

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5058249号
(P5058249)

(45) 発行日 平成24年10月24日(2012.10.24)

(24) 登録日 平成24年8月10日(2012.8.10)

(51) Int.Cl.	F I
G05B 11/36 (2006.01)	G05B 11/36 503C
D21F 7/00 (2006.01)	D21F 7/00 Z
G05B 13/04 (2006.01)	G05B 13/04

請求項の数 3 (全 21 頁)

(21) 出願番号	特願2009-507192 (P2009-507192)	(73) 特許権者	508322831
(86) (22) 出願日	平成19年4月27日(2007.4.27)		ハネウェル・アスカ・インコーポレーテッド
(65) 公表番号	特表2009-535684 (P2009-535684A)		ド
(43) 公表日	平成21年10月1日(2009.10.1)		カナダ国オンタリオ エル5エル 3エス
(86) 国際出願番号	PCT/IB2007/001168		6, ミシソーガ, ユニティ・ドライブ 3
(87) 国際公開番号	W02008/041067		333
(87) 国際公開日	平成20年4月10日(2008.4.10)	(74) 代理人	100140109
審査請求日	平成22年4月7日(2010.4.7)		弁理士 小野 新次郎
(31) 優先権主張番号	11/413,524	(74) 代理人	100089705
(32) 優先日	平成18年4月28日(2006.4.28)		弁理士 社本 一夫
(33) 優先権主張国	米国 (US)	(74) 代理人	100075270
			弁理士 小林 泰
		(74) 代理人	100080137
			弁理士 千葉 昭男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 非同期センサ情報に基づく測定値予測を使用して抄紙機または他の機械を制御する装置および方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

プロセス(204)の連続時間モデル(302)を使用して、制御される前記プロセスの離散時間モデル(304)を繰り返し更新するステップと、前記離散時間モデルは複数のサンプリング時間で更新され、且つ異なるサンプリング時間は異なる種類のイベントと関連しており、

前記プロセスを制御するためにコントローラ(202)により使用される測定値または状態を推定するステップと、前記推定される測定値または状態は前記繰り返し更新されるプロセスの前記離散時間モデルを使用して生成され、

前記推定される測定値または状態を前記コントローラに提供するステップと、それにより、前記コントローラは、前記コントローラのサンプリングレートで前記推定される測定値または状態を使用し、

センサからの特性に関連する測定値を使用して、前記推定される測定値または状態の少なくとも一部を更新するステップと、を含む方法。

【請求項 2】

前記センサにより出力される測定値間の少なくともひとつの時間間隔は、前記コントローラの出力間の整数倍の時間間隔ではない、

前記プロセス(204)に関連する時間遅延は、前記コントローラの出力間の整数倍の時間間隔ではない、請求項1に記載の方法。

10

20

【請求項 3】

コントローラ(202)によって制御されるプロセス(204)を表す連続時間モデル(302)を記憶するように動作可能な少なくともひとつのメモリ(210)と、少なくともひとつのプロセッサ(208)を含み、前記プロセッサは、

前記連続時間モデルを使用して、前記プロセスの離散時間モデル(304)を繰り返し更新し、前記少なくともひとつのプロセッサは複数のサンプリング時間で前記離散時間モデルを更新するよう動作可能であり、且つ異なるサンプリング時間は異なる種類のイベントと関連しており、

前記プロセスを制御するためにコントローラ(202)により使用される測定値または状態を推定し、前記推定される測定値または状態は前記繰り返し更新される離散時間モデルを使用して生成され、

前記推定される測定値または状態を前記コントローラに提供し、それにより、前記コントローラは、前記コントローラのサンプリングレートで前記推定される測定値または状態を使用し、

センサからの特性に関連する測定値を使用して、前記推定される測定値または状態の少なくとも一部を更新する、ように動作可能である、装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、一般に、制御システムに関し、より具体的には、非同期センサ情報に基づく測定値予測を使用して抄紙機または他の機械を制御する装置および方法に関する。

【背景技術】

【0002】

種々のシステムが、紙シートおよび紙製品を製造するために利用可能であり、使用される。製造される紙シートは、乾燥重量、水分、およびキャリパ(厚さ)などの、製造プロセス中に監視され、制御される複数の特性を有することが多い。シート作製機械における、これらの、また、他のシート特性の制御は、通常、ターゲットまたは所望値のできる限り近くにシート特性を維持することに関連する。

【0003】

シート作製機械においてシート特性を制御するのに使用される、2つの異なるタイプのアクチュエータが存在することが多い。第1に、通常、シート特性の横方向平均だけに影響を及ぼす縦方向(MD)アクチュエータが存在する。MDアクチュエータは、しばしば、シート特性に対して異なる動的応答を有することができる。第2に、シートにわたって横方向に通常配列される横方向(CD)アクチュエータが存在する。CDアクチュエータの各アレイは、通常、シート特性の平均とシート特性の横方向形状の両方に影響を及ぼすことがある。CDアクチュエータは、しばしばシート特性に対して異なる動的応答および異なる空間応答を有することができる。

【0004】

シート特性は、通常、スキャナによってCD方向にシートにわたって走査されるセンサのセットによって測定される。シート特性は、また、固定したセンサアレイによって測定される。多くのシート作製機械は、異なるロケーションに複数のスキャナを有し、各スキャナは、通常、それ自身のセンサのセットを有する。スキャナは、同期化されないことが多く、非常に異なるスキャン時間を有する可能性がある。従来のCD制御システムでは、各CDコントローラが、1つのセットのセンサによって測定される1つのシート特性を制御することに関連しているだけであったため、センサの同期化は必要なかった。従来のCDコントローラは、通常、1つのCDアクチュエータが、複数のシート特性に影響を及ぼす可能性があることを無視した。しかし、複数のシート特性の協調制御を実施する多変量CDコントローラの場合、シート特性の測定が同期化されることが必要とされることが多い。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

本開示は、非同期センサ情報に基づく測定値予測を使用して抄紙機または他の機械を制御する装置および方法を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

第1の実施形態では、方法は、プロセスを制御するために、コントローラによって使用される測定値または状態を予測することを含む。予測される測定値または状態は、プロセスのモデルを使用して生成される。方法は、また、予測される測定値または状態をコントローラのサンプリングレートで使用するよう予測される測定値または状態をコントローラに提供することを含む。コントローラは、さらに、方法は、センサからのアイテムの特性に関連する測定値を使用して、予測される測定値または状態の少なくとも一部を更新することを含む。

10

【0007】

特定の実施形態では、モデルは、離散時間モデルを表し、方法は、また、プロセスの連続時間モデルを使用して離散時間モデルを生成することを含む。他の特定の実施形態では、測定値は、複数のセンサから受信され、センサのうち少なくとも2つは、異なるサンプリング時間を有する。なお他の特定の実施形態では、センサによって出力される測定値間の時間間隔が、コントローラの出力間の時間間隔の整数倍ではない、かつ/または、プロセスに関連する時間遅延が、コントローラの出力間の時間間隔の整数倍ではない。

20

【0008】

第2の実施形態では、装置は、コントローラによって制御されるプロセスを表すモデルを記憶するよう動作する少なくとも1つのメモリを含む。装置は、またプロセスを制御するために、コントローラによって使用される測定値または状態を予測するよう動作する少なくとも1つのプロセッサを含み、予測される測定値または状態は、プロセスのモデルを使用して生成される。少なくとも1つのプロセッサは、また、コントローラが予測される測定値または状態をコントローラのサンプリングレートで使用するよう、予測される測定値または状態をコントローラに提供するよう動作する。さらに、少なくとも1つのプロセッサは、センサからのアイテムの特性に関連する測定値を使用して、予測される測定値または状態の少なくとも一部を更新するよう動作する。

