

自転車を操縦する人型ロボットの ハンドル操作パターンの生成

日高良和* 本間翔太** 野村匠** 横山正春***

A Development of Steering Patterns of a Humanoid Robot to Steer a Bicycle

Yoshikazu HITAKA* Shota HOMMA** Takumi NOMURA** Masaharu YOKOYAMA***

Abstract: In this study, we have manufactured the control circuit of the servo motor of humanoid robot with a microcomputer board mbed, using the circuit and the operation pattern for the steering of the bicycle. When the robot held with the steering wheel both arms at both ends of the wheel and rotated it, it is derived each joint angle of both arms of the robot by solving the inverse kinematics problem of the position of the hand of the arms.

I found from experiments that in some cases the joint angle of the arm is out of its appropriate range when the handle rotating large. Therefore, joints out of its appropriate range, it was possible to control the handlebar of a bicycle, making joints out of its appropriate range set to the maximum moveable joints angles, and adjusting the other joints within the range.

Key words: humanoid robot, mbed, operation pattern for the steering of the bicycle, inverse kinematics problem

1. 緒言

近年、人間とロボットとの共生を実現させるため、人間と同様な動きがロボットに求められている。

本研究の目的は、人間の最も身近な移動手段である自転車を、比較的普及している人型ロボット ROBO NOVA-I に操縦させることによって、ロボットの動きをより人間に近づけるための可能性を広げることである。本稿は、マイコンボード mbed¹⁾を使用して、ロボットに付属している各サーボモータの制御回路の製作と、その回路を使用してロボットが両腕で自転車のハンドル操作をするための、腕の動作パターンを作成したので報告する。

2. ロボットの動作パターンについて

ロボットが操縦するための自転車は、写真1のペニーフェーjing型の模型用のものを使用した。ペニーフェーjing型とは、自転車の前輪が後輪に比べ大きく、前輪に動力をかけて走らせる自転車である。

ロボットに自転車のハンドルを握らせると、写真2のようになる。この自転車のハンドルを、ロボットが握ることがで

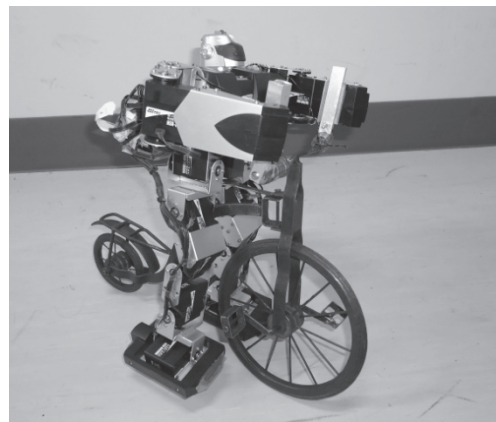


写真1 使用したロボットと自転車

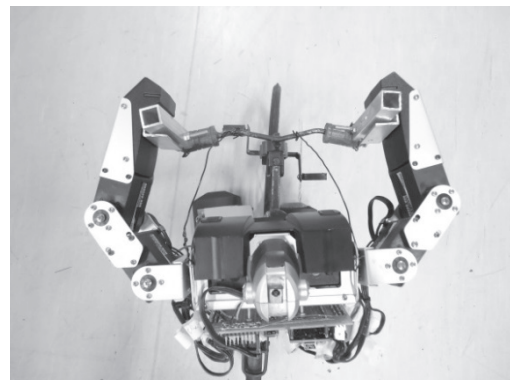


写真2 ロボットにハンドルを握らせたときの様子

(2013年12月20日受理)

*宇部工業高等専門学校 電気工学科 「責任著者」

**宇部工業高等専門学校 専攻科生産システム工学専攻

***宇部工業高等専門学校 技術室

きる高さになるよう、ハンドルの両端にアルミの角パイプを取り付けた。また、ロボットの腕にはハンドルを握る腕になってないので、L型のアルミアングル材の爪を取り付けることで、ロボットがハンドルを握り動かすことができるようにした。今回はロボットの腕の高さとハンドルの高さは同じなので、自転車のハンドルと左右の腕は図1に示すX-Y平面上を移動する。写真2のように、ロボットの左手で自転車のハンドルの左端を、ロボットの右手でハンドルの右端を持つようにする。この時のハンドルとロボットの両手の位置関係を図にしたのが図1である。図1のように、ハンドルを左右どちらにも切っていない状態を基本姿勢とする。座標の原点をロボットの両肩回転軸の中心とし、そこから右方向にX軸、前方向にY軸とする。ハンドルの左端とロボットの左手の位置が一致する点を (x_1, y_1) 、ハンドルの右端とロボットの右手の位置が一致する点を (x_2, y_2) とする。基本姿勢から図2のように、ロボットがハンドルを切ったとき、ハンドルの回転角度を φ とすると、ハンドルの両端の位置 (x_1, y_1) と (x_2, y_2) は、次の(1)~(4)式で求められる。

