

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4448491号  
(P4448491)

(45) 発行日 平成22年4月7日(2010.4.7)

(24) 登録日 平成22年1月29日(2010.1.29)

(51) Int.Cl.	F I
<b>G 1 1 B 15/467 (2006.01)</b>	G 1 1 B 15/467 D
<b>G 1 1 B 5/584 (2006.01)</b>	G 1 1 B 5/584
<b>G 1 1 B 15/46 (2006.01)</b>	G 1 1 B 15/46 E

請求項の数 20 (全 31 頁)

(21) 出願番号	特願2005-360532 (P2005-360532)	(73) 特許権者	390009531
(22) 出願日	平成17年12月14日(2005.12.14)		インターナショナル・ビジネス・マシーンズ・コーポレーション
(65) 公開番号	特開2006-172704 (P2006-172704A)		INTERNATIONAL BUSINESS MACHINES CORPORATION
(43) 公開日	平成18年6月29日(2006.6.29)		アメリカ合衆国10504 ニューヨーク州 アーモンク ニュー オーチャードロード
審査請求日	平成20年9月24日(2008.9.24)		
(31) 優先権主張番号	11/012950	(74) 代理人	100108501
(32) 優先日	平成16年12月15日(2004.12.15)		弁理士 上野 剛史
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100112690
早期審査対象出願			弁理士 太佐 種一
		(74) 代理人	100091568
			弁理士 市位 嘉宏

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 同期サンプリング時間基準サーボシステムのための補償器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

テープヘッドに沿って磁気テープを動かすための基本テープ速度を有し、前記基本テープ速度に比例する第1サンプル周波数で前記テープヘッドから第1テープヘッド位置信号を生成するテープドライブ、を作動させる方法であって、

前記方法が、前記第1サンプル周波数に同期した前記第1テープヘッド位置信号を処理するものであって、第1クロスオーバー周波数における最大位相応答を有する補償器を含む制御システム、を用いて前記テープヘッドの位置を制御するステップと、

前記第1サンプル周波数に同期した割り込み信号を処理システムに与えるステップと、前記処理システムが前記割り込み信号を受け取るのに応答して、前記処理システムが、前記第1クロスオーバー周波数で前記最大位相応答を生成する出力値  $h(k)$  を与えるステップと含む

方法。

【請求項2】

前記処理システムが出力値  $h(k)$  を与えるステップがさらに、デジタルフィルタを用いて前記出力値  $h(k)$  を生成するステップを含み、前記出力値  $h(k)$  は次の式で与えられ、

## 【数 1】

$$h(k) = \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \quad X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$$

式中、Nはゼロより大きく、 $g(k)$ は上記の第1テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$ は $g(k)$ の一つ前の値に等しく、D1、 $A_n$ 、 $B_n$ は定数である、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 3】

N = 4である、請求項2に記載の方法。

10

## 【請求項 4】

前記処理システムが出力値 $h(k)$ を与えるステップがさらに、デジタルフィルタを用いて前記出力値 $h(k)$ を生成するステップを含み、出力値 $h(k)$ は次の式で与えられ、

## 【数 2】

$$h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$$

式中、Nはゼロより大きく、 $g(k)$ は上記の第1テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-n)$ は $g(k)$ のn個前の値に等しく、デジタルフィルタ係数 $C_n$ は定数である、請求項1に記載の方法。

20

## 【請求項 5】

前記テープヘッド位置信号は、時間基準サーボシステムを用いて生成される、請求項1に記載の方法。

## 【請求項 6】

基本テープ速度でテープヘッドに沿ってテープを動かすように構成されるテープ移送システムと、

前記テープヘッドの位置を制御するように構成される制御システムを含むシステムであり、

30

前記制御システムは、前記基本テープ速度に比例する第1サンプル周波数で前記テープヘッドから第1テープヘッド位置信号を生成し、前記第1テープヘッド位置信号と、前記第1サンプル周波数に同期した割り込み信号とを処理システムに与えるように構成されるサーボ信号プロセッサを含み、

前記処理システムは、前記割り込み信号を受け取るのに応答して、第1クロスオーバー周波数の最大位相応答を生成する出力値 $h(k)$ を与えるように構成される、システム。

## 【請求項 7】

出力値 $h(k)$ を与える前記処理システムがさらに、前記出力値 $h(k)$ を生成するように構成されるデジタルフィルタを含み、前記出力値 $h(k)$ は次の式で与えられ、

40

## 【数 3】

$$h(k) = \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \quad X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$$

Nはゼロより大きく、 $g(k)$ は上記の第1テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$ は $g(k)$ の一つ前の値に等しく、D1、 $A_n$ 、 $B_n$ は定数である、請求項6に記載のシステム。

50

## 【請求項 8】

N = 4 である、請求項 7 に記載のシステム。

## 【請求項 9】

出力値  $h(k)$  を与える前記処理システムがさらに、前記出力値  $h(k)$  を生成するように構成されたデジタルフィルタを含み、前記出力値  $h(k)$  は次の式で与えられ、

## 【数 4】

$$h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$$

10

N はゼロより大きく、 $g(k)$  は上記の第 1 テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-n)$  は  $g(k)$  の  $n$  個前の値に等しく、デジタルフィルタ係数  $C_n$  は定数である、請求項 6 に記載のシステム。

## 【請求項 10】

前記テープヘッド位置信号が、時間基準サーボシステムを用いて生成される、請求項 6 に記載のシステム。

## 【請求項 11】

前記システムがテープドライブを含み、  
前記テープに対してデータを読み取り、書き込むための読み取り / 書き込みヘッドと、  
前記読み取り / 書き込みヘッドの位置を設定するために前記読み取り / 書き込みヘッド  
に結合されたアクチュエータと、  
をさらに含む、請求項 6 に記載のシステム。

20

## 【請求項 12】

前記システムが、データ・ストレージ・メディアにアクセスするために自動化されたデータ・ストレージ・ライブラリを含み、  
前記データ・ストレージ・メディアにアクセスし、移動させるためのアクセサと、  
前記データ・ストレージ・メディアのストレージのためのストレージ・シェルフと、  
をさらに含む、請求項 6 に記載のシステム。

## 【請求項 13】

テープヘッドの位置を制御するように構成される制御システムであって、  
基本テープ速度に比例する第 1 サンプル周波数でテープヘッドから第 1 テープヘッド位置信号を生成し、前記第 1 テープヘッド位置信号と、前記第 1 サンプル周波数に同期した割り込み信号を処理システムに与えるように構成されるサーボ信号プロセッサを含み、前記処理システムは、前記処理システムが前記割り込み信号を受け取るのに応答して、前記処理システムが第 1 クロスオーバー周波数の最大位相応答を生成する出力値  $h(k)$  を与えるように構成される、制御システム。

30

## 【請求項 14】

出力値  $h(k)$  を与える前記処理システムがさらに、前記出力値  $h(k)$  を生成するように構成されたデジタルフィルタを含み、前記出力値  $h(k)$  は次の式で与えられ、

## 【数 5】

$$h(k) = \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \quad X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$$

40

N はゼロより大きく、 $g(k)$  は上記の第 1 テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$  は  $g(k)$  の一つ前の値に等しく、 $D1$ 、 $A_n$ 、 $B_n$  は定数である、請求項 13 に記載の制御システム。

## 【請求項 15】

N = 4 である、請求項 14 に記載の制御システム。

50

## 【請求項 16】

出力値  $h(k)$  を与える前記処理システムがさらに、前記出力値  $h(k)$  を生成するように構成されるデジタルフィルタを含み、前記出力値  $h(k)$  は次の式で与えられ、  
【数 6】

$$h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$$

$N$  はゼロより大きく、 $g(k)$  は上記の第 1 テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-n)$  は  $g(k)$  の  $n$  個前の値に等しく、デジタルフィルタ係数  $C_n$  は定数である、請求項 13 に記載の制御システム。

10

## 【請求項 17】

前記テープヘッド位置信号が、時間基準サーボシステムを用いて生成される、請求項 13 に記載の制御システム。

## 【請求項 18】

デジタル処理装置にテープヘッドに沿って磁気テープを動かすための基本テープ速度を有し、前記基本テープ速度に比例する第 1 サンプル周波数で前記テープヘッドから第 1 テープヘッド位置信号を生成するようになったテープドライブを作動させる方法ステップを実行させるコンピュータ・プログラムであり、  
前記方法が、

20

前記第 1 サンプル周波数に同期した前記第 1 テープヘッド位置信号を処理するための、第 1 クロスオーバー周波数における最大位相応答を有する補償器を含む制御システムを用いて前記テープヘッドの位置を制御するステップと、

前記第 1 サンプル周波数に同期した割り込み信号を処理システムに与えるステップと、  
前記処理システムが前記割り込み信号を受け取るのに応答して、前記処理システムが前記第 1 クロスオーバー周波数で前記最大位相応答を生成する出力値  $h(k)$  を与えるようにするステップと、  
を含む、コンピュータ・プログラム。

## 【請求項 19】

前記処理システムが出力値  $h(k)$  を与えるようにするステップがさらに、デジタルフィルタを用いて前記出力値  $h(k)$  を生成するステップを含み、前記出力値  $h(k)$  は次の式で与えられ、

## 【数 7】

$$h(k) = \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \quad X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$$

30

であり、 $N$  はゼロより大きく、 $g(k)$  は上記の第 1 テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$  は  $g(k)$  の一つ前の値に等しく、 $D1$ 、 $A_n$ 、 $B_n$  は定数である、請求項 18 に記載のコンピュータ・プログラム。

40

## 【請求項 20】

前記処理システムが出力値  $h(k)$  を与えるようにするステップがさらに、デジタルフィルタを用いて前記出力値  $h(k)$  を生成するステップを含み、前記出力値  $h(k)$  は次の式で与えられ、

## 【数 8】

$$h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$$

Nはゼロより大きく、g(k)は上記の第1テープヘッド位置信号に比例し、g(k-n)はg(k)のn個前の値に等しく、デジタルフィルタ係数C<sub>n</sub>は定数である、請求項18に記載のコンピュータ・プログラム。

## 【発明の詳細な説明】

10

## 【技術分野】

## 【0001】

ここでの開示は、サーボ制御システムに関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

【特許文献1】米国特許第6,587,303号

【特許文献2】米国特許第6,021,013号

【特許文献3】米国特許第6,813,112号

【特許文献4】米国特許第6,356,803号

【非特許文献1】Farah Bates著、「Modeling and simulation of a digital focusing servo control system for an optical disk tester」、1997 University of Arizona Master of Science Thesis

20

## 【発明の開示】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0003】

同期サンプリング時間基準サーボシステムのための補償器を提供することである。

## 【課題を解決するための手段】

## 【0004】

30

本発明の方法は、テープヘッドに沿って磁気テープを動かすための基本テープ速度を有し、該基本テープ速度に比例する第1サンプル周波数で該テープヘッドから第1テープヘッド位置信号を生成するようになったテープドライブを作動させる方法であって、該方法が、該第1サンプル周波数に同期した該第1テープヘッド位置信号を処理するためのものであって、第1クロスオーバー周波数における最大位相応答を有する補償器を含む制御システムを用いて該テープヘッドの位置を制御するステップと、該第1サンプル周波数に同期した割り込み信号を処理システムに与えるステップと、を含み、該処理システムが該割り込み信号を受け取るのに応答して、該処理システムが、該第1クロスオーバー周波数で該最大位相応答を生成する出力値h(k)を与えるようにすることを特徴とする。

## 【発明を実施するための最良の形態】

40

## 【0005】

以下の実施形態は、図面を参照しながら説明される。説明は、実施形態と組み合わせて進められるが、特許請求の範囲の請求項によって定められる精神及び範囲内に含まれるような変案、変更、及び均等物を含むことを意図されることが当業者には認識されるであろう。

## 【0006】

図1は、データストレージ・テープドライブにおけるサーボシステムに従うトラックのためのサーボ制御システム100の一部のブロック図である。ここで説明された実施形態と共に用いられる時間基準サーボ信号を用いるサーボシステムに従うトラックの1つの実装の説明が、引用によりここに組み入れられる米国特許第6,021,013号に開示さ

