

シヨートノート

マニピュレータのパーソナルコンピュータアニメーションの一手法†

小山 雅 庸** 北 原 紀 之***

低コストで操作性に優れたアニメーションシステムの構築を目的として、パーソナルコンピュータで実現できるマニピュレータアニメーションシステムを作成した。この結果、各種のマニピュレータをディスプレイ上で容易にシミュレートすることが可能であり、その動作の確認、作業手順のティーチング等に有効であることがわかった。計算処理の大部分をマトリックス演算が占めるため、専用の3×3マトリックス演算装置を開発しパーソナルコンピュータの特性を最大限に発揮させる工夫をした。スタンフォードマニピュレータ（ジョイント数6、頂点数76、エッジ数108）の場合、1秒間に8コマの表示ができる。

1. ま え が き

計算機によってマニピュレータを操作する研究は、1962年に始まり、以来今日の産業用ロボットまで急速に発展を続けている^{1),2)}。その動作を画面上に逐次描画する方法は古くから知られているが、パーソナルコンピュータ（以下パソコン）を用いたアニメーションはまだ一般的ではない。パソコンの容量・処理速度ともに難点があったからである。しかし、パソコンの低廉化と高性能化につれて、アニメーションの可能性も十分できてきている。アニメーションをパソコンによって実現することの利点は、おもに次の4点が挙げられる。1) 低コストである。2) かなり広い層の利用者が手軽に操作できる。3) 軽量かつ小形であるので状況に応じて設定でき、場所をとらない。4) 産業用ロボット教育機器として使用できる。

本稿では、パソコン PC-9801 による低コストで操作が容易なマニピュレータのアニメーションシステムについて、高速化を図るための一手法を記述する。このアニメーションシステムの大半は CP/M (86) による機械語で実装されている。プログラムの大きさは、約 0.5 k バイトである。マニピュレータの動作は、回転を基本にしているため、計算の大部分を占める 3×3 のマトリックス演算には専用のマトリックス演算装置

を開発した。

2. マニピュレータの表現³⁾

マニピュレータは一般にリンクとジョイントが交互に連係した物体と見なされる。そこで、ジョイント J_n を挟むリンク L_{n-1} とリンク L_n にそれぞれの座標系 C_{n-1} および C_n を与える。 J_n の絶対変位を決定するパラメータを含むマトリックス A_n でこれらの座標系間の関係を示せば、 θ_n あるいは α_n のパラメータによってマニピュレータの形状が規定される。このとき、 A_n は次式で表現される。

$$A_n = \begin{bmatrix} \cos \theta_n & -\sin \theta_n \cos \alpha_n & \sin \theta_n \sin \alpha_n & a_n \sin \alpha_n \\ \sin \theta_n & \cos \theta_n \cos \alpha_n & -\cos \theta_n \sin \alpha_n & a_n \cos \alpha_n \\ 0 & \sin \alpha_n & \cos \alpha_n & d_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

θ_n : $X_{n-1}-X_n$ 間角度

α_n : $Z_{n-1}-Z_n$ 間角度

a_n : O_n-O_n' 間距離

d_n : $O_n'-O_n$ 間距離

O' は上述の二つの座標系間の関係を求める際の仮想座標系の原点である。

各リンク座標系間の関係を図1に示す。ここで P は、

$$P = \begin{bmatrix} -\sin \phi & \cos \phi & 0 & 0 \\ \cos \phi \sin \psi & \sin \phi \sin \psi & -\cos \psi & 0 \\ \cos \phi \cos \psi & \sin \phi \cos \psi & \sin \psi & l_n \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

であり、絶対座標系と遠近画座標系との間の関係を表

† A Method of Personal Computer Animation for Manipulators by MASANOBU KOYAMA (Department of Information and Computer Science, Toyohashi University of Technology) and NORIYUKI KITAHARA (Department of Electrical Engineering, Maizuru Technical College).

