

ロボットシミュレーションの教材開発に関する検討 — 直交3軸ロボットの場合 —

宮城職業能力開発短期大学校

秋田 正 秀

A Study on the Educational Material for Robot Simulation

Masahide AKITA

要約 本内容では直交3軸ロボットの位置座標の計算およびコンピュータシミュレーションを行った結果を報告する。これまでにロボットのキネマティクスの内容を教育訓練の実習教材として活用するためにロボットのシミュレーションを模索してきた。

本内容では位置座標の計算方法として一般的に使われているD-H法を直交3軸ロボットに適用し、D-Hリンクパラメータを求めて直交3軸ロボットの位置座標の計算を行う。次にD-H法で得られた位置座標を用いてコンピュータの画面上に3次元グラフィックスを作成する。

グラフィックスの作成にはサーフェイスモデルを採用している。まず、軸側投影を用いて3次元の物体を2次元に投影し、さらに陰面処理を行う。陰面処理を行う方法として法線ベクトル法を採用しており、各リンクの面の法線ベクトルと視線ベクトルとの内積の値から陰面処理を行う。

シミュレーションについては初期の各リンクの形状データを基に直交3軸ロボットを描画した後、各リンクの移動量を入力してこの移動量を用いて各リンクの位置座標を再計算し、得られた各リンクの位置座標を用いて直交3軸ロボットの再描画を行っている。今後はソフトウェアの改良や実際のロボットとのリンクを考え実習教材として活用することを考えている。

1 はじめに

ロボットは様々な視点から研究がなされており、そのうちの重要な項目の1つにキネマティクスがある。キネマティクスはロボットの位置座標を計算したり、逆問題としてロボットの位置座標からロボットのリンクの状態を求めたりする手法の一つである。著者らはこのキネマティクスを教育訓練の実習教材に活用することを考え、これまでにロボットのシミュレーションに適用する方法を模索してきた。

その予備的な検討として、ロボットの位置座標を計算するために一般的に使われているD-H法を用いて足のスケルトンモデルを基に足先の座標の計算を行い

¹⁾、D-H法を用いた座標の計算ができるようになった。ただし、計算結果の表示を行うだけで実際のグラフィックスシミュレーションを行うまでには至らなかった。

続いてその対象を直交3軸のロボットとして、このロボットの制御とともにコンピュータ上でのシミュレーションを行った。ここでは軸側投影を使って直交3軸ロボットの3次元のシミュレーションを行ったが²⁾、線画での3次元シミュレーションであり、立体的な表示にまでは至っていない。

本報告ではロボットの座標を計算する方法としてこのD-H法を直交3軸のロボットに適用するとともにコンピュータ上でサーフェイスモデルを用いるシミュ

II 直交3軸ロボットの位置解析

本項ではシミュレーションの対象となった直交3軸ロボットの形状とこのロボットにD-H法を適用してD-Hリンクパラメータを求める。

1. 直交3軸ロボットの形状

本検討で対象とした直交3軸ロボットの形状を図1に示す。直交3軸ロボットの各リンクには同じ形状とし、リンクの形状は次のように設定している。

$$L = 435 \text{ (mm)} \quad W = 75 \text{ (mm)} \quad H = 48 \text{ (mm)}$$

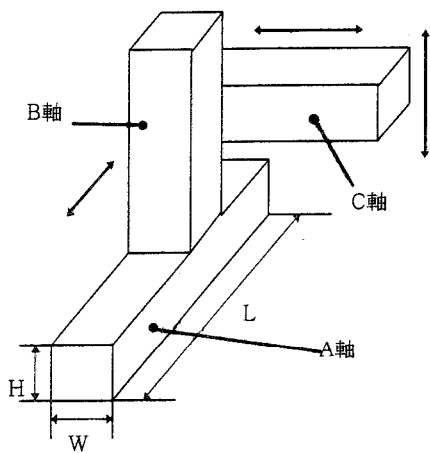


図1 直交3軸ロボットの形状

2. 直交3軸ロボット座標系

図1に示した直交3軸のロボットの各関節に次の図2のような座標系を導入する。

まず、図中に示す点aにベース座標の原点を決定し点aを原点とする座標系 Σ_0 を決定する。なお、ここでは右手座標系を使用している。続いて、ベース座標に従って各原点と座標系をそれぞれ、点bと Σ_1 、点cと Σ_2 、点dと Σ_3 、点eと Σ_4 、点fと Σ_5 と決定した。これによって各座標系間の相対関係が明らかとなる。

