

# 多関節ロボットのためのベクトルモデル構築と 動作計画

## Vector model construction and the operation plan for Articulated robots

○附田原大\*, 有我祐一\*\*, 渡部慶二\*\*, 村松鋭一\*\*, 遠藤茂\*\*

○TSUKUTA Motohiro\* ARIGA Yuichi\*\* WATANABE Keiji\*\*  
MURAMATSU Eiichi\*\* ENDO Shigeru\*\*

\*山形大学大学院理工学研究科,\*\*山形大学工学部

\*\*Yamagata University

キーワード：多関節ロボット(Articulated robots), ベクトルモデル(Vector model), 動作計画(Operation plan)

連絡先：〒992-0037 米沢市城南 4-3-16 山形大学 工学部 応用生命システム工学科 渡部研究室  
附田原大,E-mail:exm83441@dip.yz.yamagata-u.ac.jp

### 1. はじめに

現在、様々な場所で様々なロボットが使われており、エンターテインメントとしても普及している。また、メーカーや個人によって多種多様なロボットが開発され、使用されている。しかし、そのロボットの多くはそれぞれの機体を動かしながらでなければ動作計画を作成することが出来ない。メーカーによって作られたキットであってもソフトウェアが専用の物になっている。個人がロボットを作成したさいは、動作計画用のソフトウェアを一から開発するのも困難である。これらの事から、一般ユーザが動作計画を作成することは困難であると考えられる。

そこで、コンピュータ上で動作計画をシミュレートすることで機体の実働なしにある程度の動作計画が容易に作製できるのではないかと考えた。しかし、コンピュータ上で動作計画をシミュレートするにはそれぞれの機体に合った仮想モデルが

必要である。

そこで、本研究は多様な多関節ロボットに対応でき、コンピュータ上で動作計画をシミュレートするために汎用性を持ったモデル構築ソフトウェアの開発を目的とする。

[ソフトウェアに求められる機能]

- ・ 様々な形状のロボットに対応
- ・ 実機なしである程度の動作が作成できる
- ・ 動作計画作成の容易性
- ・ 関節等の特性の反映

### 2. 多関節ロボット仮想モデル

まず、多関節ロボットの仮想モデルを構築するために各関節の三次元座標が必要である。この必要な情報を生成するために、ベクトルと回転変換行列を使用し、各々の関節間長さや角度から関節の三次元座標を生成した。これは仮想モデルの対象

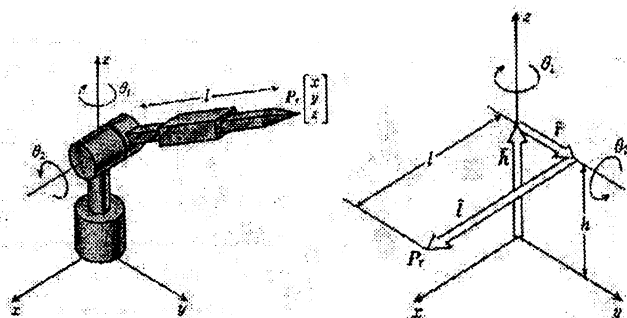
が多関節ロボットとであり、自由度が高いためである。また、ベクトルと回転変換行列を使うことで仮想モデルの計算が行列計算のみで行えるという利点もある。

## 2.1 モデル構築

モデル構築の方法として、大まかに以下の方法をとる。

1. 多関節ロボットを各関節部分で分割
2. それぞれの部分を変換ベクトルに変換
3. 各関節の角度情報によりベクトルを回転
4. 回転されたベクトルを結合

この四段階の処理を行うことにより、要素のベクトル先端の座標を演算により求めることができる。



(a) ロボット (b) ベクトル図  
図 2.1 ベクトルモデル構築の例

ロボットアーム(図 2.1(a))を各関節部分で分割し(要素)、各々ベクトルで表現(図 2.1(b))する。そして、そのベクトルを三行一列の行列に置き換え計算する。

ここで例として、図 2.1(a)のロボットについてベクトルモデルを構築する。図 2.1(b)をロボットの基準姿勢とすると、リンクベクトルは

$$\hat{h} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ h \end{bmatrix}, \hat{r} = \begin{bmatrix} 0 \\ r \\ 0 \end{bmatrix}, \hat{l} = \begin{bmatrix} l \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