30

【0009】

第3の実施形態では、コンピュータプログラムは、コンピュータ読み取り可能媒体上で具現化され、かつ、プロセッサによって実行されるよう動作する。コンピュータプログラムは、プロセスを制御するために、コントローラによって使用される測定値または状態を予測するコンピュータ読み取り可能プログラムコードを含み、予測される測定値または状態は、プロセスのモデルを使用して生成される。コンピュータプログラムは、また、コントローラが予測される測定値または状態をコントローラのサンプリングレートで使用するよう、予測される測定値または状態をコントローラに提供するコンピュータ読み取り可能プログラムコードを含む。さらに、コンピュータプログラムは、センサからのアイテムの特性に関連する測定値を使用して、予測される測定値または状態の少なくとも一部を更新するコンピュータ読み取り可能プログラムコードを含む。

40

【0010】

他の技術的な特徴は、以下の図、説明、および添付の特許請求の範囲から当業者に容易に明らかになってもよい。

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

本開示のより完全な理解のために、添付図面と共に考えられる以下の説明がここで参照される。

図1は、本開示の一実施形態による例示的な紙生産システム100を示す。図1に示す

50

紙生産システム１００の実施形態は、例証だけのためのものである。紙生産システム１００の他の実施形態は、本開示の範囲から逸脱することなく使用されてもよい。

【００１２】

この実施例では、紙生産システム１００は、抄紙機１０２、制御システム１０４、およびネットワーク１０５を含む。抄紙機１０２は、紙製品を生産するのに使用される種々のコンポーネントを含む。この実施例では、リール１０８において収集された紙シート１０６を生産するために、種々のコンポーネントが使用されてもよい。制御システム１０４は、抄紙機１０２の動作を監視し、制御する。これは、抄紙機１０２によって生産される紙シート１０６の品質を維持するか、または、向上させるのに役立つ場合がある。

【００１３】

図１に示すように、抄紙機１０２は、連続移動式ワイヤスクリーンまたはメッシュ上で、機械にわたって均一にパルプ懸濁液を分散させるヘッドボックス１１０を含む。ヘッドボックス１１０に入るパルプ懸濁液は、たとえば、０．２～３％木材繊維および／または他の固体を含有してもよく、懸濁液の残りは水である。ヘッドボックス１１０は、シートにわたって希釈水をパルプ懸濁液に分散させる希釈アクチュエータ１１２のアレイを含んでもよい。希釈水を使用して、得られる紙シート１０６が、シートにわたって横方向（ＣＤ）におけるより均一な坪量を有することを確保するのに役立つ場合がある。ヘッドボックス１１０は、また、スライスリップ・アクチュエータ１１４のアレイを含んでもよく、スライスリップ・アクチュエータ１１４は、パルプ懸濁液が、そこからヘッドボックス１１０を出て移動式ワイヤスクリーンまたはメッシュ上に入る、機械にわたるスライス開口を制御する。スライスリップ・アクチュエータ１１４のアレイは、同様に、紙シート１０６のＣＤ坪量を制御するのに使用されてもよい。

【００１４】

蒸気アクチュエータ１１６のアレイは、熱蒸気を生成し、熱蒸気は、紙シート１０６に浸透し、蒸気内の潜熱を紙シート１０６内に放出し、それにより、シートにわたって断面において紙シート１０６の温度を増加させる。温度の増加は、紙シート１０６からの水の容易な横方向除去を可能にし得る。再湿潤化シャワアクチュエータ１１８のアレイは、紙シート１０６の表面上に水の小滴（霧化されてもよい）を付加する。再湿潤化シャワアクチュエータ１１８のアレイを使用して、紙シート１０６の水分ＣＤプロファイルを制御するか、紙シート１０６の過剰乾燥を減らす、または、防止するか、あるいは、紙シート１０６内のドライストリークを補正してもよい。紙シート１０６は、しばしば、逆回転ロールのいくつかのニップを通過する。誘導加熱アクチュエータ１２０のアレイは、機械にわたって鉄ロールのシェル表面を加熱する。ロール表面が局所的に熱くなると、ロール直径は、局所的に拡張し、そのためニップ圧を増加させ、次に、紙シート１０６を局所的に圧迫する。したがって、誘導加熱アクチュエータ１２０のアレイを使用して、紙シート１０６のキャリパ（厚さ）ＣＤプロファイルを制御してもよい。紙シートの厚さ、平滑度、および光沢を改善するために、スーパカレンドなどのさらなるコンポーネントを使用して、紙シート１０６をさらに処理することができる。

【００１５】

これは、紙製品を生産するのに使用されてもよい、１つのタイプの抄紙機１０２の簡潔な説明を示す。このタイプの抄紙機１０２に関するさらなる詳細は、当技術分野でよく知られており、本開示の理解のために必要とされない。同様に、これは、システム１００で使用されてもよい、１つの特定のタイプの抄紙機１０２を示す。紙製品を生産する任意の他のまたはさらなるコンポーネントを含む、他の機械またはデバイスが使用されることができる。さらに、本開示は、紙製品を生産するシステムで使用に限定されず、プラスチック、織物、金属箔、またはシートなどの、他のアイテムまたは材料、あるいは、他のまたはさらなる材料を生産するシステムで使用されることができる。

【００１６】

紙作製プロセスを制御するために、紙シート１０６の特性が、絶えず、または、繰り返して測定され、抄紙機１０２が、シート品質を確保するために調整されることができる。

10

20

30

40

50

このコントロールは、製造プロセスの種々の段階でシート特性を測定することによって達成されることができる。その後、この情報を使用して、抄紙機 102 内の種々のアクチュエータ 112 ~ 120 を調整し、それにより、所望の目標からのシート特性の変動が補償されることができる。

【0017】

図 1 に示すように、抄紙機 102 は、それぞれ、センサのセットを含んでもよい 2 つのスキャナ 122、124 を含む。スキャナ 122、124 は、紙シート 106 を走査し、紙シート 106 の 1 つまたは複数の特性を測定することが可能である。たとえば、スキャナ 122、124 は、紙シート 106 の重量、水分、キャリパ（厚さ）、光沢、平滑度、あるいは、任意の他のまたはさらなる特性を測定するセンサを保持することができる。スキャナ 122、124 はそれぞれ、センサのセットまたはセンサのアレイなどの、紙シート 106 の 1 つまたは複数の特性を測定するか、または、検出する任意の適した 1 つまたは複数の構造を含む。センサの走査型セットは、シート特性を測定する 1 つの特定の実施形態を表す。他の実施形態は、センサの固定型セットまたはアレイの使用を含むことができる。これらの実施形態はそれぞれ、CD プロファイルを表す測定値の 1 つまたは複数のアレイを生成することができる。システム 100 における横方向（CD）は、通常、システム 100 の縦方向（MD）に垂直である。

【0018】

制御システム 104 は、スキャナ 122、124 に結合される。制御システム 104 は、スキャナ 122、124 によって取得された測定値に基づいて抄紙機 102 の動作を変更することが可能である。たとえば、制御システム 104 は、アクチュエータ 112 ~ 120 の動作を調整して、所望のまたは指定された特性を有する紙シート 106 などの、所望の結果を達成することができる。制御システム 104 は、抄紙機 102 の動作を制御するための、任意のハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、または、その組合せを含む。制御システム 104 の 1 つの例示的な実施形態は、以下に述べられる図 2 に示される。

【0019】

とりわけ、スキャナ 122、124 は、制御システム 104 に同期化されなくてもよい。たとえば、制御システム 104 は、固定であることができるサンプリングレートで動作してもよい。これらの実施形態では、制御システム 104 は、制御システム 104 のサンプリングレートに同期する推定された測定値を提供する測定値予測器を含む。たとえば、測定値予測器は、制御システム 104 のサンプリングインスタンス（測定データがサンプリングされる時間）において、スキャナ 122、124 の 1 つまたは複数からの測定データを予測すること。特定の実施例として、測定値予測器は、プロセスモデル（抄紙機の動作のモデルなど）および履歴データ（制御システム 104 によって生成される以前の制御信号など）を使用して、コントローラのサンプリングインスタンスにおいて、センサからの測定値がどのようなものであるかが推定されてもよい。後で、センサが、制御システム 104 に実際の測定データを提供するときに、測定値予測器は、新しい測定データを使用して、以前の予測された測定値を更新してもよい。制御システム 104 は、推定され、更新された測定値を使用して動作してもよい。こうして、制御システム 104 は、センサの複数のセットを使用して動作してもよく、センサのセットは、非同期であってもよい（制御システム 104 に同期化されなくてもよい）。さらに、制御システム 104 は、サンプルが、固定サンプリングレートで作られようと、可変サンプリングレートで作られようと、同期方式で、推定され、更新された測定値を使用することができる。

