

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5043839号
(P5043839)

(45) 発行日 平成24年10月10日(2012.10.10)

(24) 登録日 平成24年7月20日(2012.7.20)

(51) Int.Cl.	F 1
G05B 23/02 (2006.01)	G05B 23/02 V
G05B 19/418 (2006.01)	G05B 19/418 Z
G06Q 50/10 (2012.01)	G06F 17/60 138

請求項の数 37 (全 69 頁)

(21) 出願番号	特願2008-521546 (P2008-521546)
(86) (22) 出願日	平成18年7月11日 (2006.7.11)
(65) 公表番号	特表2009-500767 (P2009-500767A)
(43) 公表日	平成21年1月8日 (2009.1.8)
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/026974
(87) 国際公開番号	W02007/008940
(87) 国際公開日	平成19年1月18日 (2007.1.18)
審査請求日	平成21年4月6日 (2009.4.6)
(31) 優先権主張番号	60/698,521
(32) 優先日	平成17年7月11日 (2005.7.11)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	398029692 ブルックス オートメーション インコーポレイテッド アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 1824 チエルムズフォード エリザベスドライブ 15
(74) 代理人	100079119 弁理士 藤村 元彦
(74) 代理人	100109036 弁理士 永岡 重幸
(72) 発明者	ホーセック マーティン アメリカ合衆国 マサチューセッツ州 O 1854 ローウェル マンモスロード 68

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】予知保全用インテリジェント状態監視及び障害診断システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

状態監視及び障害診断のシステムであって、

1つ以上の構成要素に対する選択された変数の時間履歴を得るデータ収集機能を実行するプロセッサを有する第1のコントローラと、

前記時間履歴の指定された特徴を算出する事前処理機能を実行するプロセッサを有する第2のコントローラと、

1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の仮説を生成するために特徴を評価する分析機能を実行するプロセッサを有する第3のコントローラと、

1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の状態を判断する推論機能を実行するプロセッサを有する第4のコントローラと、を含み、

前記データ収集機能、前記事前処理機能、前記分析機能及び前記推論機能の各々の複数のインスタンスは、監視されているマシンの漸進的に高くなるレベルのコントローラ内に存在し、健全状態監視及び障害診断目的で要求されたデータは、当該データを処理する能力があるコントローラレベルにおいて使用されることを特徴とするシステム。

【請求項 2】

1つ以上の前記構成要素の判断された状態を利用して前記構成要素のための予防メンテナンスを実行する機能を更に含む請求項1記載のシステム。

【請求項 3】

前記推論機能は、前記1つ以上の構成要素が作動するシステムの状態を前記1または複

数の仮説から判断する請求項 1 記載のシステム。

【請求項 4】

前記データ収集機能は、選択された変数に対して記録されるべきサンプリング期間、トリガーモード、及びサンプル数を設定することを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 5】

前記データ収集機能、前記事前処理機能、前記分析機能、及び前記推論機能の各々は、1つ以上の前記構成要素のコントローラに存在することを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 6】

前記事前処理機能は、前記時間履歴上の数値演算を実行することによって前記時間履歴の指定された特徴を算出することを特徴とする請求項 1 記載のシステム。 10

【請求項 7】

前記分析機能は、1つ以上のアルゴリズム及び分析技術を、前記時間履歴の前記算出された指定された特徴に適用することによって1つ以上の前記仮説を生じることを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 8】

前記推論機能は、1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の状態を判断するエキスパート診断システムを含むことを特徴とする請求項 1 記載のシステム。

【請求項 9】

構成要素の状態監視及び障害診断の方法であって、
機能コントローラを用いてデータ収集機能によって1つ以上の構成要素に対する選択された変数の時間履歴を獲得するステップと、 20

前記機能コントローラを用いて事前処理機能によって前記時間履歴の指定された特徴を算出するステップと、

前記機能コントローラを用いて分析機能によって1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じる前記特徴を評価するステップと、

前記機能コントローラを用いて推論機能によって1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の前記状態を判断するステップと、を含み、

