

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 6 部門第 3 区分

【発行日】令和 2 年 10 月 22 日 (2020.10.22)

【公開番号】特開 2018-116693 (P2018-116693A)

【公開日】平成 30 年 7 月 26 日 (2018.7.26)

【年通号数】公開・登録公報 2018-028

【出願番号】特願 2017-238604 (P2017-238604)

【国際特許分類】

G 0 6 Q 10/04 (2012.01)

G 0 6 N 20/00 (2019.01)

G 0 6 Q 10/00 (2012.01)

G 0 1 M 99/00 (2011.01)

G 0 5 B 23/02 (2006.01)

【F I】

G 0 6 Q 10/04

G 0 6 N 99/00 1 5 3

G 0 6 Q 10/00 3 0 0

G 0 1 M 99/00 Z

G 0 5 B 23/02 G

【手続補正書】

【提出日】令和 2 年 9 月 10 日 (2020.9.10)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 2 1

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 2 1】

【図 1 A】本開示の一実施の形態による、機械の動作に関する予測推論のモデルを求めるシステムを示すブロック図である。

【図 1 B】本開示の一実施の形態による、図 1 A のシステムの構成要素を示す模式図である。

【図 1 C】本開示の一実施の形態による、図 1 A における予測推論アルゴリズムのメインモジュールを示す(a)(b)がグラフ、(c)がブロック図である。

【図 1 D】本開示の一実施の形態による、機械の動作に関する予測推論のモデルを求める図 1 A のシステムステップを示すブロック図である。

【図 2】本開示の一実施の形態によるサンプル入力時系列を示すグラフである。

【図 3】本開示の実施の形態による、ランダム射影フィルタバンクによって処理されているサンプル入力時系列を示すグラフである。

【図 4】本開示の実施の形態による、ランダム射影フィルタバンクにおける少数のランダムフィルタのインパルス応答を示す(a)(b)を含むグラフである。

【図 5】本開示の実施の形態による、入力時系列を与えられたランダム射影フィルタバンクの多数の出力時系列を示す(a)(b)(c)を含むグラフである。

【図 6】本開示の実施の形態による、ランダム射影フィルタバンク内の 1 つのランダム射影フィルタを用いた時系列予測の予測推論のサンプル性能を示すグラフである。

【図 7】本開示の実施の形態による、ランダム射影フィルタバンク内の 2 つのランダム射影フィルタを用いた時系列予測の予測推論のサンプル性能を示すグラフである。

【図 8】本開示の実施の形態による、ランダム射影フィルタバンク内の 5 つのランダム射影フィルタを用いた時系列予測の予測推論のサンプル性能を示すグラフである。

【図 9】本開示の実施の形態による、共役根の対及び単根を有する自己回帰移動平均フィルターの極の位置の一例を示すグラフである。

【図 10】本開示の実施の形態による、共役根の対及び単根を有する自己回帰移動平均フィルターの極と、ランダム射影フィルターに対応する 3 つの極との位置の一例を示すグラフである。

【図 11】本開示の実施の形態による、共役根の対及び単根を有する自己回帰移動平均フィルターの極と、ランダム射影フィルターに対応する 5 つの極との位置の一例を示すグラフである。

【図 12】本開示の実施の形態による、共役根の対及び単根を有する自己回帰移動平均フィルターの極と、ランダム射影フィルターに対応する 7 つの極との位置の一例を示すグラフである。

【図 13】本開示の実施の形態による、共役根の対及び単根を有する自己回帰移動平均フィルターの極と、ランダム射影フィルターに対応する 12 個の極との位置の一例を示すグラフである。

【図 14】本開示の実施の形態による、共役根の対及び単根を有する自己回帰移動平均フィルターの極と、ランダム射影フィルターに対応する 17 個の極との位置の一例を示すグラフである。

【図 15 A】本開示の一実施の形態による、第 2 の機械からの第 2 の時系列データを組み込んで予測推論の第 2 のモデルを求め、この第 2 の機械の予測推論の求められた第 2 のモデルと比較される、記憶されている予測推論の事前に求められたモデルを用いて、第 2 の機械の故障を予測する別の実施の形態のステップを示すブロック図である。