となる。このときロボット先端  $P_r$  の位置の誘導は以下ようになる。

$$P_r = E^{z\theta_1} (\hat{h} + \hat{r} + E^{y\theta_2} (\hat{l})) \quad (2.2)$$

$$= E^{z\theta_1} (\hat{h} + \hat{r}) + E^{z\theta_1} E^{y\theta_2} (\hat{l}) \quad (2.3)$$

ただし、 $E^{z\theta}$  は  $z$  軸回転の回転変換行列、 $E^{y\theta}$  は  $y$  軸回転の回転変換行列である。

また、 $x, y, z$  軸回転の回転変換行列は、

$$E^{x\theta} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & -\sin \theta \\ 0 & \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.4.1)$$

$$E^{y\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (2.4.2)$$

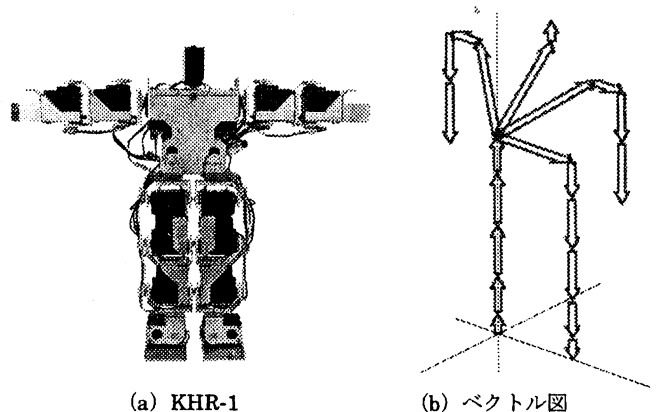
$$E^{z\theta} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta & 0 \\ \sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2.4.3)$$

となる。

このような演算を関節すべてに行い、接地部分を原点とした任意の関節角度状態における関節位置の三次元座標を求めることができる。求めた接地面を原点とした三次元座標を元に、仮想モデルをコンピュータ上に描画することで、各関節の状態(角度)を反映した仮想モデルを生成することができる。

## 2.2 要素のベクトル構造

前章で提示した方法で、近藤科学の KHR-1(図 2.2(a))のベクトルモデル(図 2.2(b))を作成した。



(a) KHR-1 (b) ベクトル図  
図 2.2 KHR-1 とベクトルモデル

KHR-1 は二足歩行ロボットであり、接地面が二箇所存在する。接地面が二箇所存在する場合、胴体部分のベクトルが左右足の接地条件が変わることによって2パターン of ベクトル定義を切り替えなければならないことがわかった。

このことから、一つの要素に複数の軸が存在する場合、要素を単一のベクトルで表現できない。

また、ロボットが複雑になってしまうと接地部分になりえる要素が複数存在する場合があります、前章の方法が接地部分を原点とする三次元座標表現であるため、対応できなくなることが分かった。そこで、要素を複数ベクトルで表現し、要素内のベクトルを合成することで任意の軸までのベクトルを算出する。

要素の各軸をベクトルの先端とし、終端を要素の中心とするようにベクトルを定義する(図 2.2)。このように定義することで、どの軸が接地する要素に最も近いかを考えることなく、その要素の情報のみで要素内のベクトルを定義することが出来る。

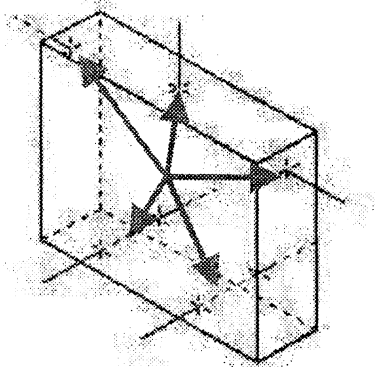


図 2.2 ベクトル構築の例

### 3. アルゴリズム化

これまで述べてきたことをアルゴリズム化することを考える。必要となる処理は、

- ・ 回転変換行列演算処理
- ・ 各要素 x, y, z 軸回転角度(絶対角度)計算処理
- ・ ベクトル並進演算処理

これらをソフトウェアに組み込み、先まで述べてきたモデル構築をソフトウェア上で実現する。ソフトウェア上で処理される手順は以下のようになる。

1. 要素ごとにベクトルを構成する
2. 各々要素の各軸回転の回転角度を算出
3. 要素のベクトルを回転変換行列を用いて回転
4. 前要素のベクトル先端座標で並進させ、各々のベクトル先端座標を導く

