

小型ヒューマノイドの各種動作実現

Various Movement Realization of a Small-Sized Humanoid

○ 島田英史*, 大久保重範*

○ Hideshi Shimada*, Shigenori Okubo*, Tatuya Takahashi*

*山形大学

*Yamagata University

キーワード： 二足歩行ロボット (biped locomation robot), トルク制御 (torque control), 電流制御 (current control)

連絡先： 〒992-8510 山形県米沢市城南4-3-16 山形大学 工学部 機械システム工学専攻 大久保研究室
大久保重範, Tel.: (0283)26-324, E-mail: sokubo@yz.yamagata-u.ac.jp

1. はじめに

ヒューマノイドロボットは人間の形を模したロボットである。このことから、人間の環境や人間の道具をそのまま使えるという特徴を持ち、これらの環境や道具をロボットに合わせて作り直すより、経済的だと言われている。また、人間の形を模しているがゆえに、人間自身が親近感を感じやすいといった特徴もある。そのため、企業や研究機関にあるような人間と同サイズのロボットのみならず、近藤科学から発売されているKHR-1のように各関節のアクチュエータをラジコン用サーボモータで構成された小型ヒューマノイドロボットが一般家庭にも普及している。

人型という特性上、脚部に配されたサーボモータには大きな負荷が掛かるため、安定した動作を追及するという目的から、ロボット用の高トルクのサーボモータが市販されているが、高トルクであるほどサーボモータの発熱による故障や最悪、周囲に危険を及ぼす可能性がある。

そこで本研究では、各サーボモータのトルク制御を可能にし、ロボットに柔軟性を持たせることとした。

2. 研究目的

小型ヒューマノイドロボットの各関節のアクチュエータとして用いられているサーボモータは位置制御系がモジュールに内蔵されているが、ロボット全体の制御系としてはオープンループで構成されている。このため、関節角度等のフィードバック値を把握することができず、周りの環境に構わず駆動しようとする。このことが、時として周囲に危険を及ぼす要因となる。よって、各サーボモータのトルク制御を可能とすることで、フレームの干渉等による故障も防げるのではないかと考えた。

また、本研究に使用するヒューマノイドロボットは人間に近い動作を実現するために独自の機構を備えている。トルク制御を行うことで、より自然な動作を出来ると期待できる。

3. ヒューマノイドロボットの概要

現在多くのヒューマノイドロボットは膝を曲げた姿勢で歩行を行っており、それがヒューマノイドに違和感を感じる一つの要因となっている。この理由は主に2つあり、1つは逆運動学により関節角度を求め動作しているロボットの場合、脚を伸ばしきるとその姿勢が特異点となり、逆運動学が解けなくなるため、もう1つは脚を伸ばしたまま歩行を行うと、安定した歩行が行えないためである。人間の場合、つま先及び腰の関節を使うことで擬似的に左右の足の長さを変え、それによって、歩行時に膝を伸ばした状態でも安定した歩行を行う。

本研究で使用するヒューマノイドロボットは、人間に近い見た目の歩行を行わせるために、腰に該当する機構として腰にロール軸を、つま先に該当する機構としてロボット独自の冗長自由度を設けている。この機構により、膝を伸ばした歩行や脚を交差させる隘路歩行が可能となっている。

ロボットの外観をFig.1に基本仕様をTable.1に示す。また、モータには近藤科学製のロボット用サーボモータ(KRS2346ICS,2350ICS)及び、JR PROPO製のロボット用サーボモータ(DSR8901)を使用し、近藤科学製のロボットコントロールボード(RCB-3)によりモータを駆動している。

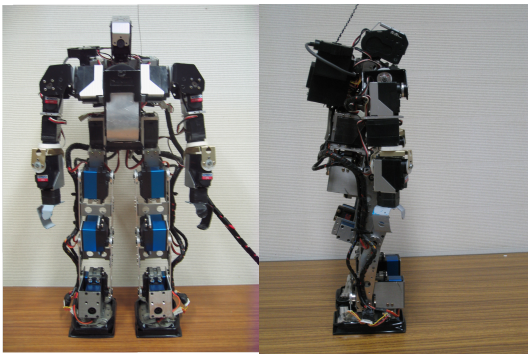


Fig. 1 Appearance

Table 1 Basic specification

Degree of freedom	24
Height [mm]	500
Width [mm]	210
Depth [mm]	140
Weight [kg]	2.9
Voltage [V]	7.4

4. トルク制御の原理

トルク制御を行う場合、アクチュエータにおいて出力トルクを制御する必要がある、一般的なラジコン用サーボモータにはDCモータが用いられており、その出力は式(1)で表される。

$$\tau_m = K_\tau i_a \quad (1)$$

$\tau_m[N \cdot m]$: モータトルク $K_\tau[N \cdot m/A]$: トルク係数

$i_a[A]$: モータ端子電流

式(1)により、DCモータに与える電流 i_a を制御することが可能であれば、モータの出力トルク τ_m を制御することが可能である。

5. モータコントローラの概要

5.1 以前製作していたモータコントローラ

以前製作していた電流コントローラはサーボモータのコントロール部分を改造し、ポテンシオメータと抵抗を用いた電流検出アンプ(MAX4376)により位置情報と電流値の取得が可能で、Hブリッジ回路上の供給電圧のデューティ比を変化させることにより、モータに流れる電流値を制御し、モータの出力トルクを制御することが可能となるものだった。モータコントローラの構成をFig.2に示す。