【図 15 B】本開示の一実施の形態による、図 15 A のシステムの構成要素を示す模式図である。

【図 16 A】本開示の一実施の形態による、第 3 の機械のセンサーからの第 1 の時系列データ及び第 2 の時系列データを組み込んでこの第 3 の機械の予測推論の 2 つの新たなモデルを求め、この第 3 の機械の予測推論の求められた 2 つの新たなモデルと比較される、記憶されている予測推論の事前に求められたモデルを用いて、第 3 の機械の故障を予測する別の実施の形態のステップを示すブロック図である。

【図 16 B】本開示の一実施の形態による、図 16 A のシステムの構成要素を示す模式図である。

【図 17】本開示の実施の形態による、代替のコンピューター又はプロセッサを用いて実現することができる図 1 A の方法を示すブロック図である。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0028

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0028】

本開示の実施の形態の概略

図 1 A 及び図 1 B は、本開示の一実施の形態による、機械 102 の動作を表す時系列データにおいてパターンを求めるシステム 100 を示すブロック図および模式図である。システム 100 は、機械 102 と通信するセンサー 104 を備える。コンピューター可読メモリ 112 は、機械 102 と通信するセンサー 104 によって生成された時系列データのセットを記憶及び提供する。この時系列データは、当該時系列データが或る期間の間の機械 102 の動作を表すようなトレーニング時系列データ及びテスト時系列データを含み、トレーニング時系列データは、予測推論の結果を用いてラベル付けされた観測値を含む。センサー 104 は、機械 102 の動作データを収集し、この動作データは、メモリ 106 に記憶することができるか又は入力インターフェース/プリプロセッサ 108 に直接記憶することができるか、その後、プロセッサ 114 に送信することができる。このデータは、処理されると、メモリ 112 に記憶されるか、又は出力インターフェース 116 を介して出

力される。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0041

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0041】

図1Cは、予測推論モデルが、トレーニング時系列データ及びテスト時系列データと、RPF Bと、予測器とに基づいてどのように求められるのかを示す(a)(b)がグラフ、(c)がブロック図である。(b)のトレーニング時系列119A、119B、119Cは、事前に収集されるのに対して、(a)のテスト時系列111は、機械のセンサーから受信される。双方の時系列はRPF Bを通して進み、RPF B内で、各時系列はランダムに生成された安定フィルタ及び再帰フィルタのセットを通過する。出力は、RPF B内のフィルタの数に等しい次元dを有する(c)の情報提供ベクトル113A、113Bの時系列である。この情報提供ベクトルは、機械学習アルゴリズムである予測器に入力として与えられる。予測器の選択は、解く問題に依存する。目標が、機械の残存耐用年数を推定することである場合、これは、多次元入力とともに機能することができる任意の標準回帰推定器とすることができる。障害診断の場合、これは、分類器とすることができる。(c)の出力117は、予測推論モデルの予測である。

【手続補正 4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0058

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0058】

図3は、本開示の実施の形態による、RPF Bを通して進む入力時系列301を示すグラフである。入力時系列 $X_1, X_2, X_3, \dots$ は、RPF B302を通して進み、多数の時系列を出力303として生成する。生成される出力時系列の数は、RPF B内のフィルタの数dと同じである。RPF B302は、図1Cの(c)における115と同じである。入力時系列301は、図1Cにおけるトレーニング時系列119A、119B、119C又はテスト時系列111のいずれかとすることができる。

【手続補正 5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0059

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0059】

図4の(a)(b)は、本開示の実施の形態による、RPF Bの内部動作を示すグラフである。d個のランダム射影フィルタ402がRPF Bの内部に存在する。各フィルタは、その入力として時系列を取得し、その出力として時系列を生成するランダムに生成された再帰フィルタ及び安定フィルタである。d個の全てのフィルタの出力を組み合わせることによって、RPF Bの情報提供ベクトル出力が生成される。図4の(a)(b)において、(a)の入力401は図3の301と同じであり、(b)の出力403は図3の303と同じであることを示す。(b)にはRPF B内部のランダム射影フィルタのインパルス応答が、404で示されている。様々な異なる挙動を有する可能性があり、それらの挙動のうちの幾つかは、多少の振動及び異なる減衰時間を有する。これらの挙動はランダムに生成される。数学的に定義するために、Z変換の数式記法を用いることができる。 $z^{-1}$ を、 $z^{-1}X_t = X_{t-1}$ となるような時間遅延演算子とする。この定義を用いると、以下の有理多項式は、Z'に極を有する自己回帰フィルタを定義する。