50

れている。以下の詳細な説明は、時間基準サーボシステムを有する磁気テープドライブについて進められるが、説明される実施形態は、時間基準サーボシステムを有する磁気テープドライブに限定されることを意図されるものではないことが当業者には認識されるであろう。むしろ、実施形態は、あらゆるタイプのサーボシステムを有するあらゆるテープドライブに使用可能な光学テープ又は他のテープと共に用いることができる。

【0007】

図1を参照すると、サーボセンサ及び前置増幅器171によってテープヘッド信号が感知されて、ヘッド・テープ・インターフェース172からのサーボ信号150が生成される。ヘッド・テープ・インターフェース172は、図2を参照すると良く理解することができる。図2は、例示的なテープ移送システム200のテープパスを示す図である。図2に示されたテープ移送システム200は、或る長さのテープ206が巻かれる第1テープリール204を収容しているテープ・カートリッジ202を受け入れる。テープ移送システム200は、第2テープリール208、少なくとも1つのテープヘッド210及びガイドローラ212を含む。カートリッジ202がテープ移送システム200に挿入されたときに、テープ206がローラ212の周りに自動的に通され、テープヘッド210を横切って第2テープリール208上に通される。モータ(図示せず)が、リール204及び208に作動的に結合され、テープ206を、テープに/テープから公知の形式で情報を読み取り/書き込むテープヘッド210を横切るようにテープ速度Vで引っ張る。モータはまた、早送り及び巻き戻し作動においてテープ206を1つのリールから別のリールに高速で動かす。モータは、第1テープリール204及び第2テープリール208に直接結合することができ、又はリールとモータとの間に機械的駆動システムを存在させることができる。直接結合されるのか又は機械的駆動システムを通じて結合されるのかといった結合形式が、モータとテープリールとの間の機械的関係性を決める。機械的駆動システムは、例えば、ギア、ベルト、滑車、クラッチなどとすることができる。全てのテープ作動は、テープ206がいずれかの方向に移動するようにして行われる。したがって、第1テープリール204又は第2テープリール208のいずれかは、テープ206の方向に応じて、繰り出しリール又は巻取りリールとして働くことができる。図2においては、カートリッジ202内の第1テープリール204は、テープ繰り出しリールとして働くことが示され、一方、第2テープリール208は、巻取りリールとして働くことが示される。この開示においては、「繰り出しリール」という用語は、現在のところ繰り出しリールとして作動するリールのことをいい、「巻取りリール」という用語は、現在のところ巻取りリールとして作動するリールのことをいう。さらに、「繰り出しモータ」及び「巻取りモータ」という用語は、それぞれ繰り出しリール及び巻取りリールに作動的に結合されたモータのことをいう。図2に示されたタイプのテープ移送システム200は、単に図示することを目的とするものであり、ここで説明された実施形態は、他のタイプの移送システムと共に用いてもよい。

【0008】

図1を参照すると、サーボセンサ及び前置増幅器171から導出されたサーボ信号150は、ヘッド・テープ・インターフェース172において磁気テープ(すなわちテープ206)がテープ速度Vでテープヘッド(すなわちテープヘッド210)に沿って動いた結果として生じる。サーボセンサ及び前置増幅器171からのサーボ信号150は、デジタルサンプラ173によってサンプリングされ、デジタルフィルタ174によってフィルタされて、ピーク検出器175に与えられる。サーボセンサ及び前置増幅器171からのサーボ信号150は、テープ速度と共に変化するサンプリング速度でデジタルサンプラ173によってサンプリングされる。デジタルサンプラ173によるサーボ信号150のサンプリングによって、例えば中央処理装置又はデジタルフィルタといったデジタル処理装置による処理に適したサーボ信号150のデジタル表現が生成される。デジタルフィルタ174が、デジタルサンプラ173によって生成されたサーボ信号150のデジタル表現を受け取り、フィルタリング動作を行ってサーボ信号150からの望ましくないノイズを除去し、フィルタリングされたサーボ信号を生成する。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 0 9 】

図3は、デジタルフィルタ174及び/又は補償器185(図1)に用いられる有限インパルス応答(FIR)デジタルフィルタ300の一例を示す。デジタルフィルタ300は、コード、論理、ハードウェア論理として実装することができる(例えば、集積回路チップ、プログラマブル・ゲート・アレイ(PGA)、特定用途向け集積回路(ASIC)など)。他のタイプのデジタルフィルタを用いることもできることを当業者であれば理解するであろう。FIRデジタルフィルタ300は、サンプリングバージョンのサーボ信号150を受け取る入力305と、ピーク検出器175に対するサーボ信号150のフィルタリングバージョンを生成する出力330とを有する。フィルタは、一連の時間遅延要素 $Z^{-1}$ 306と、デジタルフィルタ係数 $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ・・・ $C_N$ 及び $C_{N-1}$ を乗算するための乗算器310と、加算器320とを含む。一実施形態においては、FIRデジタルフィルタ300は、17段のデジタルフィルタを含み、結果として $N=17$ であるが、 $N$ は使用されるシステム及び望まれる性能に応じて変化することができる。各テープ速度の水平方向中心点に関して対称な各平均サーボ信号150の一部の等間隔な17のサンプルを得ることによって、デジタルフィルタ174において用いるための17のデジタルフィルタ係数 $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ ・・・ $C_{15}$ 及び $C_{16}$ が求められる。

10

## 【 0 0 1 0 】

図1を参照すると、デジタルフィルタ174は、処理要素190によって制御される。処理要素190は、中央処理装置(CPU)と、代替的デジタル処理装置と、ASICと、専用論理回路など、又はこれらの組み合わせを含むことができる。テープ速度センサ191が、テープ速度を感知し、処理要素190に与える。処理要素190は、デジタルフィルタ174にデジタルフィルタ係数を与え、テープ速度の状態に応じてデジタルフィルタ174をイネーブルにし又はディスエーブルにする。デジタルフィルタ174は、サーボ信号150のフィルタリングバージョンをピーク検出器175に与える。ピーク検出器175は、フィルタリング・サーボ信号150のピークのときの位置を判断する。時間基準変換器176は、ピーク検出器175からの出力を受信し、補償器185(図1)に入力するために信号をテープヘッド位置信号に変換する。好ましい実施形態においては、ピーク検出器175からの出力信号は、プラス方向に向かう遷移(前縁)においては高くなり、マイナス方向に向かう遷移においては低くなり、時間基準変換器176が2つの極性間を区別することを可能にする。前述のように、時間基準変換器176によってテープヘッド位置信号が生成される。時間基準変換器176の機能は、サーボ制御システムの残りの部分においてテープヘッド位置信号を利用できるようにするために必要な計算を行うことである。時間基準変換器176は、テープヘッド位置信号を導出するために、ピーク間の時間を正確に計測するための基準として水晶発振器を用いることができる。時間基準変換器176は、サーボ制御システム100の残りの部品にテープヘッド位置信号195と割り込み信号193を与える。ひとまとめに、要素171、173、174、175、176、190及び191は、ここではサーボ信号プロセッサ192と呼ばれる。サーボ信号プロセッサ192は、テープがテープ速度Vでテープヘッドに沿って移動する際にテープヘッドから得られた信号を処理することによって、テープヘッド位置信号195と割り込み信号193を生成する。システムの最適な性能のために、時間が一致し、ヘッド・テープ・インターフェース172においてテープヘッドから信号が生成された時刻から最小限の遅延を有するテープヘッド位置信号195及び割り込み信号193が与えられる。

20

30

40

## 【 0 0 1 1 】

テープヘッド位置信号195は、コンパレータ178によって基準信号177と比較されて、ライン179上で、ヘッドと、定められたサーボトラックに関連する所望の位置との間の位置誤差が判断され、それは「位置誤差信号」すなわち「PES」と呼ばれる。コンパレータ178は、処理システム(すなわち、図6の処理システム600)の使用によって補償器185(図1)において実装することができる。テープヘッド位置信号195

50

は、テープに対するテープヘッドの相対的な横方向位置を示す値を与える。位置誤差信号すなわち P E S は、テープに対するテープヘッドの所望の横方向位置とテープに対するテープヘッドの実際の横方向位置との間の差を示す値を与える。ここでの開示のために、テープに対するテープヘッドの横方向位置は、テープ移送システム 200 によるテープの移動に対して垂直な方向の、テープに対するテープヘッドの位置を意味する。

#### 【0012】

テープに対してテープヘッド(すなわちテープヘッド 210)を位置決めするために複合アクチュエータが用いられる。テープドライブにおける複合アクチュエータの使用の例は、「Servo Control of a Coarse Actuator」と題する特許文献 1 に記載されている。典型的な複合アクチュエータにおいては、微動アクチュエータ 180 は、1 つ又は複数のデータトラックの中央においてテープヘッドのデータヘッド(1 つ又は複数)を位置決めするために、P E S によって決まるトラックガード外乱に従う。特定の実施形態においては、微動アクチュエータ 180 は、幅広い帯域応答をもたらす比較的小さい質量を有し、それにより高い周波数外乱に従うことができる。特定の実施形態においては、微動アクチュエータ 180 は、高い帯域幅を与えるために非常に限られた範囲の動きを有することができる。特定の実施形態においては、粗動アクチュエータ 182 は、シーク機能に従ってトラックからトラックへと微動アクチュエータを運ぶ。微動アクチュエータサーボシステムは、典型的には、適切な安定余裕を有する最大帯域幅を可能にするように設計された位置誤差信号ループにおける補償器機能 185 (図 1) を有する。

#### 【0013】

特定の実施形態においては、補償器機能 185 (図 1) は、P E S 信号に種々のゲインを与えることによって P E S 信号を変更し、該ゲインは、入力 P E S 信号 179 の周波数に基づくか、又は別の観点からは入力 P E S 信号の変化率に基づく。特定の実施形態においては、補償器機能 185 は、所望の静的及び動的システム性能並びに全体的な安定性を達成するために、積分器及びイコライザ 187、及びリード/ラグ関数要素 186 といったその他の伝達関数要素を含む。補償器 185 の伝達関数要素のいずれか又は全ては、個別のコンポーネントを用いるアナログフィルタか、又は I I R (無限インパルス応答)又は F I R (有限インパルス応答)といったデジタルフィルタか、又はマイクロプロセッサに実装させるマイクロコードとして実装することができる。この結果、接続部 103 上で積分関数信号が得られ、P E S に適用されるようなリード/ラグゲインによってライン 110 上で信号が得られる。信号は、加算器 105 によって加算され、デジタルである場合には、デジタル・アナログ変換器 106 に供給される。次いで、電力増幅器 107 が、信号を微動アクチュエータ 180 に印加し、微動アクチュエータを作動させて、ヘッドを所定の位置誤差が減少するように移動させる。或いは、微動アクチュエータ 180 を作動させるために、デジタルドライバを用いてもよい。結果として、サーボ・コントローラは、位置誤差信号を用いて、粗動アクチュエータ 182 及び/又は微動アクチュエータ 180 を制御することによって、テープに対するテープヘッドの位置を制御する。特定の実施形態においては、サーボ制御システム 100 は、テープヘッド位置信号 195 から P E S を導出し、サーボ制御システム 100 は、P E S を用いてテープに対するテープヘッドの位置を制御する。

#### 【0014】

特定の実施形態においては、補償器 185 は、図 3 に示され上記で説明された有限インパルス応答 (F I R) デジタルフィルタ 300 によって実装することができる。デジタルフィルタ係数  $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $\dots$ 、 $C_{N-2}$  及び  $C_{N-1}$  を求めるために、完全なシステムは、トラック追従エラー、サーボ帯域幅などの仕様に向けて設計される。補償器 185 のための周波数ドメイン伝達関数  $H(s)$  は、設計要求から得られる。補償器 185 のための周波数ドメイン伝達関数は、補償器 185 のためのインパルス応答  $H(t)$  を得るために時間ドメインに変換することができる。デジタルフィルタ係数  $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $\dots$ 、 $C_{N-2}$  及び  $C_{N-1}$  は、等間隔の  $N$  のサンプル点において

