

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5295352号
(P5295352)

(45) 発行日 平成25年9月18日(2013.9.18)

(24) 登録日 平成25年6月21日(2013.6.21)

(51) Int.Cl.

F I

G 0 5 B 23/02 (2006.01)

G 0 5 B 23/02

T

G 0 5 B 23/02

R

請求項の数 8 (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2011-502289 (P2011-502289)
 (86) (22) 出願日 平成21年4月1日(2009.4.1)
 (65) 公表番号 特表2011-520170 (P2011-520170A)
 (43) 公表日 平成23年7月14日(2011.7.14)
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2009/002378
 (87) 国際公開番号 W02009/121583
 (87) 国際公開日 平成21年10月8日(2009.10.8)
 審査請求日 平成22年11月11日(2010.11.11)
 (31) 優先権主張番号 0852171
 (32) 優先日 平成20年4月2日(2008.4.2)
 (33) 優先権主張国 フランス (FR)

(73) 特許権者 507346236
 ユーロピアン エアロノティック ディフ
 ェンス アンド スペース カンパニー
 イーズ フランス
 EUROPEAN AERONAUTIC
 DEFENCE AND SPACE
 COMPANY EADS FRANCE
 フランス共和国, エフ-75781 パリ
 セデックス 16, ブールヴァール ド
 ウーモンモランシー, 37
 (74) 代理人 100123869
 弁理士 押田 良隆
 (72) 発明者 モロー, カテル
 フランス国, F-75015, パリ, リュ
 ・ドゥ・ラ・クロワ・ニヴェール, 85
 最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 システムに関する動作予測を特定するための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- システムに関する動作予測を特定するための方法であり、
 - 前記システムを取り巻く環境の環境値の測定が行われ、
 - 前記システムのダメージを特定するためにこれらの測定値が中央処理装置で処理され、
 - このダメージが前記環境における前記システムのヒストリに由来しており、かつ
正常動作の寿命予測が推測される方法において、
 - 前記予測が、前記環境における前記システムのヒストリから特定されるダメージの
 区分的線形回帰を使用して推測されることを特徴とする方法。

【請求項 2】

- 現時点でのダメージの進み具合の傾向が測定され、現時点で、故障するまでの動作の寿
 命予測が修正されて推測されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記傾向が適合可能な数値的回帰を使用して測定されることを特徴とする請求項 2 に記
 載の方法。

【請求項 4】

前記線形回帰が全ての測定地点に適用されることを特徴とする請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

- 新しい傾向が、最大 200 地点まで並行して計算されることを特徴とする請求項 4 に記

10

20

載の方法。

【請求項 6】

- 第 1 の傾向が計算され、

- 次いで第 2 の傾向が最大 200 地点までずれて計算され、前記第 1 の傾向を示す直線と前記第 2 の傾向を示す直線との組み合わせることによって前記第 1 の傾向が修正されることを特徴とする請求項 3 から 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

- 楽観的予測と悲観的予測の 2 つの予測が測定され、実際の予測がこれら 2 つの予測の間にあることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

- 特に監視されるシステムの電子カード上のろう付け接合部の温度が測定されることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の目的は、システムの環境値からこのシステムに関する動作予測をリアルタイムで特定するための方法である。本発明は、航空学、原子力、造船業、自動車産業、石油化学などの分野で特に有利ではあるが、排他的ではない用途を見いだす。

【0002】

本発明の目的は、システムの故障をリアルタイムで特定することによって監視下にあるこのシステムのメンテナンスを最適化することである。本発明の別の目的は、監視されるシステム内に監視デバイスを搭載することである。本発明の別の目的は、監視下にあるシステムに関する寿命の終わりの予測をリアルタイムで特定することである。

【背景技術】

【0003】

現在のところ、監視下にあるシステム（実際には電子カードである）の診断は、環境値を記録するデバイスによって行われている。このデバイスは、時間ストレス測定デバイス、TSM Dとして知られている。このようなデバイスは、特許文献 1 に記載されている。このデバイスは 2 つのユニットで構成される。第 1 ユニットは、監視されるシステム内に搭載される。第 2 ユニットは、監視されるシステムの外に配置される。

【0004】

第 1 ユニットは、時間内で温度、湿度、振動、衝撃など監視されるシステムの環境特性または実際の特性を測定する。第 1 ユニットは、測定された特性の値を記録することができるメモリを備える。記録値の完全なプロファイルが得られてから（数ヶ月継続する場合もある）、記憶された測定値は特に数字で表される形態で中央処理装置である第 2 ユニットに転送される。第 2 ユニットは、このシステムに関する診断を提供するためにこの記録値を分析する。中央処理装置は、これら全ての記録値から監視されるシステムの消費寿命に関する情報を導き出す。

【0005】

故障の形態およびその衝撃は既に知られている。例えば疲労に関して、システムは恐らく壊れるまでに N 回それに耐えることが分かっている。故にこの疲労を受けたとき、システムが消費したその寿命の $1/N$ を測定することが可能である。別の疲労に関して、システムは恐らく M 回それに耐えるものと思われ、したがって $1/M$ に匹敵する寿命の損失を被る。全ての寿命の消費すなわちダメージを段階的に足すことによって、このシステムに関する診断、すなわち全体の疲労状態を知ることが可能である。