$$x_1 = -\frac{D}{2} \cos \varphi \quad (1)$$

$$y_1 = L_2 - \frac{D}{2} \sin \varphi \quad (2)$$

$$x_2 = \frac{D}{2} \cos \varphi \quad (3)$$

$$y_2 = L_2 + \frac{D}{2} \sin \varphi \quad (4)$$

また、ロボットの左手の位置を (x_1, y_1) 、右手の位置を (x_2, y_2) としたときの両手の位置は、ロボットの上腕、下腕の長さ L_1, L_2 と、肩、肘の関節角度 $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4$ を使って次の(5)~(8)式で表すことができる。

左手の位置

$$x_1 = -\frac{D}{2} + L_1 \cos \theta_1 + L_2 \cos(\theta_1 + \theta_2) \quad (5)$$

$$y_1 = L_1 \sin \theta_1 + L_2 \sin(\theta_1 + \theta_2) \quad (6)$$

右手の位置

$$x_2 = \frac{D}{2} + L_1 \cos \theta_3 + L_2 \cos(\theta_3 + \theta_4) \quad (7)$$

$$y_2 = L_1 \sin \theta_3 + L_2 \sin(\theta_3 + \theta_4) \quad (8)$$

(5)~(8)の両手の位置の方程式から、逆運動学問題²⁾を解いて両腕の各関節角度を求めると、次の(9)~(14)になる。

左腕の各関節角度の導出式

$$\theta_1 = \tan^{-1} \frac{y_1}{x_1} - \tan^{-1} \frac{L_2 \sin \theta_2}{L_1 + L_2 \cos \theta_2} \quad (9)$$

$$\theta_2 = \arccos \frac{L_1^2 + y_1^2 - L_2^2 - L_1^2}{2L_1 L_2} \quad (10)$$

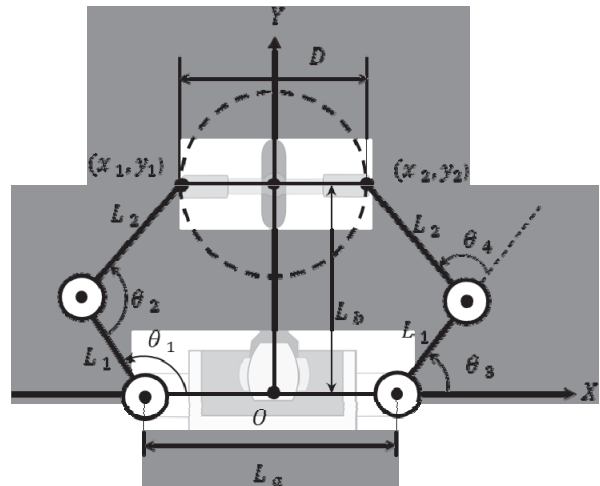


図1 自転車とロボットの腕の関係(基本姿勢)

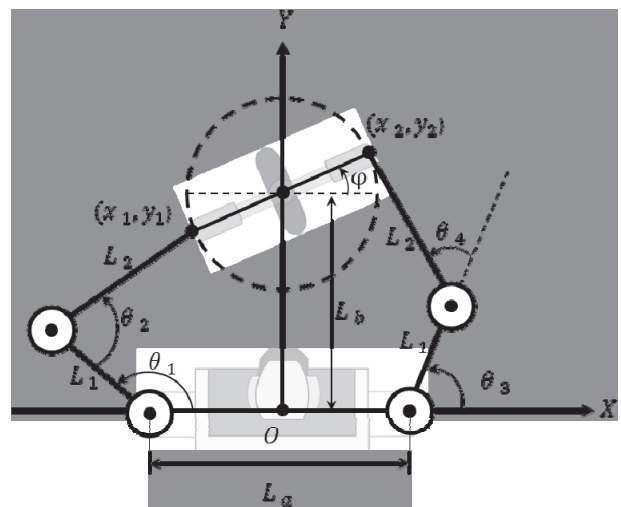


図2 ロボットがハンドルを切ったときの位置

使用記号

(x_1, y_1) : ハンドルの左端の座標

(x_2, y_2) : ハンドルの右端の座標

L_a : ロボットの両肩のサーボモータ間の距離

L_b : ハンドルの中心とロボットの中心との距離

L_1 : ロボットの上腕

L_2 : ロボットの下腕

D : ハンドルの直径

φ : ハンドルの回転角度

- θ_1 : ロボットの左肩の回転角度
- θ_2 : ロボットの左肘の回転角度
- θ_3 : ロボットの右肩の回転角度
- θ_4 : ロボットの右肘の回転角度

