

2 自由度水平多関節ロボットの直線移動に関する基礎研究

日 高 良 和*

Study on Linear Motion of two degree of freedom Articulated Robot

Yoshikazu HITAKA

Abstract

Any robot motion make use of interpolation to get smooth trajectory.

This paper describe a fundamental interpolation method of linear motion to two degree of freedom articulated robot. This interpolation is use divide between points in the trajectory and angle of revolute joint. Robot motion are presented by simulation.

1. はじめに

ロボットの制御は、いままでの自動機器や装置の制御と特に異なっているものではない。ただ、他の自動機器と異なるのは、教示（ティーチング）という方法を用いてロボットの動作に必要なデータをロボットコントローラへ入力できることである。

ティーチングにより、ロボットアームを直線移動させたいときに、ティーチングする作業者は、移動を開始したい位置のデータと終了させたい位置のデータをティーチングするだけで直線移動が実現できれば、安全で作業時間の短縮化となる。

そこで、本論文では、2自由度を持つ水平多関節ロボットによる直線移動についての基本的な方法を示し、パーソナルコンピュータによるロボットの直線移動のシミュレーションを行なったので報告する。尚、本報告では、ロボットの動特性については、考慮していない。

2. アームの位置決め

アーム先端を動作範囲内の任意の位置 P_s から目標とする位置 P_E まで移動させる場合に最低限必要なことは、ア

ームの位置が指定されたとき、アームの各関節の回転角度（現在値からの移動量）の計算と現在位置 P_s から目標点 P_E までいかに移動させるかを決定して、計算することの2点である。

2.1 関節の回転角度計算

アームの各関節の回転角度の計算法について述べる。ロボットに作業を行なわせるために、ティーチングを行なうが、その際に指定するデータは各関節の角度や各アームの長さなどではなく、アーム先端の位置とアームの姿勢である事が多い。そこで、アームの位置姿勢から各関節の回転角度を計算する方法を考える。

今回、対象とするロボットのモデルは図1に示すような、2自由度の水平多関節ロボットであり、基準座標の原点をアームの基礎部にとることにする。このロボットのアーム先端 H の座標を (x, y) とすると、

$$\left. \begin{aligned} x &= R_1 \cos \theta_1 + R_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \\ y &= R_1 \sin \theta_1 + R_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \end{aligned} \right\} (1)$$

と表わされる。ここで、 R_1, R_2 は第1アーム、第2アームの長さ、 θ_1, θ_2 は関節 J_1, J_2 の回転角であり、 θ_1 は X 軸と第1アームとのなす角であり、 θ_2 は第1アームの延長線と第2アームとのなす角である。

(1)式を用いて、各関節の回転角度を求める式を導出すればよいのだが、このロボットは2自由度、すなわち、 XY 平面上の任意の位置を移動することが出来、アーム先

*宇部工業高等専門学校電気工学科

端の方向を指定できないことから、各関節の回転角度として2組の解が求まることになる。そこで、このロボットに次のような動作条件を付けることにする。

- i) 座標系は右手系座標とする。
- ii) 回転角度 θ_1 のとる範囲を $-\pi \leq \theta_1 \leq \pi$ とする。
- iii) 回転角度 θ_2 のとる範囲を $0 \leq \theta_2 \leq \pi$ とする。

条件 i) の右手系座標とは、右手の親指、人差指、中指をそれぞれ直交させて開いたとき、人差指を x 軸、中指を y 軸にとり親指が z 軸になるように、各軸が定義される座標系である。条件 ii), iii) は、ロボットの構造より決まる条件であり、実際のロボットではアームやアクチュエータなどの干渉、配線・配管の問題により上記の条件を満たすことは難しいが、ここでは、ロボットの動作のみに注目することとしてこの条件とする。

以上のことを考慮して(1)式から関係の回転角度 θ_1, θ_2 を導出すると次のようになる。

$$\theta_1 = \tan^{-1} \left\{ \frac{(py - qx)/(p^2 + q^2)}{\{x + q(py - qx)/(p^2 + q^2)\}/P} \right\} \quad (2)$$

$$\text{但し, } p = R_1 + R_2 \cos \theta_2, \quad q = R_2 \sin \theta_2$$

$$\theta_2 = \cos^{-1} \left\{ \frac{x^2 + y^2 - R_1^2 - R_2^2}{2R_1 R_2} \right\} \quad (3)$$

2.2 アームの移動方法

現在位置 P_S から目標点 P_E までの移動方法のなかで、最も簡単な方法としては、現在位置から目標点まで、各関節を独立して動かすことであるが、この方法だと移動が滑らかでなくなり、アームの移動経路が不明確である。しかしながら、この2点間の区間を分割し、中間目標点として新しい座標を与えることにより、各関節の移動量が適当となるようにすることができる。

ここでは、2点間を直線で結び、中間目標点の座標を発生させるいわゆる、直線補間を行なうことで、アーム先端に直線的な軌跡を描かせる。なお、各関節の回転は、各関節が同期をとる同時スタート・同時ストップの方法をとる。