10

20

30

40

50

インパルス応答  $H(z)$  をサンプリングすることによって求めることができ、 $N$  は、使用されるデジタルフィルタの次数である。出力  $h(k)$  は、入力  $g(k)$  に、遅延要素（すなわち  $z^{-1}$ ）と、デジタルフィルタ係数  $C_0, C_1, C_2, \dots, C_{N-2}$  及び  $C_{N-1}$  定数（すなわち要素  $C_0$ ）とを掛けたものの合計であり、  
【数 1 1】

$$h(k) = G1 \left[ \sum_{n=0}^N C_n g(k-n) \right]$$

10

となり、ここで  $N$  はフィルタの次数である。例えば、4次フィルタ（ $N = 4$ ）については、

【数 1 2】

$$h(k) = G1 [C_0 g(k) + C_1 g(k-1) + C_2 g(k-2) + C_3 g(k-3) + C_4 g(k-4)]$$

となる。 $G1$  は、サーボ制御システム  $100$  のゲインを調節して、適切なクロスオーバー周波数を通じて所望の帯域幅を達成するためのゲイン係数である。

20

【0015】

特定の実施形態においては、補償器  $185$  は、例えば図 4 に示される IIR デジタルフィルタ  $400$  のような無限インパルス応答 (IIR) デジタルフィルタによって実装することができる。デジタルフィルタ  $400$  は、入力  $g(k)$  を処理して出力  $h(k)$  を生成する。デジタルフィルタ  $400$  のための  $z$  ドメイン伝達関数  $T(z)$  は、部分分数展開の和として書くことができ、

【数 1 3】

$$T(z) = \frac{h(z)}{g(z)} = G1 \left[ D1 + \sum_{n=1}^N \frac{A_n}{z - B_n} \right]$$

30

となり、ここで  $N$  はフィルタの次数である。例えば、2次フィルタ（ $N = 2$ ）については、

【数 1 4】

$$T(z) = G1 \left[ D1 + \frac{A_1}{z - B_1} + \frac{A_2}{z - B_2} \right]$$

40

となる。出力  $h(k)$  は、処理要素（すなわち要素  $460$ ）の合計であり、

【数 1 5】

$$h(k) = G1 \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$

50

となり、ここで、

【数 1 6】

$$X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$$

であり、Nはフィルタの次数である。例えば、2次フィルタ (N = 2) については、

【数 1 7】

$$h(k) = G1[D1g(k) + A_1g(k-1) + A_2g(k-1)] + B_1X_1(k-1) + B_2X_2(k-1)$$

となる。特定の実施形態においては、デジタルフィルタ係数 D 1、A 1、A 2・・・A n、B 1、B 2・・・B n 及びゲイン係数 G 1 の定数は、システム仕様に従って補償器 1 8 5 を設計することによって決まる。例えば、テープに対するテープヘッドの位置を制御するための、サーボ制御システムの 3 つの異なる開ループ伝達関数のグラフ 5 0 0 が、図 5 に示されている。開ループ伝達関数 5 0 0 は、所与のアクチュエータ (すなわち粗動アクチュエータ 1 8 2 及び / 又は微動アクチュエータ 1 8 0 ) との安定性と、3 つの異なるクロスオーバー周波数における特定のサンプリングレートが達成されるように補償器を設計することによって決めることができる例である。カーブ 5 0 1、5 0 2 及び 5 0 3 は、開ループ伝達関数 5 0 0 の大きさ応答であり、クロスオーバー周波数 5 3 0 は、カーブ 5 0 1、5 0 2 及び 5 0 3 上の、0 db ラインを交差するしかるべき位置を示す。カーブ 5 1 1、5 1 2 及び 5 1 3 は、開ループ伝達関数 5 0 0 の位相応答であり、最大位相応答 5 2 0 は、カーブ 5 1 1、5 1 2 及び 5 1 3 上の、それぞれのクロスオーバー周波数付近に局所最大を呈するしかるべき位置を示す。開ループ伝達関数 5 0 0 のいずれか 1 つについてのデジタルフィルタ係数 D 1、A 1、A 2・・・A n、B 1、B 2・・・B n 及びゲイン係数 G 1 は、それぞれの開ループ伝達関数を達成するのに必要な補償器のそれぞれの周波数ドメイン伝達関数の z 平面変換の部分分数展開を得ることによって求めることができる。デジタル制御システムの補償器を設計するためのプロセスのステップごとの説明は、非特許文献 1 において得られる。

【0 0 1 6】

図 6 は、補償器 1 8 5 及びサーボ制御システム 1 0 0 の他のコンポーネントを実装するのに用いることができる処理システム 6 0 0 の一例を示す。処理システム 6 0 0 は、プロセッサ 6 1 0、RAM (ランダムアクセスメモリ) 6 2 5、不揮発性メモリ 6 3 0、デバイス特定回路 6 1 5、及び I/O インターフェース 6 2 0 を含む。或いは、RAM 6 2 5 及び / 又は不揮発性メモリ 6 3 0 は、デバイス特定回路 6 1 5 及び I/O インターフェース 6 2 0 と同様にプロセッサ 6 1 0 に収容することができる。プロセッサ 6 1 0 は、既成のマイクロプロセッサ、カスタムプロセッサ、FPGA (フィールドプログラマブルゲートアレイ)、ASIC (特定用途向け集積回路)、離散的論理などを含むことができる。RAM (ランダムアクセスメモリ) 6 2 5 は、典型的には、可変データ、スタックデータ、実行可能命令などを保持するのに用いられる。不揮発性メモリ 6 3 0 は、PROM (プログラマブル読取専用メモリ)、EEPROM (電氣的消去可能プログラマブル読取専用メモリ)、フラッシュ PROM、バッテリーバックアップ RAM、MRAM (磁気抵抗ランダムアクセスメモリ)、MEMS (マイクロエレクトロ機械システム) ベースのストレージ、ハードディスクドライブなどのあらゆるタイプの不揮発性メモリを含むことができる。不揮発性メモリ 6 3 0 は、典型的には、実行可能なファームウェア及びいずれかの不揮

10

20

30

40

50

発性データを保持するのに用いられる。I/Oインターフェース620は、プロセッサ610がコントローラの外部のデバイスと通信できるようにする通信インターフェースを含む。I/Oインターフェース620の例は、RS-232又はUSB(ユニバーサルシリアルバス)、SCSI(スモールコンピュータシステムインターフェース)、ファイバチャネルなどといったシリアルインターフェースを含むことができる。さらに、I/Oインターフェース620は、RF又は赤外線といった無線インターフェースを含むことができる。デバイス特定回路615は、コントローラ610が、リール204、208のリールモータのモータ制御といった固有の機能を実行できるようにする付加的なハードウェア、付加的なアクチュエータ、カートリッジローダ、DAC106、Amp107などを与える。デバイス特定回路615は、単なる例として、パルス幅変調(PWM)制御、アナログ・デジタル変換(ADC)、デジタル・アナログ変換(DAC)などを与える電子部品を含むことができる。さらに、デバイス特定回路615の全て又は一部は、コントローラ610の外部に存在することができる。上述の機能に加えて、プロセッサ610は、信号103及び110を含む出力値 $h(k)$ を生成する処理のために、テープヘッド位置信号195と割り込み信号193を受け取る。

#### 【0017】

1つの実施形態は、図7に示されたフローチャート700と、図1に示されたサーボ制御システム100のブロック図を参照することによって良く理解することができる。ステップ705において、システムは、例えば、図2に示されたテープ移送システム200によって、テープヘッド(すなわちテープヘッド210)に沿って第1テープ速度 $V_1$ で磁気テープ(すなわちテープ206)を動かす。第1テープ速度 $V_1$ は、テープドライブの作動における基本テープ速度であり、ここでの第1テープ速度 $V_1$ の説明に関しては、基本テープ速度は同一である。ステップ710において、サーボ信号プロセッサ192は、第1テープ速度 $V_1$ に比例する第1サンプル周波数 $f_1$ においてテープヘッドからテープヘッド位置信号を生成する。特定の実施形態においては、テープヘッド位置信号195は、テープ206上に書かれた時間基準サーボパターンを検出した結果として得られる。図8は、サーボ制御システム100の作動の間の種々のサンプル周波数及びテープ速度についての、テープヘッド位置信号195のサンプルタイミングを示す。テープが第1テープ速度 $V_1$ で移動するときには、サンプル周期 $t_1 = 1/f_1$ の第1サンプル周波数 $f_1$ においてテープヘッド位置信号195を得ることができる。ステップ715において、第1テープ速度 $V_1$ で作動するとき、システムは、第1サンプル周波数 $f_1$ と同期する第1テープヘッド位置信号を処理する制御システム(すなわち制御システム100)を用いてテープヘッドの位置を制御する。制御システムは、第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ の最大位相応答を有する補償器(すなわち補償器185)を含む。ステップ718において、補償器(すなわち補償器185)は、第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ で作動して、微動アクチュエータ180を介してテープヘッドの制御を与え、システム作動仕様を達成する。第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ は、例えば、カーブ502(図5)が0dbラインと交差する場所(すなわちクロスオーバー周波数530)とすることができる。特定の実施形態においては、補償器185は、デジタルフィルタ400の使用によるデジタルフィルタ係数 $D_1$ 、 $A_1$ 、 $A_2 \cdots A_n$ 、 $B_1$ 、 $B_2 \cdots B_n$ 及びゲイン係数 $G_1$ の使用によって、適切な周波数ドメイン補償を与える。別の実施形態においては、補償器185は、デジタルフィルタ300を使用してデジタルフィルタ係数 $C_0$ 、 $C_1$ 、 $C_2$ 、 $C_3$ 、 $\cdots C_{N-2}$ 及び $C_{N-1}$ (すなわち要素310)を用いることにより適切な周波数ドメイン補償を与える。別の実施形態においては、補償器185は、アナログフィルタの使用により適切な周波数ドメイン補償を与える。特定の実施形態においては、ゲイン係数 $G_1$ は、1に等しいものとすることができ、それにより必要とされない。特定の実施形態においては、ベース速度での作動のとき、補償器185は、第1サンプル周波数に同期した割り込み信号を処理システム(すなわち処理システム600)に与えて、補償器185のデジタルフィルタを実装するための計算を始めるサーボ信号プロセッサ192によって実装することができる。処理システムが割り込み信号を受け取るのに応答し

10

20

30

40

50

て、処理システムは、第1クロスオーバー周波数において最大位相応答を生成する出力値  $h(k)$  を与え、それによりサーボ制御システム100の安定した作動を与え、移動するテープに対するテープヘッドの横方向位置を制御する。この作動モードは、図8に示されたカーブ811を参照しながら良好に説明することができる。カーブ811は、第1テープ速度での作動のとき  $V = V_1$  であり、基本テープ速度である。実線の上向き矢印は、周期  $t_1 = 1/f_1$  における第1サンプル周波数  $f_1$  と同期するテープヘッド位置信号を表す。サンプル周波数に同期したテープヘッド位置信号及び  $\wedge$  又は割り込み信号は、例えば、テープヘッド位置信号が、割り込み信号193に対して特定の時間窓内で、及び  $\wedge$  又は、例えばサンプル周波数信号の周期的波形の特徴の特定の位相で生じる場合に、同期すると考えられる。補償器を実装するための処理システム600の同期作動は、第1サンプル周波数  $f_1$  と同期するテープヘッド位置信号を得ることができる時刻と、補償器の伝達関数を与えるのに用いられるデジタルフィルタ(すなわちデジタルフィルタ300又は400)からの実際の出力値  $h(k)$  との間に最小の位相遅延を与える。例えば、テープヘッド位置信号195及び割り込み信号193は、ヘッドテープインターフェース172におけるテープヘッドによるテープ上のサーボパターンの検出により、ほとんど瞬間的に、サーボ信号プロセッサ192によってもたらされる。割り込み信号193は、処理システム600に、計算(すなわちデジタルフィルタの実装)を行わせ、短い命令サイクル内で出力値  $h(k)$  を生成させ、結果として処理システム600は、テープヘッドによるサーボパターンの検出と同期した出力値を生成する。特定の実施形態においては、テープヘッド位置信号195と割り込み信号193は、それらの間に少しの時間遅延をもって一緒に生成され、時間遅延は、或る範囲又は「時間窓」をカバーすることができ、テープヘッド位置信号195及び割り込み信号193は、互いに事実上同時に発生すると考えることができる。