【0006】

1 つの例では、監視されるシステムが航空機に搭載された電子カードである場合、記録データは収集され、完全なプロファイルが得られたとき初めて中央処理装置によって分析される。例えば完全なプロファイルは、350 時間の飛行時間が経過した後で得ることができる。したがって記録データを中央処理装置に転送するまでかなりの長い期間が観察さ

10

20

30

40

50

れる。中央処理装置が提供する結果は即時的なものではなくなる。実際には分析されるデータ量はかなり大きなものであるため、監視されるシステムに関して消費寿命の割合を求めるには数日必要になる。その結果、監視下のシステムの故障に関するこの結果は適切なものではなくなる。

【 0 0 0 7 】

既知のタイプのアルゴリズムの場合、計算リソースにおける要件ならびにメモリリソースにおける要件は相対的にかなりの数である。よって中央処理装置を搭載することは不可能である。

【 0 0 0 8 】

この機器に関する任意の動作特性と同様に電子構成要素に関する動作環境が十分分かれば、T S M Dによく似ているが、事前定義された臨界閾値を検出しユーザに警告することができるさらに高いインテリジェントな機能を備えた監視ツールを使用することが可能である。したがってH U M S（健全性および使用状況監視システム）が、その診断（一般には簡単なもの）によってユーザが自分の機器をメンテナンスするのを助けることができるデバイスである。

10

【 0 0 0 9 】

モデル化および実際のテストと対になったシミュレーション動作によって得ることが可能な、機器に関するより正確な知識を用いれば、特定の診断および予測に関するアルゴリズムを与えることによってH U M Sを最適化することが可能である。機能が向上したこのH U M Sは、L A M S（寿命評価監視システム）とも呼ばれ、劣化の割合（診断）をリアルタイムで提供することができる。さらに時間内のこの劣化の進展を分析することによって、電子構成要素の寿命の終わりの予想（予測）を提供することもできる。

20

【 0 0 1 0 】

現在のところ診断および予測システムならびに方法は、特許文献2に記載されるように固有のパラメータおよび事前定義された閾値を監視することによって機能する。改良により、それらは特許文献3に記載されるように、診断するために故障の物理的過程を利用する計算を基準にしている。したがって予測はここでは電子構成要素の残りの寿命の日数の概算に相当する。

【 0 0 1 1 】

解決すべき問題はしたがって、予測を確立し、寿命が終わる日、好ましくは慎重を期したものの（したがって実際の寿命の終わりより前の日にち）を提示し、かつこれにより現時点がこの予測を超えないうちに余裕を持って警告を発するために、システム、特にデバイスが搭載されたシステムの診断を知ることである。その一方、監視下のシステムは長時間経たないとメンテナンスされないことから、それが遅すぎる場合には、H U M Sは臨界閾値の超過のみを知らせる。

30

【 0 0 1 2 】

診断からの寿命の終わりの計算、すなわち予測の計算は、診断の計算と同様の問題を有する。それを搭載することができない、すなわち特に追加の機器の重量が厳しく制限される航空機に関して、プロセッササイズ、計算時間、電力供給に必要とされる計算リソースは現行の基準に適合不可能である。

40

【 0 0 1 3 】

本発明では、3つの機能T S M D、H U M SおよびL A M Sに監視されるシステム自体のプログラムメモリに搭載されたソフトウェアを提供することが可能である。よってこのシステムは、とりわけその温度、その相対湿度ならびにそれが受ける衝撃（3軸加速度センサ）および振動の測定も行うことができる。現行の様式では、特に低周波測定チャンネル、すなわち温度、相対湿度、圧力に関して多数のセンサモジュール（現在は250であるが、この数は拡張することができる）を接続することが可能である。

【 0 0 1 4 】

この現行の様式では、本発明の監視システムは、記録データをメモリカードに転送することができるように物理的にアクセス可能である。しかしながら無線による解決法（例え

50

ば、ジグビー接続が既にテスト済みである)を導入することもできる。この場合RF(無線周波数)モジュールのスリープモードとアウェイクニングの管理は、エネルギー消費を最適にするために監視アプリケーションによって定義することができる。

【0015】

TSMDにプログラムされたツールは、その監視を開始する前に設定される必要がある。その作動に必要な唯一の情報は、各センサに関する多様な測定の前波数である。この情報を直接TSMDの作動システム内で履行し、かつ特定のアプリケーションに対応するデフォルトによって一定の構成を作り上げることが可能である。この場合、ユニットを供給しかつ監視を開始するには、TSMDおよびセンサモジュールを監視される要素にできるだけ近接させて配置するだけで十分である。また監視を開始する前にこの情報をダウンロードすることも可能であるが、但しこれはシリアル接続ケーブルを介するTSMDのマイクロコンピュータへの接続を伴う。