【0020】

ネットワーク 105 は、制御システム 104、アクチュエータ 112 ~ 120、およびスキャナ 122、124 に結合される。ネットワーク 105 は、システム 100 のコンポーネント間の通信を容易にする。たとえば、ネットワーク 105 は、ネットワークアドレス間で、インターネットプロトコル（IP）パケット、フレームリレーのフレーム、非同期転送モード（ATM）セル、または他の適した情報を通信してもよい。ネットワーク 1

10

20

30

40

50

０５は、１つまたは複数のローカルエリアネットワーク（ＬＡＮ）、メトロポリタンエリアネットワーク（ＭＡＮ）、ワイドエリアネットワーク（ＷＡＮ）、インターネットなどのグローバルネットワークの全てまたは一部、あるいは、１つまたは複数のロケーションにおける任意の他の１つまたは複数の通信システムを含んでもよい。ネットワーク１０５は、また、イーサネット、ＩＰ、Ｘ．２５、フレームリレー、または任意の他のパケットデータプロトコルなどの任意の適切なタイプの１つまたは複数のプロトコルに従って動作してもよい。

【００２１】

図１は、紙生産システム１００の一実施例を示すが、図１に対して種々の変更が行われてもよい。たとえば、他のシステムを使用して、紙製品または他の製品を生産することができる。同様に、センサの２つのセットを含むもの（スキャナ１２２、１２４）として示されるが、生産システム１００は、センサの３つ以上のセットを含むことができる（走査型であれ、固定型であれ）。さらに、センサは、システム１００内の任意の適したロケーションに位置することができる。

【００２２】

図２は、本開示の一実施形態による、紙生産システム内の例示的な制御システム１０４を示す。図２に示す制御システム１０４は、例証だけのためのものである。制御システム１０４の他の実施形態は、本開示の範囲から逸脱することなく使用されてもよい。同様に、説明を容易にするために、制御システム１０４は、図１の紙生産システム１００に関して述べられる。制御システム１０４は、任意の他の適したデバイスまたはシステムに関して使用されることができる。

【００２３】

図２に示すように、制御システム１０４は、コントローラ２０２を含む。コントローラ２０２は、プロセス２０４の動作（抄紙機１０２によって実施されるプロセスなど）を制御することが可能である。たとえば、コントローラ２０２は、変数の現在の値（紙シート１０６の特性など）を識別する入力を受信してもよい。入力に基づいて、コントローラ２０２は、変数が、指定された設定値（ Y_{sp} ）に、または、その近くに留まるように、プロセス２０４の動作を調整してもよい。コントローラ２０２は、コントローラ２０２が予測された状態／測定値を使用し、指定されたサンプリングレートで対応する出力を生成するときなどに、これらのアクションを特定のレートで実施してもよい。このレートは、「制御間隔」と呼ばれてもよい時間間隔を規定する。コントローラ２０２は、プロセスの１つまたは複数の態様を制御するための、任意のハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、または、その組合せを含む。コントローラ２０２は、たとえば、出力フィードバックコントローラまたは状態フィードバックコントローラを表すことができる。特定の実施例として、コントローラ２０２は、多変量モデル予測コントローラ（多変量横方向モデル予測コントローラなど）、比例積分・微分コントローラ、または、Ｈ・インフィニティコントローラを表すことができる。

【００２４】

コントローラ２０２の出力は、プロセス２０４に提供される。一般に、プロセス２０４は、コントローラ２０２の出力を使用して動作するプロセスを表し、プロセス２０４の動作は、コントローラの出力に基づいて変化する。この実施例では、プロセス２０４は、紙生産システム１００の抄紙機１０２を表し、コントローラ２０２は、抄紙機１０２の１つまたは複数のコンポーネントの動作を調整して、紙シート１０６の生産を変更する。

【００２５】

スキャナ１２２、１２４は、そのとき実行しているプロセス２０４に基づいて測定データを生成し、提供する。たとえば、スキャナ１２２、１２４は、抄紙機１０２によって生成されている紙シート１０６の種々の特性を測定するセンサのセットを表してもよい。測定データは、同期データまたは非同期データを表すことができる。たとえば、スキャナ１２２、１２４は、異なる走査時間を使用して動作することができ、スキャナ１２２、１２４が、測定データを生成するのに異なる時間量を必要とすることを意味する。別の実施例

10

20

30

40

50

として、スキャナ 1 2 2、1 2 4 は、同一であるが不整合の走査時間を使用して動作することができ、スキャナ 1 2 2、1 2 4 が、測定データを生成するのに同じ時間量を必要とするが、時間間隔が整合されないことを意味する。スキャナ 1 2 2、1 2 4 はそれぞれ、測定間で 1 0 ~ 3 0 秒の間隔などの、任意の適した走査時間を使用して動作してもよい。

【 0 0 2 6 】

これらの、または、他の状況では、スキャナ 1 2 2、1 2 4 の 1 つまたは複数によって出力される測定データは、コントローラ 2 0 2 の制御間隔に整合されない、すなわち、同期化されなくてもよい。制御システム 1 0 4 内の測定値予測器 2 0 6 を使用して、スキャナ 1 2 2、1 2 4 のいずれの非同期挙動も補償される。たとえば、測定値予測器 2 0 6 は、コントローラ 2 0 2 のサンプリングレートに同期化されてもよい。プロセス 2 0 4 のモデルおよびコントローラ 2 0 2 からの履歴出力などの情報を使用して、測定値予測器 2 0 6 は、スキャナ 1 2 2、1 2 4 内のセンサのセットなどの 1 つまたは複数のセンサからの測定データを予測してもよい。この推定された測定データは、その後、使用のためにコントローラ 2 0 2 に提供されてもよい。センサが実際の測定データを測定値予測器 2 0 6 に提供すると、測定値予測器 2 0 6 は、センサからの新しい測定データを使用して、以前の予測された測定データを更新してもよい。こうして、測定値予測器 2 0 6 は、1 つまたは複数の非同期センサからの測定データが、コントローラ 2 0 2 に提供され、コントローラ 2 0 2 によって使用されることを可能にする。

【 0 0 2 7 】

測定値予測器 2 0 6 は、1 つまたは複数のセンサによって行われる測定値の少なくとも一部を予測するための、任意のハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、または、その組合せを含む。測定値予測器 2 0 6 は、たとえば、1 つまたは複数のプロセッサ 2 0 8 およびプロセッサ（複数可）2 0 8 によって使用される情報および命令を記憶することができる 1 つまたは複数のメモリ 2 1 0 を含むことができる。測定値予測器 2 0 6 の 1 つの例示的な実施形態は、以下に述べられる図 3 に示される。

【 0 0 2 8 】

図 2 は、紙生産システム内の制御システム 1 0 4 の一実施例を示すが、図 2 に対して種々の変更が行われてもよい。たとえば、制御システム 1 0 4 は、任意の数のコントローラ 2 0 2、プロセス 2 0 4、スキャナ 1 2 2、1 2 4、および測定値予測器 2 0 6 を含むことができる。

【 0 0 2 9 】

図 3 は、本開示の一実施形態による、制御システム内の例示的な測定値予測器 2 0 6 を示す。図 3 に示す測定値予測器 2 0 6 の実施形態は、例証だけのためのものである。測定値予測器 2 0 6 の他の実施形態は、本開示の範囲から逸脱することなく使用されることができる。同様に、説明を容易にするために、図 3 の測定値予測器 2 0 6 は、図 1 の紙生産システム 1 0 0 において図 2 のコントロールシステム 1 0 4 内で動作するものとして述べられる。測定値予測器 2 0 6 は、任意の他の適したデバイスまたはシステム内で使用されることができる。