10

20

#### 【0018】

特定の実施形態においては、基本テープ速度での作動のとき、処理システムは、出力値  $h(k)$  を生成するためにデジタルフィルタ(すなわちデジタルフィルタ400)を用いることによって、第1クロスオーバー周波数における最大位相応答を生成する出力値  $h(k)$  を与え、ここで、

#### 【数18】

$$h(k) = \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right], \quad X_n(k) = A_n g(k-1) + B_n X_n(k-1)$$

30

であり、 $N$  はゼロより大きく、 $g(k)$  は上記の第2テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$  は  $g(k)$  の前の値に等しく、 $D1$ 、 $A_n$ 、 $B_n$  は定数である。開ループ応答500(図5)によって示された代表的なサンプルについては、 $N = 4$  が用いられ、補償器185の4次デジタルフィルタ(すなわちデジタルフィルタ400)の実装をもたらす。第1サンプル周波数に同期した割り込み信号193を処理システム600の処理要素610に与えることは、全てのテープヘッド位置信号と同期する割り込み信号193を送信するように選択されるサーボ信号プロセッサ192によって達成することができる。処理システム600は、例えば、テープヘッド位置信号195が、一致すると考えられる割り込み信号193に対し特定の時間窓内で発生することを要求することによって、割り込み信号と一致するテープヘッド位置信号を処理するように設計し、又はプログラムすることができる。

40

#### 【0019】

特定の実施形態においては、基本テープ速度での作動のとき、処理システムは、出力値  $h(k)$  を生成するためにデジタルフィルタ(すなわちデジタルフィルタ300)を用いることによって、第1クロスオーバー周波数における最大位相応答を生成する出力値

50

$h(k)$ を与え、ここで、

【数 19】

$$h(k) = \sum_{n=0}^N C_n g(k-n)$$

であり、 $N$ はゼロより大きく、 $g(k)$ は上記の第2テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-n)$ は $g(k)$ の $n$ 個前の値に等しく、デジタルフィルタ係数 $C_n$ は定数である。開ループ応答500(図5)によって示された代表的なサンプルについては、 $N=17$ が用いられ、補償器185のための17次デジタルフィルタ(すなわちデジタルフィルタ300)の実装をもたらす。第1サンプル周波数に同期した割り込み信号193を処理システム600の処理要素610に与えることは、全てのテープヘッド位置信号と同期する割り込み信号193を送信するように選択されるサーボ信号プロセッサ192によって達成することができる。処理システム600は、例えば、テープヘッド位置信号195が、一致すると考えられる割り込み信号193に対し特定の時間窓内で発生し、それにより処理システム600によって処理されることを要求することによって、割り込み信号と一致するテープヘッド位置信号を処理するように設計し、又はプログラムすることができる。

10

【0020】

20

ステップ720において、テープ移送システムは、磁気テープを、基本テープ速度の倍速である第2テープ速度で動かす。テープ速度は、例えば、テープ移送システム200によって第1テープ速度の $M$ 倍速である第2テープ速度に(すなわち $V_1$ から $V_2$ に、ここで $V_2 = M * V_1$ )変化させることができる。テープ速度の変化は、テープ206への異なるデータ読取/書き込み速度に適応させるために、又は他のシステム作動要求のために、テープ速度を増加させ又は減少させるようにテープ移送システム200に命令した結果としてもたらされる。この実施形態の作動は、或る値の範囲内でのテープ速度の変化について説明されるが、それぞれの周波数、速度などをより大きい値の範囲に適切にスケールリングすることによって、テープ速度のより大きい変化にも適応させることができるという利点がこの開示内容にあることが当業者には認識されるであろう。

30

【0021】

ステップ725において、サーボ信号プロセッサ192は、テープヘッドから、第1サンプル周波数 $f_1$ に倍数 $M$ を掛けたものに比例する第2サンプル周波数 $f_2$ の第2テープヘッド位置信号を生成する。例えば、 $2 * V_1$ に等しいテープ速度 $V_2$ でテープ移送システム200を作動させる必要がある。 $M=2$ のとき、テープヘッド位置信号195は、第2サンプル周波数 $f_2$ において得ることができ、ここで $f_2 = 2 * f_1$ である。

【0022】

ステップ730において、倍数 $M$ の値が、サーボ制御システム100の作動モードを決定する。1より大きい整数である倍数 $M$ に回答して、制御がステップ735に移る。ステップ735において、サーボ制御システム100は、第1サンプル周波数 $f_1$ と同期する第2テープヘッド位置信号を処理し、第1サンプル周波数 $f_1$ と同期しない第2テープヘッド位置信号を廃棄して、テープヘッド210の位置を制御することによって作動する。この作動モードは、図8に示されたカーブ821を参照しながら良好に説明することができる。カーブ821は、第2テープ速度 $V_2 = 2 * V_1$ における作動のとき、整数値2に等しい $M$ をもたらす。実線の上向き矢印は、周期 $t_1 = 1 / f_1$ における第1サンプル周波数 $f_1$ と同期する第2テープヘッド位置信号を表す。サンプル周波数に同期したテープヘッド位置信号及び/又は割り込み信号は、例えば、テープヘッド位置信号が、割り込み信号193に対し特定の時間窓内で及び/又は例えばサンプル周波数信号の周期的波形の特徴の特定の位相で発生する場合には、同期すると考えられる。この開示で用いられる同期は、図8及び図9を参照しながら最も良く理解することができ、ここで、テープヘッド

40

50

位置信号 195 の廃棄されたサンプル 820 は特定のサンプル周波数と同期せず、テープヘッド位置信号 195 のサーボサンプル（実線の上向き矢印で示され、「サーボサンプル」と付される）は特定のサンプル周波数と同期する。テープヘッド位置信号 195 の廃棄されたサンプル 820 は、破線の上向き矢印によって表され、これらのサンプルタイムにおいて得られる第 2 テープヘッド位置信号は、第 1 サンプル周波数  $f_1$  と同期しないため廃棄される。  $M = 2$  のときには、サーボ制御システム 100（図 1）による使用のためにサンプル周波数  $f_1$  のテープヘッド位置信号が残され、その他の全てのテープヘッド位置信号が廃棄される。作動時に、テープヘッド位置信号 195 のサンプルは、例えば、命令、ソフトウェア、ハードワイヤコーディング、論理構成を有するプロセッサ 610（例えば図 6）、又は割り込み信号（例えば、サーボ信号プロセッサ 192 からの割り込み信号 193）を受信したときに、割り込み信号 193 とテープヘッド位置信号 195 との間のタイミング関係、テープ速度及びテープヘッド位置信号 195 のサンプルの周波数に基づいてテープヘッド位置信号を廃棄する他の手段によって廃棄することができる。例えば、プロセッサ 610 は、受信した割り込み信号 193 の周波数に依存する命令を実行することができる。割り込み信号 193 の所与の周波数範囲においては、選択された数のテープヘッド位置信号 195 を廃棄する分岐命令を実行することができる。割り込み信号 193 の所与の周波数範囲が変化するのに伴って、選択された数のテープヘッド位置信号 195 を廃棄する分岐命令は、幅広い範囲をカバーするように変化する。  $M = 2$  のとき、第 2 サンプル周波数  $f_2 = 2 * f_1$  においてテープヘッド位置信号 195 が発生する。テープヘッド位置信号 195 の全ての他のサンプルを廃棄することによって、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$ （すなわちカーブ 502 及びカーブ 512、図 5）において補償器を作動させることができる。倍数  $M$  のあらゆる整数値によって、ステップ 730 からステップ 735 への分岐による同様の作動がもたらされる。例えば、カーブ 826（図 8）は、第 2 テープ速度における作動のとき、  $V_2 = 3 * V_1$  であり、整数値 3 に等しい倍数  $M$  をもたらず。実線の上向き矢印は、周期  $t_1 = 1 / f_1$  において第 1 サンプル周波数  $f_1$  と同期する第 2 テープヘッド位置信号を表す。テープヘッド位置信号 195 の廃棄されたサンプル 825 は、破線の上向き矢印によって表され、これらのサンプルタイムにおいて得られる第 2 テープヘッド位置信号が第 1 サンプル周波数  $f_1$  と同期しないので廃棄される。  $M = 3$  のときには、3 つのうち 2 つのテープヘッド位置信号が廃棄され、サーボ制御システム 100 による使用のためにサンプル周波数  $f_1$  のテープヘッド位置信号が残される。作動時に、テープヘッド位置信号 195 のサンプルは、例えば、  $M = 2$  のときの前述のプロセッサ 610（図 6）によって廃棄することができる。  $M = 3$  のとき、テープヘッド位置信号 195 は、第 2 サンプル周波数  $f_2 = 3 * f_1$  において発生する。テープヘッド位置信号 195 の全ての他のサンプルを廃棄することによって、補償器は、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$ （すなわちカーブ 502 及びカーブ 512、図 5）において作動することができる。整数値  $M$  についての別の作動例は、整数値 4 に等しい  $M$  をもたらず第 2 テープ速度  $V_2 = 4 * V_1$  における作動のとき、カーブ 831（図 8）によって示される。実線の上向き矢印は、周期  $t_1 = 1 / f_1$  において第 1 サンプル周波数  $f_1$  と同期する第 2 テープヘッド位置信号を表す。テープヘッド位置信号 195 の廃棄されたサンプル 830 は、破線の上向き矢印によって表され、第 1 サンプル周波数  $f_1$  と同期しないこれらのサンプルタイムにおいて得られる第 2 テープヘッド位置信号のために廃棄される。  $M = 4$  のとき、4 つのうち 3 つのテープヘッド位置信号が廃棄され、サーボ制御システム 100 による使用のために、サンプル周波数  $f_1$  におけるテープヘッド位置信号が残される。作動時に、テープヘッド位置信号 195 のサンプルは、例えば、  $M = 2$  のときの前述のプロセッサ 610（図 6）によって廃棄することができる。  $M = 4$  のとき、テープヘッド位置信号 195 は、第 2 サンプル周波数  $f_2 = 4 * f_1$  において発生する。テープヘッド位置信号 195 の 4 つのサンプルのうち 3 つを廃棄することによって、補償器は、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$ （すなわちカーブ 502 及びカーブ 512、図 5）において作動することができる。

【 0 0 2 3 】

10

20

30

40

50

特定の実施形態においては、サーボ制御システム100は、第1サンプル周波数に同期した割り込み信号193を処理システム600に与えることによって、第1サンプル周波数f1と同期する第2テープヘッド位置信号を処理し、第1サンプル周波数f1と同期しない第2テープヘッド位置信号を廃棄する。処理システム600が割り込み信号193を受け取るのに応答して、処理システム600は、  
【数20】

$$h(k) = G1 \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$

10

からなる出力値h(k)を与え、ここで、  
【数21】

$$X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G1} X_n(k-1)$$

20

であり、Nはフィルタの次数で、N>1であり、g(k)は第2テープヘッド位置信号に比例し、g(k-1)はg(k)の前の値に等しく、D1、An、Bnは、デジタルフィルタ係数の定数であり、G1はゲイン係数である。開ループ応答500(図5)によって示されたそれぞれのサンプルにおいては、N=4が用いられ、補償器185のための4次デジタルフィルタ(すなわちデジタルフィルタ400)の実装がもたらされる。第1サンプル周波数に同期した割り込み信号193を処理システム600の処理要素610に与えることは、他の全てのテープヘッド位置信号(すなわちM=2のとき)と同期する割り込み信号193を送信することを選択するサーボ信号プロセッサ192によって達成することができ、それにより、サーボ制御システム100による使用のためにサンプル周波数f1のテープヘッド位置信号が残され、他の全てのテープヘッド位置信号が廃棄される(図8のカーブ821)。処理システム600は、例えば、テープヘッド位置信号195が、一致すると考えられる割り込み信号193に対する特定の時間窓内で発生し、それにより処理システム600によって処理されることを要求することによって、割り込み信号と一致するテープヘッド位置信号を処理するように設計し、又はプログラムすることができる。或いは、テープヘッド位置信号195のサンプルは、命令、ソフトウェア、ハードワイヤコーディング、論理構成、又はサーボ信号プロセッサ192における他の手段を有することによって、それらがプロセッサ610(図6)に送信される前に廃棄することができる。これは、限定する意味ではなくMの他の値のために用いることができる。kの各値は、処理システム600のために入力g(k)から出力h(k)が生成されるときの間隔を表す。例えば、第1出力h(1)、(すなわちk=1)は、第1割り込み信号193及びテープヘッド位置信号195を受け取ったときに処理システム600によって生成される。次の出力値h(2)、(すなわちk=2)は、次の割り込み信号193及び次のテープヘッド位置信号195を受け取ったときに処理システム600によって生成され、以下同様である。全ての出力h(k)は、テープヘッドの位置を制御するための連続信号(ことによるとD/A変換器及びローパスフィルタを用いる後処理を有する)とともに生成する。

