

Mckibben 型空気圧人工筋を用いた 空気圧群アクチュエータの試作と運動制御

臼井 美和子, 清水 清人, 平井 慎一, 川村 貞夫
立命館大学 ロボティクス学科

Prototyping and Motion Control of Pneumatic Group Actuator using
Mckibben Rubber Actuators

Miwako Usui, Kiyoto Shimizu, Shinito Hirai, and Sadao Kawamura
Dept. of Robotics, Ritsumeikan Univ.

We describe the prototyping of a pneumatic group actuator (PGA) using Mckibben rubber actuators and the motion control of the PGA. First, we will apply Mckibben rubber actuators to a PGA, and will measure its motion. We will build a motion control law based on the measured motion of a PGA. Simulation and experiment will show the effectiveness of our approach.

1. はじめに

多様な運動が求められている現在,我々は軽量かつ柔軟で,様々な運動を実現させるために空気圧群アクチュエータ(Pneumatic Group Actuator)を開発してきた[1].

本報告では, Mckibben 型空気圧人工筋を用いて, PGA を構築し, 運動制御を行う. まず 1 段組 PGA を試作しその運動特性を調べる. 次に PGA の運動制御則を構築する. 最後に, PGA の運動制御を行った結果を示す.

2. Mckibben 型空気圧人工筋を用いた PGA

本研究では Mckibben 型空気圧人工筋を用いて PGA を試作した. Mckibben 型空気圧人工筋は外径 16 ,内径 14 のシームレスシリコンゴムチューブに内径 12 の MT スリーブを使用し, 止め具間の長さを 115mm としたものを使用した. PGA はプレート間の長さが 150mm のものを 1 段として使用した. 1 段組, 2 段組, 3 段組 PGA を Fig.1(a), (b), (c) に示す.



(a) single stage (b) double stage (c) triple stage

Fig.1 PGA

3. 1 段組 PGA の特性

1 段組 PGA の軸方向の変位を測定し, 無加圧状態との収縮率を算出した. さらに, 上面プレートの角度をスケールを用いて計測し算出した. ただし, プレートの角度は 0.2MPa 以上圧力をかけても同じ角度であったので省略した. 収縮率を Fig.2 に, プレートの角度を Fig.3 に示す.

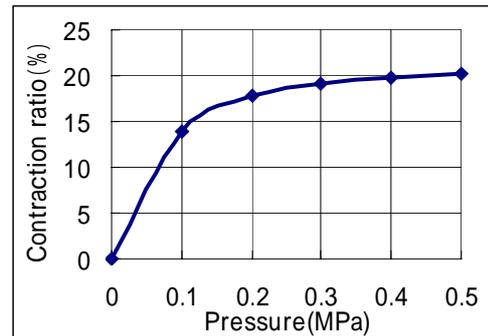


Fig.2 Contraction ratio

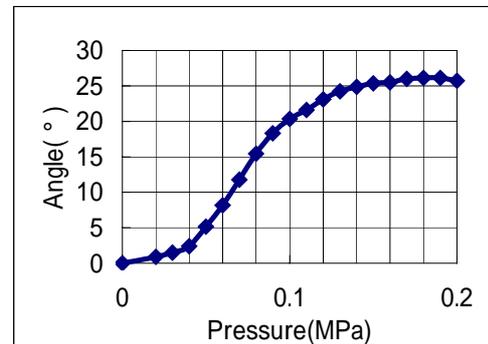


Fig.3 Angle of top plate

Mckibben 型空気圧人工筋を用いることにより, 以前と比べて変位が大きく出せるようになり, チューブに加えることが可能な圧力が高くなった事が Fig.2 よりわかる. Fig.3 から 1 段組 PGA で出せる角度も大きくなった事がわかる.

4. PGA の三次元位置制御

1 段組み PGA の運動プレートの位置 \mathbf{r} とチューブに加えられる圧力 $\mathbf{P}=[p_1, p_2, p_3]$ の関係式は次式で近似できる. \mathbf{P} は各チューブの圧力で, 位置 \mathbf{r} は運動プレートの中心位置である.

$$\mathbf{r}(p_1, p_2, p_3) = \begin{bmatrix} k & -\frac{1}{2}k & -\frac{1}{2}k \\ 0 & -\frac{\sqrt{3}}{2}k & \frac{\sqrt{3}}{2}k \\ -k_z & -k_z & -k_z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ p_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ L \end{bmatrix} \dots (1)$$

k, k_z は比例定数で, L は PGA の長さを表す.

1 段組 PGA の運動プレートの法線ベクトルを \mathbf{n} とする, ベクトル \mathbf{n} 仰角を θ , 方位角を ϕ とする. 方位ベクトル \mathbf{r} の仰角を α で表す. この時, $\alpha = 2$ が成り立つと近似する.