10

【0016】

それぞれ6キロバイトの4つの不揮発メモリに1メガバイトのデータを記憶することが可能である。これらのメモリは、監視任務の終わりに、マイクロコンピュータ、RFモジュールがない場合はシリアル接続ケーブル、および上記に既に言及したアプリケーションの助けを借りて解放することができる。より大型で取り外し可能かつ不揮発性のMMC式メモリを使用することも可能である。

【0017】

電子構成要素の劣化状態の推定は、関連するダメージの計算を可能にするその環境のその場での監視に基づいたものであり得る。HUMSにプログラムされたツールは、超えるべきではない閾値が設定された場合に警告を発することができる。最終的にツールは、リアルタイムでデータの簡略化(最小の閾値を考慮することによって)を実行し、疲労のサイクルを特定することができる。したがって簡略化されたプロフィールのみ、およびさらにはその振幅、その平均値およびその持続期間によって特徴付けられた特定されたサイクルのみを記録することが可能である。「疲労サイクル」とは、例えば航空機が離陸し、極めて低い温度のより高い大気中に到達し、その後着陸する際に受けるものなどの温度サイクルを意味する。しかしながら本発明による方法は、疲労サイクルの測定に限定されない。それは、対応する寿命の消費を測定することができる全ての他の疲労に関するものであり得る。

20

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0018】

【特許文献1】FR-A1-2 844 902

【特許文献2】US2006/0271255A1

【特許文献3】W02007085756

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0019】

本発明によると、リアルタイムでの診断および開始される予測は、固有の方法体系に従って開発された。例えば特定された各サイクルに関して、シミュレーションの結果(または経験に基づく報告)を含むマトリクスを参照してユニットダメージを割り当てることができる。これらのユニットダメージを合計することによって、監視下の電子システムの健全性およびしたがって診断の推定値を得ることができる。計算において連続して丸め演算をすることで、楽観的値と悲観的値の間に位置するように診断を誘導することができる。当然のことながら、電子システムが複数の機械の故障を被った場合、それらの相互作用を考慮するために関連するダメージは累積される。

40

【0020】

TSMDおよびHUMSが既に存在しているのに対して、本発明は、機能LAMSの拡張および統合に関連する。上記によると、診断(例えばダメージの割合であり得る)を計

50

算することで、時間内のその進展を厳密に調べることによって監視されるシステムが故障する日を推定することが可能になり得る。線形回帰、自己回帰和分移動平均（ARIMA）モデル、時系列の分解などそうするためのいくつかの方法がある。しかしながらこれらの統計的な予測技術は、リアルタイムで開始される計算には（計算リソースがほとんどないことが原因で）適切でなかったり適合しなかったりする。例えばARIMAモデルは特に有益ではあるが、多くの遅延や使用すべき係数を特定する必要がある、かつリソースの観点からも要求が厳しすぎる。線形回帰については、進展が線形ではないためこれは完全に誤りであるように思われる。またそれは診断の進展が、実際の環境ではめったに線形ではないという経験からも明らかである。

【課題を解決するための手段】

10

【0021】

この問題を解決するために、本発明では線形回帰ではあるが区分的線形回帰を行うことが選択される。このとき得られる結果は、搭載可能でありかつ非線形性を有しない簡潔な方法である。実際にはこの区分は、線形の相関係数を測定することによって決定することができる。それが閾値を超えるとすぐに、別の区分が形成される。あるいは区分は、例えば各測定が1分につき1回行われる100回の測定毎に固定された長さを有する。端から端まで配置された多様な区分によって、最後の区分の延長部分で現実即した予測を迅速に確立することができる。さらに新しい区分それぞれに関して新たな予測が確立されるため、それはリアルタイムで行われる。

【0022】

20

したがって本発明の目的は、システムの動作予測を特定するための方法であり、

- システムを取り巻く環境の環境値の測定が行われ
- システムによって消費寿命を特定するためにこれらの測定値が中央処理装置で処理され、
- この消費寿命はこの環境におけるシステムの履歴に由来しており、かつ
- 正常動作の寿命予測が推測される方法において、
- この予測が、当該環境におけるシステムのヒストリから特定されるダメージの区分的線形回帰によって推測されることを特徴とする方法である。

【0023】

本発明は以下の記載および添付の図面からより十分に理解される。これらの図面は決して限定するものではなく、単に本発明を例示するものである。

30

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明による方法を実施するデバイスの概略図である。

【図2】本発明による方法によって監視されるシステムに関する測定値の取得、測定値の簡略化および寿命のサイクルの計算および取得のグラフである。

【図3】本発明による方法によって監視されるシステムに関する測定値の取得、測定値の簡略化および寿命のサイクルの計算および取得のグラフである。

【図4】図2および図3に表される寿命サイクルに属する寿命消費の表である。

【図5】多様な線形回帰の計算を表す図である。

40

【図6】Tの時点での悲観的値T1と楽観的値T2の間の診断および関連する予測の一例のグラフである。

【図7】監視下のシステムに関する寿命の終わりの予測の進展を表すグラフである。

【図8】着手される実施形態によるリアルタイムでの寿命の終わりの予測のアルゴリズムの図である。

【図9】同時に起こる楽観的予測と悲観的予測の統合を示す先のアルゴリズムの改善を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