前記データ収集機能、前記事前処理機能、前記分析機能及び前記推論機能の各々の複数のインスタンスは、監視されているマシンの漸進的に高くなるレベルのコントローラ内に存在し、健全状態監視及び障害診断目的で要求されたデータは、当該データを処理する能力があるコントローラレベルにおいて使用されることを特徴とする方法。 30

【請求項 10】

1つ以上の前記構成要素の判断された前記状態を利用して前記構成要素に対する予知メンテナンスを実行するステップを含む請求項 9 記載の方法。

【請求項 11】

前記1つ以上の前記構成要素が動作しているシステムの状態を、前記推論機能によって前記1つ以上の仮説から判断するステップを含む請求項 9 記載の方法。

【請求項 12】

前記時間履歴を獲得するステップは、選択された前記変数に対して記録されるべきサンプリング期間、トリガーモード、及びサンプル数を設定するステップを含むことを特徴とする請求項 9 記載の方法。 40

【請求項 13】

前記時間履歴を獲得するステップは、1つ以上の前記構成要素のコントローラによって実行されることを特徴とする請求項 9 記載の方法。

【請求項 14】

前記時間履歴の指定された特徴を算出するステップは、前記時間履歴上の数値演算を実行するステップを含むことを特徴とする請求項 9 記載の方法。

【請求項 15】

1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じるために前記特徴を評価するス 50

ステップは、1つ以上のアルゴリズム及び分析技術を前記時間履歴の前記算出された指定された特徴に適用するステップを含むことを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項16】

1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の前記状態を決定するステップは、エキスパート診断システムを利用するステップを含むことを特徴とする請求項9記載の方法。

【請求項17】

構成要素状態監視及び障害診断のためのコンピュータ使用可能プログラムコードを有するコンピュータ使用可能媒体を含み、コンピュータ上で実行すると、前記コンピュータに

10

データ収集機能を用いて 1つ以上の前記構成要素の選択された変数の時間履歴を獲得させ、

事前処理機能を用いて 前記時間履歴の指定された特徴を計算させ、

分析機能を用いて 1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じる特徴を評価させ、

推論機能を用いて 1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の前記状態を判断させ、

前記データ収集機能、前記事前処理機能、前記分析機能及び前記推論機能の各々の複数のインスタンスは、監視されているマシンの漸進的に高くなるレベルのコントローラ内に存在し、健全状態監視及び障害診断目的で要求されたデータは、当該データを処理する能力があるコントローラレベルにおいて使用されることを特徴とするコンピュータプログラム製品。

20

【請求項18】

コンピュータ上で実行すると、1つ以上の前記構成要素の判断された状態を利用して前記構成要素に対する予防メンテナンスを前記コンピュータに実行させることを特徴とする請求項17記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項19】

コンピュータ上で実行すると、前記1つ以上のコンポーネントが作動するシステムの状態を前記1つ以上の仮説から前記コンピュータに判断させることを特徴とする請求項17記載のコンピュータプログラム製品。

30

【請求項20】

時間履歴獲得することは、選択された前記変数に対して記録されるべきサンプリング期間、トリガーモード、及びサンプルの数を設定することを特徴とする請求項17記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項21】

前記時間履歴の指定された特徴を算出することは、前記時間履歴上の数値演算を実行することを含むことを特徴とする請求項17記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項22】

1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の前記仮説を生じるために前記特徴を評価することは、1つ以上のアルゴリズム及び分析技術を前記時間履歴の算出された指定された特徴に適用することを含むことを特徴とする請求項17記載のコンピュータプログラム製品。

40

【請求項23】

1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の前記状態を判断することは、エキスパート診断システムを利用するることを含むことを特徴とする請求項17記載のコンピュータプログラム製品。

【請求項24】

構成要素状態監視及び障害診断のシステムであって、

1つ以上の構成要素に対する選択された変数の時間履歴を獲得するデータ収集機能を実行するプロセッサを有する第1のコントローラと、

50

前記時間履歴の指定された特徴を算出する事前処理機能を実行するプロセッサを有する第2のコントローラと、

1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じる前記特徴を評価する分析機能を実行するプロセッサを有する第3のコントローラと、

