VTR 用ソフトウェアサーボシステムの開発

正会員 奥村信義[†], 岸田教敬[†], 正会員 川畑 優[†],
林 和夫^{††}, 尚永幸久^{††}

A Software Servo System for VCRs

Nobuyoshi Okumura[†], Yukinori Kishida[†], Masaru Kawabata[†],
Kazuo Hayashi^{††} and Yukihisa Naoe^{††}

Abstract This paper describes a software servo system for a VCR. We developed a software servo microcomputer called the M37770M4A to improve servo performance. It has a 16-bit CPU, a timing-measurement-timer with a 16 MHz clock that is reset by a drum PG (Pulse Generator) signal, a 14-bit PWM and so on. The M37770M4A can make the programming of outputting pulses easy and can reduce quantize noise.

We applied this microcomputer to a camcorder and adapted a disturbance observer to the drum/capstan servo system to suppress fluctuations in the motors' rotations at low frequencies. Moreover, inserting a digital filter into the observer to compensate for the LPF characteristic reduced the increase in rotational fluctuation at high frequencies caused by model mismatching of observer.

1. ま え が き

近年、家庭用 VTR のサーボにおいては、専用マイクロコンピュータを用いたソフトウェアサーボ化が進みつつある。ソフトウェアサーボ化することによりフレキシブルな制御ができる。また、ソフトウェアサーボマイコンでサーボの他に、メカコントロール、システムコントロール、タイマ、オペレーション、OSD (オンスクリーンディスプレイ) 等の機能も行うことにより、部品点数を削減できるといったメリットがある。

現在、製品化されている VTR 用ソフトウェアサーボマイコンのほとんどは 8 ビットの CPU をコアとするもので、多量のデータを扱ったり、複雑な演算を行ったりするには、処理能力が不足することがある。そこで、当社製 16 ビットマイコン MELPS 7700 を CPU コアとし、大容量のメモリーを備え、高速の演算処理を可能にしたソフトウェアサーボマイコン M 37770 M 4 A¹⁾を開発した。

また、このソフトウェアサーボマイコンを用いて、ドラム・キャプスタンサーボ系にソフトウェアによる外乱オブザーバを適用した結果、良好な回転性能が得

キーワード：VTR、ソフトウェアサーボ、マイクロコンピュータ、外乱オブザーバ

1991 年 7 月 24 日, 1991 年テレビジョン学会年次大会で発表

1992 年 3 月 23 日受付, 1991 年 4 月 15 日再受付

[†] 三菱電機株式会社 電子商品開発研究所 (〒617 長岡京市馬場園所 1, TEL 075-956-9311)

^{††} 三菱電機株式会社 北伊丹製作所 (〒664 伊丹市瑞原 4-1, TEL 0727-82-5131)

[†] Consumer Electronics Laboratory, Mitsubishi Electric Corporation (1, Babazusyo, Nagaokakyo-shi, Kyoto 617, Japan)

^{††} Kita-Itami Works, Mitsubishi Electric Corporation (4-1, Mizuhara, Itami-shi, Hyogo 664, Japan)

られた。

2. ソフトウェアサーボマイコン

従来のデジタルサーボにおいては、サーボループ特性の補償用フィルタはR, Cによるアナログフィルタで構成される。ソフトウェアサーボにおいては、補償用フィルタをソフトウェアによるデジタルフィルタで構成する方法がよく用いられる。例えば位相系補償用デジタルフィルタの場合、その入力の位相誤差出力は10~12ビット前後のデータであり、乗算器の係数は8ビット以下あるいは16ビット以下のデータである。したがって、デジタルフィルタの演算においては16×8ビットあるいは16×16ビットの乗算を行う必要がある。通常、8ビットのCPUコアの場合、乗算機能は8×8ビットであることが多く、上記演算をするにはデータを分割して8×8ビットを数回行い加算するといった処理が必要となり、処理時間がかかるという問題がある。これは、外乱オブザーバ等の演算処理を行う場合についても同様である。

そこで、これらの演算処理を短時間でできるよう、クロック周波数16 MHzの16ビットCPUをコアとする演算処理能力の高いソフトウェアサーボマイコンを開発した。また、このソフトウェアサーボマイコンは周辺回路として、クロック周波数の高いタイミングメジャメントタイマ(TMT)をもった時間計測機能、繰り返し周波数が高くビット数切り替えが可能なPWM変換器、書換え可能なCTLアンプやFGアンプ等のアナログ回路、Hsyncに同期したパルスを出し可能なリアルタイムパターン出力等を備えている。図1にブロック図を示す。以下に、それぞれの詳細について述べる。