図1は、本発明による方法を履行するデバイス1の概略図である。デバイス1によって

50

リアルタイムの監視を行うことが可能になる。デバイス 1 は、監視されるシステム 3 に 2 つ搭載されるのが好ましい。デバイス 1 は、システム 3 の健全性を診断することができる搭載式の自立型知能である。一例では、監視されるシステム 3 は、航空機に搭載される電子カードである。本発明では、監視デバイス 1 は、システム 3 の環境の環境特性 4 の値を測定し即座に分析する。一例では、測定され分析される環境値はシステム 3 の温度である。具体的には、システム 3 における電子カード上のろう付け接合部の温度が測定される。

【 0 0 2 6 】

よってデバイス 1 は、この電子カードが受ける熱サイクルを監視する。例えば航空機の場合、これらのサイクルは、例えば - 4 0 などの極めて低い温度、および例えば + 8 5 などの太陽の下での完全な砂漠の地表面での極めて高い温度で航空機の部品が受けるものである。当然のことながら、他のタイプの環境特性、特に水分、圧力、衝撃などを測定することも可能である。

【 0 0 2 7 】

デバイス 1、したがってシステム 3 は多くの場合、集積回路の形態で実施される。それは中央処理装置を構成する。この中央処理装置は、マイクロプロセッサ 5 およびプログラムメモリ 6 を備える。マイクロプロセッサ 5 は、内部をつなぐバスを介してプログラムメモリ 6、データメモリ 7、キーボード/スクリーン 8 (任意選択で) および少なくとも 1 つのセンサ 9 に接続される。メモリ 7 は、例えば故障 M に関するサイクルのマトリクスを含む領域 1 1 と、予測情報を含む領域 1 2 とを有する。デバイス 1 は、バス 1 0 に接続されたインターフェース 1 3 および全てのセンサに接続された外部バス 1 4 を介してセンサ 9 に接続される。システム 3 は、同一のタイプである。デバイス 1 は、システム 3 の中に搭載されるか、あるいはその外にあるかのいずれかである。

【 0 0 2 8 】

変形形態では、デバイス 1 は、図 1 の場合のように、システム 3 の中に組み込まれずにシステム 3 に搭載される。

【 0 0 2 9 】

デバイス 1 は、図示されていないが自律電池によってエネルギーが供給される。電池は好ましくは充電式である。監視されるシステム 3 が壊れる前に電池を変えなければならないとき、消耗寿命に関するデータは不揮発性メモリに記憶することができる。

【 0 0 3 0 】

デバイス 1 は、入/出力インターフェース 1 0 を介してセンサ 9 に対する測定指示を生成する。デバイス 1 は、このインターフェースを介してセンサ 9 が行った測定値を受信する。センサ 9 は環境特性 4 の値を測定する。センサ 9 は、この測定値をバス 1 4 およびインターフェース 1 0 を介して電気信号の形態でマイクロプロセッサ 5 に伝送する。一例では、センサ 9 は温度センサである。

【 0 0 3 1 】

センサ 9 は、他のタイプの既存のセンサと置き換えることもできる。本発明の多様な実施形態によると、デバイス 1 は、この特定の用途を実施するのに必要な数だけセンサ 9 を備えることができる。センサ 9 は、監視されるシステム 3 上に配置することができる。

【 0 0 3 2 】

プログラムメモリ 6 は複数の領域に分割され、各領域はデバイス 1 の機能を満たすための指示に対応している。したがってある領域は、センサ 9 が行った測定値の取得を目的とした指示を有する。この点に関して、図 2 の左の部分は時間による温度値の取得を示している。領域 1 6 は、より簡単に極値を特定するために、取得された測定値それぞれに対してデータ簡略化アルゴリズムを適用するための指示を有する。典型的には図 2 の左の部分の測定値は、右の部分に示される測定値を得るために平滑化される。この簡略化及び平滑化されたプロフィールは、最低ピーク値と最大ピーク値が連続することで成り立っている。この簡略化されたプロフィールは、事前定義されたフィルタリング閾値によってローパスフィルタを使用することによって実現することができる。デバイスは、2 つの連続する極値が半サイクルを形成するとみなす。好ましくは、領域 1 6 は上記した特許文献 3 に開

10

20

30

40

50

示される全ての処理動作を含む。

【 0 0 3 3 】

領域 1 7 は、システム 3 が受ける熱サイクルを特定し、かつ図 4 の表を読み取ることによって特定されたサイクルからシステム 3 に関する消費寿命を生成するために特定された極値それぞれに対してサイクルカウンタルゴリズムを適用するための指示を有する。この消費寿命の推測は、シミュレーションまたは経験による報告によって得られる図 3 の故障に関するサイクルのマトリクスを含むメモリ内の領域 1 1 を読み取ることによって行われる。デバイスは、特定されたサイクルそれぞれに関してダメージの値を特定する。