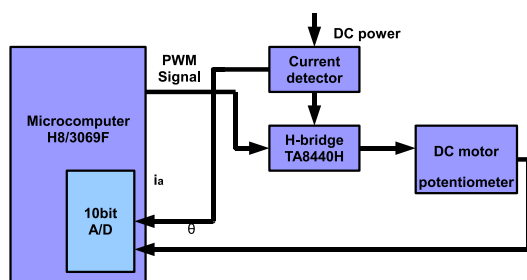


Fig. 2 Hardware structure of previous motor controller

5.2 問題点

以前製作していたモータコントローラはサーボモータのコントロール部分を改造したものであったため、PWM信号で容易に位置制御を行えるというサーボモータの特色を消してしまっていた。これにより、通常のサーボモータとの互換性が失われ、サーボモータ用モータコントロールボードからの使用が不可能となっていた。

また、電流検出アンプは電流経路に直列に電流検出抵抗を挿入して、抵抗の前後の電位差から電流を測定するため、電力損失が増すというデメリットがある。

6. 新たに製作したモータコントローラ

今回新たに製作したモータコントローラは、サーボモータやコントロールボードに手を加えず、位置を制御しているコントロールボード部と独立させることで、PWM信号による位置制御をそのまま残し、途中の電源ラインから電流値を測定し、その測定値から、電源ラインのデューティ比を変更することで、トルク制御の可能を目指した。

また、電流値の検出にホール素子内蔵の電流センサIC(ACS715)を使うことで、電力損失を少なくしている。

新たに製作したモータコントローラの構成をFig.3に、実際に製作したモータコントローラの

外観をFig.4に示す。今回はモータコントローラの動作確認を行うため、コントロールボードは近藤科学製のRCB-1、サーボモータはFutaba製のS3003を使用している。

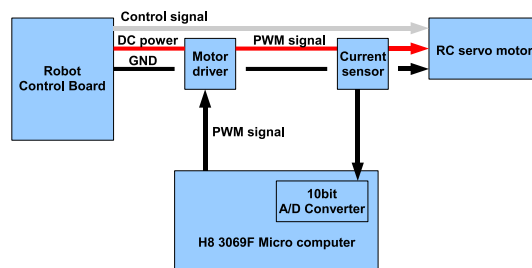


Fig. 3 Hardware structure of new motor controller

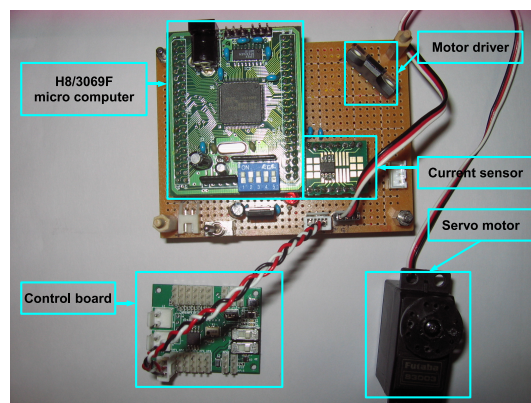


Fig. 4 Composition of motor controller

7. 電流センサ

7.1 電流センサの概要

本研究に使用する電流センサはアレグロマイクロシステムズ社製電流センサIC(ACS715)である。この電流センサは磁界を受けると電圧を生じるホール素子が内蔵されており、電流の周りには電流に比例した磁界が生じるので、電流を間接的に測定できる。

使用する電流センサの外観をFig.5に、性能をTable.2に示す。外形は8ピンのSOICタイプで1,2番ピンと3,4番ピンを電流経路に挿入し、7番ピンから電流に比例した電圧が得られる。

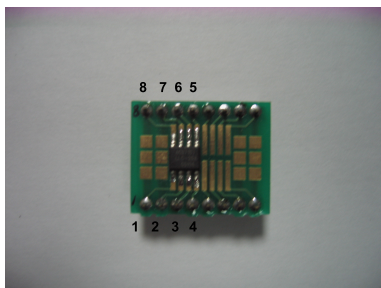


Fig. 5 ACS715

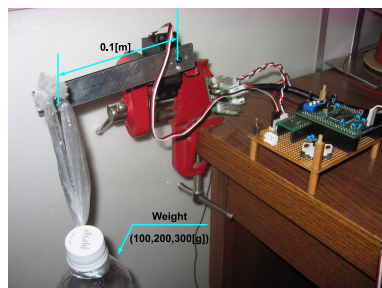


Fig. 6 Appearance of experiment

Table 2 Specification of current sensor

Part number	ACS715LLCTR-20A-T
Optimized range [A]	0 to 20
Sensitivity [mV/A]	185
Conductor Resistance [$m\Omega$]	1.2