【手続補正 6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0064

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0064】

図5の(a)(b)(c)は、本開示の実施の形態による、入力時系列を与えられたRPF Bのサンプル出力を示すグラフである。(a)のサンプル入力時系列501は、(b)のRPF B502を通して進み、(b)の出力時系列503A、503B、(c)の503C、503Dを生成する。出力時系列の各時間ステップに対応するベクトルは、予測器116に与えられる情報提供ベクトルを規定する。入力時系列がトレーニング時系列119A、119B、119Cであるのか又はテスト時系列111であるのかに応じて、503A、503B、503C、503Dに基づいて規定される情報提供ベクトルは、それぞれ113A又は113Bに対応する。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0073

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0073】

図15Bは、本開示の一実施の形態による、図15Aのシステムの構成要素を示す模式図である。第2の機械1502は、任意選択でメモリ106に接続されるか又はプリプロセッサ108に直接接続されるセンサー1504を備えることができ、プリプロセッサは、メモリ112に接続されてもよい。プリプロセッサは、データを処理のためにプロセッサ114に送信し、処理されたデータは、メモリ112に記憶することもできるし、出力インターフェース116を介して出力することもできる。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0078

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0078】

図16Bは、本開示の一実施の形態による、図16Aのシステムの構成要素を示す模式図である。第3の機械1602は、任意選択でメモリ1606に接続されるか又はプリプロセッサ108に直接接続されるセンサー1604を備えることができ、プリプロセッサは、メモリ112に接続されてもよい。プリプロセッサ108は、データを処理のためにプロセッサ114に送信し、処理されたデータは、メモリ112に記憶することもできるし、出力インターフェース116を介して出力することもできる。

【手続補正9】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

機械の状態の予測に基づき機械の健全性を管理するシステムであって、機械の状態の予測は機械の動作に関する予測推論のモデルを求めることで行い、

前記機械と通信して時系列データを生成するセンサーと、

前記時系列データを受けて非一時的コンピューター記憶媒体に記憶させる入力インターフェースであって、前記時系列データはトレーニング時間に得られるトレーニング時系列データ及びテスト時間に得られるテスト時系列データを含み、前記時系列データは或る期

間の間の前記機械の動作を表し、前記トレーニング時系列データは、前記予測推論の結果を用いてラベル付けされた事前に求められた観測値を含むものと、

コントローラーと、

前記入力インターフェース、前記非一時的コンピューター記憶媒体、および前記コントローラーと通信するプロセッサと、

を備え、

前記プロセッサは、

記憶された前記時系列データにアクセスすることと、

フィルタリングを行う再帰フィルタ及び安定フィルタのセットを、前記トレーニング時間に前記トレーニング時系列データに又は前記テスト時間に前記テスト時系列データに、又は双方において適用して、フィルタリングされた時系列データのセットを取得することであって、前記フィルタリングされた時系列データのセット内のデータ点は、対応する観測値と、該対応する観測値に先行する前記時系列データ内の過去の観測値との関数である前記時系列データ内の観測値に対応するようになっていないことと、

前記機械の動作に関する前記予測推論の求められた前記モデルを取得するために、フィルタのセットを用いて前記トレーニング時系列データをフィルタリングしてフィルタリングされたトレーニング時系列データのセットを生成することに基づいて、前記トレーニング時系列データを用いて前記予測推論の前記モデルを求めて、求めた前記モデルを前記非一時的コンピューター記憶媒体に記憶することと、

前記プロセッサと通信する前記入力インターフェースを介して求めた前記モデルを前記コントローラーに出力することと、

求めた前記モデルを前記コントローラーが受けて、前記機械の動作に関する前記予測推論の求めた前記モデルに従って、前記コントローラーが前記機械の障害の診断又は推定残存耐用年数を提供して、前記機械の健全性を管理することと、

を行うように構成されている、システム。

【請求項 2】

前記トレーニングは、

前記トレーニング時系列データからの、前記機械を観測する前記センサーから取得された異なるフィルタリングされた時系列データからのデータ点を用いて情報提供ベクトルを形成することと、