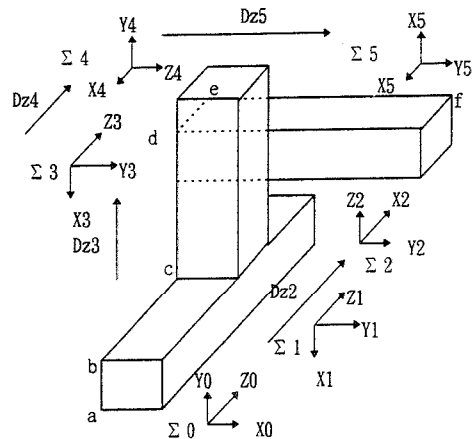


図2 直交3軸ロボットの座標系

3. D-Hリンクパラメータ⁵⁾⁶⁾

図2に示す座標系を直交3軸ロボットに導入してD-Hリンクパラメータを決定した。

これを座標変換行列として表すと次のようになる。

$${}^0T_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 48 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, {}^1T_2 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Dz2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, {}^2T_3 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & Dz3+48 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$${}^3T_4 = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 123 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, {}^4T_5 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Dz5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots (1)$$

$Dz2, Dz3, Dz5$ は各軸の移動量によって決まる。

例えば、ベース座標系 Σ_0 から見た先端の座標系 Σ_5 は次のように計算することができる。

まず、 Σ_0 から見た Σ_5 への座標変換をTとすると次のように与えられる。

$$T = {}^0T_1 {}^1T_2 {}^2T_3 {}^3T_4 {}^4T_5$$

$$= \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 48 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & Dz2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & Dz3+48 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 123 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & Dz5 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & Dz5 \\ 0 & -1 & 0 & Dz2+123 \\ 1 & 0 & 0 & Dz3+96 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \dots (2)$$

さらに、座標系 Σ_5 の原点はベース座標 Σ_0 から見た次のような座標になる。

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & Dz5 \\ 0 & -1 & 0 & Dz2+123 \\ 1 & 0 & 0 & Dz3+48 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Dz5 \\ Dz2+123 \\ Dz3+96 \\ 1 \end{pmatrix} \dots (3)$$

すなわち、ベース座標Σ0からみてx軸方向にDz5、y軸方向にDz2+123、z軸方向にDz3+96の位置座標になる。

III グラフィックス

IIにおいて直交3軸のロボットの位置座標を計算することができるようになった。そこで次にIIで得られた結果を基にコンピュータ画面上に直交3軸ロボットのグラフィックスを作成する。グラフィックス作成についてはサーフェイスモデルを採用する。

1. 投影

まず、3次元の直交3軸ロボットを2次元のコンピュータ画面上に表現するために投影を行う。ここでは3次元座標軸すべて等縮尺の等側投影を用いる。この場合、3次元座標の物体を2次元座標に投影するために変換行列Mを用いて⁷⁾、3次元座標物体をコンピュータ画面上に投影することになる。これは次のように行う。

$$[X \ Y \ Z \ 1] = [x \ y \ z \ 1] M \dots (4)$$

x, y, z: 変換前の座標

X, Y, Z: 変換後の座標

$$M = \begin{pmatrix} 0.707107 & 0.408248 & -0.577350 & 1 \\ 0 & 0.816497 & 0.577350 & 0 \\ 0.707107 & -0.408248 & 0.577350 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

ここで求めたXとYを画面上にプロットする。

2. 陰面処理⁸⁾

直交3軸ロボットの各端点を投影し画面上に表すと、見えていない不必要な面が生じる。このため陰面処理を行って対処する。ここでは法線ベクトル法を採用する。例えば、図3に示す4点からなる面を考え、この面の法線ベクトルを求める。次に、この法線ベクトルと視線方向ベクトルとの内積をとり、視線と同じ方向を向いているか、それとは逆方向を向いているかを判断し、視線方向と逆を向いている面を描くことに