2.1 時間計測機能

FG等の入力信号のエッジの入力時間を計測するためのカウンタと、ヘッド切換信号等の出力信号の出力時間を設定するためのカウンタは、共通のカウンタで構成される。通常、このカウンタは0(または最大値)からアップ(またはダウン)カウントし、最大値(または0)になれば0(または最大値)に戻りカウントを繰り返す、フリーランのカウンタで構成されることが多い。ところで、ヘッド切換信号や記録コントロール信号等は、ドラムPG信号あるいはドラムPG信号入力直後のドラムFG信号の入力時間をもとにし、これに一定の遅延時間を加えた時間に出力される。したがって、フリーラン方式のカウンタでヘッド切換信号等を作成する場合、ドラムPGが入力されるごとに毎回出力時間を計算しなければならない。そこで、今回開発

したソフトウェアサーボマイコンは、図2に示すように、時間計測用のTMTをドラムPG信号入力直後のドラムFG信号入力でリロードレジスタの値 N_p にリセットするようにした。こうすることにより、遅延時間を変更しない限りヘッド切換信号等の出力時間のTMTの値 N_1, N_2 は常に同じになるので、一度設定すれば毎回計算する必要がなくなり、ソフトの負担が軽減される。

また、カウンタのクロック周波数およびビット数は、ドラムFG用が16 MHz、20ビット、それ以外の入力信号用が2 MHz、17ビット、リアルタイムポート出力用が1 MHz、16ビットとなっており、高精度の時間計測ができ、制御の高性能化にも対応できるようになっている。

図1 M37770M4Aのブロック図
A block diagram of M37770M4A.

図2 TMT タイミングチャート
Timing chart of TMT.

2.2 PWM 変換器

従来のデジタルサーボシステムでは、速度誤差および位相誤差をそれぞれ PWM 出力し、補償用フィルタを経た位相系 PWM 出力と速度系 PWM 出力を LPF で平滑化するとともに、抵抗分圧の形で加算する。したがって、PWM 出力の 1 ビット分の量子化誤差は抵抗分圧および補償用フィルタで縮小される。これに対し、ソフトウェアサーボシステムでは、速度誤差出力および補償用のデジタルフィルタ処理を施した位相誤差出力にそれぞれ適当な係数を乗じて加算し、PWM 出力して LPF により平滑化している。したがって、PWM 出力の 1 ビット分の量子化誤差は縮小されることなく、そのまま伝達される。さらに、速度誤差出力と位相誤差出力を加算し、出力にデジタルフィルタ処理を施す場合についても同様である。この量子化誤差を縮小するためには、速度誤差出力および位相誤差出力に対する乗算の係数を k 倍にし、LPF により後のアンプのゲインを $1/k$ にする方法もあるが、 k を大きくしすぎると、速度および位相の検出範囲が狭くなり、サーボ系のダイナミックレンジが狭くなってしまふ。あるいは、ノイズシェーパを用いる方法もあるが、ソフトウェアの処理が複雑になってしまう。

そこで、今回開発したソフトウェアサーボマイコン

においては、PWM 出力のビット数を多くして 1 ビット分の量子化誤差そのものを小さくするようにした。具体的には、ビット数を 14 ビットと 12 ビットでシステムに応じて選択できるようにしている。出力方法は一般に用いられているのと同様に、PWM データを 14 ビットの場合、上位 8 ビットと下位 6 ビット、12 ビットの場合、上位 8 ビットと下位 4 ビットに分け、上位ビットのデータに応じて PWM 信号のデューティを決め、下位ビットのデータに応じて 1 ビット分のデューティを付加する時系列パターンを決める方法をとっている。PWM 変換器のクロック周波数を 16 MHz にしているの、PWM 信号の周波数は 62.5 kHz と、かなり高くなっている。これに応じて、PWM 信号平滑化のための LPF のカットオフ周波数も高くすることができるので、サーボ系設計の余裕が増す。下位ビットも含めた PWM 信号の繰り返し周波数は、14 ビットの場合 977 Hz、12 ビットの場合 3.9 kHz である。例えば、FG 周波数が 720 Hz あるいは 900 Hz 等のドムラサーボ系の場合、FG 1 周期以内に 14 ビットのデータに対応した PWM 信号を出力しきるので 14 ビット PWM を使い、FG 周波数が 2160 Hz 等のキャプスタンサーボ系の場合、12 ビット PWM を用いるというように使い分けることができる。

(a) 基本形

(b) ソフトウェア形

図 3 外乱オブザーバの構成

A block diagram of disturbance observer. (a) A basic form, (b) a software form.