【 0 0 3 4 】

サイクルカウンタルゴリズムは、半サイクルを形成する 2 つの極値間の温度差 T 、半サイクルの平均温度 T_{moy} およびランプ時間または半サイクル持続期間、すなわちトランプ (t_{ramp}) の 3 つのパラメータを有する。

【 0 0 3 5 】

サイクルカウンタルゴリズムは再帰的作用である。その結果リアルタイムのならびに RAM メモリサイズの要求に対して、各パラメータに対して 1 つずつの 3 つの循環バッファを使用して半サイクルが記憶される。好ましい実施形態において、これらの 3 つのバッファは 1 0 個の連続する半サイクルまで記憶することができる。これらのバッファのサイズは、用途によって調節することができる。

【 0 0 3 6 】

1 0 個の半サイクルの一定の深さに関して 1 つのバッファを使用する際、多くの温度プロフィール上で行われるテストによってサイクルカウンタルゴリズムの最適な出力を強調することができる。実際は、このようなバッファを使用する際に半サイクルが失われることはない。

【 0 0 3 7 】

サイクルを特定する際、アルゴリズムの領域 1 6 は、以下の 2 つの条件が満たされるかどうかをチェックする。第 1 の条件は、少なくとも 2 つの半サイクルがバッファに記憶される点に関する。第 2 の条件は、新たな半サイクルに関する温度差 T が先行する半サイクルのものより高い点に関する。温度差 T は、半サイクルを形成する検出された極値に関する温度差の絶対値である。例えば半サイクル 1 8 から 2 7 が図 3 に示されている。アルゴリズムの領域 1 6 は、第 2 の半サイクル 1 9 に関する温度差が第 3 の半サイクルに関する温度差より低いことを計算する。この場合、第 2 の半サイクル 1 9 を 1 サイクルとしてカウントする。結果として第 2 の半サイクルの極値 2 8 および 2 9 を極値として認識せず、無視する。

【 0 0 3 8 】

その後、各温度サイクルについて平均温度 T_{moy} および温度差 T を導き出すことによって、図 4 に見ることができる表 1 1 を読み取ることによってその関連性を活用して新たな残りのサイクルまたは半サイクルそれぞれに関する消費寿命が計算される。表を読み取ることによって、特定されたサイクルをそれぞれ、このタイプの疲労に相当する故障に関するサイクルの数の逆数に匹敵するダメージの値に変換することが可能になる。それはこれらのダメージの値の累積を行う。この累積は、図 1 のメモリ 6 内の記憶領域 3 0 に書き込まれた指示によって、多様なタイプの環境 (湿度、圧力など) から生じる多様な自然界のダメージの組み合わせを考慮することを含む。この累積はコンパレータに伝送される。このコンパレータは、2 回目のエントリでシステム 3 に関する最大ダメージの事前定義された閾値を受け取る。ダメージの値の累積値が閾値より高くなるとすぐにデバイス 1 は警告を発し、システムのメンテナンスを最適化することができる。この警告は、音響的および / または視覚的警告の発動ならびに / あるいは操作者へのメッセージの送信であり得る。このメッセージは、例えば U M T S 規格または G S M 規格あるいはジグビーのものなど無線通信プロトコルを利用して伝送することができる。

【 0 0 3 9 】

本発明によると、単純に日和見主義的に閾値超過を観察するだけでは不十分である。寿

10

20

30

40

50

命予測（例えば故障するまでの作動日数）を計算することが好ましい。経験から、システム 3 が始動してからのサービス時間に関連してダメージ累積を単純に外挿するだけでは正確さに欠けることが示されている。例えば航空機において複数のシステムがそれぞれ別の日に交換されると考えられる際、およびタイプ A として知られる点検のために単に飛行時間の 350 時間ごとに（航空機の様式による）航空機が止められる際、最適な予防的交換を最良に編成するために正確にこの予測を知ることが適切である。

【0040】

図 5 の線形回帰は、値 a および b を推定しかつ線形の相関係数によってこの関係式の正当性を数値で表す目的で測定地点のばらつきから式 $y = ax + b$ の直線を決定することである。この場合、図 5 の図に記された地点は、時間に応じた現時点でのおよび段階的なシステム 3 の健全性を表している。したがってある測定から別の測定までシステムの健全性はもっぱら降下するものであるが、それを正当化するサイクルまたは疲労の急激さによって事実上降下する。サイクルが例えば -40 から +85 の穏やかなものである場合ダメージは小さなものであり、いずれにしても例えば -55 から +1 の場合などサイクルが急激な場合ほど激しいものにはならない。図 5 および図 6 のグラフでは、時間は横座標として離れて置かれ、累積ダメージに起因する健全性が縦座標として離れて置かれている。