$$\theta_1 = \arcsin\left(\frac{D_1}{L_1}\right) \quad (11)$$

右腕の各関節角度の導出式

$$\theta_2 = \arctan\left(\frac{L_2 \sin \theta_1}{L_1 + L_2 \cos \theta_1}\right) \quad (12)$$

$$\theta_3 = \arccos\left(\frac{L_1^2 + L_2^2 - D_2^2}{2L_1L_2}\right) \quad (13)$$

$$\theta_4 = \arcsin\left(\frac{D_2}{L_2}\right) \quad (14)$$

式(9)、式(13)より導出した角度は正負 2 つの値が導かれるが、今回はロボットの両腕の可動範囲の都合上により正の値を使用した。

逆運動学問題を解いた(9)～(14)の式を使用して、各関節の回転角度を求め、これらの角度データをサーボモータに送りロボットの両腕を使って、自転車のハンドルを制御した。

3. サーボモータの制御回路の製作

mbed マイコンを使用したサーボモータの制御回路を製作し、ロボットの背中に取り付けた³⁾。サーボモータの制御回路の回路図を図3に示す。サーボモータの制御回路の構成を図4に示す。ロボットの各関節に使用されている各サーボモータと mbed マイコンを図4のように半二重通信回路で接続した。mbed マイコンとサーボモータ間の通信は UART 通信を用いて行った。半二重通信回路は、送受信に必要な通信線を 1 本の通信線で共有する通信回路である。図4のように、1 本の通信線に 16 個のサーボモータを接続しているため、各サーボモータに固有の ID を割り振ることで各サーボモータを判別している。サーボモータの制御は、制御したいサーボの ID を指定し、サーボモータの角度や速度のデータを送ることで行う。

4. ロボットの腕の動作パターンの作成

(9)～(14)の式の逆運動学問題の解を使用して、ロボットがハンドルを-20度～+20度まで1度ずつ回転させたときの各サーボモータの角度を算出し、角度のパラメータの作成を行った。計算に使用した定数を表1に示す。また、ハンドルの回転角度を大きくした時に腕の各関節角度の計算結果が、サーボモータの最大可動範囲を超える場所があった。その場合