前記情報提供ベクトルをその入力として用いる機械学習アルゴリズムを用いて前記モデルをトレーニングすることと、

を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記フィルタのセット内の前記各フィルタは、前記プロセッサによって、前記非一時的コンピューター記憶媒体に記憶されている前記フィルタのセット内の他の前記フィルタと並列に処理される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記フィルタのセットは、ランダム射影フィルタであり、ランダム射影フィルタバンクを集合的に規定する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記ランダム射影フィルタは、入力として前記時系列データを受信し、その後、情報ベクトルの出力を出力する、ランダムに選ばれたパラメーターを有する自己回帰フィルタのセットを含む、請求項 4 に記載のシステム。

【請求項 6】

前記時系列データは、前記ランダム射影フィルタバンクにおける前記フィルタのセット内の前記各フィルタによって処理され、前記各フィルタの出力が時系列の形になるように、前記ランダム射影フィルタバンクの前記フィルタのセット内の前記各フィルタから前記出力を生成し、追加の時系列データがその後にアクセスされた場合、前記出力の時系列も変化する、請求項 4 に記載のシステム。

**【請求項 7】**

前記フィルターのセットから選択されるフィルターの数は、前記非一時的コンピューター記憶媒体のハードウェア制約及び前記プロセッサのハードウェア制約に基づくとともに、前記予測推論のモデルの予測の質に基づいているモデル選択手順との組み合わせで選択される、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 8】**

前記フィルターのセット内のフィルターの数は、前記非一時的コンピューター記憶媒体のハードウェア容量及び前記プロセッサのハードウェア処理制約に基づいて処理することが可能な前記フィルターの最大数と、モデル選択に基づいている前記予測推論の前記モデルの予測の質を最適化するのに必要とされる前記フィルターの正確な数との関数に依存する、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 9】**

前記プロセッサは、前記再帰フィルターが自己回帰フィルター及び非自己回帰フィルターを含み、前記安定フィルターが非発散フィルターを含むように、ランダムに選択された前記安定フィルター及び前記再帰フィルターのセットを規定する数のセットをランダムに選ぶことによって前記フィルターのセットを決定する、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 10】**

前記再帰フィルターは、前記非一時的コンピューター記憶媒体に記憶された内部状態を有するソフトウェアモジュールを含み、入力として前記時系列データを受信し、その後、前記ソフトウェアモジュールの前記内部状態と、前記受信された入力とに基づく値を出力し、前記非一時的コンピューター記憶媒体を更新する、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 11】**

前記安定フィルターは有理多項式を含み、該有理多項式の分母は、根の大きさが 1 以下であるような、実数又は複素数のいずれかである前記根を有する多項式である、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 12】**

前記モデルは機械学習モデルであり、前記フィルターのセットはランダム射影フィルターであり、前記機械学習モデルは、前記ランダム射影フィルターの出力によって与えられたベクトルに作用する回帰推定器、分類器、又は密度推定器を含む、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 13】**

前記予測推論は、時系列予測、障害予知を目的とした残存耐用年数の推定、障害の認識及び検出、障害診断、又は時系列データの要約から利益を得る他の機械学習タスクのうちの 1 つからなる群からのものである、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 14】**

前記フィルターのセットは、ランダム射影フィルターバンクであり、該ランダム射影フィルターバンクは、前記時系列データを処理し、前記時系列データを近似的に要約するベクトルを提供し、前記ランダム射影フィルターバンクの出力は、時系列を記述する前記ベクトルの次元よりも低い次元を有する低次元ダイナミカルシステムを記述する、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 15】**

前記フィルターのセットは、ランダム射影フィルターバンクであり、該ランダム射影フィルターバンクは、多数の安定ランダム射影フィルターを含み、該各ランダム射影フィルターは、ランダムに選ばれた極及び零点を有する分子多項式及び分母多項式によって記述される安定自己回帰移動平均フィルターであり、前記極は前記分母多項式の根であり、前記零点は前記分子多項式の根である、請求項 1 に記載のシステム。

**【請求項 16】**

前記プロセッサ及び前記非一時的コンピューター記憶媒体と通信するユーザーインターフェースが、ユーザーによる該ユーザーインターフェースの表面からの入力を受信すると、前記時系列データを入手し、該時系列データが前記プロセッサによってアクセス可能で

あるように前記非一時的コンピューター記憶媒体に記憶する、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 17】

方法を実行するコンピューターによって実行可能なプログラムが具現化された非一時的コンピューター可読記憶媒体であって、前記方法は、機械の状態の予測に基づき該機械の健全性を管理し、前記機械の状態の予測は該機械の動作に関する予測推論のモデルを求めることによって求められるものであり、