【 0 0 3 0 】

図 3 に示すように、測定値予測器 2 0 6 は、連続時間モデル 3 0 2 を含む。連続時間モデル 3 0 2 は、プロセス 2 0 4 の数学的モデル（図 1 の抄紙機 1 0 2 によって実施されるプロセスを表してもよい）を表す。連続時間モデル 3 0 2 は、たとえば、連続時間領域内でモデル化された伝達関数を使用してプロセス 2 0 4 を数学的に表してもよい。

【 0 0 3 1 】

連続時間モデル 3 0 2 を使用して、非同期サンプリング間隔に基づく離散時間状態空間モデル 3 0 4 が規定される。離散時間状態空間モデル 3 0 4 は、プロセス 2 0 4 の別の数学的モデルを表す。たとえば、離散時間状態空間モデル 3 0 4 は、時間領域内の伝達関数モデルを使用してプロセス 2 0 4 を数学的に表してもよい。

【 0 0 3 2 】

測定値予測器 2 0 6 は、また、推定 / 補正ユニット 3 0 6 を含む。推定 / 補正ユニット

10

20

30

40

50

306を使用して、スキャナ122、124内のセンサのセットなどの1つまたは複数のセンサからの測定データが推定されてもよい。推定/補正ユニット306は、また、センサから受信した実際の測定データを使用して以前の推定された測定データを更新するか、または、補正してもよい。この実施例では、推定/補正ユニット306は、離散時間状態空間モデル304、および、プロセス204を制御するために、コントローラ202によって出力された以前の制御信号を表す履歴コントローラ値 U_H を使用してセンサからの測定データを推定してもよい。履歴コントローラ値 U_H は、たとえば、測定値予測器206に付随するバッファに記憶されることができる。一部の実施形態では、これらの値は、離散時間状態空間モデル304と共に使用されて、1つまたは複数のセンサからの1つまたは複数の測定値

10

【0033】

【数1】

(\tilde{Y})

【0034】

が推定される、または、予測される。予測された測定値は、その後、(コントローラ202が出力フィードバックコントローラであるときなどに)コントローラ202に提供される。他の実施形態では、離散時間状態空間モデル304を使用して、(コントローラ202が状態フィードバックコントローラであるときなどに)コントローラ202に提供される、1つまたは複数の状態

20

【0035】

【数2】

(\hat{X})

【0036】

が推定される。センサからの測定データが受信されると、測定値予測器206は、そのセンサについての以前に推定された測定値または状態を更新してもよい。これは、コントローラ202が、プロセス204を制御するときに、適切な測定値または状態を使用することを可能にする。

【0037】

30

特定の実施形態では、モデル302~304は、メモリ210に記憶され、測定値予測器206のプロセッサ208によって操作されることができる。同様に、推定/補正ユニット306は、測定値予測器206のプロセッサ208によって実行されることができる。測定値予測器206の動作に関するさらなる詳細は、以下でより詳細に述べられる図4、5A、および5Bに示される。

【0038】

図3は、制御システム内の測定値予測器206の一実施例を示すが、図3に対して種々の変更が行われてもよい。たとえば、測定値予測器206を形成するために、他の、または、付加的なコンポーネントが、測定値予測器206内で使用されることができる。

【0039】

40

図4は、本開示の一実施形態による、非同期センサ情報に基づく測定値予測値を使用して抄紙機または他の機械を制御する例示的な方法400を示す。説明を容易にするために、方法400は、図1の生産システム100内で動作する図2の制御システム104内の測定値予測器206に関して述べられる。方法400は、任意の他の適したデバイスによって、また、任意の他の適したシステムにおいて使用されることができる。

【0040】

測定値予測器206は、ステップ402にて、イベントが起こるのを待つ。これは、たとえば、測定値予測器206が測定イベント(センサまたはセンサのセットからの測定データの受信など)を待つこと、または、コントローラ実行イベント(コントローラによる測定データの使用)を待つことを含んでもよい。ステップ404にて、イベントが起こる

50

。これは、たとえば、測定値予測器 206 がセンサまたはセンサのセットから測定データを受信することを含んでもよい。

【0041】

測定値予測器 206 は、ステップ 406 にて、センサ（複数可）のそのときのサンプリング時間を更新し、ステップ 408 にて、離散時間モデルを更新する。これは、たとえば、測定値予測器 206 が連続時間モデル 302 を使用して、離散時間状態空間モデル 304 を生成することを含んでもよい。

【0042】

起こるイベントが、ステップ 410 にて、測定イベントである場合、ステップ 412 にて、測定値予測器 206 は、補正ユニットを使用して、以前の推定された測定値または状態を実際の測定データを使用して更新する。これは、たとえば、推定 / 補正ユニット 306 が、センサからの実際の測定データを使用して、以前の推定された測定値または状態を補正することを含んでもよい。測定値予測器 206 は、その後、ステップ 402 に戻ってもよい。他の実施形態では、ステップ 416 ~ 418 にて、測定イベントがコントローラ実行イベントに一致する場合、測定値予測器 206 は、補正された測定データをコントローラに出力する。コントローラ 202 は、その後、プロセス 204 を制御するために、補正された測定データを使用して動作してもよい。

10

【0043】

起こるイベントが、ステップ 410 にて、測定イベントでない場合、ステップ 414 にて、測定値予測器 206 は、推定ユニットを使用して、測定値または状態を推定する。これは、たとえば、推定 / 補正ユニット 306 が、更新された離散時間状態空間モデル 304 および履歴コントローラ値 U_H を使用して、センサ（複数可）からの測定データがどんなものであるかを予測することを含んでもよい。イベントが、ステップ 416 にて、コントローラ実行イベントである場合、測定値予測器 206 は、ステップ 418 にて、予測された測定値データをコントローラに出力する。コントローラ 202 は、その後、プロセス 204 を制御するために、予測された測定データを使用して動作してもよい。

20

【0044】

起こるイベントが、ステップ 410 にて、測定イベントである場合、ステップ 414 にて、測定値予測器 206 は、補正ユニットを使用して、ステップ 414 にて、以前の推定された測定値または状態を実際の測定データを使用して更新する。これは、たとえば、推定 / 補正ユニット 306 が、センサからの実際の測定データを使用して、以前の推定された測定値または状態を補正することを含んでもよい。ステップ 416 にて、測定イベントがコントローラ実行イベントに一致する場合、測定値予測器 206 は、補正された測定データをコントローラに出力する。コントローラ 202 は、その後、プロセス 204 を制御するために、補正された測定データを使用して動作してもよい。

30

【0045】

こうして、測定値予測器 206 は、推定されかつ更新された測定データを、必要に応じてコントローラ 202 に提供してもよい。この柔軟性は、スキャナ 122、124 がコントローラ 202 に対して非同期であっても、測定値予測器 206 が、スキャナ 122、124 からの測定データをコントローラ 202 に提供することを可能にする。

40

【0046】

図 4 は、非同期センサ情報に基づく測定値予測を使用して抄紙機または他の機械を制御する例示的な方法 400 の一実施例を示すが、図 4 に対して種々の変更が行われてもよい。たとえば、測定値予測器 206 は、図 4 の方法 400 を使用して、任意の数のスキャナまたはセンサからのデータを処理してもよい。

【0047】

図 3 に戻ると、図 4 の方法 400 に従って動作する測定値予測器 206 の 1 つの特定に実施態様に関するさらなる詳細を以下に示す。次に続くさらなる詳細は、例証および説明だけのためのものである。測定値予測器 206 の他の実施形態は、本開示の範囲から逸脱することなく使用されることができる。

