

ネットワークを介した DC モータの組込み制御

Embedded Control of a DC Motor through Network

○畑村洋路*, 秋山宜万*, 松尾健史*, 三浦 武*, 谷口敏幸*

○Hiromichi Hatamura*, Yoshikazu Akiyama*, Kenshi Matsuo*, Takeshi Miura*, Toshiyuki Taniguchi*

*秋田大学

*Akita University

キーワード : DC モータ (DC motor), 組込み制御システム (embedded control system),
IP ネットワーク (IP network), TCP/IP(TCP/IP),

連絡先 : 〒010-8502 秋田県秋田市手形学園町 1-1 秋田大学工学資源学部 電気電子工学科
松尾健史, TEL : (018)889-2338, FAX : (018)837-0406, E-mail : matsuo@ipc.akita-u.ac.jp

1. はじめに

コントローラとしてマイクロコンピュータを用いた組込みシステムは, FA 機器や OA 機器, 家電などに使用¹⁾されており, 我々の生活の中に広く普及している. 組込みシステム(Embedded system)とは機械や機器にコンピュータを組み込むことで制御を行うシステムのことを呼び, マイクロコンピュータが多く用いられている. 近年, 半導体技術の発達により低コストでマイクロコンピュータを利用できるようになった²⁾.

一方, 近年インターネットなどの情報通信技術の発展により, ネットワークの利用技術も急速に発展している. IP ネットワークは最も普及したネットワークである. 近年, 各種制御システムに IP ネットワークを取り入

れることが注目されてきており, 研究³⁾が行われている. 制御用コントローラや各種計測機器は, インターネット介すことで, 遠隔制御を行うことが可能となる.

しかし, IP ネットワークは制御用のネットワークとして想定されていないためにいろいろな問題が考えられる. 例えば, IP ネットワークはパケット通信方式を用いているため通信時間が変動することやネットワークの混雑状況によってパケットの損失が起こることがある.

コントローラとして安価で容易に入手可能な市販のマイクロコンピュータを用いて, 最も普及し標準的な IP ネットワーク介して制御を行うことで, 低コストである制御システムを考える.