30

40

【0024】

ステップ730において、倍数Mの値が整数でない場合には、ステップ740が実行される。倍数Mが整数ではなく、2より小さい場合には、ステップ745が実行される。ステップ745において、第2サンプル周波数f2、f2 = M \* f1と同期する第2テープ

50

ヘッド位置信号を処理することによって、サーボ制御システム 100 がテープヘッドの位置を制御する。この作動モードは、図 9 に示されたカーブ 911 を参照することによって理解することができる。カーブ 911 は、第 2 テープ速度における作動のとき、 $V_2 = M \cdot V_1$ 、 $M < 2$  であり、整数ではない。1 より小さい倍数  $M$  の値においては、カーブ 911 は、 $t_2 = 1 / f_2 > 1 / f_1$  と共に用いることができる。実線の上向き矢印は、 $t_2 = 1 / f_2$  の周期、 $0 < f_2 < 2 \cdot f_1$  である第 2 サンプル周波数  $f_2$  と同期する第 2 のテープヘッド位置信号を表す。カーブ 911 においては、テープヘッド位置信号 195 のサンプルは廃棄されないので、サンプル周波数  $f_2$  におけるテープヘッド位置信号は、サーボ制御システム 100 によって用いられる。作動時に、テープヘッド位置信号 195 のサンプルは、例えば、命令、ソフトウェア、ハードワイヤコーディング、論理構成を有するプロセッサ 610 (図 6)、又は、割り込み信号 193、テープヘッド位置信号 195、テープ速度及びテープヘッド位置信号 195 のサンプルの周波数の間のタイミング関係に基づいてテープヘッド位置信号を受け取る割り込み信号 (例えば、サーボ信号プロセッサ 192 からの割り込み信号 193) を受信するときの他の手段によって選択される。ステップ 745 を実行した後にステップ 748 が実行される。ステップ 748 において、補償器 185 は、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  に倍数  $M$  がかけられたものにほぼ等しい周波数  $f_p$  の最大位相応答を有し、かつ第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にほぼ等しい第 2 クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  を有するように変更される。作動時には、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  に等しい第 2 クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  を有し、結果としてサーボシステムの帯域幅に変化はないことが望ましいが、実際には、コンポーネント応答 (すなわち、アクチュエータがテープヘッド 210 の位置を制御すること) における小さい変動が、結局  $f_{c2}$  を  $f_{c1}$  にほぼ等しいものにする。  $M$  の増加に伴って、 $f_p$  が比例的に増加し、サーボ制御システム 100 の作動の潜在的に大きい帯域幅がもたらされる。

【数 2 2】

$$f_{c2} \approx f_{c1}$$

を維持するために、ゲイン係数  $G_1$  を変化させる必要がある。例えば、倍数  $M = 1$  のとき (基本テープ速度のとき)、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  における作動は、図 5 に示された開ループ大きさ応答カーブ 501 及び位相応答カーブ 511 によって表すことができる。  $M$  を 1 より大きく増加させることにより、最大位相応答周波数  $f_p$  における対応する増加を伴う大きさ応答カーブ 503 及び位相応答カーブ 513 がもたらされ、クロスオーバー周波数における変化はほとんどない

【数 2 3】

$$(すなわち f_{c2} \approx f_{c1})$$

<IMG SRC="150502276875\_22.gif" WIDTH="163" HEIGHT="60">

。  $M$  を 1 より小さく減少させることにより、最大位相応答周波数  $f_p$  における対応する減少を伴う大きさ応答カーブ 502 及び位相応答カーブ 512 がもたらされ、クロスオーバー周波数における変化はほとんどない

【数 2 4】

$$(すなわち f_{c2} \approx f_{c1})$$

【 0 0 2 5 】

ステップ 748 において、補償器 185 は、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  に倍数  $M$

がかけられたものにほぼ等しい周波数の最大位相応答を有し、かつ第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にほぼ等しい第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  を有するように補償器 185 を変更することによって第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  において作動する。これは、第2サンプル周波数  $f_2$  と同期する割り込み信号を処理システム 600 に与えるサーボ信号プロセッサ 192 によって達成することができる。処理システム 600 が割り込み信号 193 を受け取るのに応答して、処理システム 600 は、  
【数 25】

$$h(k) = G2 \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$

10

からなる出力値  $h(k)$  を与え、ここで、  
【数 26】

$$X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G2} X_n(k-1)$$

であり、 $N$  はフィルタの次数で、 $N > 1$  であり、 $g(k)$  は第2テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$  は  $g(k)$  の前の値に等しく、 $D1$ 、 $A_n$ 、 $B_n$  は、デジタルフィルタ係数の定数であり、 $G2$  はゲイン係数であり、 $G2$  はゼロより大きく、倍数  $2 * M^2$  よりほぼ小さい (すなわち  $0 < G2 < 2 * M^2 * G1$ )。 20

【0026】

ここで説明されるサーボ制御システム 100 においては、第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  における補償器 185 の作動は迅速かつ効果的に達成される。第2サンプル周波数  $f_2$  と同期する割り込み信号 193 を処理システム 600 に与え、このとき第1サンプル周波数  $f_1$  に対する第2サンプル周波数  $f_2$  のスケールリングが、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  に倍数  $M$  をかけたものにほぼ等しい最大位相応答の周波数のスケールリングに要求されるのと同じスケールリング (すなわち倍数  $M$ ) であることにより、デジタルフィルタ係数  $D1$ 、 $A_n$  及び  $B_n$  が定数であるとき、極及びゼロ、並びに結果として得られるデジタルフィルタ 400 の位相応答がサンプル周波数に対応するので、結果としてデジタルフィルタ係数  $D1$ 、 $A_n$  及び  $B_n$  に対する変化はない。ゲイン係数  $G2$  は、サーボ制御システム 100 が異なるサンプリング周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  など動作する際に変化を要求する唯一の定数である。処理システム 600 によって実行される計算に関して変化される必要がある定数は1つのみであるので、システムの複雑さの減少と共に、メモリ要求が減少され、ソフトウェアが減少され、異なるテープ速度における作動の間の遷移時間が減少される。ゲイン係数  $G2$  は、 $M$  と正確なシステム設計に依存する。例えば、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  のとき  $G1 = 1$  であり、第2クロスオーバー周波数のとき  $G2$  である場合には、 30

【数 27】

$$f_{c2} \approx f_{c1}$$

は、ほぼ  $0 < G1 < 2 * M^2$  の範囲となる。

【0027】

特定の実施形態においては、倍数  $M$  が1より小さい場合には、ゲイン係数  $G2$  は、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  (すなわち  $M = 1$  のとき) のために用いられるゲイン係数  $G1$  に倍数  $M$  の2乗をかけたものの値にほぼ等しい

40

【数 2 8】

$$(すなわち G2(fc2) \approx M^2 * G1(fc1))$$

。開ループ応答 5 0 0 ( 図 5 ) においては、 $N = 4$  であり、二次周波数ドメインアクチュエータ伝達関数  $A c t ( s )$  ( すなわち、 $A c t ( s ) = 1 / s^2$  であり、ここで  $s = + j$  ) が想定されるとき、 $G 2$  は、クロスオーバー周波数及びサーボ制御システム 1 0 0 の作動の対応する帯域幅における変化のない状態を維持するために、 $M$  が 1 より下に減少する際に

【数 2 9】

$$\approx M^2$$

によってスケールされるべきである。特定の実施形態においては、アクチュエータ伝達関数  $A c t ( s )$  とアクチュエータ ( すなわちアクチュエータ 1 8 0 ) の伝達関数との間の相互作用は、 $M$  が 1 より下に減少する際に、 $G 1$  が  $M$  によって直線的にスケールされることを要求する。特定の実施形態においては、補償器 1 8 5 の伝達関数は、一次、三次などとすることができ、それにより  $M$  が減少するのに伴って  $G 1$  がそれぞれ  $M$ 、 $M 3$  などによって直線的にスケールされることを要求する。

【0 0 2 8】

特定の実施形態においては、倍数  $M$  が 1 より大きい場合には、ゲイン係数  $G 2$  は、第 1 クロスオーバー周波数  $f c 1$  ( すなわち  $M = 1$  のとき ) のために用いられるゲイン係数  $G 1$  に倍数  $M$  をかけたものの値にほぼ等しい。

【数 3 0】

$$(すなわち G2(fc2) \approx M * G1(fc1))$$

開ループ応答 5 0 0 ( 図 5 ) においては、 $N = 4$  であり、二次周波数ドメインアクチュエータ伝達関数  $A c t ( s )$  ( すなわち、 $A c t ( s ) = 1 / s^2$  であり、ここで  $s = + j$  ) が想定されるとき、 $G 2$  は、クロスオーバー周波数及びサーボ制御システム 1 0 0 の作動の対応する帯域幅における変化のない状態を維持するために、 $M$  が 1 より大きい値に増加する際に

【数 3 1】

$$\approx M$$

によってスケールされるべきである。特定の実施形態においては、アクチュエータ伝達関数  $A c t ( s )$  と補償器 1 8 5 の伝達関数との間の相互作用は、 $M$  が 1 より上に増加する際に、 $G 2$  が  $M$  によってサブ直線的にスケールされることを要求する。特定の実施形態においては、アクチュエータ ( すなわちアクチュエータ 1 8 0 ) の伝達関数は、一次、三次などとすることができ、それにより  $M$  が増加するのに伴って  $G 2$  がそれぞれ  $M$ 、 $M 3$  などによって直線的にスケールされることを要求する。ステップ 7 4 8 の実行の後に、制御がステップ 7 9 5 から終了に流れる。

【0 0 2 9】

ステップ 7 4 0 において、倍数  $M$  の値が整数ではなく、2 より大きい場合には、ステッ

プ760が実行される。ステップ760において、サーボ制御システム100は、第3サンプル周波数 $f_3$ （ここで $f_3 = K * f_1$ であり、スケーリング・ナンバー $K = M / (M$ の整数値)である)と同期する第2テープヘッド位置信号を処理し、第3サンプル周波数 $f_3$ と同期しない第2テープヘッド位置信号を廃棄することによって、テープヘッドの位置を制御する。この作動モードは、図9に示されたカーブ921及び931を参照することによって理解することができる。カーブ921は、第2テープ速度での作動のとき、 $V_2 = M * V_1$ であり、ここで $2 < M < 3$ である。この実線の上向き矢印は、周期 $t_3 = 1 / f_3$ 、

【数32】

$$t_3 > \frac{2}{3f_1}$$

10

において第3サンプル周波数 $f_3$ と同期する第2テープヘッド位置信号を表す。カーブ921については、テープヘッド位置信号195の廃棄されたサンプル920は、破線の上向き矢印によって表され、これらのサンプルタイムにおいて得られる第2テープヘッド位置信号が第3サンプル周波数 $f_3$ と同期しないので廃棄される。 $2 < M < 3$ のとき、サーボ制御システム100による使用のために第3サンプル周波数 $f_3$ のテープヘッド位置信号が残され、その他の全てのテープヘッド位置信号が廃棄される。作動時に、テープヘッド位置信号195のサンプルは、図8のカーブ821、826及び831を参照しながら上記で説明されたように廃棄することができる。ステップ760を実行した後に、ステップ770が実行される。ステップ770において、補償器185は、第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ にスケーリング・ナンバー $K$ がかけられたものにほぼ等しい周波数の最大位相応答を有し、かつ第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ にほぼ等しい第2クロスオーバー周波数 $f_{c2}$ を有するように変更される。作動時には、第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ に等しい第2クロスオーバー周波数 $f_{c2}$ を有し、結果としてサーボシステムの帯域幅に変化はないことが望ましいが、実際には、コンポーネント応答(すなわち、アクチュエータがテープヘッド210の位置を制御すること)における小さい変動が、結局 $f_{c2}$ を $f_{c1}$ にほぼ等しいものにする。 $K$ の増加に伴って、 $f_p$ が比例的に増加し、サーボ制御システム100の作動の潜在的に大きい帯域幅がもたらされる。