50

【 0 0 4 8 】

特定の実施形態では、連続時間領域における以下の伝達関数モデルは、連続時間モデル 3 0 2 として使用されてもよい。

【 0 0 4 9 】

【 数 3 】

$$\underbrace{\begin{bmatrix} Y_1(s) \\ \vdots \\ Y_{N_y}(s) \end{bmatrix}}_{Y(s)} = \underbrace{\begin{bmatrix} G_{11} \cdot h_{11}(s) & \cdots & G_{1N_u} \cdot h_{1N_u}(s) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ G_{N_y,1} \cdot h_{N_y,1}(s) & \cdots & G_{N_y,N_u} \cdot h_{N_y,N_u}(s) \end{bmatrix}}_{G_h(s)} \underbrace{\begin{bmatrix} U_1(s) \\ \vdots \\ U_{N_u}(s) \end{bmatrix}}_{U(s)} + \underbrace{\begin{bmatrix} D_1(s) \\ \vdots \\ D_{N_y}(s) \end{bmatrix}}_{D(s)}. \quad (1)$$

10

【 0 0 5 0 】

この特定のモデル 3 0 2 では、

【 0 0 5 1 】

【 数 4 】

$$Y(s) \in \mathcal{C}^{N_y \times 1}, \quad U(s) \in \mathcal{C}^{\sum_{j=1}^{N_u} n_j \times 1}$$

【 0 0 5 2 】

および

【 0 0 5 3 】

【 数 5 】

$$D(s) \in \mathcal{C}^{N_y \times 1}$$

【 0 0 5 4 】

は、それぞれ、測定プロファイル、アクチュエータプロファイル、および擾乱プロファイルを表す。測定プロファイルは、センサのセットからの測定データの現在のまたはそのときの値を表す。アクチュエータプロファイルは、プロセス 2 0 4 内のアクチュエータアレイ（抄紙機 1 0 2 内のコンポーネント 1 1 0 ~ 1 2 0 など）に対してコントローラ 2 0 2 によって出力された制御信号の現在のまたはそのときの値を表す。擾乱プロファイルは、プロセス 2 0 4 内の擾乱の現在のまたはそのときの値を表し、プロセス 2 0 4 内の予測できないまたはランダムな変動を表す。同様に、 N_y および N_u は、それぞれ、センサによって測定された特性の数およびアクチュエータアレイの数を表す。さらに、 m はセンサの分解能を表し、 n_j は、 j 番目のアクチュエータアレイのアクチュエータの数を表す。異なるセンサ（異なる販売業者からのスキャナなど）は、異なる分解能を有してもよいが、全てのセンサが共通の分解能を有するように、測定値をアップサンプリングまたはダウンサンプリングすることが通常可能である。共通の分解能は、たとえば、全てのアクチュエータアレイ内のアクチュエータの最大数の少なくとも 3 倍であることができる。それを越えると、

30

【 0 0 5 5 】

【 数 6 】

$$G_{ij} \in \mathcal{C}^{m \times n_j}$$

【 0 0 5 6 】

（式中、 $i = 1, \dots, N_y$ および $j = 1, \dots, N_u$ ）は、 ij 番目のサブプラントの空間マトリクス応答を表し、サブプラントは、1 つまたは複数のセンサアレイによって監視されるプロセス 2 0 4 の一部分を表す。さらに、 $h_{ij}(s)$ は、 ij 番目のサブプラントの動的応答を表し、

【 0 0 5 7 】

40

【数 7】

$$h_{ij}(s) = \frac{e^{-T_{dij}s}}{1 + T_{pij}s}. \quad (2)$$

【0058】

として規定されてもよい。この動的応答において、 T_{dij} および T_{pij} は、それぞれ、 ij 番目のサブプラントの時間遅延および時定数（秒単位）である。サブプラントの動特性は、式（2）に示す次数と異なる次数であってよい。

【0059】

式（2）に基づいて、 ij 番目のサブプラントの伝達関数は、状態空間フォーマット

10

【0060】

【数 8】

$$\dot{X}_{ij}(t) = A_{ij}^c X_{ij}(t) + B_{ij}^c U_j(t - T_{dij}), \text{ and} \quad (3)$$

$$Y_i(t) = \sum_{j=1}^{N_y} C_{ij}^c X_{ij}(t) + D_i(t), \quad (4)$$

【0061】

で表現されることができる。式中、

【0062】

20

【数 9】

$$A_{ij}^c = -\frac{1}{T_{pij}} I_{m \times m} \in \mathbb{R}^{m \times m}, \quad (5)$$

$$B_{ij}^c = \frac{1}{T_{pij}} G_{ij} \in \mathbb{R}^{m \times n_j}, \text{ and} \quad (6)$$

$$C_{ij}^c = I_{m \times m}. \quad (7)$$

【0063】

である。この特定の伝達関数において、 $i = 1, \dots, N_y$ 、 $j = 1, \dots, N_u$ 、および $I_{m \times m}$ は、 $m \times m$ 単位行列を表す。行列

30

【0064】

【数 10】

$$A_{ij}^c, B_{ij}^c,$$

【0065】

および

【0066】

【数 11】

$$C_{ij}^c$$

40

【0067】

内の c の値は、連続時間領域内の状態空間を指し、時間遅延 T_{dij} は、秒単位である。サブプラントの動特性が、式（2）に示す実施例と異なるとき、行列

【0068】

【数 12】

$$A_{ij}^c, B_{ij}^c,$$

【0069】

および

50

【 0 0 7 0 】

【 数 1 3 】

 C_{ij}^c

【 0 0 7 1 】

は、異なる形態をとってもよい。

離散時間状態空間モデル 3 0 4 が、固定制御間隔 T_c (センサの走査 / サンプルング時間 T_s の整数倍に等しい) に基づく場合、離散時間状態空間モデル 3 0 4 は、

$$X_{ij}(k+1) = A_{ij} X_{ij}(k) + B_{ij} U_j(k - t_{dij}) \quad \text{および} \quad (8)$$

【 0 0 7 2 】

【 数 1 4 】

$$Y_i(k) = \sum_{j=1}^{N_y} C_{ij} X_{ij}(k) + D_i(k), \quad (9)$$

【 0 0 7 3 】

として規定されることができる。式中、

【 0 0 7 4 】

【 数 1 5 】

$$A_{ij} = e^{-\frac{T_c}{T_{pv}}} I_{m \times m}, \quad (10)$$

$$B_{ij} = (1 - e^{-\frac{T_c}{T_{pv}}}) G_{ij}, \quad (11)$$

【 0 0 7 5 】

$$C_{ij} = I_{m \times m}, \quad \text{および} \quad (12)$$

【 0 0 7 6 】

【 数 1 6 】

$$t_{dij} = \text{floor}\left(\frac{T_{dij}}{T_c}\right) \quad (13)$$

【 0 0 7 7 】

であり、式中、関数 $\text{floor}(x)$ は、(x の値を、マイナスインフィニティに対して直近の整数に四捨五入する MATLAB コマンドを使用することによるなどで) x の整数部を返す。この離散時間表現は、離散時間状態空間モデル 3 0 4 が、非整数時間遅延システム (非同期センサを有するシステムなど) について測定値または状態を正確に予測することを可能にする。

【 0 0 7 8 】

これらのモデルおよびセンサ 1 2 2、1 2 4 からの測定値が与えられたとすると、測定値予測器 2 0 6 は、センサからの実際の (real) 測定値に基づいて 1 つまたは複数のセンサについて測定値プロファイルを正確に予測するように動作する。さらに、測定値予測器 2 0 6 は、コントローラ 2 0 2 に対して必要とされる変更を減少させる、または、最小にするように実施されることができ、旧式の制御システム内で測定値予測器 2 0 6 を使用することに伴うコストを低減するのに役立つ場合がある。

【 0 0 7 9 】

以下は、複数の非同期センサについてのサポートが、測定値予測器 2 0 6 を使用して制御システム 1 0 4 内にどのように組み込まれることができるかを述べる。以下に述べる解決策は、3 つの章に分割される。第 1 は、単一入力、単一出力システム (1 つのセンサと 1 つのアクチュエータを制御するコントローラを有するシステム) について離散時間領域内で測定値を正確に予測する方法を述べる。第 2 は、推定 / 補正ユニット 3 0 6 が、測定値予測器 2 0 6 内で使用されることができる方法を述べる。第 3 は、上記技法を多次元シ