3. 外乱オブザーバの適用

カメラ一体型 VTR においては、本体の小型軽量化に伴いドラム・キャプスタンモータも低イナーシャ化している。このため、これらのモータの回転変動が増大してジッタやトラッキング性能が悪化する傾向にある。そこで、サーボ系の性能を向上させ、モータの回転変動を抑圧するために外乱オブザーバ²⁾を適用することにした。今回開発したソフトウェアサーボマイコンを用いることにより、高速演算処理が可能なることから、ドラム・キャプスタン両サーボ系に外乱オブザーバを適用できるとともに、補償フィルタ等を挿入して外乱オブザーバの性能を向上させることができた。

3.1 外乱オブザーバの構成

最小次元オブザーバによる外乱オブザーバを含むサーボ系の基本型の構成を図 3(a)に、ソフトウェアによる構成を図 3(b)に示す。外乱オブザーバの基本型は、モータの角速度 ω と駆動電流 I から外乱トルクを推定するものであるが、ソフトウェアのみで外乱オブザーバを構成するために、FG 信号のエッジが入力されるごとに演算して得られる速度検出結果を角速度に換算して用いる。また、駆動電流を A/D 変換して取り込むと A/D 変換器が必要になるとともに、A/D 変換器の精度が良くないと量子化誤差が増大するので、PWM 出力する直前のデジタル値から駆動電流を算出して用いる。また、推定した外乱トルクを打ち消すようにフィードフォワードするのも、フィードフォワードすべき駆動電流値に相当する PWM 出力する直前のデジタル値としてである。

ここで、PWM 出力する直前のデジタル値から駆動電流を算出する際、PWM 変換ゲイン K_{PWM} とアンプおよび MDA ゲイン K_A は定数であるから、乗算器として構成できる。しかし、LPF の伝達関数 $H_{LPF}(s)$ はカットオフ周波数が充分高ければ 1 で近似できるが、さもなければ 1 で近似すると、モデルと実際の間に差が生じるため外乱トルクの推定に誤差が生じてしまう。推定した外乱トルクを打ち消すようにフィードフォワードする際も同様で、 $1/H_{LPF}(s)$ はカットオフ周波数が充分高くなければ、1 で近似すると、外乱トルクを打ち消さずに、かえって増大させてしまう領域が生じる。

ドラムサーボ系の外乱抑圧特性のシミュレーション結果を図 4 に示す。このドラムサーボ系で用いているのはカットオフ周波数 23 Hz の 1 次の LPF である。図中(b)で示したように、約 18 Hz 以下では外乱オブザーバを適用することにより、図中(a)で示した外

図 4 ドラム外乱抑圧特性
Characteristics of disturbance suppression.

乱オブザーバがない場合に比べ、外乱に対する抑圧度が増しているが、約 18 Hz 以上では逆に盛り上がっている。

このように、 $H_{LPF}(s)$ を 1 で近似したことにより生じた高域の外乱抑圧特性の盛り上がりを低減するために、まず $H_{LPF}(s)$ を双 1 次変換してデジタルフィルタ $H_{LPF1}(z)$ を構成する。

$$H_{LPF}(s) = \frac{1}{1+sT_1} \quad (1)$$

$$H_{LPF1}(z) = \frac{1+z^{-1}}{1+\frac{2T_1}{T}+\left(1-\frac{2T_1}{T}\right)z^{-1}} \quad (2)$$

T : サンプルング周期

次に、 $1/H_{LPF}(s)$ もデジタルフィルタ化するが、このままデジタルフィルタ化すると、高域でゲインが増大する特性のため、量子化ノイズ等の高周波ノイズ成分を増大させてしまい、かえってモータの回転変動を引き起こしてしまう。そこで、 $1/H_{LPF}(s)$ の高域のゲインを有限値にした $1/H_{LPF}'(s)$ を

$$1/H_{LPF}'(s) = \frac{1+sT_1}{1+sT_2} \quad (3)$$

$T_1 > T_2$

とし、 T_2 を適当な値に設定しデジタルフィルタ化する。なお、 T_2 を小さくするほどモデルと実際の差異が小さくなり、外乱抑圧特性の高域の盛り上がりが低減するが、高周波ノイズが増大するので、システムに応じて適当に選ぶ必要があり、ここでは T_2 を T_1 の 1/10 に設定している。このときの外乱抑圧特性を図 4 の(c)に示す。(b)の $H_{LPF}(s)$ を 1 で近似した場合に比べて、高域の盛り上がりが低減している。

3.2 測定結果

小径ドラムを用いた VTR にソフトウェアサーボを適用した場合のドラム FG ワウ・フラッタのスペクトルを図 5 に示す。(a)の外乱オブザーバがない場合と

(a) オブザーバなし

(b) オブザーバあり ($H_{LPF}(s)$ を 1 で近似)

(c) オブザーバあり ($H_{LPF}(s)$ をデジタルフィルタで近似)

図 5 ドラム FG ワウ・フラッタのスペクトル
Spectrum of drum FG wow-flutter.