なる。

次に法線ベクトルNを決定する手順を示す。

- ① 面の4つの頂点を全て反時計回りに連結し4つのベクトルを考える。
- ② このうち、連続した2つのベクトルB1とB2を抜き出す。
- ③ この2つのベクトルの外積を計算する。

③で外積を計算するが、この計算結果がこの面の法線ベクトルとなる。

図3の中の点P1、P2、P3の座標を次のように与える。

$$P_1 = (X_1, Y_1, Z_1), P_2 = (x_2, y_2, z_2), P_3 = (x_3, y_3, z_3)$$

法線ベクトルをN=(N_x, N_y, N_z)とすると次のように与えられる。

$$B_1 = (x_2 - x_1, y_2 - y_1, z_2 - z_1), B_2 = (x_3 - x_2, y_3 - y_2, z_3 - z_2)$$

$$\begin{cases} N_x = (y_2 - y_1)(z_3 - z_2) - (z_2 - z_1)(y_3 - y_2) \\ N_y = (z_2 - z_1)(x_3 - x_2) - (x_2 - x_1)(z_3 - z_2) \dots (5) \\ N_z = (x_2 - x_1)(y_3 - y_2) - (y_2 - y_1)(x_3 - x_2) \end{cases}$$

続いて、面が向いている方向は上記のように計算した法線ベクトルと視線方向との内積をとり、内積が正であれば同じ方向を向いており、負であれば逆方向を向いていると判断できる。この計算は次のように行う。視線ベクトルをV=(V_x, V_y, V_z)、内積の値をAとするとA=N_xV_x+N_yV_y+N_zV_z … (6)

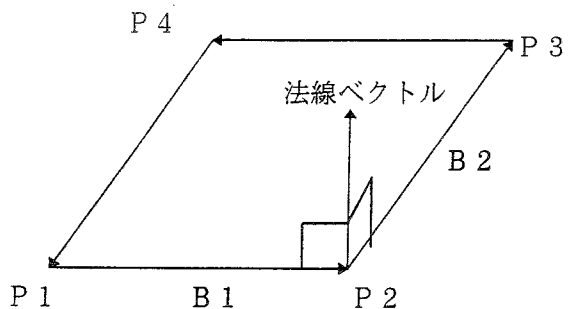


図3 法線ベクトル

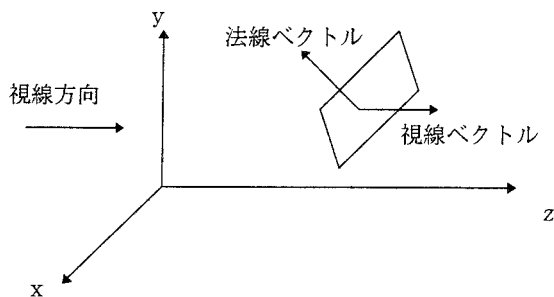


図4 面の法線ベクトルと視線ベクトル

IV シミュレーション

ここではコンピュータ上での直交3軸ロボットのシミュレーション結果について述べる。

1. 計算手順

このシミュレーションプログラムは次のような計算手順で行っている。

- (1) 各リンクの初期の形状データをファイルから入力
- (2) 各リンクの位置座標の計算
- (3) コンピュータ画面上へのデータ変換
- (4) 陰面処理
- (5) 初期値での直交3軸ロボットの表示
- (6) 移動量をキーボードから入力
- (7) 各リンクの位置座標の再計算
- (8) 陰面処理
- (9) 直交3軸ロボットの表示
- (10) (6)~(9)を繰り返す

2. 結果

まず、初期の形状データをファイルから読み込み、直交3軸ロボットを表示したものを図5に示す。ここでは初期の形状データから直交3軸のロボットの各リンクの位置座標を計算し、軸側投影を行って画面上に立体的に表示している。初期データはファイルから入力とし、各リンクのデータが入っているファイルを指定する。表示が行われた後は移動量 Dz_2 、 Dz_3 、 Dz_5 の入力を促す。