** 豊橋技術科学大学情報工学課程

*** 舞鶴工業高等専門学校電気工学科

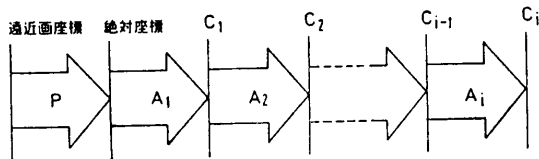


図 1 各リンク座標系間の関係
Fig. 1 Connection between link coordinates.

すマトリックスである。このマトリックスは遠近座標系の x 軸と絶対座標系の xy 平面とが平行になるように組まれている。これは左目と右目を結ぶ直線が、マニピュレータを取り付ける床と平行になることを意味し、ディスプレイを観察する際に自然な像が得られる。なお、 ϕ, ψ, l_e は、それぞれ視点の水平角、垂直角、および距離を意味する。

3. アニメーション処理

パーソナルコンピュータを用いてアニメーションを行う場合、最大の問題はいかに速く描画できるかにある。そのためには頻りに現れる乗算に対して、計算時間を短縮する方法をとるのが得策である。PC-9801のCPU iAPX-8086は、乗算命令をもっているので、この機能を利用したプログラムを製作した。しかしさらに効率よくマトリックス演算を処理するために、インタフェースを介した 3×3 マトリックス演算装置を開発した。これはマトリックスの回転成分を計算するものである。第4行および第4列の要素に関しては乗算を必要としないため 3×3 のマトリックス演算装置に限定した。本装置の構成はおもに乗算素子(74S516)⁴⁾と16ビットのデータを記憶しておく二つのFIFO(74S225)列から成る。一つのFIFO列には 3×3 マトリックスの要素である合計9個のデータを記憶する。もう一方のFIFO列には 3×1 の被変換ベクトルを記憶しておく。FIFOの出力を入力にフィードバックし、パルスを加えると乗算の対象となるデータが各FIFOから出力される。このとき、出力されたデータは失われずにFIFOの最後部に保存される。このデータを乗算素子において処理し、CPUに転送する。この手法により、次の二つの効果が得られる。1) マトリックスの各成分を参照する時間が節約される。2) 一つのマトリックスを記憶することにより、ベクトルを次々と変換できる。

この原理を図2に示す。

そのほかに、高速描画に関連して三角関数の発生、クリッピング処理、および隠線消去等の問題がある。

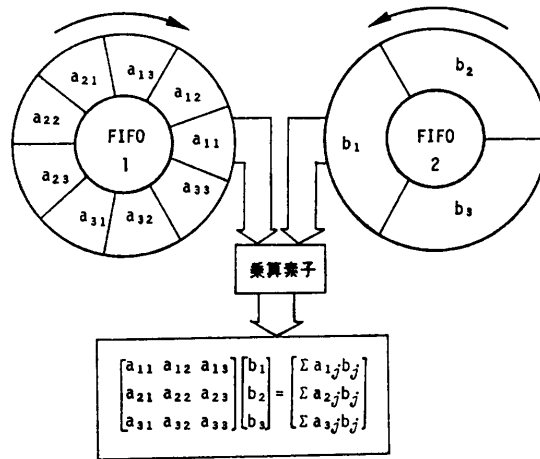


図 2 マトリックス演算装置の原理
Fig. 2 Principle of matrix arithmetic unit.

三角関数の発生には、加算とシフト演算のみで効率よく関数を発生できるCORDICのアルゴリズムを採用した⁵⁾。クリッピング処理は、プログラムが長くなるうえに時間がかかるので省略した。ただし、暴走を避ける処理は施した。隠線消去処理も時間がかかり高速性を犠牲にしてまでするのでは意味がないのでこの処理も省略した。アニメーションの場合、静止画よりは物体の形状認識は容易である。したがって、隠線消去処理がなくてもアニメーションに決定的な障害とはなっていない。

プログラムには、視点位置の変更、ズーム等の機能も含まれているので、実際的なシミュレーションができる。

4. 処理結果

本研究では、性能評価を考慮して型の異なる3種類のマニピュレータアニメーションプログラムを製作した。これら3種類のおのおのに対して、Iは、BASIC、IIとIIIは機械語によるプログラムを実装した。表1は、これら合計九つの独立したプログラムのそれぞれに対する処理時間である。マトリックス演算のためにIIでは8086乗算命令、IIIではマトリックス演算装置を使用した。

処理時間の測定方法は、Iは1コマ分の時間を、II、IIIは1,000コマ分の時間を、RC-9801内蔵クロックで測定して、1コマ分の時間を算出した。これらのマニピュレータの構成は本研究用にデザインしたものであるが、そのうちのスタンフォードマニピュレータの動作の一部を図3に示す。

表1 各プログラムの処理能力
Table 1 Performance of each program.

