

PIC マイコンを用いたヒューマノイドロボット制御システムの開発

A Control System Using PIC Micro Controller for Humanoid Robots

○鈴木裕一*, 落合章裕**, 山野光裕**

○ Suzukawa Yuichi*, Ochiai Akihiro**, Yamano Mitsuhiro**

*山形大学 工学部, **山形大学大学院 理工学研究科

*Faculty of Engineering, Yamagata University

**Graduate school of Science and Engineering, Yamagata University

Key Words: ヒューマノイドロボット(humanoid robot), 制御システム (control system),
フィードバック制御 (feedback control), マイコン (MCU)

連絡先: 〒992-8510 山形県米沢市城南 4 丁目 3-16 山形大学工学部

機械システム工学科

山野研究室, 鈴木裕一, Tel.:(023)-826-3238, E-mail : su-gakukayo@hotmail.co.jp

1. 緒言

ヒューマノイドロボットの制御システムは, 多くの搭載機器のデータを効率良く処理し, 多種多様な作業や制御方法に対応できることが求められる. 近年, 様々なヒューマノイドロボットが開発され, それぞれのロボットの特徴に応じた色々なタイプの制御システムが利用されている.

小型ヒューマノイドロボットである近藤科学 KHR シリーズ [1]では, ロボットの背中にマイコンボードが搭載されていて, PC とマイコンボードで通信を行い, RC サーボモータを制御する. また KHR は PC から独立してマイコンボードだけで動作可能である. また, 小型ヒューマノイドロボット morph3 [2]は, メインボードとマイコンボードが搭載されている. メインボードとマイコンボードが通信を行い, メインボードからマ

イコンボードへ命令することでモータを制御している. 一方, 人と同じ大きさの HRP-2 Promet [3]は, 制御用メインボードがロボットの内部に搭載されている. この制御ボードにモータやセンサを接続し制御システムを構築している. そして, ASIMO [4] はメインボードとモータ制御ボード間で通信を行う制御システムを構成している. この制御システムは, モータを分散して制御することを可能としている.

本研究では, PC とマイコンを組み合わせで利用する制御システムを開発する. 本制御システムでは, 電流制御方式や速度制御方式のモータドライバを利用する代わりに, 通信機能を持ったマイコンを用い, ソフトウェアで制御を行う. 高速なフィードバック制御と複雑な計算を伴う制御への対応を可能にするため, 単純な処理は複数のマイコンで並列

に行い、複雑な計算はPCで実行する。本稿では、マイコンを利用した制御システムの構築の検討、制御システム試作機の開発および基礎的な実験について報告する。

2. ヒューマノイドロボットと分散型制御システム

ヒューマノイドロボットには、センサやアクチュエータが多く使用される。そのため、KHRシリーズやHRP-2のような集中型制御システムを採用すると、1台のコンピュータで多くのセンサやアクチュエータにアクセスする必要がある。コンピュータにアクセスするモータドライバの数が増えると、アクセス時間が長くなることや配線量が多いといった問題が生じる。これに対して、morph3やASIMOなどでは分散型制御システムを採用している。この制御システムは、多数のコンピュータに制御を分散させるのでアクセス時間を短縮でき、同時に多くの制御に使用可能である。そして、分散型制御システムの場合、装置を各部に設置することで配線量を軽減することができる。また、各部に配置するコンピュータにマイコンを使用すれば、電流、速度、位置の情報を利用した制御をモータドライバレベルで、またソフトウェアで制御可能になる。

3. モータ制御システムの検討

ヒューマノイドロボットを制御システムを開発するにあたり、従来型の電流制御型モータドライバ、電流制御・速度制御型モータドライバと本研究での、モータ制御システムについての比較検討を行う。

まず、PCと電流制御方式のモータドライバを使用した集中型制御システムをFig.1 (a)に示す。この制御システムは、取得した電流値からフィードバックを行い指令値に追従させることができる。またPCからの指令は、電流制御、速度制御、位置制御をソフトウ