この方法を具体的な例をもって示す。

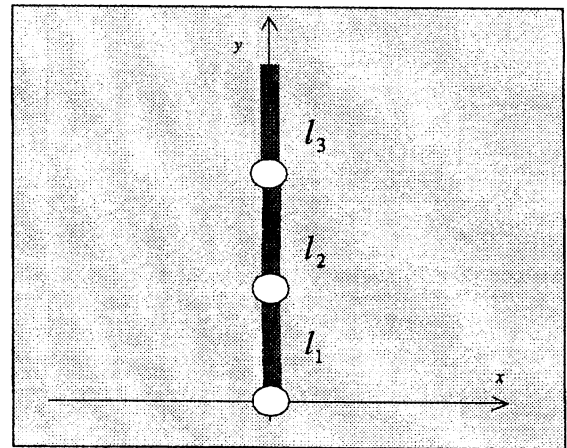


図 3.1 3リンクロボットアーム

上図の3リンクロボットアームを考えたとき、各リンクのベクトル( $L_1 \sim L_3$ )は以下のようなになる。

$$L_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ l_1 \\ 0 \end{bmatrix}, L_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ l_2 \\ 0 \end{bmatrix}, L_3 = \begin{bmatrix} 0 \\ l_3 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

このロボットアームが図 3.2 のように曲がった場合、ロボットアームの各関節の位置を  $P_1, P_2$  とすると、 $P_2$  は以下のように求めることができる。

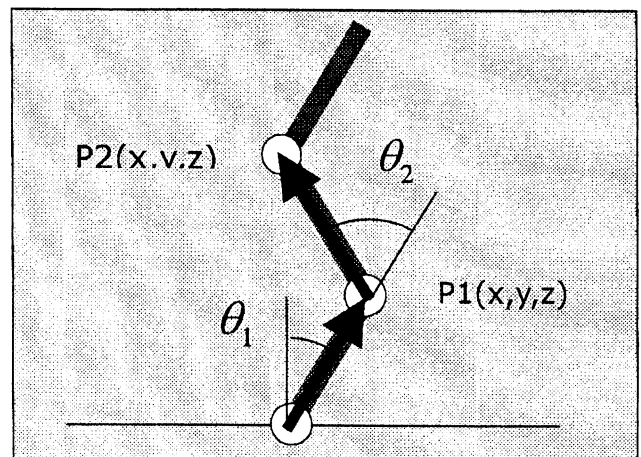


図 3.2 3リンクロボットアームの動作

まず、リンク 2 のベクトルが角度変化によって ( $\theta_1 + \theta_2$ ) だけ回転しているので、角度を反映させたリンク 2 のベクトルは、

$$L_2 \times E_{z(\theta_1+\theta_2)} \quad (3.2)$$

となる。次にこれをリンク 1 の先端位置へ並進させることで  $P_2$  の三次元座標を求めることができ、

$$P_2 = L_2 \times E_{z(\theta_1+\theta_2)} + P_1 \quad (3.3)$$

と求めることができる。

同じことを  $P_1$  に対しても行くと、

$$P_1 = L_1 \times E_{z\theta_1} \quad (3.4)$$

となる。

#### 4. 最後に

本研究では多関節ロボットのための仮想モデル構築法として、ベクトルと回転変換行列を組み合わせ、仮想モデルを構築し、ソフトウェアに適応した。また、要素に対するベクトル数を多くすることで複数軸のある要素にも対応することが出来た。しかし単純なロボットモデルの場合、ベクトル数が多くなることでソフトウェア内のデータが多くなり、演算処理が複雑になってしまった。そこで、今後の課題として以下のことがあげられる。

- ・ 多関節ロボット仮想モデルによる動作計画
- ・ ロボット特性(関節モーターのへたり等)の適応
- ・ 演算処理の見直し

#### 参考文献

1) 広瀬 茂男： ロボット工学 (改訂版) - 機械システムのベクトル解析 - 5/43 裳華房(1987)