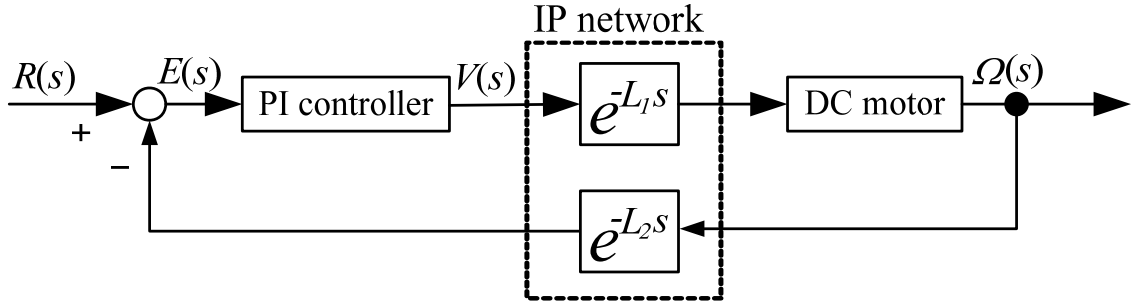


図1 ネットワークを介した DC モータ速度制御システムのブロック線図

Fig.1 Block diagram of a DC motor speed control system through Network

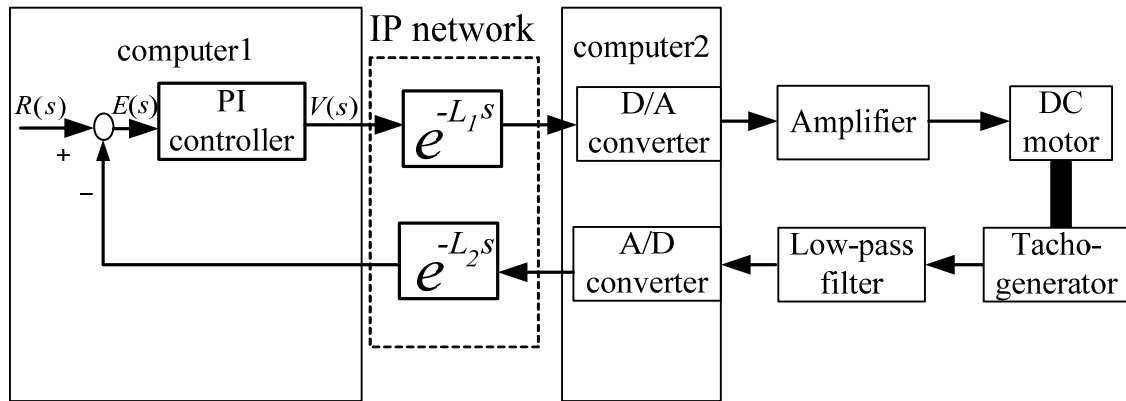


図2 ネットワークを介した DC モータ速度制御システムの構成図

Fig.2 Configuration of a DC motor speed control system through Network

本研究では、ネットワークを介した DC モータの組込み制御を行う。今回は基礎的な研究として、ネットワーク機能を搭載した市販のマイクロコンピュータボードをコントローラとし、既存のネットワークプロトコルである TCP/IP を用いてネットワークを介し、DC モータ速度制御の実験を行い、その組込み制御システムの有用性について検討した。なお、本研究では、DC モータには小形モータを用いる。

2. 実験システム

2.1 システム構成

文献3)におけるネットワークを介した DC モータ速度制御システムのブロック線図を図1に示す。

ここで DC モータの速度制御をするため、 $R(s)$ は目標回転速度、 $\Omega(s)$ は実際の DC モータの回転速度、 $E(s)$ ($E(s) = R(s) - \Omega(s)$) は目標回転速度と実際のモータの回転速度との偏差、 $V(s)$ は操作量(DC モータへの印加電圧の指令値)を示している。ここでコンピュータ 1, 2 はネットワークを介しているため、むだ時間 L_1 , L_2 が生じる。このむだ時間は一定ではなくネットワークの状況により変動する可能性がある。また、補償要素として PI 制御器を用いる。PI 制御器の伝達関数は(1)式で表される。

$$G_{PI}(s) = K_p + \frac{K_I}{s} \quad (1)$$

K_p および K_I はそれぞれ比例ゲイン、積分

ゲインを表す。本研究では，比例ゲイン $K_p=0.001$ ，積分ゲイン $K_I=0.01$ とする。

次に図 1 をシステムの構成図で記述すると図 2 のようになる。以下，図 2 の DC モータ速度制御システムで実験を行う。

図 2 に基づいて本研究で用いるシステムの構成について述べる。なお通信プロトコルとして，リアルタイム性に優れる UDP プロトコルを使用した。また，以下本研究では，PI 制御を行うコントロール側のコンピュータを“コンピュータ 1”，A/D，D/A 変換を行う側のコンピュータを“コンピュータ 2”と定義する。

コンピュータ 1 上では，コンピュータ 2 より送信された回転速度の値を受信し，目標値との差を取る。次に PI 制御器で操作量を計算し，UDP プロトコルでコンピュータ 2 へ送信する。

コンピュータ 2 はコンピュータ 1 から送信された操作量を受信し，D/A 変換器を用いて DC モータに電圧を印加する。次に DC モータの回転速度は A/D 変換器を通してコンピュータ 2 が計算し，この値を UDP プロトコルでコンピュータ 1 に送信する。

本研究ではこのコンピュータ 1，2 にマイクロコンピュータおよびパーソナルコンピュータを用いる。本研究では，パーソナルコンピュータを処理速度の速いマイクロコンピュータと仮定し，H8/3069F と比較検討するためにシミュレートとして実験に用いた。

2.2 使用機器の仕様

マイクロコンピュータボードは秋月電子通商より販売されているネットワーク機能付き H8/3069F マイクロコンピュータボードを用いた。マイクロコンピュータは，ルネサステクノロジ社製のシングルチップマイクロコンピュータ H8/3069F を用いる。マイク

ロコンピュータボード上のイーサネットコントローラには Realtek Semiconductor 社製 RTL8019AS(10BASE-T)が実装されている。マイクロコンピュータの仕様を表 1 に示す。

表 1 マイクロコンピュータの仕様

Table 1 Specification of Micro Computer

OS	H8/OS ⁽⁴⁾ ver2.3
CPU	H8/3069F
Clock frequency	20[MHz]
A/D converter	
Bit	10bit
Conversion time	2.8[μ s]
D/A converter	
Bit	8bit
Conversion time	10[μ s]