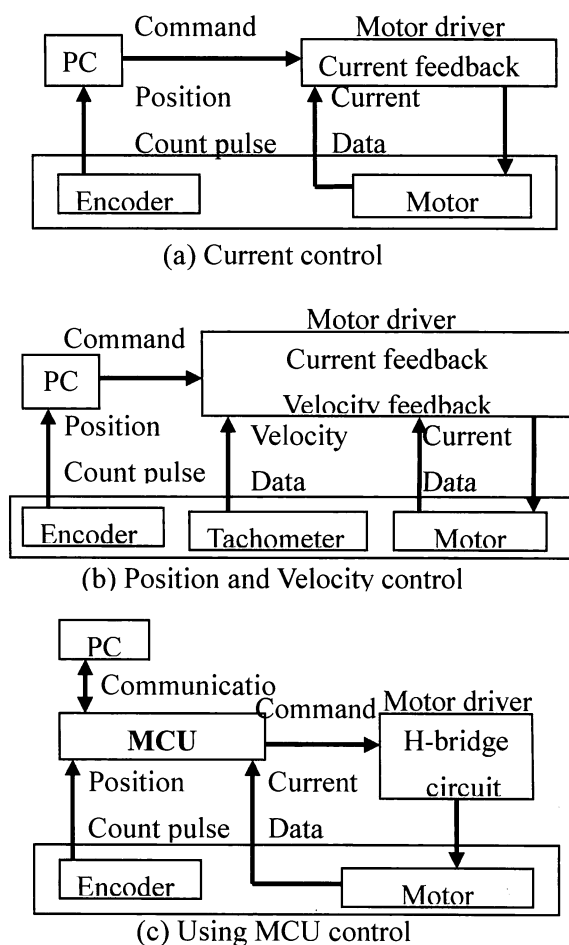


Fig.1 Control systems

アで行うことができる。しかし、モータの数が増加するとPCとモータドライバの接続数が増えるため、個々のモータへのアクセス時間が遅れることや、プログラム全体のサンプリング周期もモータの個数分長くなる。そのため、ロボットの動作性能を高めにくいといった欠点を持つ。

次に、PCと速度制御方式のモータドライバを利用した集中型制御システムをFig.1 (b)に示す。この制御システムは、PCから指令を与えると、モータドライバが電流と速度の情報をもとにモータを目標角度まで追従させる。そのため、モータの接続数が増加した場合、PCの計算をモータドライバで軽減できるので、プログラムでのサンプリング周期を短くできる。しかし、モータドライバが速度制御をPCの代わりに行うので、ソフトウ

エアで制御則を変更することができないことが多い。動作中に制御則を変更したい場合には、モータドライバ自体の制御則を変更する必要がある。また、Fig.1(a), (b) のような制御システムの欠点としては、モータが増加した場合に、配線が多くなるというヒューマノイドロボットへの搭載時の問題が挙げられる。これらの制御システムに対して、マイコンと PC を組み合わせた制御システムを Fig.1 (c) に示す。

この制御システムは、マイコンを使用することで、モータドライバ部分をソフトウェアにより制御することが可能になる。マイコンを使用することにより、Fig.1 (a) のように電流制御を行うモータドライバとして動作させることや、Fig.1.(b) のように電流制御と速度制御を行うモータドライバとして動作させることができる。そして、ロボットの動作中に Fig.1(a), (b) の制御システムに切り替えることが可能になる。また、PC からの指令をマイコンで受けた場合、モータドライバのみの制御システムとして動作させることが可能になる。PC とマイコンの情報を通信により共有することもできるので、マイコンで取得した情報を PC で受信し、PC で計算を行った後、マイコンに指令を送り制御できるといったことも可能になる。そして、マイコンを使用することで小型化やロボットの各駆動軸に分散配置することが可能になる。ロボットの各駆動軸に配置する場合、Fig.1(a), (b) より配線量を減少させることができる。

ヒューマノイドロボットの作業を考えた場合、ロボットは運搬作業や、手作業など多様な作業を行う。しかし、制御則は作業によって異なる。マイコンを用いた制御システムは、制御則を変更できるので、多様な作業をロボットに行わせることが可能になる。

4. マイコンを使用した分散型制御システム

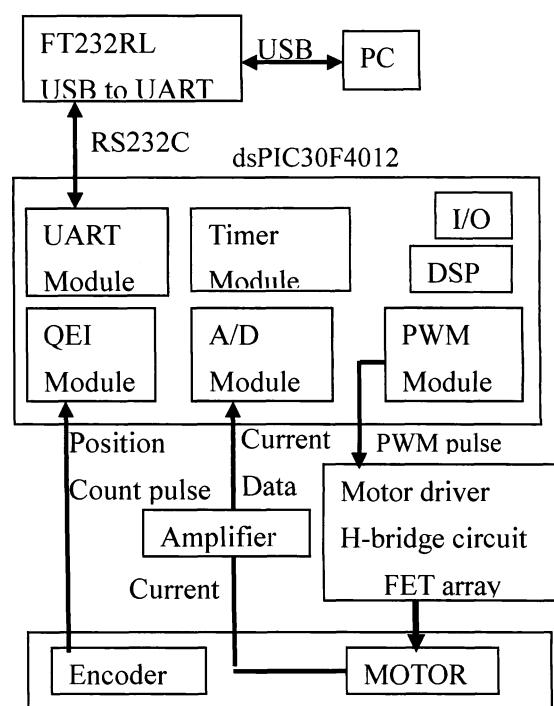


Fig.2 MPU control systems

マイコンを使用した Fig.1(c) のような分散制御システムを構築するに当たり、マイコンに必要な機能を検討する。マイコンに必要な機能としては、モータの電流検出、エンコーダパルスの読み込み、モータを制御するための PWM 信号の出力、PC とマイコン間の通信、時間を制御する機能、入出力を制御する機能があげられる。マイコンを使用した制御システムの構成を Fig.2 に示す。