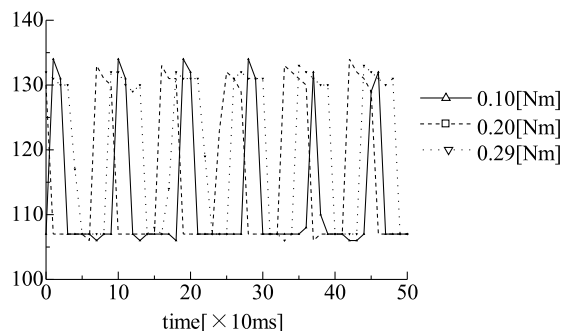


Fig. 7 Value of sensor

7.2 実験

この電流センサが正確に電流値を測定することが可能であることを確認するために行う。

実験方法は、コントロールボードとサーボモータの電流経路に電流センサを挿入し、サーボモータに一定角度を保持させた状態で、サーボモータの回転軸に0.10～0.29[Nm]の負荷を掛け続けた際にサーボモータに流れる電流を計測した。これは電流値とトルクが比例関係にあり、一定の負荷トルクが掛かり続けた際、一定の電流値が供給されるためである。サンプリング周期は10[msec]としている。Fig.6に実験の様子を、Fig.7にその結果を示す。

この結果から、A/D変換された値は最小で105～108，最大で137～138となる。H8/3069Fマイコンの10bit A/Dコンバータで読み取った値であるので、センサの感度から最小で2.70[A]，最大で3.61[A]となるが、電流経路に直列に電流計を接続し計測したところ、0.10[Nm]時に約0.15[A]，0.20[Nm]時に

約0.27[A]，0.30[Nm]時に約0.39[A]と値が大幅に異なり、負荷を掛け続けた状態ではほぼ一定の電流値が検出されているにも関わらず、大きく値がばらつくこととなった。

この原因としては使用した電流計で表示される値が、一定期間の平均値であることが挙げられる。よって、取得した値から80[msec]毎に平均値を求めた。その結果をFig.8に示す。

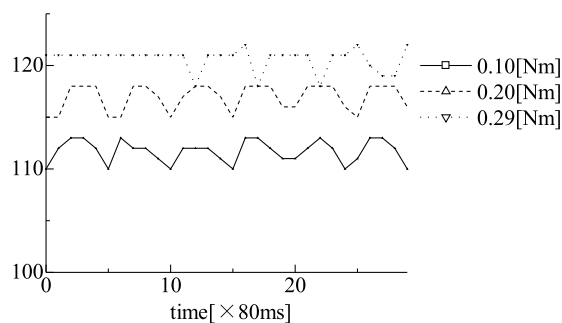


Fig. 8 Value of sensor

8. 考察

結果より、各負荷ごとの平均値が大体均等に分かっているものの、その平均値同士であってもばらつきがあった。これは平均値を取得する時間を長くすることで、より正確な値が計測できると思われる。

また、電流経路に電流が流れていない状態で、A/D変換された値は、105～108を出力していたが、これは不平衡電圧であると思われる。不平衡電圧とはホール素子の等価回路の四つの抵抗にアンバランスが生じると、磁束密度が0であっても出力端子間に発生する電圧のことである。

この値をFig.8の平均値から引き、電流センサの感度を用いて計算すると、実際に電流計で計測した値とほぼ一致した。

9. おわりに

今回はコントロールボード、及びサーボモータから独立したモータコントローラを考案し、電流値検出のための抵抗による電力損失の問題に対して、解決案として用いるホール素子内蔵の電流センサICの動作実験を行った。その結果、適した間隔での平均値や不平衡電圧を考慮し計算することで、電流計で検出した値とほぼ同じ値を導出することが可能であるとわかった。

しかし、電流値自体、配線やシステムによって微細に異なるため、どのようなセンサを使用しても、実際に電流計で電流値を計算するといった作業は必要である。。

今後は、電源ラインの供給電圧をPWM信号化し、デューティ比を変化させる場合、電流値の減少に伴い、電圧値も減少するが、サーボモータの規格によっては、一定電圧を下回った場合、強制的にサーボモータをフリーにするといった仕様のものであるので、サーボモータの仕様によって

どのような違いがあり、このモータコントローラがどの程度まで適応できるのか確かめたい。

また、コントロールボードとサーボモータから完全に独立したシステムのため、歩行などのモーションにいかんトルク制御を適応させるかを考える必要がある。

参考文献

- 1) 友國 伸保, 雑賀 優, 藪田 哲郎: トルク制御可能なサーボユニットを用いた小型ヒューマノイドロボット, 日本機械学会論文集(C編) 148/155, (2005)
- 2) 友國 伸保, 雑賀 優, 小山 崇之, 黄 健, 藪田 哲郎: コンプライアンス制御可能な小型ヒューマノイドの研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会'07 講演会論文集 1P1-S-047, (2005)
- 3) 梶田 秀司: ヒューマノイドロボット, オーム社, (2005)
- 4) 米田 完, 坪内 考司, 大隈 久: はじめてのロボット創造設計, 株式会社 講談社, (2001)