1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の前記状態を判断する推論機能を実行するプロセッサを有する第4のコントローラと、

前記データ収集機能によって獲得された前記選択された変数を決定し、指定された前記特徴を算出する事前処理機能におけるデータ処理を始動し、前記仮説を生む前記分析機能による前記特徴の評価を開始し、さらに前記推論機能による前記構成要素の状態の導出を開始させるマネージャ機能を実行するプロセッサを有する第5のコントローラと、を含み

10

前記データ収集機能、前記事前処理機能、前記分析機能及び前記推論機能の各々の複数のインスタンスは、監視されているマシンの漸進的に高くなるレベルのコントローラ内に存在し、健全状態監視及び障害診断目的で要求されたデータは、当該データを処理する能力があるコントローラレベルにおいて使用されることを特徴とするシステム。

【請求項25】

前記マネージャ機能は、1つ以上の前記構成要素の判断された状態を利用して前記構成要素の予防メンテナンスを実行することを特徴とする請求項24記載のシステム。

【請求項26】

前記推論機能は、前記1つ以上の構成要素が作動するシステムの状態を前記1または複数の仮説から判断することを特徴とする請求項24記載のシステム。

20

【請求項27】

前記データ収集機能は、前記マネージャ機能の制御下で選択された変数に対して記録されるべきサンプリング期間、トリガーモード、及びサンプル数を設定することを特徴とする請求項24記載のシステム。

【請求項28】

前記事前処理機能は、前記時間履歴に関する数値演算を実行して前記時間履歴の指定された特徴を算出し、前記数値演算は、前記構成要素の種類に基づいて前記マネージャ機能によって判断されることを特徴とする請求項24記載のシステム。

【請求項29】

30

前記分析機能は、1つ以上のアルゴリズム及び分析技術を適用してメカトロニクスデバイスとして一緒に作動している一群の構成要素の時間履歴の指定された特徴を算出することにより、1つ以上の仮説を生成することを特徴とする請求項24記載のシステム。

【請求項30】

前記推論機能は、1つ以上の前記仮説からメカトロニクスデバイスの状態を決定するエキスパート診断システムを含むことを特徴とする請求項24記載のシステム。

【請求項31】

半導体製造ツールの構成要素状態を監視するシステムであって、前記構成要素のうちの1つ以上の選択された変数の時間履歴を獲得するデータ収集機能を有する構成要素コントローラと、

40

メカトロニクスデバイスとして一緒に作動している1つ以上構成要素に対する前記時間履歴の指定された特徴を計算する事前処理機能を有しているメカトロニクスデバイスコントローラと、

1つ以上の前記構成要素の状態の1つ以上の仮説を生成するために前記特徴を評価する分析機能を有する一群のメカトロニクスデバイスに対するグループコントローラと、

1つ以上の前記仮説から1つ以上の前記構成要素の状態を判断する推論機能及び、前記データ収集機能によって獲得された前記選択された変数を決定し、指定された特徴を算出するための前記事前処理機能におけるデータ処理を始動し、前記仮説を生む前記分析機能による前記特徴の評価を開始し、前記推論機能による前記構成要素の状態の導出を開始するマネージャ機能を有するシステムコントローラと、

50

を含むシステム。

【請求項 3 2】

前記マネージャ機能は、1つ以上の前記構成要素の前記判断された状態を利用して前記構成要素に対する予防メンテナンスを実行することを特徴とする請求項31記載のシステム。

【請求項 3 3】

前記推論機能は、前記1つ以上の構成要素が作動するシステムの状態を前記1または複数の仮説から判断することを特徴とする請求項31記載のシステム。

【請求項 3 4】

前記データ収集機能は、前記マネージャ機能の制御下で前記選択されたサンプリング期間、トリガーモード、及び変数に対して記録されるべきサンプル数を設定することを特徴とする請求項31記載のシステム。 10

【請求項 3 5】

前記事前処理機能は、前記時間履歴に関する数値演算を実行することによって、前記時間履歴の指定された特徴を算出し、前記数値演算は、前記構成要素及びメカトロニクスデバイスの種類に基づいて前記マネージャ機能によって決定されることを特徴とする請求項31記載のシステム。