この制御システムに使用するマイコンは、Microchip Technology 社製の dsPIC30F4012 (以下 dsPIC とする) である。このマイコンの内部には、通信用の UART Module、タイマ制御用の Timer Module、入出力制御用の I/O、ディジタル信号処理エンジンとして DSP (Digital signal processor)、PWM 出力を可能にする PWM Module、電流データを読みとる A/D、エンコーダパルスを読み込む QEI Module を持つ。そして、モータドライバに使用する IC は、テキサスインスツルメンツ社製 MP4212 である。この IC は、N チャンネルと P チャンネル FET を内蔵しており、H

ブリッジ回路を構成でき、PWM 駆動が可能といった特徴を持つ。そして、PC と通信を行うために、FTDI 社製の USB シリアル変換器である FT232RL を使用する。この IC は PC とマイコン間の USB とシリアル通信である RS232C を変換する。これにより PC と dsPIC の通信を可能にする。

Fig.2 のシステムは、電流、位置情報を取得することが可能で、PC から動作命令を受けてモータドライバ単独で制御することが可能である。単独で動作させる場合は、マイコンに予め動作に必要な制御則を書き込んでおく必要がある。また、PC とデータの送受信を行うことで、PC に複雑な計算を行わせた後、マイコンに指令値を送信することで、多様な制御をするといったことが可能になる。

dsPIC の開発環境は Windows XP を使用し、Microchip Technology 社の統合開発環境である MPLAB を用いて作成し、dsPIC と通信する PC のソフトウェアは cygwin 上で開発し、実行する。

5. 動作実験・考察

動作実験では、ヒューマノイドロボット「Bonten-Maru II」の首関節 2 軸分を制御した。Fig.3 に制御システムの全体像を示す。首関節に使用されているモータは、ハーモニックドライブシステムズ社製の RH-5A である。RH-5A は、ハーモニックドライブ、エンコーダを内蔵している。制御方法として、位置制御を行った。位置フィードバックの式は、デューティ比 v 、ゲイン k 、目標角度 θ_{ref} 、現在角度 θ_{cur} とすると次式になる。

$$v = k(\theta_{ref} - \theta_{cur}) \quad (1)$$

デューティは、角度の差分とゲインの積である。例えば、角度の差が多い場合、左辺のデューティ比は大きくなる。

Fig.4 に動作実験を行った際の様子を示す。この実験は、首 2 軸分を同時に、 0° から

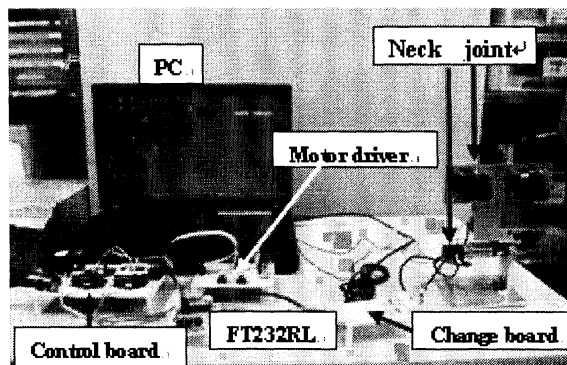
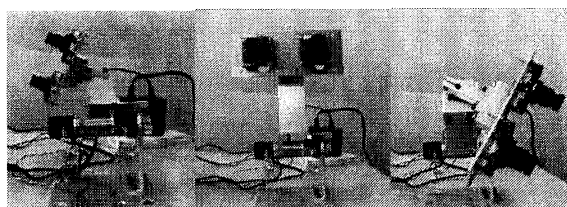


Fig.3 Overview of control system



(a) -60° (b) 0° (c) $+60^\circ$

Fig.4 Motion of the neck

-60° に傾けた後、 0° に戻りその後 $+60^\circ$ に傾ける、ことを繰り返し行うものである。

動作実験を行った結果、頭部は目標位置まで移動した。各角度の動作では、動き初めてから停止するまでの時間は、400 [ms] 程度であった。この実験から、位置制御ができると確認された。

6. 結言

本研究では、ヒューマノイドロボットの分散型制御システムを、マイコンを用いて作成した。この分散型制御システムを使うことで、モータをフィードバック制御することが可能であると確認できた。

また、今後の課題として、多くのモータを並列に制御する必要がある。そして、電流、速度、位置の情報を利用した制御も行えるようなソフトウェアに改良を進める。

参考文献

[1] 近藤科学 KHR

http://www.kondo-robot.com/html/KHR2HV_KIT.html

[2] 古田貴之, 人間型ロボット morph3 の開発過程で生まれたロボットシステムたち, 日本機械学会誌, vol.109 No.1051 pp442～443
2006.6

[3] 金広文男, 石綿陽一, 齋藤元, 赤池一彦, 宮森剛, 五十妻隆勝, 金子健二, 比留川博久, 実時間 Ethernet を用いたヒューマノイドの分散 I/O システム, 日本ロボット学会誌, vol.25 No.3 pp466～477, 2007

[4] HONDA ASIMO

<http://www.honda.co.jp/ASIMO/about/spec/index.html>