該非一時的コンピューター可読記憶媒体からの、前記機械と通信するセンサーによって生成された記憶されている時系列データを用いることであって、前記時系列データは、トレーニング時間に得られるトレーニング時系列データ及びテスト時間に得られるテスト時系列データを含むようになっており、前記時系列データは、或る期間の間の前記機械の動作を表し、前記トレーニング時系列データは、前記予測推論の結果を用いてラベル付けされた観測値を含むことと、

フィルタリングを行う再帰フィルター及び安定フィルターのセットを、前記トレーニング時間に前記トレーニング時系列データに又は前記テスト時間に前記テスト時系列データに、又は双方において適用して、フィルタリングされた時系列データのセットを取得することであって、前記フィルタリングされた時系列データのセット内のデータ点は、対応する観測値と、該対応する観測値に先行する前記時系列データ内の過去の観測値との関数である前記時系列データ内の観測値に対応するようになっており、前記トレーニング時間における前記フィルタリングは、該フィルタリングのための前記トレーニング時系列データを用い、前記テスト時間における前記フィルタリングは、該フィルタリングのための前記テスト時系列データを用いることと、

前記機械の動作に関する前記予測推論の求められた前記モデルを取得するために、フィルターのセットを用いて前記トレーニング時系列データをフィルタリングしてフィルタリングされたトレーニング時系列データのセットを生成することに基づいて、前記トレーニング時系列データを用いて前記予測推論の前記モデルを求めて、求めた前記モデルを前記非一時的コンピューター可読記憶媒体に記憶することと、

求めた前記モデルを出力インターフェースを介してコントローラーに出力することと、求めた前記モデルを前記コントローラーで受けて、前記機械の動作に関する前記予測推論の求めた前記モデルに従って、前記コントローラーが前記機械の障害の診断又は推定残存耐用年数を提供して、前記機械の健全性を管理し、前記予測推論の求めた前記モデルは、前記機械の健全性、障害のタイプ又は前記機械の残存耐用年数の認識を援助することと、

からなる工程を含み、前記方法の各工程は前記非一時的コンピューター可読記憶媒体、前記出力インターフェース及び前記コントローラーと通信するプロセッサを使用して実行される、非一時的コンピューター可読記憶媒体。

【請求項 18】

前記時系列データは、前記プロセッサと通信する入力インターフェースによってアクセスされ、条件が、それぞれの前記予測推論について解くために規定されているか又はユーザー入力によって規定されているとき、前記テスト時系列データは、前記トレーニング時系列データとして用いられる、請求項 17 に記載の非一時的コンピューター可読記憶媒体

【請求項 19】

機械の状態の予測に基づき該機械の健全性を管理する方法であって、前記機械の状態の予測は該機械の動作に関する予測推論の機械学習モデルを求めることによって求められるものであり、

コンピューター可読メモリからの、前記機械と通信するセンサーによって生成された記憶されている時系列データにアクセスすることであって、前記時系列データは、トレーニング時間に得られるトレーニング時系列データ及びテスト時間に得られるテスト時系列データを含むようになっており、前記時系列データは、或る期間の間の前記機械の動作を表

し、前記トレーニング時系列データは、前記予測推論の結果を用いてラベル付けされた観測値を含むことと、

フィルタリングを行う再帰フィルター及び安定フィルターのセットを、前記トレーニング時間に前記トレーニング時系列データに又は前記テスト時間に前記テスト時系列データに、又は双方において適用して、フィルタリングされた時系列データのセットを取得することであって、前記フィルタリングされた時系列データのセット内のデータ点は、対応する観測値と、該対応する観測値に先行する前記時系列データ内の過去の観測値との関数である前記時系列データ内の観測値に対応するようになっており、前記トレーニング時間における前記フィルタリングは、該フィルタリングのための前記トレーニング時系列データを用い、前記テスト時間における前記フィルタリングは、該フィルタリングのための前記テスト時系列データを用いることと、

前記機械の動作に関する前記予測推論の求められた前記機械学習モデルを取得するために、フィルターのセットを用いて前記トレーニング時系列データをフィルタリングしてフィルタリングされたトレーニング時系列データのセットを生成することに基づいて、前記トレーニング時系列データを用いて前記予測推論の前記機械学習モデルを求めて、求めた前記機械学習モデルを前記コンピューター可読メモリに記憶することと、