20

30

【数33】

$$f_{c2} \approx f_{c1}$$

を維持するために、ゲイン係数 $G_1$ を変化させる必要がある。例えば、倍数 $M = 1$ のとき、第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ における作動は、図5に示された開ループ大きさ応答カーブ501及び位相応答カーブ511によって表すことができる。 $M$ 、それにより $K$ を増加させることにより、最大位相応答周波数 $f_p$ における対応する増加を伴う大きさ応答カーブ503及び位相応答カーブ513がもたらされ、クロスオーバー周波数における変化はほとんどない

40

【数34】

$$(すなわちf_{c2} \approx f_{c1})$$

。

【0030】

ステップ770において、補償器185は、第1クロスオーバー周波数 $f_{c1}$ にスケーリング・ナンバー $K$ がかけられたものにほぼ等しい周波数の最大位相応答を有し、かつ第

50

1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にほぼ等しい第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  を有するよう補償器 185 を変更することによって第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  において作動する。これは、第3サンプル周波数  $f_3$  と同期する割り込み信号を処理システム 600 に与えるサーボ信号プロセッサ 192 によって達成することができる。処理システム 600 が割り込み信号 193 を受け取るのに応答して、処理システム 600 は、  
【数 3 5】

$$h(k) = G3 \left[ D1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$

10

からなる出力値  $h(k)$  を与え、ここで、  
【数 3 6】

$$X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G3} X_n(k-1)$$

であり、 $N$  はフィルタの次数で、 $N > 1$  であり、 $g(k)$  は第2テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$  は  $g(k)$  の前の値に等しく、 $D1$ 、 $A_n$ 、 $B_n$  は、デジタルフィルタ係数であり、 $G3$  はゲイン係数であり、 $G3$  はゼロから  $2 * K^2$  までの適切な範囲（すなわち  $0 < G3 < 2 * K^2 * G1$ ）を有する。

20

【0031】

ここで説明されるサーボ制御システム 100 においては、第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  における補償器 185 の作動は迅速かつ効果的に達成される。第3サンプル周波数  $f_2$  と同期する割り込み信号 193 を処理システム 600 に与え、このとき第1サンプル周波数  $f_1$  に対する第3サンプル周波数  $f_3$  のスケーリングが、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にスケーリング・ナンバー  $K$  をかけたものにほぼ等しい最大位相応答の周波数のスケーリングに要求されるのと同じスケーリング（すなわちスケーリング・ナンバー  $K$ ）であることにより、デジタルフィルタ係数  $D1$ 、 $A_n$  及び  $B_n$  が定数であるとき、極及びゼロ、並びに結果として得られるデジタルフィルタ 400 の位相応答がサンプル周波数に対応するので、結果としてデジタルフィルタ係数  $D1$ 、 $A_n$  及び  $B_n$  に対する変化はない。ゲイン係数  $G3$  は、サーボ制御システム 100 が異なるサンプリング周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  などで動作する際に変化を要求する唯一の定数である。処理システム 600 によって実行される計算に関して変化される必要がある定数は1つのみであるので、システムの複雑さの減少と共に、メモリ要求が減少され、ソフトウェアが減少され、異なるテープ速度における作動の間の遷移時間が減少される。ゲイン係数  $G3$  は、 $M$  と正確なシステム設計に依存する。例えば、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  のとき  $G1 = 1$  であり、第2クロスオーバー周波数のとき  $G3$  である場合には、

30

40

【数 3 7】

$$f_{c2} \approx f_{c1}$$

は、ほぼ  $0 < G3 < 2 * M^2$  の範囲となる。

【0032】

特定の実施形態においては、第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  における作動のとき（10）、ゲイン係数  $G3$  は、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にスケーリング・ナンバー  $K$

50

をかけたもののために用いられるゲイン係数  $G_1$  の値にほぼ等しい  
【数 3 8】

$$(すなわち G_3(f_2) \approx K * G_1(f_1))$$

。例えば、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  のとき  $G_1 = 1$  (すなわち  $M = 1$ ) である場合には、第 2 クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  のとき  $G_3$  であり、 $f_{c2}$  は  $0 < G_3 < 2 * K^2$  の範囲となる。開ループ応答 500 (図 5) においては、 $N = 4$  であり、二次周波数ドメインアクチュエータ伝達関数  $A_{ct}(s)$  (すなわち、 $A_{ct}(s) = 1 / s^2$  であり、ここで  $s = \sigma + j\omega$ ) が想定されるとき、 $G_3$  は、クロスオーバー周波数及びサーボ制御システム 100 の作動の対応する帯域幅における変化のない状態を維持するために、 $K$  が 1 より上に増加する際に、

【数 3 9】

$$\approx K$$

によってスケールリングされるべきである。特定の実施形態においては、アクチュエータ伝達関数  $A_{ct}(s)$  と補償器 185 の伝達関数との間の相互作用は、 $K$  が 1 より上に増加する際に、 $G_1$  が  $K$  によってサブ直線的にスケールリングされることを要求する。特定の実施形態においては、アクチュエータ (すなわち微動アクチュエータ 180) の伝達関数は、一次、三次などとしてすることができ、それにより  $K$  が増加するのに伴って  $G_1$  がそれぞれ  $K$ 、 $K^3$  などによって直線的にスケールリングされることを要求する。

【0033】

倍数  $M$  が整数ではなく、3 より大きい場合には、作動は、 $M > 2$  のときの上述の作動と同じである。ここで説明された実施形態の作動をさらに説明するために、別の例がここで提示される。この例においては、サーボ制御システム 100 は、第 3 サンプル周波数  $f_3$  (ここで  $f_3 = K * f_1$  であり、スケールリング・ナンバー  $K = M / (M \text{ の整数値})$  である) と同期する第 2 テープヘッド位置信号を処理し、第 3 サンプル周波数  $f_3$  と同期しない第 2 テープヘッド位置信号を廃棄することによって、テープヘッドの位置を制御する。この作動モードは、図 9 に示されたカーブ 931 を参照することによって理解することができる。カーブ 931 は、第 2 テープ速度での作動のとき、 $V_2 = M * V_1$  であり、ここで  $3 < M < 4$  である。この実線の上向き矢印は、周期  $t_3 = 1 / f_3$ 、

【数 40】

$$t_3 > \frac{1}{4f_1}$$

において第 2 サンプル周波数  $f_3$  と同期する第 2 テープヘッド位置信号を表す。カーブ 931 については、テープヘッド位置信号 195 の廃棄されたサンプル 930 は、破線の上向き矢印によって表され、これらのサンプルタイムにおいて得られる第 2 テープヘッド位置信号は第 3 サンプル周波数  $f_3$  と同期しないので廃棄される。 $3 < M < 4$  のとき、サーボ制御システム 100 による使用のために第 3 サンプル周波数  $f_3$  のテープヘッド位置信号が残され、3 つのテープヘッド位置信号のうち 2 つが廃棄される。作動時に、テープヘッド位置信号 195 のサンプルは、図 8 のカーブ 821、826 及び 831 を参照しながら上記で説明されたように廃棄することができる。補償器 185 は、第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にスケールリング・ナンバー  $K$  がかけられたものにほぼ等しい周波数の最大位相応答を有し、かつ第 1 クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にほぼ等しい第 2 クロスオーバー周

10

20

30

40

50

波数  $f_c 2$  を有するように変更される。作動時には、第 1 クロスオーバー周波数  $f_c 1$  に等しい第 2 クロスオーバー周波数  $f_c 2$  を有し、結果としてサーボシステムの帯域幅に変化はないことが望ましいが、実際には、コンポーネント応答（すなわち、アクチュエータがテープヘッド 2 1 0 の位置を制御すること）における小さい変化が、結局  $f_c 2$  を  $f_c 1$  にほぼ等しいものにする。K の増加に伴って、 $f_p$  が比例的に増加し、サーボ制御システム 1 0 0 の作動の潜在的に大きい帯域幅がもたらされる。

【数 4 1】

$$f_c 2 \approx f_c 1$$

10

を維持するために、ゲイン係数  $G_1$  を変化させる必要がある。例えば、倍数  $M = 1$  のとき、第 1 クロスオーバー周波数  $f_c 1$  における作動は、図 5 に示された開ループ大きさ応答カーブ 5 0 1 及び位相応答カーブ 5 1 2 によって表すことができる。M、それにより K を増加させることにより、最大位相応答周波数  $f_p$  における対応する増加を伴う大きさ応答カーブ 5 0 3 及び位相応答カーブ 5 1 3 がもたらされ、クロスオーバー周波数における変化はほとんどない

【数 4 2】

$$(すなわち  $f_c 2 \approx f_c 1$ )$$

20

。【0 0 3 4】

補償器 1 8 5 は、第 1 クロスオーバー周波数  $f_c 1$  にスケーリング・ナンバー K がかけられたものにほぼ等しい周波数の最大位相応答を有し、かつ第 1 クロスオーバー周波数  $f_c 1$  にほぼ等しい第 2 クロスオーバー周波数  $f_c 2$  を有するように補償器 1 8 5 を変更することによって第 2 クロスオーバー周波数  $f_c 2$  において作動する。これは、第 3 サンプル周波数  $f_3$  と同期する割り込み信号を処理システム 6 0 0 に与えるサーボ信号プロセッサ 1 9 2 によって達成することができる。処理システム 6 0 0 が割り込み信号 1 9 3 を受け取るのに応答して、処理システム 6 0 0 は、

【数 4 3】

$$h(k) = G_3 \left[ D_1(g(k)) + \sum_{n=1}^N X_n(k) \right]$$

からなる出力値  $h(k)$  を与え、ここで、

【数 4 4】

$$X_n(k) = A_n g(k-1) + \frac{B_n}{G_3} X_n(k-1)$$

40

であり、N はフィルタの次数で、 $N > 1$  であり、 $g(k)$  は第 2 テープヘッド位置信号に比例し、 $g(k-1)$  は  $g(k)$  の前の値に等しく、 $D_1$ 、 $A_n$ 、 $B_n$  は、デジタルフィルタ係数であり、 $G_3$  はゲイン係数であり、 $G_3$  はゼロから  $2 * K^2$  までの適切な範囲（すなわち  $0 < G_3 < 2 * K^2 * G_1$ ）を有する。