パーソナルコンピュータでは A/D，D/A 変換器および NIC(Network Interface Card)を用いている。A/D，D/A 変換器には，インタフェース社製 PCI-3521 を用いた。NIC のイーサネットコントローラには，Realtek Semiconductor 社製 RTL8139C(10BASE-T，100BASE-TX)を使用されている。パーソナルコンピュータ，パーソナルコンピュータで用いた A/D，D/A 変換器の仕様を表 2，3 に示す。なおタコジェネレータは 3[V]/1000[min^{-1}] のものを使用した。

表 2 パーソナルコンピュータの仕様

Table 2 Specification of Personal Computer

Personal Computer1		
OS	Linux	2.6.5-1.358
CPU	Pentium III	866[MHz]
Personal Computer2		
OS	Linux	2.6.5-1.358
CPU	Pentium III	550[MHz]

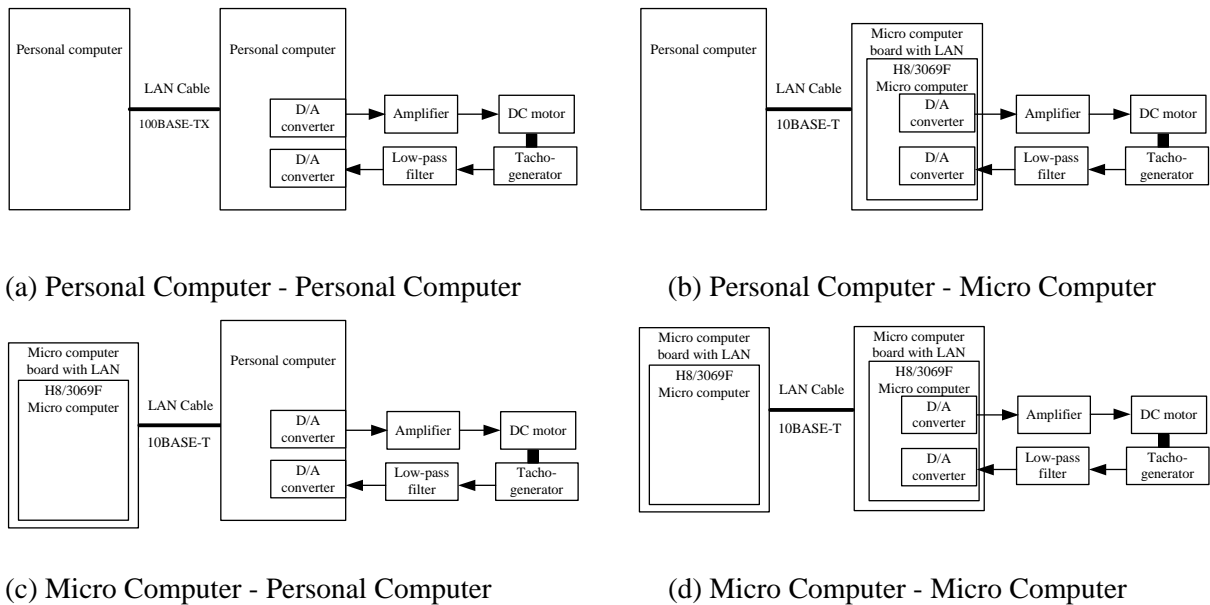


図 3 実験システム

Fig.3 Experimental system

表 3 パーソナルコンピュータで用いた
A/D, D/A 変換器の仕様

Table 3 Specification of A/D, D/A converter
Using Personal Computer

A/D converter	
Bit	12bit
Conversion time	10[μ S]
D/A converter	
Bit	12bit
Conversion time	10[μ S]

制御対象としたモータは、山洋電気社製の DC サーボモータ R301T-011 である。その仕様を表 4 に示す。

表 4 DC モータの仕様

Table 4 Specification of DC motor

rated power	11 [W]
rated voltage	24 [V]
rated current	1.25 [A]
rated speed	3000 [min^{-1}]

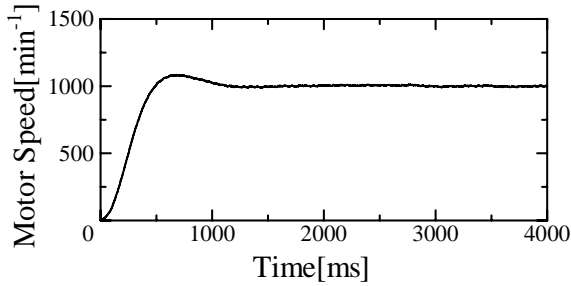
3. 実験

本実験では、マイクロコンピュータとパーソナルコンピュータを用いて 4 つの構成で実験を行った。実験システムを図 3 に示し、以下構成について述べる。なおコンピュータ 1, 2 は互いにイーサネットを用いて LAN 用クロスケーブルで接続している。

