

## 4 足動物-犬-の移動経路とその歩行

1 D-5

水野裕識 田渕仁浩 村岡洋一

早稲田大学理工学部

### 1 はじめに

我々は多関節動作体(4足動物-犬-)が自律的に歩行動作を行うアニメーションの作成を目指している。そのアニメーションは、動作体に対してたとえば”歩け”という指令を与えることで歩行動作が生成されるものを指す。3次元空間内で犬に歩行動作を行わせるためには、動作体の移動する経路を指定することとその経路上での歩行動作をどのように行わせるかの2つを決定しなくてはならない。経路の指定はこれまでその動作体が3次元空間上を歩行する際に直線移動、曲線移動といった指定を与えて制御した[1]。どちらの移動の場合においてもその動作決定機構を区別しないで歩行させたが、実際の歩行において曲線経路を移動する場合、直線移動と比較して例えば曲ろうとする方向へ脚を踏みかえたり、胴体が曲がる方向に傾くといった特徴が見いだされる。そのため曲線経路の歩行は、直線経路の歩行動作をそのまま適用することができない。本稿ではユーザーに曲線と直線からなる単位経路に分けて経路の指定を行わせ、そして単位経路に応じて動作状態を変える機構を動作制御内包モデルに付加し、その結果任意の動作経路に対して歩行動作をCGで表現した。

### 2 曲線経路の動作制御問題

3次元空間内の歩行動作を行わせるためには、動作体の移動する経路を指定しなくてはならない。経路指定をスプライン補間により行わせる手法[2]もあるが、進行方向を表す接線ベクトルを容易に算出できることから曲線経路の指定には円を用いる。従って経路は直線経路と円曲線経路から構成する。直線経路の移動においては脚の繰り出す方向はその進行方向と一致していたが、曲線経路の移動においてまず頭部が曲る方向に先行して、前脚がその曲る方向へ踏みかえる動作が行われる。そのために脚毎に歩幅として移動する大きさが異なってくる(図1)。従って曲線からなる経路に対して直線経路の歩行動作をそのまま用いることができない。そこで移動経路を決める方法と、決定経路の一部となる曲線経路上で

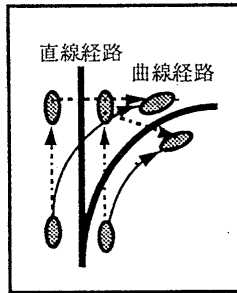


図1：経路比較

の身体運動を自然に見せるためにどのように動作制御をするかを問題にする。

### 3 経路グラフの指定

3次元空間内の動作体の移動経路をインタラクティブに指定する方法を説明する。移動経路は図2のような経路グラフの作成により指定することができる。経路グラフは2つの単位経路(曲線経路、直線経路)からなる。

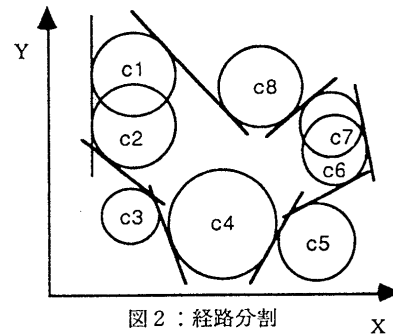


図2：経路分割

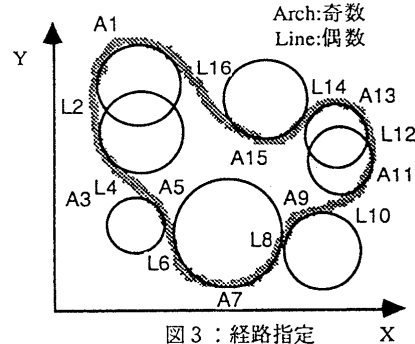


図3：経路指定

この経路グラフは次の手順で作成される。

- 1) 右回りに順に番号をつけた任意円(C1,C2,..C8)をx-y平面上に配置し、その半径と中心位置を獲得する。
- 2) 番号隣にある円に対して共通内接線、外接線の指定をして共通接線を引く(L2,L4,..L16)。これが直線経路になる。
- 3) 円上に引かれた共通接線の接点から接点までの弧を曲線経路として指定する(A1,A3,..A15)。

経路グラフでは基本的に円上弧の曲線経路と共通接線の直線経路が交互に現れる。求められた移動経路を図3の太線で示す。

### 4 身体制御

3で求めた経路グラフ上の曲線経路を移動する場合、歩行動作には直線歩行に比べて次の2つの特徴がある。それ

は1)各脚はその曲がる方向に準じる角度で繰り出されるといふ点、2)一定速度で移動する際、身体を内側に傾けるといふ点である。この2つの特徴を次のように実現する。

4.1 曲線経路の脚制御

歩行は脚の状態が地面から離れる遊脚相と接地している支持相の2相からなり、その2相が一定の位相差を保ちつつ繰り返される周期運動である[1]。この歩行を直線歩行と曲線歩行の2つに分けるとそれらの歩行の相違は脚の繰り出す方向、大きさが脚ごとに異なる点にある。直線経路では4脚の移動する方向とその移動量が一定である(図4左側)のに対し、曲線経路では脚毎に移動する方向と移動量が異なる(図4右側)。