【0 0 3 5】

50

ここで説明されるサーボ制御システム100においては、第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  における補償器185の作動は迅速かつ効果的に達成される。第3サンプル周波数  $f_3$  と同期する割り込み信号193を処理システム600に与え、このとき第1サンプル周波数  $f_1$  に対する第3サンプル周波数  $f_3$  のスケーリングが、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にスケーリング・ナンバー  $K$  をかけたものにほぼ等しい最大位相応答の周波数のスケーリングに要求されるのと同じスケーリング(すなわちスケーリング・ナンバー  $K$ )であることにより、一定のデジタルフィルタ係数  $D_1$ 、 $A_n$  及び  $B_n$  が定数であるとき、極及びゼロ、並びに結果として得られるデジタルフィルタ400の位相応答がサンプル周波数に対応するので、結果としてデジタルフィルタ係数  $D_1$ 、 $A_n$  及び  $B_n$  に対する変化はない。ゲイン係数  $G_3$  は、サーボ制御システム100が異なるサンプリング周波数  $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$  などで動作する際に変化を要求する唯一の定数である。処理システム600によって実行される計算に関して変化される必要がある定数は1つのみであるので、システムの複雑さの減少と共に、メモリ要求が減少され、ソフトウェアが減少され、異なるテーブル速度における作動の間の遷移時間が減少される。ゲイン係数  $G_3$  は、 $M$  と正確なシステム設計に依存する。例えば、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  のとき  $G_1 = 1$  であり、第2クロスオーバー周波数のとき  $G_3$  である場合には、  
【数45】

$$f_{c2} \approx f_{c1}$$

は、ほぼ  $0 < G_3 < 2 * M^2$  の範囲となる。

【0036】

特定の実施形態においては、第2クロスオーバー周波数、 $f_{c2}$  における作動のとき、ゲイン係数  $G_3$  は、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  にスケーリング・ナンバー  $K$  をかけたもののために用いられるゲイン係数  $G_1$  の値にほぼ等しい  
【数46】

$$(すなわち G_3(f_{c2}) \approx K * G_1(f_{c1}))$$

。例えば、第1クロスオーバー周波数  $f_{c1}$  のとき  $G_1 = 1$  である場合には、第2クロスオーバー周波数  $f_{c2}$  のとき  $G_3$  であり、 $f_{c2}$  は  $0 < G_3 < 2 * K^2$  の範囲となる。開ループ応答500(図5)においては、 $N = 4$  であり、二次周波数ドメインアクチュエータ伝達関数  $A_{ct}(s)$  (すなわち、 $A_{ct}(s) = 1 / s^2$  であり、ここで  $s = \sigma + j\omega$ ) が想定されるとき、 $G_3$  は、クロスオーバー周波数及びサーボ制御システム100の作動の対応する帯域幅における変化のない状態を維持するために、 $K$  が1より上に増加する際に、  
【数47】

$$\approx K$$

によってスケーリングされるべきである。特定の実施形態においては、アクチュエータ伝達関数  $A_{ct}(s)$  と補償器185の伝達関数との間の相互作用は、 $K$  が1より上に増加する際に、 $G_1$  が  $K$  によってサブ直線的にスケーリングされることを要求する。特定の実施形態においては、アクチュエータ(すなわち微動アクチュエータ180)の伝達関数は、一次、三次などとすることができ、それにより  $K$  が増加するのに伴って  $G_1$  がそれぞれ  $K$ 、 $K^3$  などによって直線的にスケーリングされることを要求する。

【0037】

上記で説明された実施形態の動作は、図10を参照すると良く理解することができ、異なるテープ速度のときのサンプル周波数1010及びサンプル周期1020の正規化された値1000がグラフ形式で示されている。カーブ1010は、正規化されたサンプル周波数であり、カーブ1020は、正規化されたサンプル周期である。正規化されたテープ速度1のとき、正規化されたサンプル周波数1010及び正規化されたサンプル周期1020は、各々1に等しい。Mが整数でない値であり、 $1 < M < 2$ であるとき、正規化されたテープ速度Vは、 $1 < V < 2$ の範囲を有し、正規化されたサンプル周波数 $1010f$ は、 $1 < f < 2$ の範囲を有し、正規化されたサンプル周期 $t = 1/f$ である。Mが整数値であり、 $M = 1, 2, 3, \dots$ であるとき、正規化されたテープ速度Vも整数であり、 $V = 1, 2, 3, \dots$ と共に変化する。正規化されたテープ速度Vの各整数値において、正規化されたサンプル周波数 $1010f$ は値1を有し、正規化されたテープ速度Vの各整数値において、カーブ821、826及び831(図8)を参照しながら上記で説明されたようにテープヘッド位置信号が廃棄されるので、正規化されたサンプル周期 $t = 1/f$ も1に等しい。また、正規化されたクロスオーバー周波数 $f_c$ は、正規化されたテープ速度Vの各整数値について値1を有する。

10

#### 【0038】

正規化されたサンプル周波数1010が、正規化されたテープ速度 $V = 1$ における正規化されたサンプル周波数1010にスケール・ナンバー $K (K = M / (INT(M)))$ であり、「INT」は、Mの端数を切り捨てて最も近い整数値にすることによってMの整数値をとる)をかけることによって決まるので、正規化されたサンプル周波数1010及び正規化されたサンプル周期1020は、Mが2を上回る非整数値まで増加するのに伴って、それぞれ図10に示されるように減少される。Mが1より低い非整数値まで減少するのに伴って、正規化されたサンプル周波数1010は、Mと共に直線的に減少し、正規化されたサンプル周期1020は、図10に示されるように増加する。図示する目的のために、図10は、正規化されたテープ速度Vを示し、ここで

20

#### 【数48】

$$0.5 \leq V \leq 5$$

であるが、説明された実施形態は、正規化されたテープ速度Vのときこの範囲に限定されず、ゼロから大きい値までの正規化されたテープ速度Vの値は、ここで説明された実施形態の作動の範囲内に含まれる。

30

#### 【0039】

特定の実施形態においては、テープヘッド位置信号の製造は、時間基準サーボシステムを用いて達成される。ここで説明された実施形態と共に用いられる時間基準サーボ信号を用いるトラック追従サーボシステムの1つの実装の説明は、特許文献2に開示されている。

#### 【0040】

特定の実施形態においては、1つ又はそれ以上の出願人の実施形態は、テープ(すなわちテープ206)に対するデータの読み取り及び書き込みのためのテープドライブを含む。例えば、限定する意味ではなく、ここで説明されるサーボ制御システム100及びその作動は、例えば、磁気テープに対するデータの有効な書き込み及び読み取りのためにテープヘッド位置制御を与えるべく、例えば図11に示されるような読み取り/書き込みテープドライブといった読み取り/書き込みテープドライブに用いられる。本発明と同一の譲受人に譲渡された特許文献3は、こうした読み取り/書き込みテープドライブを説明するものである。

40

#### 【0041】

特定の実施形態においては、1つ又はそれ以上の出願人の実施形態は、データ・ストレージ・メディアにアクセスするための自動化されたデータ・ストレージ・ライブラリを含む。自動化されたデータ・ストレージ・ライブラリは、例えば、データ・ストレージ・メ

50

ディアにアクセスし、移動するためのアクセサと、データ・ストレージ・メディアのストレージのためのストレージ・シェルフとを含む。例えば、ここで説明されるサーボ制御システム100とその作動は、限定する意味ではなく、データ・ストレージ・メディアに関連する磁気テープに対するデータの有効な書き込み及び読み取りのためにテープヘッド位置制御を与えるべく、例えば図12に示される自動化データ・ストレージ・ライブラリにおいて読み取り/書き込みテープドライブに用いられる。本発明と同一の譲受人に譲渡された特許文献4は、こうした自動化されたメディア・ライブラリを説明するものである。

#### 【0042】

実施形態は、時間基準サーボ信号に関連して説明されたが、本発明は時間基準サーボ信号に限定されることを意図されるものではないことが当業者には認識されるであろう。むしろ、本発明は、あらゆるサーボ信号と共に用いることができる。

#### 【0043】

ここで開示された本発明は、ソフトウェア、ファームウェア、ハードウェア又はこれらのいずれかの組み合わせを製造するための標準的プログラミング及び/又は工学技術を用いる方法、装置又は製品として実装することができる。ここで用いられる「製品」という用語は、ハードウェア論理(例えば、集積回路チップ、プログラマブルゲートアレイ(PGA)において実装されるコード又は論理、特定用途向け集積回路(ASIC)など)、又はコンピュータ可読媒体(例えば、磁気ストレージ媒体(例えば、ハードディスクドライブ、ディスク、テープなど)、光学的ストレージ(CD-ROM、光ディスクなど)、揮発性及び不揮発性メモリデバイス(例えば、EEPROM、ROM、PROM、RAM、DRAM、SRAM、ファームウェア、プログラマブル論理など)のことをいう。コンピュータ可読媒体におけるコードは、プロセッサによってアクセスされ、実行される。コードはさらに、伝達媒体を通じて又はネットワーク上のファイルサーバからアクセス可能である。こうした場合には、コードが実装される製品は、ネットワーク伝送ライン、無線伝送媒体、スペースを通過して伝搬する信号、無線波、赤外線信号などといった伝送媒体を含むことができる。もちろん、本発明の範囲から逸脱することなく、この構成に多くの変更を行うことができ、製品は、当該技術分野では公知のあらゆる情報搬送媒体を含むことができることを当業者であれば理解するであろう。

#### 【0044】

特定の実施形態においては、本発明は、図7に示されたフローチャートに記載されたステップを実行するために、プロセッサ610(図6)及び/又は処理要素190(図1)によって実行される命令を含む。

#### 【0045】

他の実施形態においては、本発明は、サーボ制御システム100の外部の又は内部のコンピュータによって実行される、他のいずれかのコンピュータ・プログラム製品に存在する命令を含む。いずれの場合にも、命令は、例えば、磁気情報ストレージ媒体、光学的情報ストレージ媒体、電気的情報ストレージ媒体などを含む情報ストレージ媒体にエンコードすることができる。ここで意味する「電気的情報ストレージ媒体」とは、例えば、PROM、EEPROM、EEPROM、フラッシュPROM、コンパクトフラッシュ、スマートメディアなどといったデバイスを意味する。

#### 【0046】

特定の実施形態は、コンピュータ可読コードをシステムに組み込んで、説明された実施形態の作動を実行することを含む、人による又は自動化された処理システムによる計算インフラを利用するための方法に向けられたものである。例えば、図7は、説明された実施形態の使用によってテープヘッドの位置を制御するためのステップを示す。システムと組み合わされたコード(すなわち、サーボ制御システム100)は、ここで説明された実施形態の作動のためのステップを実行することができる。計算インフラの利用は、サービス、製造及び/又はここで説明された実施形態の構成の間に実行することができる。例えば、コンサルティング・ビジネスは、多くのシステムのサービス責任を有することができる。

10

20

30

40

50

こうしたサービス責任は、システムの更新、エラー診断、パフォーマンスの調整、及び強化、新しいハードウェアのインストール、新しいソフトウェアのインストール、他のシステムとの構成などのようなタスクを含む。このサービスの一部として、別のサービスとして、サービスマンは、ここで説明された実施形態の動作を効果的にイネーブルにするように、ここで説明された技術に従ってシステムを構成することができる。例えば、こうした構成は、コンピュータメモリに、命令、パラメータ、定数（すなわち、デジタルフィルタ係数定数  $A_n$ 、 $B_n$  など）、割り込みベクトルをローディングして、コードが実行されたときに、システムがここで説明された実施形態を実装するために説明された技術を実行できるようにすることを含む。

【0047】

10

上記の説明には、説明の目的上、本発明の十分な理解を与えるために特定の用語を用いた。しかしながら、当業者であれば、本発明を実施するために特定の詳細は要求されないことを理解するであろう。他の場合には、本発明からの不必要な混乱を避けるために、周知の回路及びデバイスがブロック図の形態で示される。したがって、本発明の特定の実施形態の上記の説明は、図示及び説明のために与えられる。それらは、網羅的なものとなること、又は本発明を開示された正確な形態に限定することを意図されるものではない。明らかに、上記の技術に照らして多くの変更及び変化が可能である。

【0048】

図7の論理は、特定の順番で起こる特定の動作を説明している。代替的実装においては、特定の論理動作は、異なる順序で実行され、変更され又は除去される。また、上述の論理にステップを付加し、さらに説明された実装に適合させることができる。さらに、ここで説明された動作は、順番に行われることができ、又は特定の動作は、平行して処理されることができ、或いは単一プロセスによって実行される説明された動作は、分散プロセスによって実行することができる。

20

【0049】

図7の論理は、ソフトウェアに実装されるものとして説明された。この論理は、ホストシステムオペレーティング・システムの一部として、又はアプリケーション・プログラムとすることができる。さらに別の実装においては、この論理は、サーボ制御システム100によって管理されたストレージエリアに、又は読み取り専用メモリに、或いは他のハードウェア型デバイスに維持することができる。好ましい論理は、ハードディスクドライブに又はプログラマブル及び非プログラマブル・ゲート・アレイ論理に実装することができる。

30

【0050】

実施形態は、本発明及びその実用化の原理を最も良く説明し、それにより、当業者が本発明及び検討された特定の使用に適した種々の変更を伴う種々の実施形態を最も良く用いることを可能にするために選択され、記載される。本発明の範囲は、特許請求の範囲の請求項及びその均等物によって定められることを意図されている。