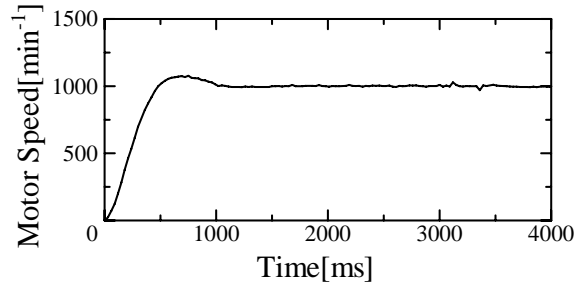
(a) コンピュータ 1, 2 にパーソナルコンピュータを用いた構成(パーソナルコンピュータを処理速度の速いマイクロコンピュータと仮定し、処理速度の速いコンピュータ同士の実験を行った。NIC の通信規格は 100BASE-TX となる。)

(b) コンピュータ 1 にパーソナルコンピュータ、コンピュータ 2 にマイクロコンピュータを用いた構成(マイクロコンピュータを用いて A/D, D/A 変換を行った。通信規格はマイクロコンピュータ側に統一されるため、10BASE-T となる。)

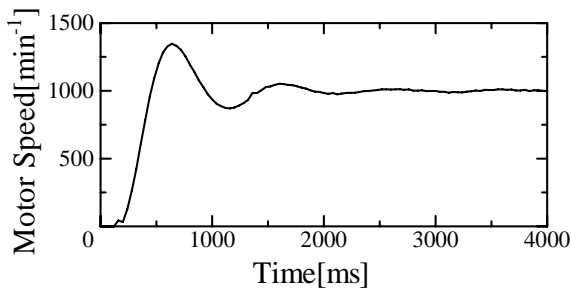
(c) コンピュータ 1 にマイクロコンピュータ、コンピュータ 2 にパーソナルコンピュータを用いた構成(マイクロコンピュータを用い



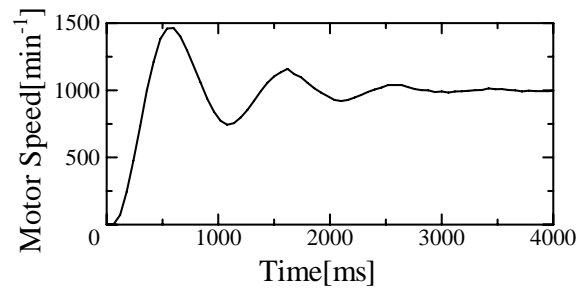
(a) Personal Computer - Personal Computer
Sampling Time 5[ms]



(b) Personal Computer - Micro Computer
Sampling Time 30[ms]



(c) Micro Computer - Personal Computer
Sampling Time 40[ms]



(d) Micro Computer - Micro Computer
Sampling Time 60[ms]

図4 DC モータ速度制御のステップ応答(より小さいサンプリング時間)

Fig.4 Step response of a DC motor speed control (Small Sampling Time)

て PI 制御を行った。通信規格はマイクロコンピュータ側に統一されるため、10BASE-T となる。)

(d) コンピュータ 1, 2 にマイクロコンピュータを用いた構成(マイクロコンピュータ同士の実験を行った。通信規格は 10BASE-T となる。)

なお、本研究では目標速度を $1000[\text{min}^{-1}]$ として、負荷には慣性モーメントが $3.5 \times 10^{-5}[\text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^2/\text{rad}]$ である慣性負荷を使用した。また、コンピュータ 1, 2 は非同期で実験を行う。なお、パーソナルコンピュータの A/D, D/A 変換器の分解能はコンピュータの演算処理により、マイクロコンピュータと同じ (A/D 変換器 10bit, D/A 変換器 8bit) 分解能とした。

また、マイクロコンピュータにおいて、

UDP プロトコルを用いた送信処理時間は約 10[ms], 受信処理時間は約 15[ms] 以上必要であることがわかった。また PI 制御器の演算処理にかかる時間は約 7[ms] であることがわかった。

以下、実験 1, 2 を行った。

実験 1 では(a)~(d)の構成において、パケット損失がおこらなく、より小さいサンプリング時間で DC モータを駆動した。その際の DC モータの速度制御のステップ応答の波形を図 4 に示す。実験 2 は、(a)~(d)の構成において、サンプリング時間を(d)の構成に合わせて 60[ms] に設定し、DC モータの速度制御を行った。それぞれのステップ応答の波形を図 5 に示す。

