

制御をはじめよう!

ロボットを上手に動かすために

最終回

ZMPを用いた二足歩行ロボットの制御 その2

やまきた まさき
山北 昌毅

1 簡単なモデルを用いた歩容生成

<前回より続き>

ここでは、二足歩行ロボットの歩行パターンをつくる方法を簡単に説明したいと思います。

いま、2次元平面内に、7つのリンクと6つの回転ジョイントから成り立つ歩行ロボットがあると考えます(図1)。平面内においてこのロボットの配置を決定するためには、例えば、図1に示すように支持脚のつま先の位置 (x, y) と回転角度 θ_i ($i = 1, \dots, 7$)を指定すればよいことになります。安定な歩行を実現するためには、支持脚の足裏は地面にしっかりと接地していた方がよいので、回転角 $\theta_1 = 180^\circ$ と固定します。また、支持脚のつま先の座標も固定されますので、このロボットの歩行パターン(歩容)は、 θ_i ($i = 2, \dots, 7$)の6個の変数の時間関数を決めればよいことになります(次の1歩の支持脚のつま先の位置は、遊脚の先端の位置で指定されます)。

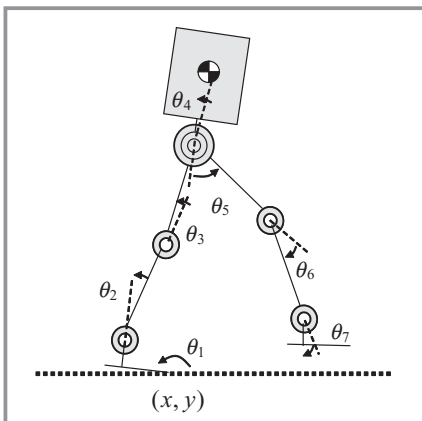


図1 2次元平面における7リンク歩行ロボット

一般に、ロボットのボディは重く、その運動は全体の運動に大きな影響を与えますので、まずはボディの位置と姿勢を決定します。例えば、ボディの重心の座標を (x_b, y_b) で与え、姿勢の角度を θ_b の3つの値により決めたとします(平面内の剛体の配置は、2つの位置のパラメータと回転角度を決めると一意に定まります)。支持脚とボディを含めた部分には $(\theta_2, \theta_3, \theta_4)$ の任意に決めることのできる変数が3つありますので、基本的にはこれらを適当な値に決めることにより、指定された3つの値 $(x_b, y_b), \theta_b$ を実現するように $(\theta_2, \theta_3, \theta_4)$ を決定することができます。

一般に、指定される変数が n 個、自由に決定できる変数が n 個あるとき、機構をうまく設計すれば、 n 個の自由変数によって、指定された n 個の値を実現することができます(n の値は、3次元空間の場合には位置と姿勢で6つ、2次元平面の場合には位置と回転角で3つとなります)。

一方、遊脚は次の支持脚となるために、適当な位置に足裏を着く必要があります。このとき、回転角度は地面に対して、やはり 180° にならなければなりません。つまり、足を着く時点では3つの値が指定されることになります。

また、遊脚が移動している間は、足の位置は障害物乗り越えるために適当に高くし、また、その角度は水平からあまり傾かないよう適当に決めることになります。これによって、遊脚が移動している間も、遊脚の足の位置と姿勢の3つの変数 $(x_s, y_s), \theta_s$ が決まってしまうことに

なります。胴体の位置と姿勢を実現するのに $(\theta_2, \theta_3, \theta_4)$ は使ってしまいましたので、残っているのは $(\theta_5, \theta_6, \theta_7)$ だけです。残っている変数が3つで、遊脚の足の状態を指定したものが3つですから、 $(\theta_5, \theta_6, \theta_7)$ を適当に決定することで、遊脚の足の状態を指定したものにすることができ、適当な位置に足を着くことが可能となります。

以上をまとめると、図2のようになります。このロボットの場合、ボディの位置と姿勢を決めて(図2・左)、それとは独立に遊脚の足の位置と姿勢を決めると(図2・右)、6つの回転ジョイントの角度は自然と決定されます。

指定された変数に対して、自由に決定できる変数の値を決定することを逆運動学を解くといえます。このロボットの場合には、逆運動学は解析的に解くことができませんが、具体的には式が煩雑になりますので、ここでは説明しません。3次元空間を運動する場合には、原理的には逆運動学を解析的に解くことができないので、数値的に解くことになります。

具体的には、 $(x_b, y_b), \theta_b$ のように指定された変数の組を y とし、 $(\theta_2, \theta_3, \theta_4)$ のような自由な変数の組を x と表すことにします。そうすると、一般に y と x の関係は

$$y = f(x)$$

というふうに関数で表すことができます。このとき、逆運動学は y が与えられるときに、それを実現する x を求める問題となります。もし、 $f(x)$ が直線の式

$$y = mx + c$$

のように表されるならば、これを x につ