【図面の簡単な説明】

【0051】

【図1】テープに対するテープヘッドの位置を制御するためのサーボ制御システムの図である。

40

【図2】テープ移送システムのテープパスを示す図である。

【図3】有限インパルス応答デジタルフィルタの図である。

【図4】無限インパルス応答デジタルフィルタの図である。

【図5】サーボ制御システムの伝達関数のための周波数ドメイン開ループ応答のグラフである。

【図6】補償器を含むサーボ制御システムを実装するための計算を行う処理システムの例を示す図である。

【図7】テープに対するテープヘッドの位置を制御するための実施形態を実装するステップのフローチャートを示す。

50

【図8】正規化されたテープ速度の整数値についてのテープヘッド位置信号を取得し、廃棄するための時間周期を示す図である。

【図9】正規化されたテープ速度の非整数値についてのテープヘッド位置信号を取得し、廃棄するための時間周期を示す図である。

【図10】正規化されたテープ速度の異なる値についてのテープヘッド位置信号のサンプル周波数及びサンプル周期についての正規化された値を示す図である。

【図11】読み取り/書き込みテープドライブを示す図である。

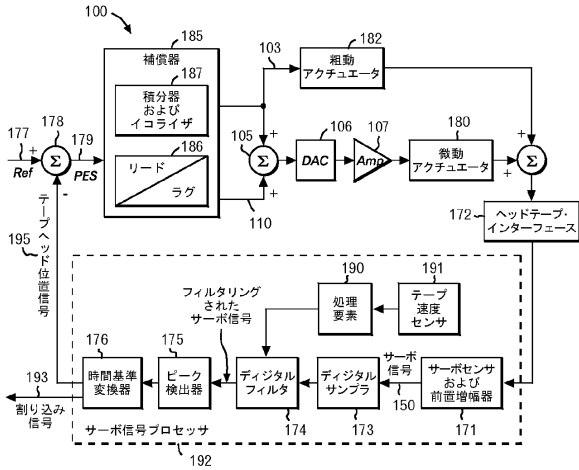
【図12】自動化データ・ストレージ・ライブラリを示す図である。

【符号の説明】

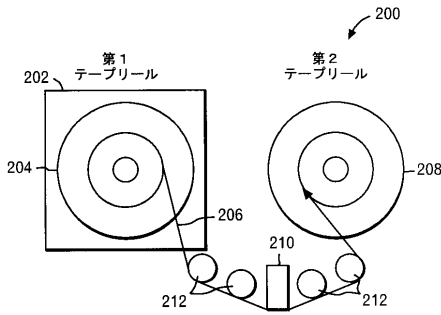
【0052】

100	サーボ制御システム	
150	サーボ信号	
171	サーボセンサ及び前置増幅器	
172	ヘッドテープインターフェース	
173	デジタルサンブラ	
174	デジタルフィルタ	
Filtered servo signal	フィルタリングされたサーボ信号	
175	ピーク検出器	
176	時間基準変換器	
180	微動アクチュエータ	20
182	粗動アクチュエータ	
185	補償器	
186	読み取り/ラグ	
187	積分器/イコライザ	
190	処理要素	
191	テープ速度	
192	サーボ信号プロセッサ	
193	割り込み信号	
195	テープヘッド位置信号	

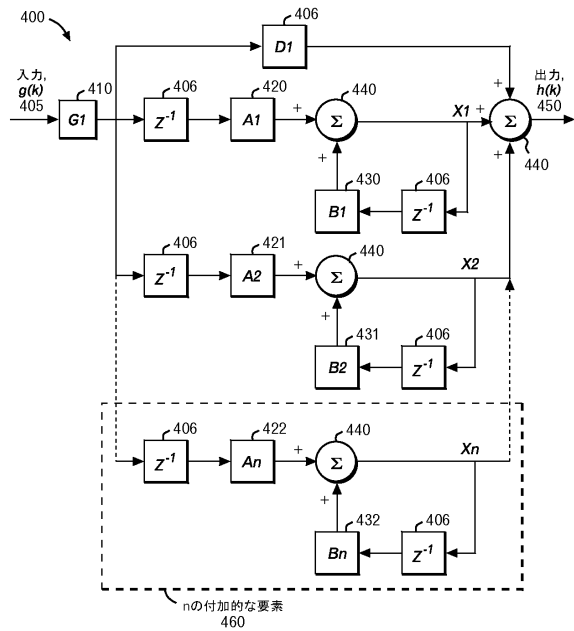
【図1】



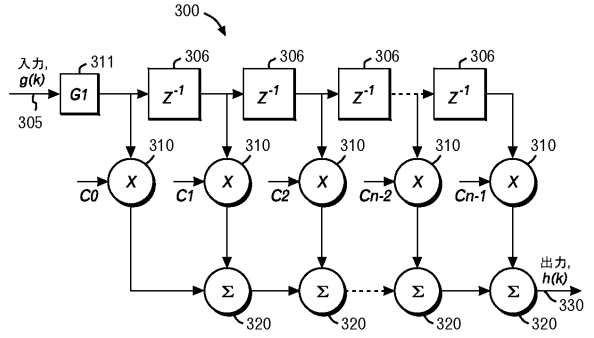
【図2】



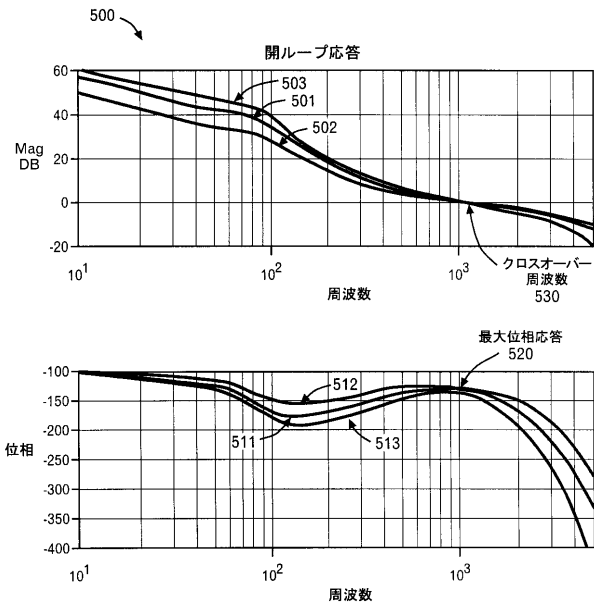
【図4】



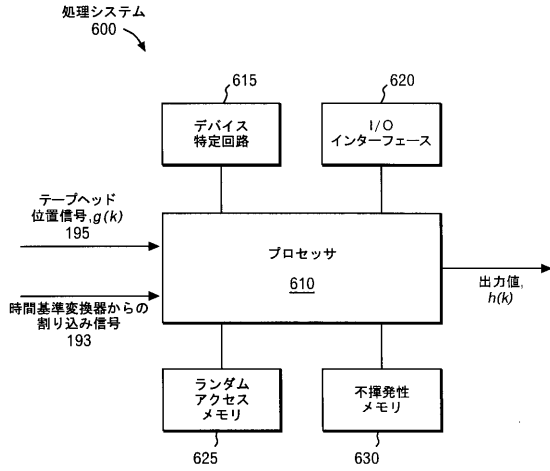
【図3】



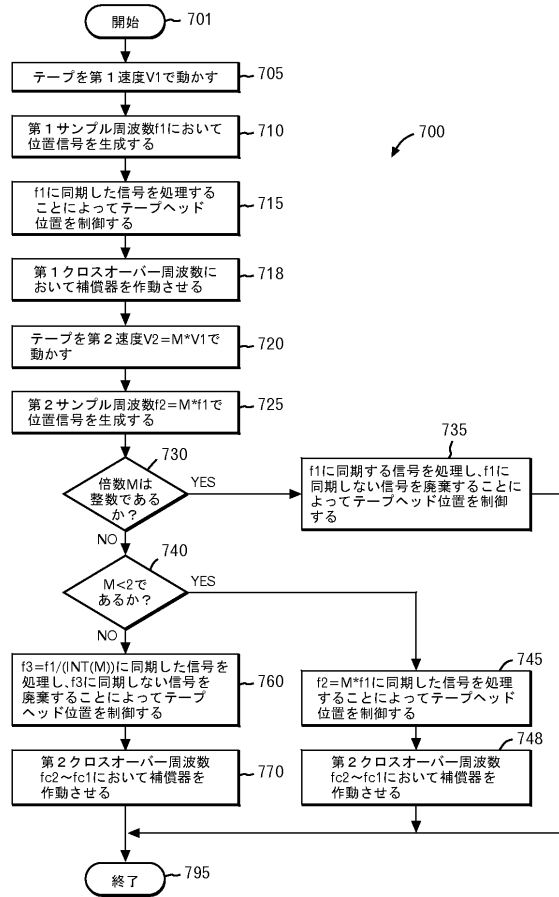
【図5】



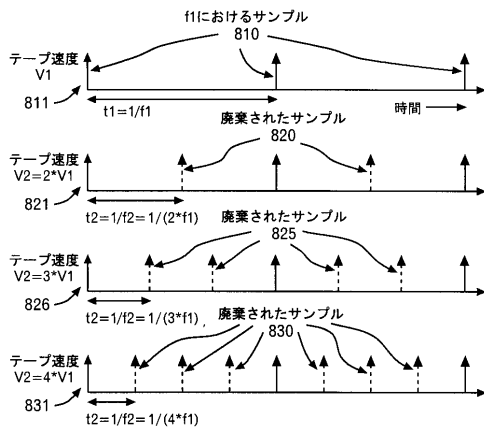
【図6】



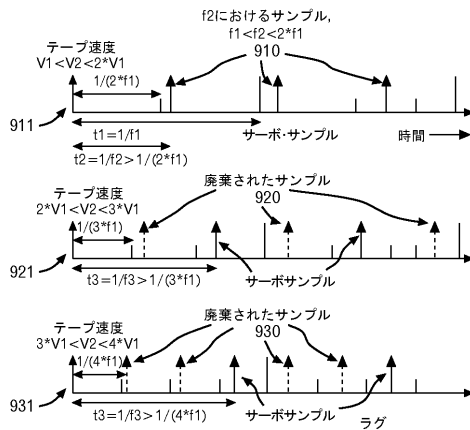
【図7】



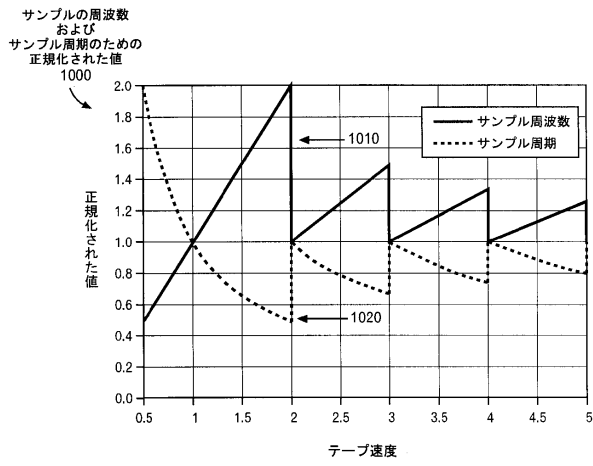
【図8】



【図9】



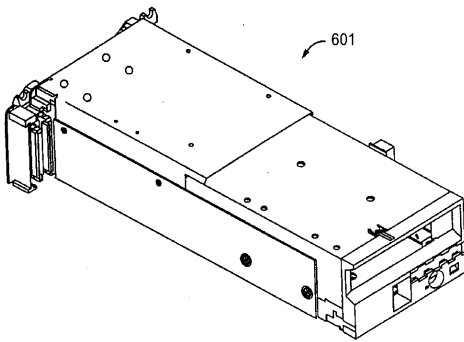
【図10】



【図12】



【図11】



## フロントページの続き

(74)代理人 100086243

弁理士 坂口 博

(72)発明者 ナーン・バイ

アメリカ合衆国 85710 アリゾナ州 ツーソン イースト29番ストリート 7402

(72)発明者 ランディ・インチ

アメリカ合衆国 85712 アリゾナ州 ツーソン イースト・パトリシア 5090

(72)発明者 小倉 英司

日本 231-0804 神奈川県横浜市中区本牧宮原 6-2-104

(72)発明者 鶴田 和弘

日本 228-0811 神奈川県相模原市東林間 1-18-10-502

審査官 山澤 宏

(56)参考文献 特開2002-236515(JP,A)

特開2002-237155(JP,A)

特開平06-282905(JP,A)

特開2001-344774(JP,A)

特開平9-212956(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G11B 15/467

G11B 5/584

G11B 15/46