求めた前記機械学習モデルを出力インターフェースを介してコントローラーに出力することと、

求めた前記機械学習モデルを前記コントローラーで受けて、前記機械の動作に関する前記予測推論の求めた前記機械学習モデルに従って、前記コントローラーが前記機械の障害の診断又は推定残存耐用年数を提供して、前記機械の健全性を管理することと、

からなる工程を含み、

前記方法の各工程は前記コンピューター可読メモリ、前記出力インターフェース及び前記コントローラーと通信するプロセッサを使用して実行される、方法。

【手続補正 10】

【補正対象書類名】図面

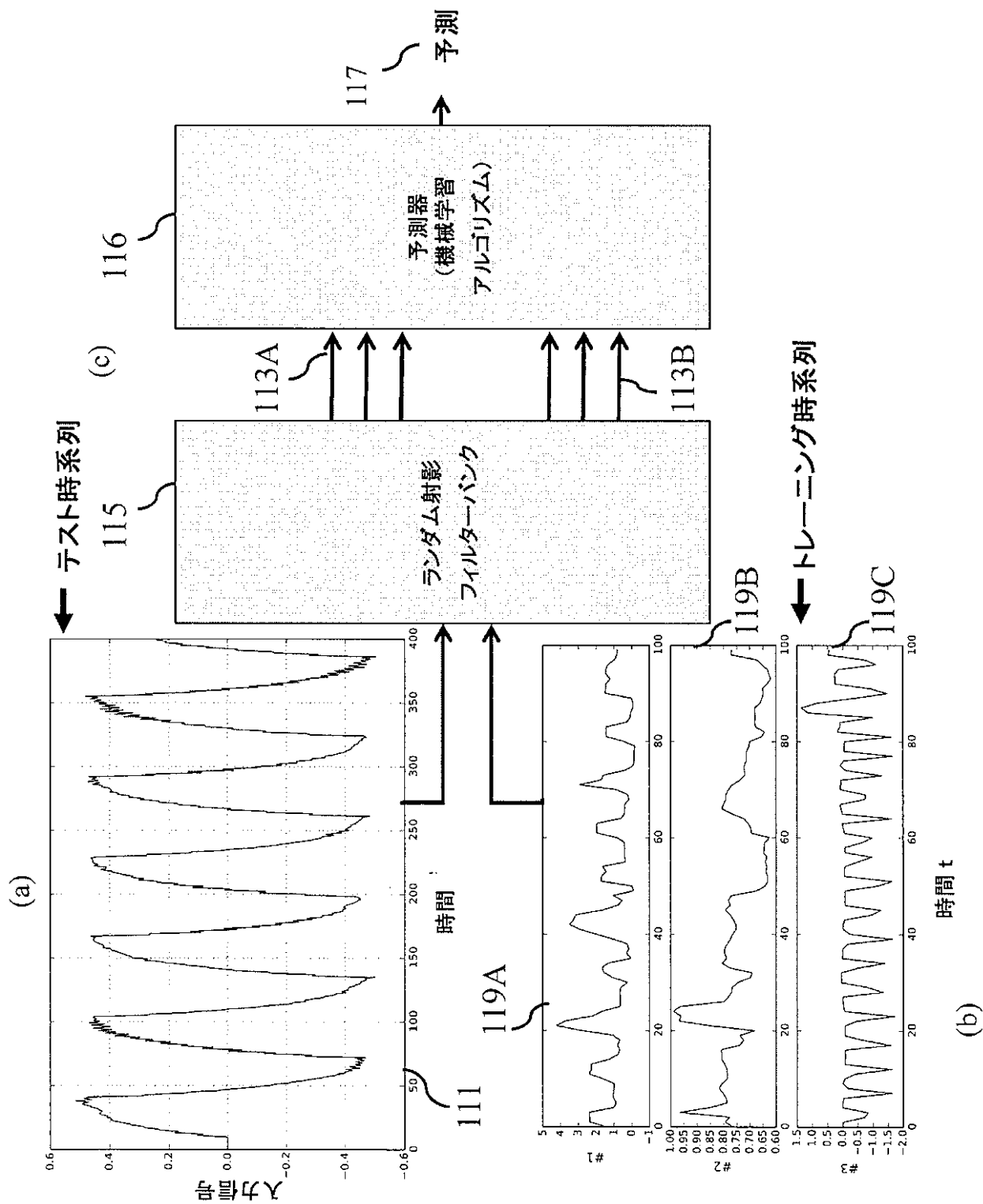