10

20

30

40

50

システム（複数のセンサアレイを有するシステム）に拡張する方法を述べる。

【 0 0 8 0 】

一般に、時間遅延 T_d が任意の正数であるため、予想される測定値は、式（ 3 ）および（ 4 ）から連続モデルに基づいて正確に得られることができる。しかし、離散時間領域において、商 T_d / T_c は、非整数値であることが多く、測定値は、システムの次数を増加させなくては、式（ 8 ）の固定サンプリング状態空間モデルに基づいて正確に予測されることができないことが多い。たとえば、図 5 A は、システムにおける固定制御間隔 T_c および時間遅延 T_d の使用を示す。ここで、 $T_d = p T_c + T_f$ であり、 p は商 T_d / T_c の非負整数部を表し、 T_f は、商 T_d / T_c の分数部を表す。図 5 A に関連するシステムは、単一入力、単一出力システムである。ここで、

【 0 0 8 1 】

【 数 1 7 】

$$y(t) = K_p \left(1 - e^{-\frac{1}{T_p} t} \right) u(t - T_d)$$

【 0 0 8 2 】

中、 $u(t - T_d)$ は、階段状一定コントローラ信号であり、 K_p は、プロセス利得である。

図 5 A は、分数時間遅延を扱う方法を示す。図 5 A に示す実施例では、時間遅延 T_d は、固定制御間隔 T_c より大きい。より具体的には、時間遅延 T_d は、1 つの完全な固定制御間隔 T_c と別の固定制御間隔の分数 T_f の和を表す。この実施例では、関数 $u(t)$ は、 $u_1(t) = u(t + p T_c)$ が時間遅延 T_d の整数部を表すものと規定することによって、また、仮想入力 $v(t) = u_1(t + T_f)$ が時間遅延 T_d の分数部を表すものと規定することによって修正されることができる。仮想入力を使用することによって、出力 $y(t)$ と仮想入力 $v(t)$ との間の遅延が存在せず、

【 0 0 8 3 】

【 数 1 8 】

$$y(t) = K_p \left(1 - e^{-\frac{1}{T_p} t} \right) v(t).$$

【 0 0 8 4 】

を意味する。

連続時間領域内の状態空間モデル

【 0 0 8 5 】

【 数 1 9 】

$$\dot{x}(t) = a^c x(t) + b^c u(t - T_d), \quad (14)$$

【 0 0 8 6 】

$$y(t) = C^c X(t) + d(t) \quad (15)$$

を使用して、図 5 A に示すシステムの動的応答を表現することが可能である。式中、

【 0 0 8 7 】

【 数 2 0 】

$$a^c = -\frac{1}{T_p}, \quad (16)$$

$$b^c = \frac{K_p}{T_p}, \quad (17)$$

【 0 0 8 8 】

$$C^c = 1$$

(1 8)

10

20

30

40

50

および

$$T_d = p T_c + T_f \quad (19)$$

である。時間 t ($t = n \times T_c$ 、 $n = 1, 2, \dots$) における測定値 $y(t)$ は、以下のよう
に正確に予測されることができる。連続時間領域内の式 (14) および (15) は、サ
ンプリング時間 T_f によって離散時間領域に変換される。状態は、その後、 $t = n T_c +$
 T_f ($n = 0, 1, 2, \dots$) において

$$x(t) = a^{d1} x(t - T_f) + b^{d1} u(n T_c - p T_c - T_c) \quad (20)$$

のように計算されることができる。式中、

【0089】

【数21】

$$a^{d1} = e^{-\frac{T_f}{T_p}}$$

【0090】

および

【0091】

【数22】

$$b^{d1} = K_p \left(1 - e^{-\frac{T_f}{T_p}} \right).$$

【0092】

である。センサが可変サンプリング時間であるため、連続時間 t が離散時間 k の代わりに
使用される。式 (14) および (15) は、異なるサンプリング時間 ($T_c - T_f$) によ
って再び離散時間領域に変換され、測定値 $y(t)$ は、時間 $t = n \times T_c$ において推定さ
れる。たとえば、これは、形態

$$x(t) = a^{d2} x(t - T_c + T_f) + b^{d2} u(t - p T_c - T_c) \quad (21)$$

および、 $t = n \times T_c$ ($n = 1, 2, \dots$) において

$$y(t) = c^{d2} x(t) + d(t) \quad (22)$$

をとってもよい。式中、

【0093】

【数23】

$$a^{d2} = e^{-\frac{T_c - T_f}{T_p}}, \quad b^{d2} = K_p \left(1 - e^{-\frac{T_c - T_f}{T_p}} \right)$$

【0094】

であり、 $c^{d2} = 1$ である。この実施例では、離散時間領域内の行列 a^{d1} 、 a^{d2} 、 b^{d1} 、
 b^{d2} は、式 (10) および (11) に示すようにサンプリング時間の関数
である。同様に、式 (20) を使用して、時間 $t = n \times T_c$ から時間 $t = n \times T_c + T_f$
まで状態を伝播させ、式 (21) を使用して、時間 $t = n \times T_c + T_f$ から時間 $t = (n$
 $+ 1) \times T_c$ まで状態を伝播させる。特定の実施形態では、システムが連続時間領域内
でモデル化される場合、可変サンプリング時間を伴う離散時間領域内のシステムの状態空間
モデルが決定されることができ、その離散出力は、誤差無しで正確に予測されることが
できる。

【0095】

図5Aに示される単一入力、単一出力システムは、複数入力、複数出力システムに拡張
されることができる。たとえば、複数入力、複数出力システム内の各サブプラントについ
ての状態は、別々に更新されることができ、全てのサブプラントは、制御アクション時間
で更新されることができであろう。換言すれば、状態および測定値は、可変サンプリ
ング時間 T_1 (T_f または $T_c - T_f$ に等しい) を使用して更新され、 $t = n \times T_c$ ($n =$
 $1, 2, \dots$) において

10

20

30

40

50

【 0 0 9 6 】

【 数 2 4 】

$$x_{ij}(t) = a_{ij}^d x_{ij}(t - T_1) + b_{ij}^d u_j(t - p_{ij}T_c - T_c), \quad (23)$$

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^{N_q} c_{ij}^d x_{ij}(t) + d_i(t), \quad (24)$$

【 0 0 9 7 】

である。

これは、単一入力、単一出力システムについて離散時間領域内で測定値を正確に予測する方法を述べた。以下は、推定 / 補正ユニット 3 0 6 が、測定値予測器 2 0 6 内で使用されることができる方法を述べる。先に述べたように、スキャナ 1 2 2、1 2 4 の 1 つまたは複数は、コントローラ 2 0 2 に同期化されなくてもよく、また、測定値予測器 2 0 6 は、スキャナ 1 2 2、1 2 4 の出力を予測し、予測された値をコントローラ 2 0 2 に提供してもよい。推定 / 補正ユニット 3 0 6 は、その後、スキャナ 1 2 2、1 2 4 からの実際の測定値が受信されると、予測される値を更新する、または、補正する。図 5 B は、図 5 A に示す技法が、制御アクションがセンサ出力に同期化されない状況を扱うように拡張される方法を示す。

10

【 0 0 9 8 】

図 5 B に示すように、固定制御間隔 T_c 中に、いくつかの異なる事が起こる可能性がある。仮想入力（各サブプラントについて特定の時間遅延だけ遅延したコントローラ出力であり、仮想入力イベントとコントローラアクションイベントとの間の期間はサブプラントの分数時間遅延である）および 1 つまたは複数のセンサ出力が受信される可能性がある。特定の実施形態では、複数のセンサ出力が受信されることができ、最新の、または、最近のセンサ出力だけが関連性がある。仮想入力は、センサ出力より早期か、センサ出力と同時か、または、センサ出力後に起こる可能性がある。図 5 B に示すように、各固定制御間隔 T_c は、仮想入力とセンサ出力が起こるときに応じて、2 つまたは 3 つの部分に分割される。これらの時間は、可変サンプリング時間として、および、上述した状態および測定値を予測するために使用される。しかし、センサ出力が生じると、状態は、新しい測定値を使用して推定 / 補正ユニット 3 0 6 によって補正されてもよい。たとえば、推定 / 補正ユニット 3 0 6 は、