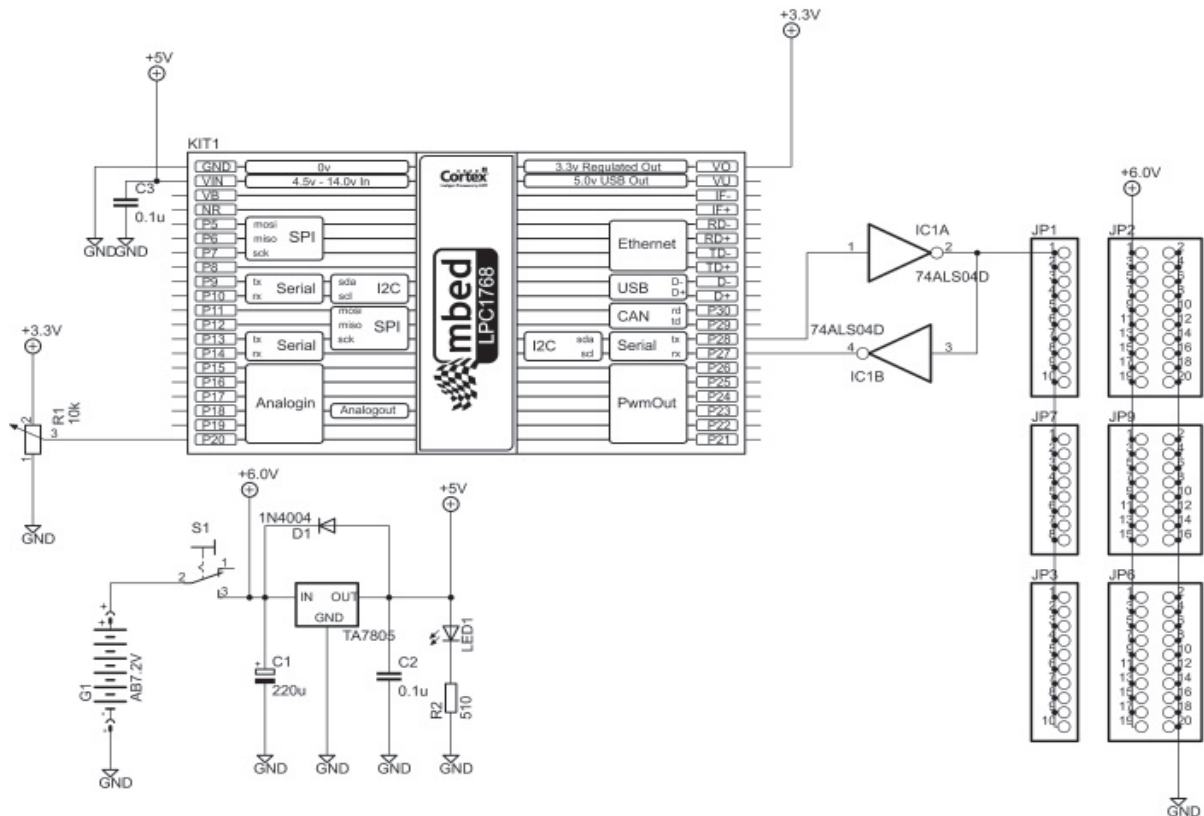


図3 サーボモータの制御回路

は計算結果が可動範囲内に収まっている他のサーボモータの回転角度に補正値を加えて補うことで、両腕でハンドルを大きく切れるようにした。これらのパラメータをサーボモータに書き込み、その角度データをサーボモータに送って制御した。

5. 実験システム

システムの全体を写真3に示す。ロボットのハンドル操作を行うコントローラに可変抵抗器を使用した。ロボットの腕の制御を行うために、可変抵抗器の電圧を mbed マイコンで A/D 変換⁴⁾を行うことで回転角度を読み取り、可変抵抗器の回転角度に応じて、ロボットが自転車のハンドルを操作できるようにした。

6. 動作確認実験

写真3のシステムを使用して、ロボットのハンドル操作の確認実験を行った。可変抵抗器を右回転させると、写真4のようにロボットがハンドルを右にきる動作をした。同様に、可変抵抗器を左回転させると、ロボットはハンドルを左にきる動作も確認している。

7. 結言

ロボットのサーボモータの制御回路を製作し、可変抵抗器を使用して、ロボットの自転車のハンドル操作の制御を行うことができた。

今後は、ロボットが自転車を足で漕ぐための動作パターンを作成し、ロボットが自転車を操縦できるようにしたい。

参考文献

- 1) 岡田好一：最新 ARM/Cortex マイコン徹底研究，pp. 5-6，CQ 出版社，2010.
- 2) 小川鑛一，加藤了三：初めて学ぶ基礎ロボット工学，pp. 122-127，東京電機大学出版局，1998.
- 3) 本間翔太，日高良和，横山正春：自転車を操縦する二足歩行ロボットの動作パターンの開発，pp. 127-128，日本高専学会第 19 回年回講演会，2013.
- 4) 久保幸夫：mbed/ARM 活用事例，pp. 35-40，CQ 出版社，2011

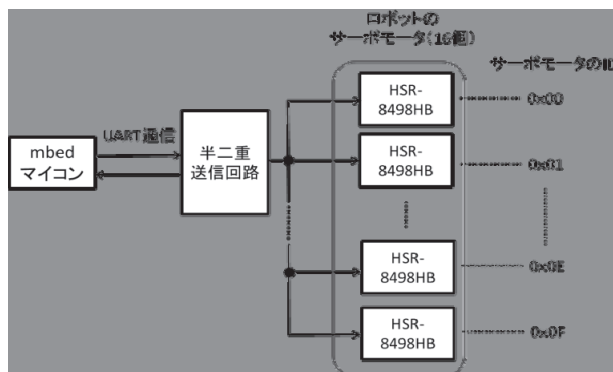


図4 サーボモータの制御回路の構成

表1 各関節の導出に使用した定数

記号	距離[mm]
D	150
L_a	85
L_b	145
L_1	48
L_2	65

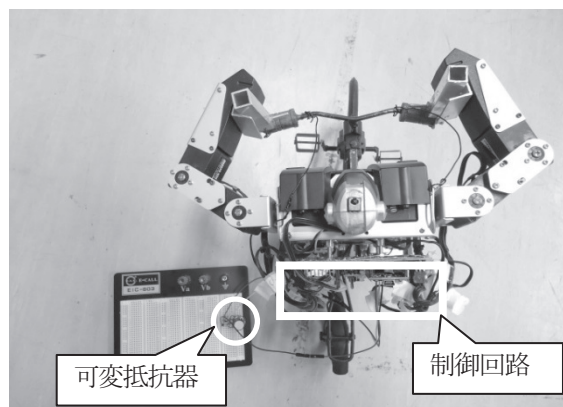


写真3 システムの全体



写真4 ロボットのハンドル操作(右折)