【0041】

したがって、線形回帰を試みることは、その式が $y = ax + b$ であり、この地点にできるだけ近接して延在する直線 D をまず探すことに等しい。最小二乗法に従って「できるだけ近接して延在する」ということは、この直線に対する偏差の二乗の合計を最小にすることである。その式が $x = a'y + b'$ でありかつ比較に値する最小の合計をもたらず直線を探すこともできる。明らかに同一の直線に行き当たることが望まれる。 $a' = 1/A$ の場合のみがそのケースである。数量 aa' は、 x と y の間の線形の相関係数と呼ばれる。実際には、その絶対値が 1 に等しくなることはめったにないが、この係数が $3/2$ より大きな絶対値を有するとすぐに調整が実証されたことが一般に評価される。本発明では、区分の長さを決めるのに 98% の好ましい値に関してこの相関係数は有益であり得る。

【0042】

しかしながら、 N 回の測定（例えば n は 200 に匹敵する）に達するまで測定を規則的にカウントすることができ、図 5 の線形回帰の直線 31 を計算することが好ましい。同時にこの直線 31 を延長することによって寿命予測 T_{31} を計算することができる。本発明では、最大 n 回の後続の測定のグループに関してこの直線の進展が考慮される。 n 回の後続の測定の結果同一の直線となるか、あるいは直線が修正されるかのいずれかである。 また、修正された直線を、延長することによって寿命の終わりを予測することができる。しかしながらこの現象は線形ではないため、この命題は正しくない。

【0043】

その結果、新たな測定のグループから直線 32 の新しい線分を計算することが好ましい。改良により、最大 n 回の測定から直線 31 と直線 32 が計算されるのに対して、各時間を考慮すると n 回の測定は必ずしも独立する必要はない。 それどころか直前の $n/2$ 回の古い測定に関連する $n/2$ 回の新しい測定のみ に時間をかけて、 $n/2$ 回の測定毎にこの計算を実行することを選択することができる。 n 地点に制限された線形回帰の計算は、 n 地点に達するまでではなく永久に行われる。好ましくは、再割当てが行われる主たる線形回帰の相関係数の閾値を超過するときに限って、ほとんどの地点（ $n/2$ と n の間の）を含む制限された線形回帰によってそれは再度初期化される。

【0044】

図 5 から、直線 31 が（好ましい）予測 T_{31} を提供するのに対して直線 32 はあまり好ましくない予測 T_{32} を提供することに留意されたい。 $n/2$ 測定の 4 番目のサブグループの取得が済むと、本発明のアルゴリズムによって、直線 32 およびその予測 T_{32} が直線 33 およびさらにあまり好ましくない予測 T_{33} に置き換えられると思われる。予測が時間内で T_{31} から T_{33} まで進展し、メンテナンス作業者が予防的交換を行う際にこ

10

20

30

40

50

の情報を考慮に入れるように、作業者がそれを自由に使えるようにするといったことが行われる。例えばAタイプの点検時に次のAタイプの点検が350時間の飛行時間の後に行われることが分かっている場合、5日の時点に関する予測は監視下のシステム3の予防的交換を暗に伝える。

【0045】

図6は、Tの時点での悲観的値と楽観的値の間にある診断および予測、ならびにそれらにそれぞれ関連する予測T1およびT2の一例を示す。既に開発されている適合できる線形回帰法により、楽観的および悲観的環境の変動を考慮することができる。温度測定の場合、楽観的評価34はこの過程において、極値として認識せずに無視した半サイクルを考慮しないのに対して、悲観的方法是全ての起こり得る故障を考慮する。並行して3つの従来式の線形回帰が以下のように計算される。相関係数が定義された閾値（例えば0.98）より高い間は、主たる線形回帰はT0から計算される。他の2つの線形回帰は、第1の線形回帰の直線31はT0から始まることを指し、第2の線形回帰の直線32は $n/2$ 地点後の測定を指すなど最大n地点まで（例えば200）計算される。それらの計算は、新たな測定それぞれに関して実現され、かつn回の測定毎に再度初期化される。主たる線形回帰の相関係数が閾値を下回ったとき、次いでこの線形回帰はすぐにn地点に制限された2つの線形回帰の間のほとんどの地点（ $n/2$ とnの間を含む）を含む線形回帰の値を採る。したがって主たる線形回帰はこの時まで起こった最後の事象を考慮に入れ、かつ外挿によってより適切な寿命の終わりの予測（好ましい例では日数）を可能にする。

【0046】

診断の計算が2つの最小値と最大値の間で成り立つとき、線形回帰の数を2倍にする必要がある。図7は、寿命の終わりの予測を提供するために調査する電子システム3に関する値T1およびT2の時間内の進展の一例を示す。予測は、主たる線形回帰より生じた直線と100%のダメージに関して予定される寿命の終わりに関するX軸（持続時間）との交点と一致する。しかしながら予防的メンテナンスを計画するために、この100%の閾値を、監視下のシステムに関する知識によって例えば60%のより低いダメージの割合で定義することができる。この場合、T1およびT2で表される実現される予測は、主たる線形回帰より生じた直線と図6の残りの寿命の直線 $Y = 40\%$ との交点によって提示される。