【請求項 3 6】

前記分析機能は、1つ以上のアルゴリズム及び分析技術を適用して、前記メカトロニクスデバイスとして一緒に作動している構成要素の前記グループの時間履歴の指定された特徴を算出することによって、1つ以上の仮説を生成することを特徴とする請求項31記載のシステム。 20

【請求項 3 7】

前記推論機能は、1つ以上の前記仮説から前記メカトロニクスデバイスの状態を決定するエキスパート診断システムを含むことを特徴とする請求項31記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

開示された実施例は、状態監視及び障害診断システムを目的とする。

【背景技術】

【0002】

例えば半導体デバイス製造用のロボット化した材料処理プラットフォームなどの、自動製造ツールにおいて用いられるロボットマニピュレータ及び他のメカトロニクスデバイスの障害による材料損傷及び予定外のダウントIMEは、製造ツールのエンドユーザにとって負担となる大きな経費をしばしば示す共通の問題である。

【0003】

多くのヘルス監視及び障害診断(HMFD)方法は、産業用自動車及び航空宇宙の用途のために開発された。既存のシステムは、概して、監視下のシステムで何かが間違っていることを示すための障害検出、障害の正確な場所、即ち障害である構成要素、を決定するための障害隔離、障害の大きさを決定するための障害の確認を実行する。 40

【0004】

隔離及び確認作業は、一緒にしばしば障害診断と称される。多くの既存のシステムは、障害検出及び隔離ステージだけを実行する。概して、HMFDに対して用いられた方法は、2つの主要なグループに分類されてもよい。監視及び診断法に従属し、また、「プラント」と称するシステムの数学モデルを利用しないものと利用するものとである。プラントの数学モデルを使用しない方法は、物理的な冗長、特殊センサの利用、制限チェック、スペクトル分析及び論理的推理を含む。

【0005】

物理的な冗長方法では、複数のセンサがインストールされて同じ物理量を測定する。測定結果の間のいずれの重大な相違も、センサ障害を示す。しかしながら、2台の並列セン

10

20

30

40

50

サだけを用いて障害隔離は不可能であるかもしれないが、3台以上のセンサで、障害センサを隔離する投票方式が形成されてもよい。物理的な冗長は、通常、余分なハードウェアコスト及び余分な重量を含む。

【0006】

特殊センサは、検出及び診断のために明確に設置されてもよい。これらは、ハードウェアにおいて制限チェック（下記参照）を実施する制限センサ（例えば、温度または圧力を測定する）であってもよい。他の特殊センサは、例えば音、振動、伸長、その他などのいくつかの障害表示している物理量を測定してもよい。

【0007】

実際には広く使われている制限チェック方法では、プラント測定結果はコンピュータによって予め設定された制限に比較される。閾値を上回ることは、障害状態を示す。多くのシステムでは、2つの制限レベルがある。第1は遊び警告に役だち、一方第2は危急反応を始動させる。制限チェックは、選択された変数の時間的傾向を監視することにまで及んでもよい。

10

【0008】

単純にして明快である一方、制限チェック方法は2つの重大な障害で苦しむ。

(a) プラント変数は標準入力変動のために広範に変化してもよいので、テスト閾値は完全に控えめに設定されることを必要とする。そして、

(b) 単一の構成要素の障害の影響は、多くのプラント変数に広がり、ややこしい多数の警報を作動させて隔離を極めて難しくする。

20

【0009】

プラント測定結果のスペクトル分析は、また、検出及び隔離のために使われてもよい。大部分のプラント変数は、通常の作動状態の下で典型的周波数スペクトルを示す。これからのかなる逸脱も、異常の指示であってもよい。特定の種類の障害はスペクトルのそれらの特性サインさえ有する場合があり、障害隔離を容易にする。

