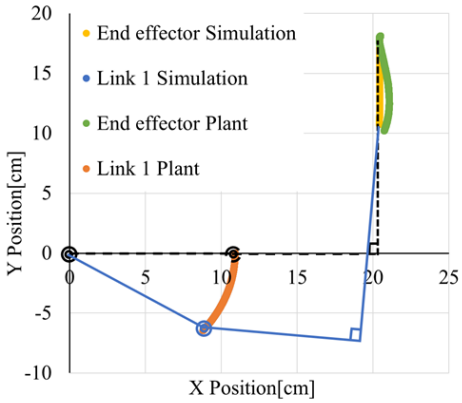


Figure 4.　Experimental Results

6.　おわりに

本研究では 6 自由度ロボットアームをスレーブ装置とした異構造のマスタ装置の入力方法を速度入力にすることで手先の速度が目標速度に追従するシステムを設計した．また，速度入力にすることで，手先の位置が直線的に応答することをシミュレーションによって確認した．手先の位置入力を行った際，エンドエフェクタの軌道に引き込み距離が発生していたがエンドエフェクタの速度入力にすることでこれを改善できた．

7.　参考文献

[1] 時枝快己, 吉田洋明:「異構造マスタ･スレーブ研究(制御則の設計)」，日本設計工学会 2016 年春季研究講演会，2016.

[2] 赤松悠：「異構造 6 自由度マスタ･スレーブアームの研究-速度入力を用いた位置・姿勢制御の検討-」，日本大学大学院理工学研究科精密機械工学専攻修士論文, 2014.