【0047】

図7によると、予測が2通り（楽観的および悲観的な予測）ある場合、およびいずれかの計算において主たる線形回帰の再割当てが生じる（相関関係の閾値の超過を検知する場合、必要であれば、例えば図7の46日から53日などこの再割当てをまだ受けていない線形回帰に対して同一の値を割り当てることによって楽観的/悲観的一貫性が保たれる。図7はまた、 $-40 / +85$ から $-55 / +125$ まで暴露条件が変化することに起因して本発明による適合可能な計算によって楽観的曲線34と悲観的曲線35を2つの新たな曲線36と37で置き換えることが可能であり、75日の地点で見込まれる予測と比べてはるかに好ましくない65日の時点での予測が提供されることを示す。したがって本発明によって、現時点でのダメージの進み具合の傾向が測定され、かつ現時点で修正された消費寿命の予測が推測される。経験により、2つの監視されるシステムに関して、最終的に予測によって計算された日より後の70日の時点と97日の時点でそれぞれ故障が生じたことが示された。

【0048】

図8および図9は、監視下のシステム3の寿命の終わりの予測を計算するために本発明で実施されるアルゴリズムを示す。図9のアルゴリズムは、図8のアルゴリズムの単なる繰り返しであり、楽観的計算と悲観的計算が行われる場合に適用される。図8のアルゴリズムは、従来式に初期化38を含む。それはまた、主たる線形回帰、およびn回の測定に制限されかつ $n/2$ 測定だけ時間的にずらされた2つの線形回帰の計算39を含む。制限された線形回帰は40および41で再び初期化され、その度にn地点の測定の新しいグループが考慮される。区分的線形回帰の計算は、テストステップ42および43の後に続く

ステップ 40 および 41 に基づいている。テスト 44 は、交換に関する情報を生成するために、現時点でまたは来るべきタイプ A、B、C または D の点検日に寿命の終わりの予測がこれより後にあることを判定する。

【0049】

図 9 の本発明によるアルゴリズムによると、図 8 のアルゴリズムの動作が、1 回は楽観的評価に関してもう 1 回は悲観的評価に関して 2 回行われる。したがって楽観的予測と悲観的予測の 2 つの予測が測定され、実際の予測はこれら 2 つの予測の間に位置する。

【0050】

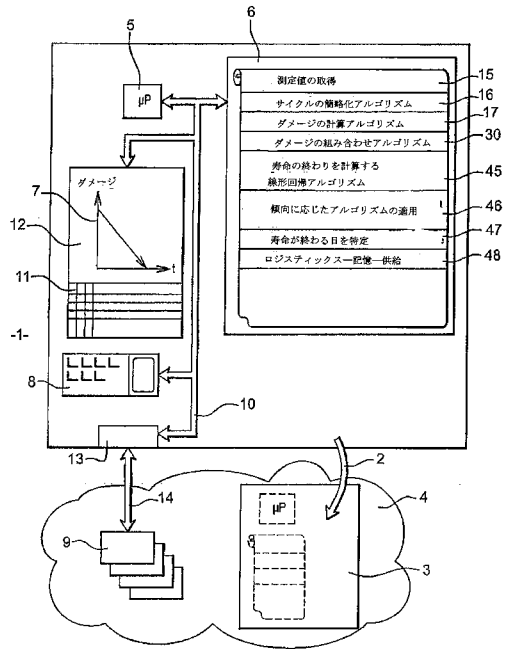
これにより図 1 のメモリ 6 は、図 8 および図 9 のアルゴリズムの動作である初期化 38、計算 39 およびテスト 44 がそれぞれ記憶される領域 45 から 47 を有する。それはまた作動システムとして、すなわち測定、供給および場合によって結果を伝送するための管理システムとして使用される領域 48 を有する。

【符号の説明】

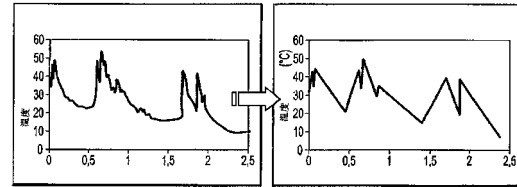
【0051】

- | | | |
|-------------|-------------|----|
| 1 | デバイス | |
| 3 | システム | |
| 4 | 環境 | |
| 5 | マイクロプロセッサ | |
| 6 | プログラムメモリ | |
| 7 | データメモリ | 20 |
| 8 | キーボード/スクリーン | |
| 9 | センサ | |
| 10 | インターフェース | |
| 11、12、16、17 | 領域 | |
| 13 | インターフェース | |
| 14 | 外部バス | |
| 18 ~ 27 | 半サイクル | |
| 28、29 | 極値 | |
| 30 | 記憶領域 | |
| 31、32 | 線形回帰の直線 | 30 |
| 33 | 直線 | |
| 34 | 楽観的曲線 | |
| 35 | 悲観的曲線 | |
| 36、37 | 曲線 | |
| 38 | 初期化 | |
| 39 | 計算 | |
| 40、41 | 線形回帰 | |
| 42、43 | テストステップ | |
| 44 | テスト | |
| 45 ~ 48 | 領域 | 40 |