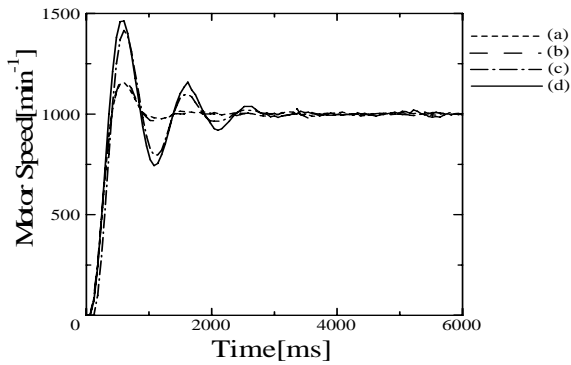


図5 サンプリング時間を60[ms]に設定した際のDCモータ速度制御のステップ応答
Fig.5 Step response of a DC motor speed control (Sampling Time 60[ms])

4. 考察

以下、実験1, 2について考察する。

実験1では(a)~(d)の構成において、パケット損失がおこらなく、より小さいサンプリング時間でDCモータを駆動した。以下、図4について考察する。(a)はコンピュータの処理速度が比較的速いため、サンプリング時間は5[ms]となった。(b)は(a)に比べサンプリング時間が大きく30[ms]となった。これはコンピュータ2にマイクロコンピュータを用いているためである。マイクロコンピュータは送信処理時間に約10[ms]、受信処理時間に約15[ms]かかるため、サンプリング時間は30[ms]となった。また、(a)と(b)はオーバーシュートが小さいことがわかる。(c)はコンピュータ1にマイクロコンピュータを用いた。送受信処理時間約25[ms]に加え、PI制御器の演算処理時間の約7[ms]がかかるため、サンプリング時間は40[ms]としてDCモータを駆動させた。(d)はコンピュータ1, 2のどちらにもマイクロコンピュータを用いた。マイクロコンピュータ同士の通信でパケット損失がおこらないようにするために、サンプリング時間を60[ms]とするしかなかった。(c)と(d)はオーバーシュートが大きくなって

いることがわかる。これはコンピュータ1にマイクロコンピュータを用いたためだと考えられる。

実験2は、(a)~(d)の構成において、サンプリング時間を(d)の構成に合わせて60[ms]に設定し、DCモータの速度制御を行った。以下、図5について考察する。(a)と(b)、(c)と(d)にあまり変化が見られないことから、ある程度のサンプリング時間でDCモータを駆動する際、コンピュータ2の性能の差は、ほとんど問題とならないことがわかる。そのため、コンピュータ1の性能差が問題となる。(a)と(b)に対して(c)と(d)のオーバーシュートが大きくなっているのがわかる。これはコンピュータ1にマイクロコンピュータを用いているからである。マイクロコンピュータの受信処理には15[ms]がかかる。そのためPI制御器での計算処理がサンプリング時間60[ms]中の後半で行われ、その結果、コンピュータ2に印加する指令値を送るのが遅くなる。その影響でコンピュータ2のD/A変換器による出力が遅くなり、オーバーシュートが大きくなる。

5. まとめ

本研究では、ネットワークを介したDCモータの組込み制御を行うにあたり、基礎的な研究として、ネットワーク機能を搭載した市販のマイクロコンピュータボードを用いてIPネットワーク介してDCモータ速度制御の実験を行い、その組込み制御システムの有用性について検討した。その結果、マイクロコンピュータの処理速度、送受信の処理時間が制御システムに影響することを確認した。

このように処理速度、送受信の処理時間に制限があるマイクロコンピュータでは、小形DCモータの制御において、十分な性能を出すことが難しいと考えられる。

参考文献

- 1) 大須賀威彦：マイコン入門講座，12/19，電波新聞社(2005)
- 2) 横山直隆：C 言語による H8 マイコンプログラミング入門，14/16，技術評論社(2003)
- 3) 松尾健史，秋山宜万，三浦 武，谷口敏幸：LAN ネットワークを用いたモータ制御，計測自動制御学会東北支部第 230 回研究集会，230-1(2006)
- 4) Micro Embedded System/MES Ver 2.5
<http://mes.sourceforge.jp/mes2/index-j.html>