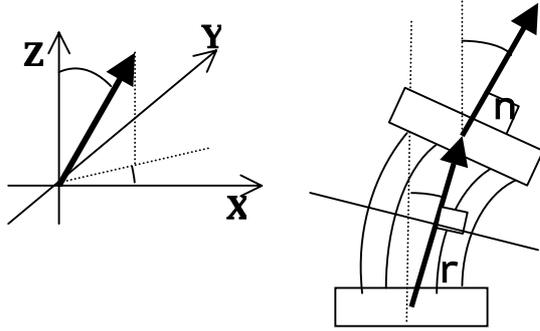


Fig.4 Angel of elevation and deflection

Fig.4 より, 固定プレート座標系と運動プレートとの姿勢変換行列は次式のようになる.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} C\Phi C^2\theta + S^2\theta & C\Phi C\theta S\theta - C\theta S\theta & S\Phi S\theta \\ C\Phi C\theta S\theta - C\theta S\theta & C\Phi S^2\theta + C^2\theta & S\Phi S\theta \\ -S\Phi C\theta & -S\Phi S\theta & C\Phi \end{bmatrix} \dots (2)$$

座標変換行列は次式のようになる.

$$\begin{bmatrix} \mathbf{X}_0 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R}(\mathbf{P}) & \mathbf{r}(\mathbf{P}) \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{X}_1 \\ 1 \end{bmatrix} \dots (3)$$

これが求まることにより, ヤコビ行列を計算することが出来る. [1]を用いると, 多段PGAの座標変換行列を求めることができるので, 結果として J_s を計算することができる.

$$\delta \mathbf{x} = J_s \delta \mathbf{P} \dots (4)$$

ここで $\delta \mathbf{x}$ は運動プレートの微小変位, $\delta \mathbf{P}$ はチューブに加えられる圧力の微小変位を表す.

制御則は次式を用いる.

$$\delta \mathbf{P} = J_s^T \left\{ k_p (\mathbf{x}_d - \mathbf{x}) \right\} \dots (5)$$

5 3次元位置制御実験

一階微分方程式(7)をルンゲ・クッタ・ギル法を用いて3段組PGAの3次元位置計測のシミュレーションを行った. 結果を Fig.7 に示す. 目標値は $(x, y, z) = (-0.03, -0.04, -0.05)$ (単位はm), である.

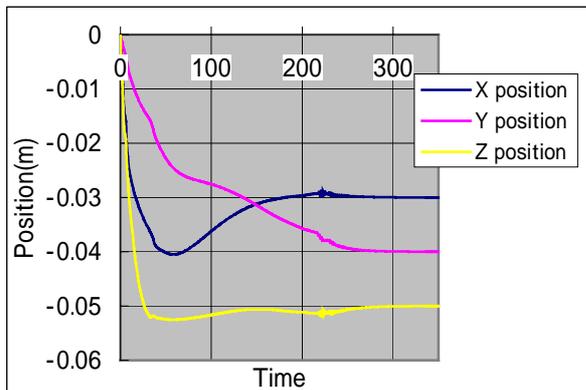


Fig.7 Simulation

位置計測実験結果を Fig.8 に示す. サンプルングタイムは約 150ms である.

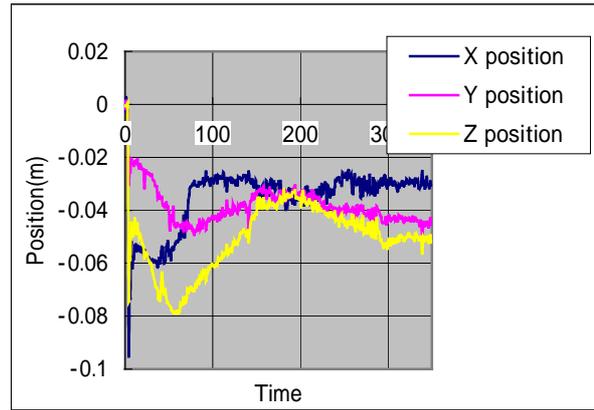


Fig.8 Experimental result

結果, 位置決め誤差 2mm 以内が実現できた. シミュレーションではやや振動的になりながら目標位置に近づいていく. 実際の動きではシミュレーションと同じ様に1度目標位置を通り過ぎてから近づいていく.

双方の振動的な部分を抑えるために制御側に速度項を組み込む方法があるが, このシステムには速度センサがついておらず, ビジョンセンサの誤差が約 2~3mm 程度残ってしまうため困難であると考えられる. ゲインを下げるのが妥当な対策法と考える.

6 まとめ

本稿では, Mckibben 型空気圧人工筋を用いて試作したPGA, 3次元におけるPGAの運動制御則, 3次元位置計測制御の紹介を行った. 運動制御則は段数を増やしても適応できると考える. 今後の予定としては, 多段とした時のより複雑な運動の実現, それに伴うシステムの改良を行っていく.

参考文献

- [1] 平井慎一, 升井友洋, 川村貞夫: 複数の単一チューブから構成される空気圧群アクチュエータの開発, 日本ロボット学会誌 Vol.20, No.3, pp.299-306, 2002
- [2] Shinichi Hirai, Kiyoto Shimizu, and Sadao Kawamura, Vision based Motion Control of Pneumatic Group Actuators, Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation, Vol.3, pp.2842-2847, Wasington D.C., May, 2002
- [3] 清水清人, 臼井美和子, 平井慎一, 川村貞夫, 空気圧群アクチュエータの3次元運動制御, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会予稿集, Vol.3, pp.73-74, 2002