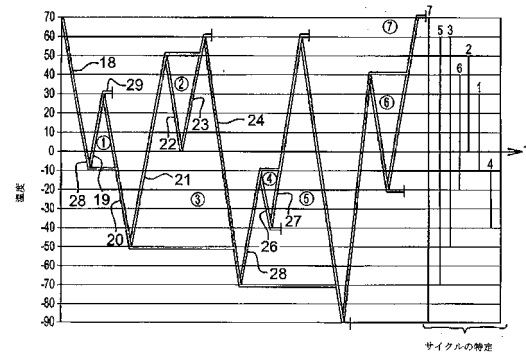
【図 1】



【図 2】



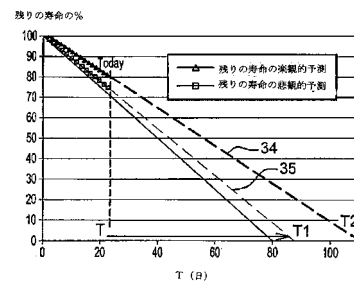
【図 3】



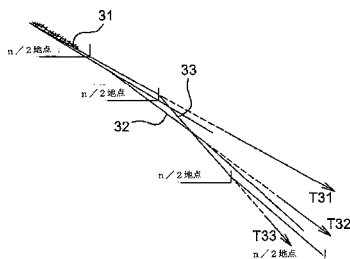
【図 4】

ΔT	30°C	45°C	60°C	75°C	90°C	105°C	120°C	135°C	150°C	165°C	180°C
30°C	65535	39968	16612	9819	5990	3906	2713	1967	1475	1138	898
-15°C	65535	31763	13907	7906	4842	3201	2238	1633	1232	955	757
0°C	65535	25190	11250	6023	3760	2511	1775	1307	955	777	621
15°C	49567	17630	9037	5102	3194	2146	1524	1126	860	674	540
30°C	40401	14723	6753	3694	2538	1725	1237	922	710	590	452
45°C	29654	10830	5645	3152	2027	1396	1011	780	590	469	380
60°C	22776	8687	4380	2365	1562	1094	804	612	480	385	315
75°C	15086	5724	3298	1844	1243	884	657	506	401	324	267
90°C	14345	5694	2972	1792	1188	837	619	474	374	302	248
105°C	10254	4192	2300	1388	940	675	506	383	312	254	210
120°C	9381	3889	2076	1278	861	616	461	358	285	232	192

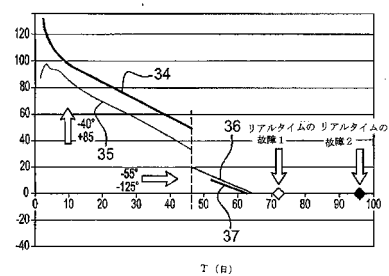
【図 6】



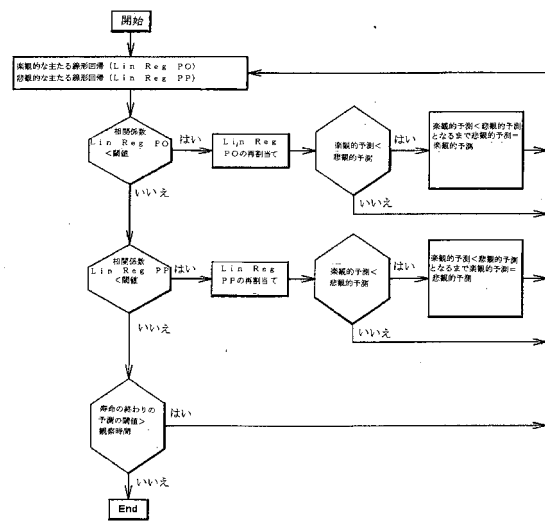
【図 5】



【図 7】



【 図 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 ルーエ・ヴァンサン

フランス国・F - 7 8 6 3 0 . オルジュヴァル・サート・デ・ラ・グラン・プレシュ・1 0

(72)発明者 フーシェ・ブルーノ

フランス国・F - 9 2 3 2 0 . シャティヨン・スー・パニユー・リュ・デ・ラ・ガレ・2 7

審査官 佐藤 彰洋

(56)参考文献 特開 2 0 0 5 - 2 3 5 4 2 0 (J P , A)

特表 2 0 0 1 - 5 1 3 9 2 8 (J P , A)

特開 2 0 0 4 - 0 4 5 3 4 3 (J P , A)

特開平 0 7 - 0 1 4 9 4 8 (J P , A)

特開平 0 5 - 2 0 6 5 5 1 (J P , A)

特開 2 0 0 5 - 2 4 1 5 7 2 (J P , A)

特開 2 0 0 6 - 1 5 3 8 2 5 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 5 B 2 3 / 0 2

B 2 3 Q 1 7 / 0 0 - 2 3 / 0 0

B 2 3 Q 3 7 / 0 0 - 4 1 / 0 8

G 0 5 B 1 9 / 4 0 6 5

G 0 1 M 1 3 / 0 0 - 1 3 / 0 4

G 0 1 N 3 / 3 2

G 0 1 N 1 7 / 0 0 - 1 9 / 1 0