【補正対象項目名】図 1 C

【補正方法】変更

【補正の内容】



【図 1 C】



【手続補正 1 1】

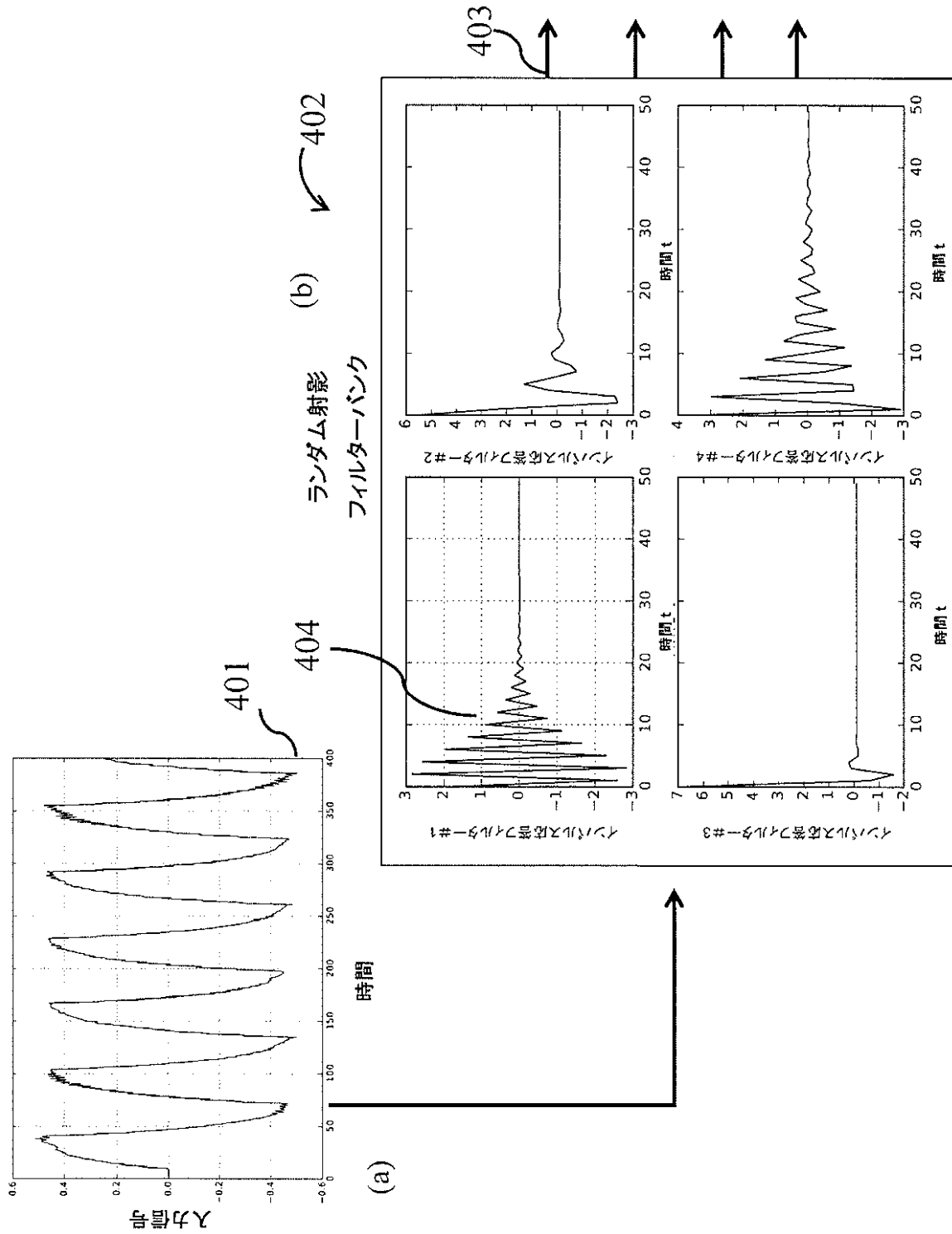
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 4

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 4】



【手続補正 1 2】

【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図 5

【補正方法】変更

【補正の内容】

【図 5】