続いて移動量 Dz_2 、 Dz_3 、 Dz_5 を入力した結果を次に示す。

ここでは例として各移動量に200を入力して、これら移動量から各リンクの位置座標を再計算して画面上に表示を行う。

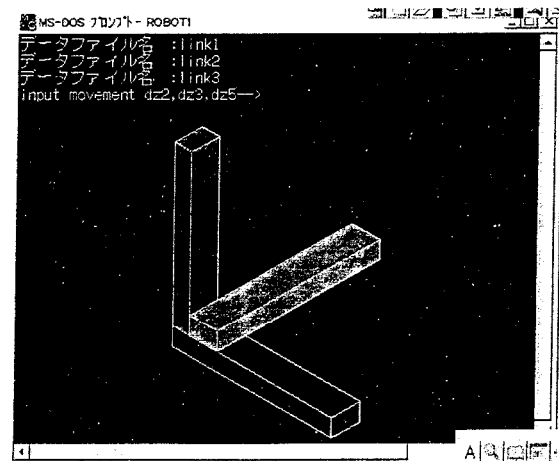


図5 初期データによる直交3軸ロボット

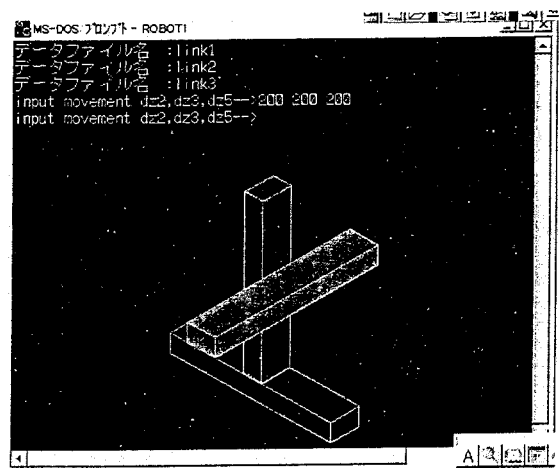


図6 移動量入力後の直交3軸ロボット

V おわりに

本内容では直交3軸ロボットを対象としD-H法を使ってサーフェイスモデルでのシミュレーションを行った。

ここでは先端の位置を決定することによって移動量が既知となり移動量を入力することによってどのような形になるかをシミュレーションすることができる。今後は本内容を次のように発展させることを考えている。

- (1) ソフトの操作性の向上
- (2) 実物のロボットとのリンク
- (3) 内容自体をロボットやプログラミングの教材とすること

謝辞

宮城職業能力開発短期大学校 機械システム系講師、中田英次先生、遠藤和芳先生には日頃からの御指導とともに本文に対する有益な助言を頂き、誠にありがとうございました。また、卒業製作で本内容に関わってくれた唐糸芳和君、小野寺大君、杉澤茂則君、戸羽貴寛君には深く感謝します。

【参考文献】

- (1) 唐糸芳和：「機械とその運動について」第1報、平成5年度宮城職業能力開発短大卒業論文
- (2) 秋田正秀：「卒業製作について」技能と技術、投稿中
- (3) 小野寺大、杉澤茂則：「機械とその運動について」第3報、平成6年度宮城職業能力開発短大卒業論文
- (4) 戸羽貴寛：「機械とその運動について」第4報、平成7年度宮城職業能力開発短大卒業論文
- (5) J.Denavit, R.S.Hartenberg:"A Kinematics Notation for Lower-Pair Mechanism Based on Matrices",J. App.Mech,Vol.77,pp.215-221(1955)
- (6) R.P.Paul, B.E.Shimano, G.Mayer:"Kinematic Control Equations for Simple Manipulators",IEEE Trans.System, Man, Cybern.,Vol.SMC-11-6, pp.449-455(1981)
- (7) D.F.Rogers, J.A.Adams:ComputerGraphics(山口富士雄訳),日刊工業新聞社,pp66-72
- (8) 佐藤義雄:実習グラフィックス、アスキー出版局, pp.55-58