20

【 0 0 9 9 】

【 数 2 5 】

$$\hat{x}_{ij}(t|t) = \hat{x}_{ij}(t) + L \times (y_{im}(t) - \hat{y}_i(t)), \quad (25)$$

【 0 1 0 0 】

を実施するように動作してもよい。式中、

【 0 1 0 1 】

【 数 2 6 】

$$\hat{x}_{ij}(t|t)$$

40

【 0 1 0 2 】

は、センサからの測定値 $y_{im}(t)$ に基づく補正後の状態を表し、 L は、補正ユニット利得（ $1 / N_u$ に等しくてもよい）を表し、

【 0 1 0 3 】

【 数 2 7 】

$$\hat{x}_{ij}(t)$$

【 0 1 0 4 】

および

50

【 0 1 0 5 】

【 数 2 8 】

$$\hat{y}_i(t)$$

【 0 1 0 6 】

は、予想される状態および測定値を表す。式 (2 5) の補正は、センサからの出力が、推定 / 補正ユニット 3 0 6 によって受信されたときに (図 5 B の時間 T_1 、 T_5 、および T_9 の終わりなどで) 起こってもよい。同様に、状態

【 0 1 0 7 】

【 数 2 9 】

$$\hat{x}_y(t)$$

【 0 1 0 8 】

は、(図 5 B の時間 T_2 、 T_6 、および T_{10} の始まりなどで) 補正された状態

【 0 1 0 9 】

【 数 3 0 】

$$\hat{x}_y(t|t)$$

【 0 1 1 0 】

によって置換られてもよい。特定の実施形態では、予想される測定値は、制御アクション
イベントが起こるときに更新されてもよいだけである。 20

特定の実施例では、時間 $t = T_c$ における測定値は、以下のように予測されてもよい。
式 (1 4) および (1 5) は、サンプリング時間 T_1 によって連続時間領域から離散時間
領域へ変換される。時間 $t = T_1$ における測定値は、

$$x(t) = a^{d-1} x(t - T_1) + b^{d-1} u(t - p T_c - T_c) \quad (26)$$

および

$$y(t) = c^{d-1} x(t) + d(t) \quad (27)$$

(式中、 $t = T_1$ である) として予測されることができる。状態は、その後、式 (2 5)
を使用して補正される。式 (1 4) および (1 5) は、

$$x(t) = a^{d-2} x(t - T_2) + b^{d-2} u(t - p T_c - T_c) \quad (28)$$

(式中、 $t = T_1 + T_2$ である) のように、サンプリング時間 T_2 によって連続時間領域
から離散時間領域へ変換される。式 (1 4) および (1 5) は、 30

$$x(t) = a^{d-3} x(t - T_3) + b^{d-3} u(t - p T_c - T_c) \quad (29)$$

および

$$y(t) = c^{d-3} x(t) + d(t) \quad (30)$$

(式中、 $t = T_c$ である) のように、サンプリング時間 T_3 によって連続時間領域から離
散時間領域へ再び変換される。最後に、 $t = T_c$ における予想される状態 / 測定値は、コ
ントローラ 2 2 に出力される。同様なプロセスを使用して、時間 $t = 2 T_c$ 、 $3 T_c$ 、...
における測定値を予測することができる。同様なプロセスは、また、複数の非同期センサ
を有する複数入力、複数出力システムに使用されることができる。 40

【 0 1 1 1 】

最後に、上記技法は、複数のセンサアレイを有する多次元システムで使用するために拡
張されてもよい。たとえば、スカラー入力 u およびスカラー出力 y は、それぞれ、ベクト
ル入力 U およびベクトル出力 Y に置換えられてもよい。時間 $t = T_c$ において測定値を正
確に予測することは、以下のように起こる可能性がある。式 (3) および (4) は、サン
プリング時間 T_1 によって連続時間領域から離散時間領域へ変換される。時間 $t = T_1$ に
おける測定値は、 $t = T_1$ において

【 0 1 1 2 】

【数 3 1】

$$X_y(t) = A_y^{d1} X_y(t - T_1) + B_y^{d1} U_j(t - p_y T_c - T_c), \text{ and} \quad (31)$$

$$Y_i(t) = \sum_{j=1}^{N_i} C_y^{d1} X_y(t) + D_i(t), \quad (32)$$

【0 1 1 3】

として予測されることができる。式中、

【0 1 1 4】

【数 3 2】

10

$$A_y^{d1} = a_y^{d1} I_{m \times m} = e^{-\frac{T_1}{T_{py}}} I_{m \times m}, \quad (33)$$

$$B_y^{d1} = b_y^{d1} G_y = \left(1 - e^{-\frac{T_1}{T_{py}}}\right) G_y, \quad (34)$$

$$C_y^{d1} = I_{m \times m}, \text{ and} \quad (35)$$

$$U_j \in \mathcal{C}^{n_j \times 1}, \quad Y_i, D_i \in \mathcal{C}^{m \times 1}. \quad (36)$$

【0 1 1 5】

20

である。状態は、時間 $t = T_1$ において補正され、更新されるため、

【0 1 1 6】

【数 3 3】

$$\hat{X}_y(t|t) = X_y(t) + L \times (Y_{lm}(t) - Y_i(t)), \quad (37)$$

$$X_y(t) = \hat{X}_y(t|t). \quad (38)$$

【0 1 1 7】

となる。式(3)は、 $t = T_1 + T_2$ において

【0 1 1 8】

30

【数 3 4】

$$X_y(t) = A_y^{d2} X_y(t - T_2) + B_y^{d2} U_j(t - p_y T_c - T_c), \quad (39)$$

【0 1 1 9】

のように、サンプリング時間 T_2 によって連続時間領域から離散時間領域へ再び変換される。式中、

【0 1 2 0】

【数 3 5】

$$A_y^{d2} = e^{-\frac{T_2}{T_{py}}} I_{m \times m}, \quad (40)$$

40

$$B_y^{d2} = \left(1 - e^{-\frac{T_2}{T_{py}}}\right) G_y, \quad (41)$$

$$C_y^{d2} = I_{m \times m}, \text{ and} \quad (42)$$

$$U_j \in \mathcal{C}^{n_j \times 1}, \quad X_y \in \mathcal{C}^{m \times 1}. \quad (43)$$

【0 1 2 1】

である。式(3)および(4)は、サンプリング時間 T_c によって連続時間領域から離散時間領域へさらに再び変換される。時間 $t = T_c$ における測定値は、 $t = T_1$ において

50

【 0 1 2 2 】

【 数 3 6 】

$$X_y(t) = A_y^{d3} X_y(t - T_3) + B_y^{d3} U_j(t - p_y T_c - T_c), \text{ and} \quad (44).$$

$$Y_i(t) = \sum_{j=1}^{N_y} C_y^{d3} X_y(t) + D_i(t); \quad (45)$$

【 0 1 2 3 】

として予測されることができる。式中、

【 0 1 2 4 】

【 数 3 7 】

$$A_y^{d3} = e^{-\frac{T_3}{T_{py}}} I_{m \times m}, \quad (46)$$

$$B_y^{d3} = \left(1 - e^{-\frac{T_3}{T_{py}}} \right) G_y, \quad (47)$$

$$C_y^{d3} = I_{m \times m}, \text{ and} \quad (48)$$

$$U_j \in \mathcal{C}^{n_j \times 1}, \quad Y_i, D_i \in \mathcal{C}^{m \times 1}. \quad (49)$$

【 0 1 2 5 】

である。こうして、上述した技法は、そのうちの少なくとも1つが（コントローラ 2 0 2 の制御間隔と比較して）非同期である複数のセンサアレイを有するシステムにおいて使用されることができる。