今、アーム先端を現在位置 (x_S, y_S) から目標点 (x_E, y_E) へ移動させる場合、図2に示すように、2点を通る直線を N 等分するように、中間目標点 (x_i, y_i) をとると、

$$\left. \begin{aligned} x_i &= x_S + \frac{x_E - x_S}{N} \cdot i \\ y_i &= y_S + \frac{y_E - y_S}{N} \cdot i \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

$$(i = 0, 1, 2, \dots, N)$$

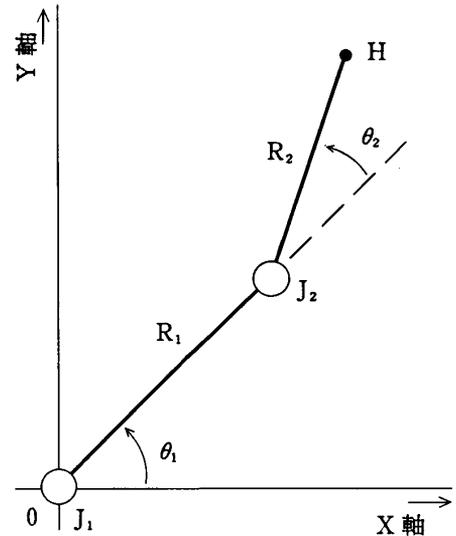


図1 2自由度水平多関節ロボットモデル

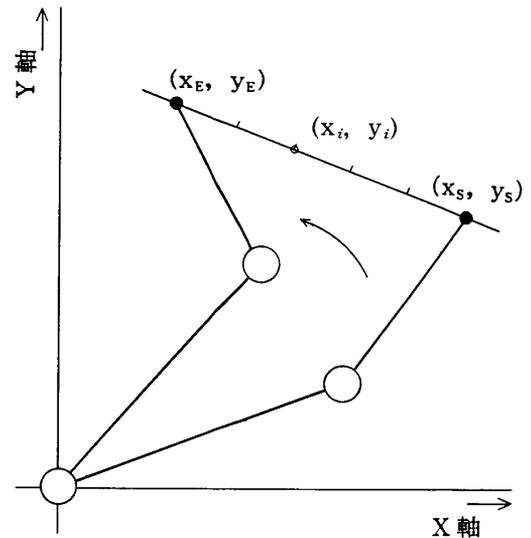


図2 ロボットの直線動作

である。この(4)式によって与えられる中間目標点間をアームの各関節が同時スタート・同時ストップするように中間目標点間を移動するのに必要な回転角度を M 等分して中間回転角度を決定する。すなわち、中間目標点 (x_i, y_i) における第1, 第2関節の回転角度が、それぞれ θ_{1S}, θ_{2S} であり、次の中間目標点 (x_{i+1}, y_{i+1}) での各関節の回転角度が θ_{1E}, θ_{2E} であるとき、中間回転角度 θ_{1k}, θ_{2k} は次の

ようになる。

$$\left. \begin{aligned} \theta_{1k} &= \theta_{1S} + \frac{\theta_{1E} - \theta_{1S}}{M} k \\ \theta_{2k} &= \theta_{2S} + \frac{\theta_{2E} - \theta_{2S}}{M} k \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

(k = 0, 1, 2, \dots, M)

以上の式を用いてアーム先端を直線移動させることができる。

3. アーム移動のシミュレーション

ここでは、現在位置と目標点との座標値を与え、2点間の分割数を変化させて、アームの移動状態をシミュレーションした。

3.1 シミュレーション条件

シミュレーションは、次のような条件で行なった。

a) アーム長

- i) 第1アーム：R₁=480 [mm]
- ii) 第2アーム：R₂=320 [mm]

b) 移動位置 (P_S → P_E)

- i) (553.6, -153.6) → (-153.6, 553.6)
- ii) (653.6, -53.6) → (-53.6, 653.6)
- iii) (753.6, 46.4) → (46.4, 753.6)

c) 2点間の分割数

- i) N = 5
- ii) N = 10

d) 関節回転角度の分割数

$$M = 20$$

3.2 シミュレーション結果

各条件でのシミュレーション結果を図3～図8に示す。図中、右側の図は、全体の移動状態を示し、円はロボットの動作範囲を表わしている。次に、左側の図は、第1象限の部分を拡大した図であり、アーム先端の軌跡をドットで示してある。

図から、中間目標点へ移動する場合にアームの先端は2点間を結ぶ直線からわずかにずれて移動しており、現在位置から目標点までの分割数Nを多くすることで、各中間目標点の距離が縮まりアーム先端と直線とのずれが少なくなっている。