		T_1	T_2	N	T_D
ムーブマスタ RM-101 $n_v=60$	I	18		0.06	0.018
	II	0.124	0.041	8.06	
	III	0.106	0.014	9.43	
スタンフォード マニピュレータ $n_v=76$	I	20		0.05	0.044
	II	0.159	0.050	6.29	
	III	0.115	0.018	8.70	
エルボ マニピュレータ $n_v=116$	I	26		0.04	0.053
	II	0.194	0.073	5.15	
	III	0.141	0.025	7.09	

T_1 : 全処理時間 (sec/コマ)

T_2 : マトリックス演算に要した時間 (sec/コマ)

N : 1秒当りのコマ数

T_D : IIとIIIとの全処理時間の差 $T_1(\text{II}) - T_1(\text{III})$ (sec/コマ)

n_v : 頂点の数

予想に反し、マトリックス演算装置を使用しない場合IIと使用する場合IIIとの差は顕著でない。これは1コマ前の画像を消去するプロセスが各プログラムにおいて、かなりの割合で時間をとるためである。しかし、表1において、マニピュレータの型は異なるが、頂点の数 n_v が増加すると、IIとIIIとの処理時間の差 T_D も増加しており、マトリックス演算装置の効果が出ている。現段階で、本システムによるアニメーションを、1秒間に8コマ以上の割合で実現するための頂点数 n_v の上限は、100程度であるが、上述の画像消去プロセスの改善により、マトリックス演算装置の有効性はより明確になるといえる。

5. むすび

図3に示すような画面の1秒間8コマの描画速度は、アニメーションとしてスムーズな表示が可能である。この結果は、パソコンによるマニピュレータのシ

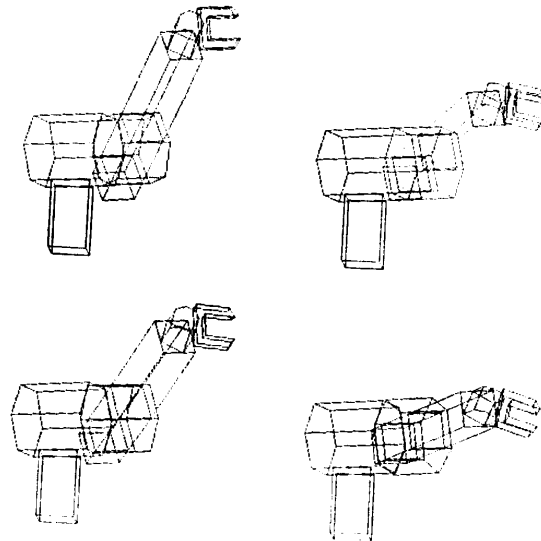


図3 スタンフォードマニピュレータ
Fig. 3 Stanford manipulator.

ミュレータが実現可能であることを示している。さらに力学解析と制御を含めた実際のマニピュレータとの接続、任意形状のマニピュレータをシミュレートするためのデータ構造を考慮する必要がある。

参考文献

- 1) 森下 巖: 機械の腕を操るには, *bit*, 7月号臨時増刊, pp. 756-767 (1976).
- 2) 中野栄二: ロボットの進化, サイエンス, No. 45, pp. 12-24 (1981).
- 3) Poul, R.P.: *Robot Manipulators*, The MIT Press, Cambridge (1981).
- 4) 今尾俊雄: 高速演算用 LSI の機能と使い方, トランジスタ技術, Vol. 20, No. 11, pp. 334-345 (1983).
- 5) Walther, J.S.: A Unified Algorithm for Elementary Functions, Spring Joint Computer Conference (1971).

(昭和59年5月28日受付)

(昭和59年9月20日採録)