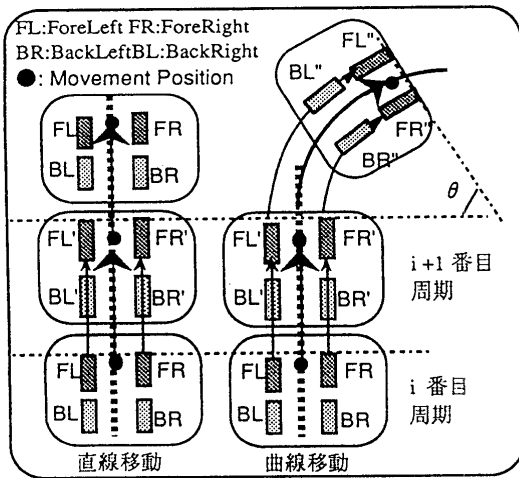


図4：直線、曲線移動の様子

図5でi+1番目の周期(T)、速度(V)で曲線経路に従う歩行について説明をする。1周期の移動距離は、経路となる半径(R)の円の弧の長さに等しいことから、

$$VT = R\theta \quad (1)$$

とおける。1周期(T)で表示されるフレーム数n(=T/N N:秒当たりの表示数)と回転円の半径(R)から、kフレーム目における移動位置(MP:Movement Position)とその時脚の進行方向に対する脚角度(Angle)を求める。

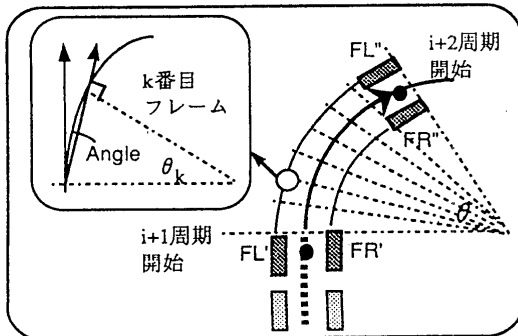


図5：曲線移動のフレーム定義

$$\theta_k = (\theta/n)k \quad (2)$$

$$MP = Rot(\theta_k)R + CC \quad (3)$$

(CC:円中心位置, Rot:回転行列)

$$Angle = \theta_k/2 \quad (4)$$

4.2 曲線経路の胴体制御

動作体には回転半径R、速度Vで走行する際、円中心に向かう力が作用する。曲線経路を走行中は、この力と自重とが釣り合う位置まで回転円の内側に身体を傾ける。その傾斜角phiは

$$\tan(\phi) = V^2/Rg \quad (5)$$

より求める[3]。

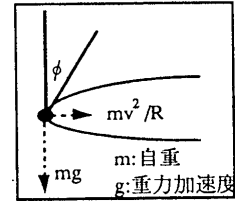


図6：傾斜角

4.3 曲線経路の歩行アニメーション作成

曲線経路における歩行動作生成順序を図7に示す。1周期で表示可能なフレーム数を求めておき、表示フレーム番号がこのフレーム数を越えない範囲で脚部位と胴体部位に以下の手順を繰り返す。

- 1) 円周上を移動する身体を中心位置(MP)を求める。
- 2) 各脚には位相差があつて遊脚相が開始する。従つて表示フレーム数をもとに各脚毎に曲げ角(Angle)を求める。
- 3) 曲線経路上の円の内側に傾ける傾斜角度を求める。

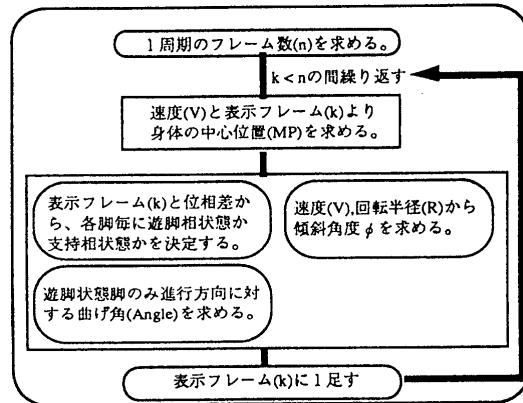


図7：曲線経路歩行制御

5 まとめと課題

任意の歩行動作経路をユーザに指定してもらい、曲線経路を歩行させる際に脚の踏み出す方向とその移動量を指示することで自然な歩行動作を行うようになった。現在動作経路を指定させる方法をインプリメント中である。今後は動作経路を自動生成する制御機構を考えたい。

参考文献

[1]水野,田淵,村岡:4足獣(犬)のCGによる歩行,44情処全大,3N-3  
 [2]L.Bezault,R.Boulic,N. M.Thalmann,and D. Thalmann: An Interactive Tool for the Design of Human Free-Walking Trajectories,P87-103 Creating and Animation the Virtual World  
 [3] Interactive Design of 3D Computer-Animated Legged Animal Motion:Michael Giard P39-51,87-6 IEEE CG&Appliation