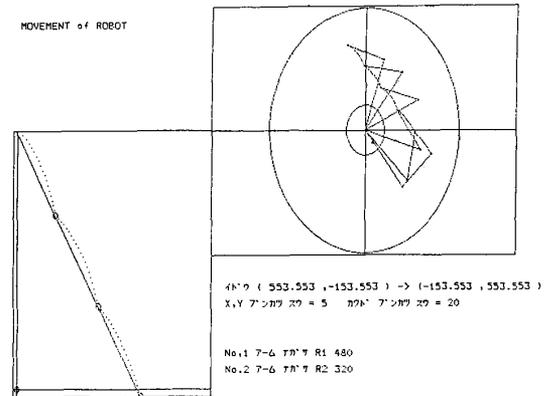


図3 シミュレーション結果 (1-1)

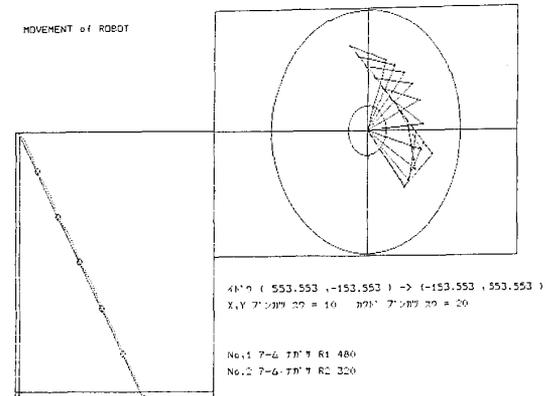


図4 シミュレーション結果 (1-2)

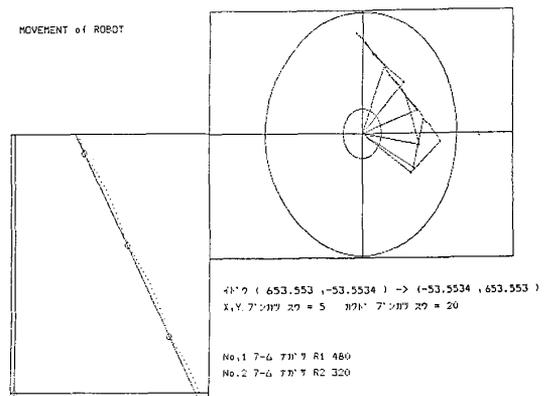


図5 シミュレーション結果 (2-1)

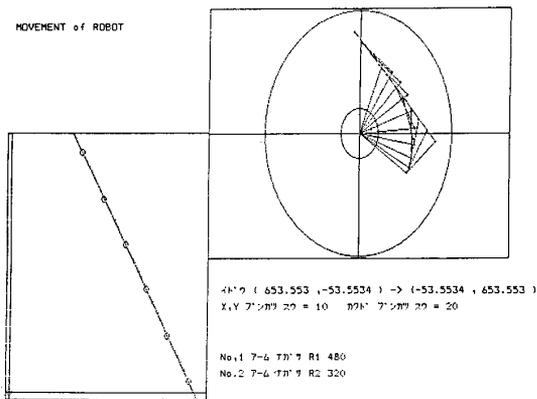


図6 シミュレーション結果 (2-2)

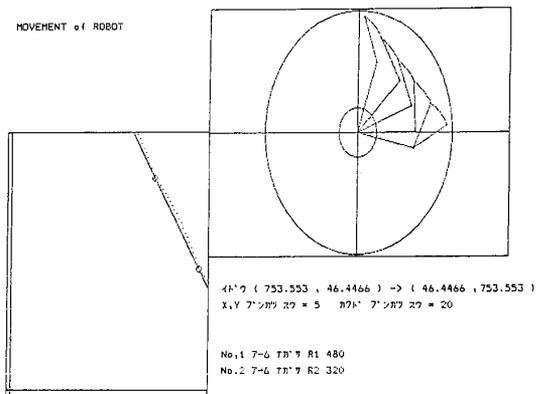


図7 シミュレーション結果 (3-1)

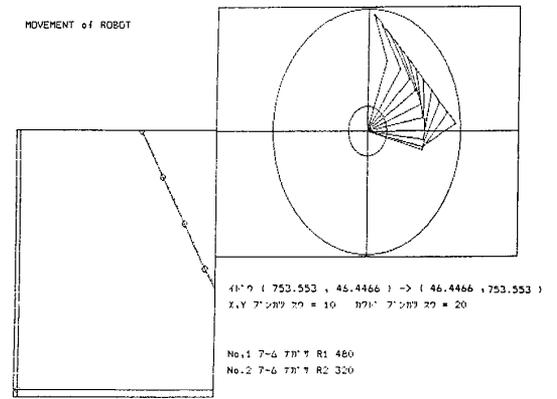


図8 シミュレーション結果 (3-2)

4. まとめ

以上、2自由度水平多関節ロボットの直線移動について述べた。直線補間でロボットを移動させる際にアーム先端と2点間を結ぶ直線とにずれが生じること、また、2点間の分割数を多くすることで、このずれが小さくなることが確認できた。

今後は、上記の分割数とずれとの関係について、また他方式の移動、自由度を上げたロボットモデルについての検討を進める予定である。

参考文献

- 1) 中小企業事業団中小企業研究所編, 柿倉正義監修: 産業用ロボットの制御方式と利用技術, 日刊工業新聞社

(平成2年9月20日受理)