【 0 1 2 6 】

先の説明は、図 1 の抄紙機 1 0 2 で動作する図 2 の制御システム 1 0 4 内の測定値予測器 2 0 6 の1つの特定の実施態様を述べた。測定値予測器 2 0 6 および制御システム 1 0 4 の他の実施形態が、本開示の範囲から逸脱することなく、他のまたはさらなる方法で動作することができる。同様に、測定値予測器 2 0 6 は、抄紙機 1 0 2 の代わりに、または、抄紙機 1 0 2 に加えて他のデバイスを制御するように動作することができる。

【 0 1 2 7 】

一部の実施形態では、上述した種々の機能は、コンピュータ読み取り可能プログラムコードから形成され、かつ、コンピュータ読み取り可能媒体において具現化されるコンピュータプログラムによって実施される、または、サポートされる。句「コンピュータ読み取り可能プログラムコード」は、ソースコード、オブジェクトコード、および実行可能コードを含む任意のタイプのコンピュータコードを含む。句「コンピュータ読み取り可能媒体」は、読み取り専用メモリ（ROM）、ランダムアクセスメモリ（RAM）、ハードディスクドライブ、コンパクトディスク（CD）、デジタルビデオディスク（DVD）、または任意の他のタイプのメモリなどの、コンピュータによってアクセスされることが可能な任意のタイプの媒体を含む。

【 0 1 2 8 】

本特許文書を通して使用されるいくつかの語および句の定義を述べることに有利である場合がある。用語「結合する」および派生語は、2つ以上の要素間の直接的なまたは間接的な任意のつながり（これらの要素が互いに物理的に接触してもしなくても）を指す。用語「含む」および「備える」ならびにその派生語は、制限の無い包含を意味する。用語「または」は、包含的であり、および/または、を意味する。句「関連する」および「それに関連する」ならびにその派生語は、含む、内部に含まれる、相互接続する、収容する、内部に収容される、に、または、と接続する、に、または、と結合する、つながることができる、協働する、インタリーブする、並置する、近接する、に、または、と接合する、有する、特性を有する、または、同様なものを意味してもよい。用語「コントローラ」は

10

20

30

40

50

、少なくとも1つの動作を制御する任意のデバイス、システム、またはその一部を意味する。コントローラは、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、または、それらの少なくとも2つのある組合せで実施されてもよい。任意特定のコントローラに関連する機能は、ローカルであろうが遠隔であろうが、集中化されてもよく、または、分散されてもよい。

【0129】

本開示は、いくつかの実施形態および一般に関連する方法を述べたが、これらの実施形態および方法の修正および置換は、当業者に明らかであろう。それに応じて、例示的な実施形態の上記説明は、本開示を規定または制限しない。添付の特許請求の範囲によって規定される本開示の趣旨および範囲から逸脱することなく、他の変更、置換、および修正も可能である。

【図面の簡単な説明】

【0130】

【図1】本開示の一実施形態による例示的な紙生産システムを示す図である。

【図2】本開示の一実施形態による紙生産システム内の例示的な制御システムを示す図である。

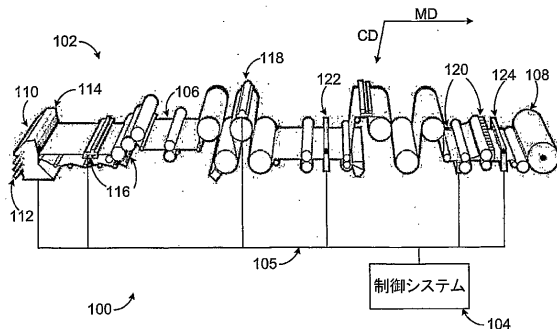
【図3】本開示の一実施形態による制御システム内の例示的な測定値予測器を示す図である。

【図4】本開示の一実施形態による非同期センサ情報に基づく測定値予測を使用して抄紙機または他の機械を制御する例示的な方法を示す図である。

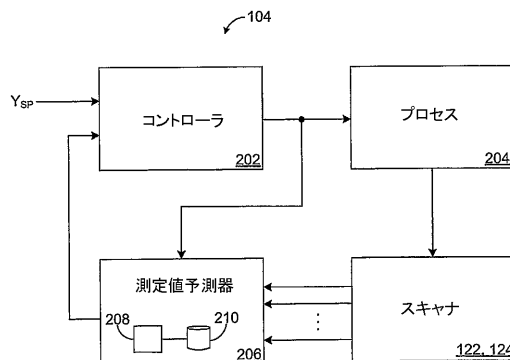
【図5A】本開示の一実施形態による測定値予測器の例示的な動作を示す図である。

【図5B】本開示の一実施形態による測定値予測器の例示的な動作を示す図である。

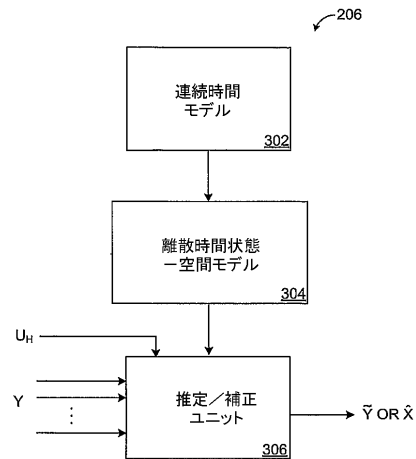
【図1】



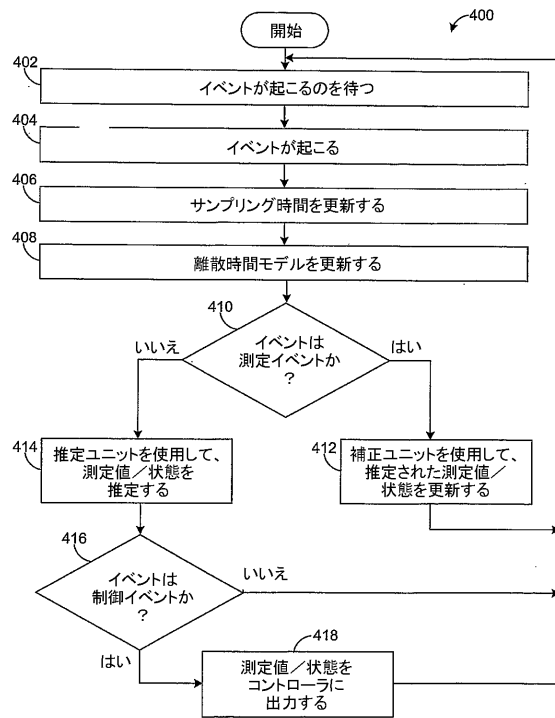
【図2】



【図3】



【図 4】



フロントページの続き

(74)代理人 100096013

弁理士 富田 博行

(74)代理人 100107696

弁理士 西山 文俊

(72)発明者 バックストロム, ジョハン・ユー

カナダ国ブリティッシュ・コロンビア ヴィ7エル 4エス7, バンクーバー, ノース, セント・
アンドリュース・アベニュー 421

(72)発明者 ファン, ジュンチャン

カナダ国ブリティッシュ・コロンビア ヴィ5ズィー 2ピー8, バンクーバー, ウェスト・フォー
ティフィフス・アベニュー 696, アpartment 226

(72)発明者 ヒー, ペンリン

カナダ国ブリティッシュ・コロンビア ヴィ3エム 5ティー9, ニュー・ウエストミンスター,
ナインス・ストリート 1203-525

(72)発明者 スチュワート, グレゴリー・イー

カナダ国ブリティッシュ・コロンビア ヴィ7ジェイ 3エス4, バンクーバー, ノース, ブルッ
クスバンク・アベニュー 500

審査官 佐々木 一浩

(56)参考文献 特開平11-007307(JP, A)

国際公開第2004/099886(WO, A1)

国際公開第2003/096130(WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 11/36

D21F 7/00

G05B 13/04