(a) Without observer, (b) with observer (use 1 for approximation instead of $H_{LPF}(s)$), (c) With observer (use digital filter for approximation instead of $H_{LPF}(s)$).

比べ、(b)の $H_{LPF}(s)$ を 1 で近似した場合は、約 20 Hz 以下の成分が低減し、20~30 Hz 付近の成分が少し盛り上がっている。 $H_{LPF}(s)$ をデジタルフィルタで近似した場合の(c)は、(b)と同様に約 20 Hz 以下の成分が低減し、20~30 Hz 付近の成分の盛り上がりが(b)より低減し(a)と同程度におさまっている。なお、45, 90 Hz のピークはドラムの回転数およびその 2 倍の成分で、60 Hz のピークは測定器を含めた電源ノイズ成分である。

キャプスタンサーボ系にも同様に、外乱オブザーバ

図 6 演算処理時間
Computating time.

写真 1 チップ写真
Photograph of microcomputer.

を適用³⁾することにより回転変動を低減できた。

FG が入力されるたびに行われる速度検出および外乱オブザーバの演算に要する処理時間は、8 ビットマイコンの場合約 300 μ s であったのに対し、本マイコンを用いることにより約 100 μ s に短縮することでき、図 6 に示すように、周期 1112 μ s のドラム FG および周期 465 μ s のキャプスタン FG に対し、充分余裕をもって処理できるようになった。

4. む す び

16 ビットマイコン MELPS 7700 を CPU コアとし、

表 1 マイコン仕様
Specification of microcomputer.

メモリー容量	ROM	32768 bytes
	RAM	1280 bytes
命令実行速度		250 ns
プロセス		1.0 μ m CMOS
動作クロック周波数		16 MHz
電源電圧	通常モード	5 V $\pm$ 10%
	低速モード	2.7 V 以上
消費電力		135 mW (暫定仕様)
パッケージ		128 pin QFP

大容量メモリーと高速演算処理機能と豊富な周辺回路機能を備えたソフトウェアサーボマイコン M 37770 M 4 A を開発した。写真 1 にチップ写真を、表 1 に仕様を示す。

このマイコンを用いてサーボ系を構成し、外乱オブザーバをドラム・キャプスタン系に適用した結果、モータの回転変動を大幅に低減することができた。

〔参 考 文 献〕

- 1) 林ほか：“VTR ソフトウェアサーボ用 16 ビットマイクロコンピュータ”，三菱電機技報, **66**, 2, pp. 205-213 (1992)
- 2) 長沢ほか：“外乱推定による VTR キャプスタンモータのロバスト制御”，テレビ誌, **44**, 11, pp. 1618-1621 (1990)
- 3) 奥村ほか：“VTR におけるソフトウェアサーボへの外乱オブザーバの適用”，1991 年テレビ年次大, pp. 157-158 (1991)

おくむら のぶよし
奥村 信義 昭和 57 年，大阪大学大学院工学研究科電気工学専攻修士課程修了。同年，三菱電機(株)に入社。以来，VTR，カメラ一体型 VTR 等のサーボ技術開発，サーボ用 IC 開発に従事。現在，同社電子商品開発研究所に勤務。正会員。

きしだ けんじ
岸田 教敬 昭和 62 年，米子工業高等専門学校電気工学科卒業。同年，三菱電機(株)に入社。以来，カメラ一体型 VTR のサーボ技術開発，サーボ用マイコンの開発に従事。現在，同社電子商品開発研究所に勤務。

かわばた まさる
川畑 優 昭和 49 年，九州工業大学大学院工学研究科電子工学専攻修士課程修了。同年，三菱電機(株)に入社。以来，PCM 録音機，VTR 等のサーボ技術開発，デジタル変復調技術開発等に従事。現在，同社電子商品開発研究所開発第一部グループマネージャ。正会員。

はやし かずお
林 和夫 昭和 54 年，東北大学工学部電子工学科卒業。同年，三菱電機(株)に入社。以来，マイクロコンピュータの設計に従事。現在，同社北伊丹製作所に勤務。

なおえ ゆきひさ
尚永 幸久 昭和 57 年，大阪大学工学部電気工学科卒業。同年，三菱電機(株)に入社。以来，VTR における半導体応用技術開発に従事。現在，同社北伊丹製作所に勤務。