【0010】

論理的な推論技術は、それらが検出ハードウェア及びソフトウェアによって得られた徴候を評価することを目的とするという点で、上で概説される方法に相補的である幅広いクラスを形成する。最も簡単な技術は、「兆候があれば兆候がありそれから結論（if-symptom-and-symptom-then-conclusion）」タイプの論理的規則を含む。最終的な結論にいたるまで、各々の結論は、順番に、次の規則の徴候として役立ち得る。システムは検出ハードウェア及びソフトウェアによって示される情報を処理することができるかまたは人間のオペレータと相互に作用して、彼または彼女から特定の徴候について聞き、全ての論理的方法を介して彼または彼女を案内する。

30

【0011】

ここでプラントの数学モデルを使用する方法に戻ると、一般に、これらのモデルベースの状態監視及び障害診断方法の分析的冗長の概念に依存する。物理的な冗長とは対照的に、並列センサからの測定結果が互いに比較される所で、感覚測定はそれぞれの変数の分析的に計算された値と比較される。この種の計算は、他の変数の進行中の及び／または前の測定結果及び測定された変数に対するそれらの公称関係を述べている数学的なプラントモデルを用いる。観念は、2つの分析的に生成された量の比較まで広げられて、異なる変数の集合から得られる。いずれにせよ、残差と称される、結果として生じる差異は、システムの障害を表す。モデルベースの方法の他のクラスは、直接パラメータ推定に依存する。

40

【0012】

残差の生成は、検出及び隔離決定に達するために残差評価が続くことを必要とする。ノイズ及びモデルエラーの存在のため、障害がない場合であっても、残差は決してゼロでない。従って、検出決定は閾値に対して残差を試験することを必要とする。そして、それは理論上の考慮によってか経験的に得られてもよい。障害隔離を容易にするために、残差生成器は通常隔離強化された残差のために設計される。そして、構造上または方向の特性を示す。そのとき、統計要素の包含の有無にかかわらず、隔離決定は、構造上である（ブー

50

ルの) かまたは方向の (幾何学の) フレームワークにおいて得られてもよい。

【 0 0 1 3 】

監視しているモデルベースの状態監視及び障害診断における残差生成に対する 4 つのいくぶん重なり合う方法がある。即ち、カルマンフィルタ、診断オブザーバ、パラメータ推定及びパリティ関係である。

【 0 0 1 4 】

カルマンフィルタの予測誤差は、障害検出残差として用いられてもよい。障害 (そして妨害) がない場合、その平均値はゼロであり、障害がある場合には、ゼロ以外である。革新シーケンスが白いので、統計的検定は構築するのが相対的に容易である。しかしながら、障害隔離は、カルマンフィルタでいくぶん扱いにくい。1 つは、「照合フィルタ」のバンクを実行することを必要とし、1 つは、各々の疑わしい障害のためそして可能な到着時間のため、どちらのフィルタ出力が実見と一致するかをチェックする。

10

【 0 0 1 5 】

診断オブザーバ革新も、障害検出残差としての資格を与える。「未知入力」設計技術は、残差を限られた数の妨害から切り離すために用いられてもよい。残差シーケンスは色をつけられ、それは統計的検定をいくぶん複雑にする。オブザーバの設計の自由は、隔離のための残差を強化するために利用されてもよい。障害応答の力学は、オブザーバのポールを配置することによって特定の制限の範囲内で制御され得る。

【 0 0 1 6 】

パラメータ推定は、パラメータの (乗法的) 障害の検出及び隔離への自然なアプローチである。参照モデルは、障害のない状態のプラントを最初に識別することによって得られる。それから、パラメータは繰り返しオンラインで再識別される。参照モデルからの逸脱は、検出及び隔離の根拠として役立つ。パラメータ推定は、分析的冗長方法より信頼性があつてもよいが、それはまたオンライン計算及び入力刺激必要条件に関してより多く要求している。

20

【 0 0 1 7 】

パリティ (整合性) 関係は、線形ダイナミック変換を受ける再配置された直接の入出力モデル式である。変換された残差は、検出及び隔離に役立つ。オブザーバの場合のように、残差シーケンスは、色をつけられる。変換によって提供される設計自由が、妨害分離及び障害隔離強化のために用いられてもよい。また、応答の力学は、因果関係及び安定性の必要条件によってもたらされる制限の範囲内で割り当てられてもよい。

30

【 0 0 1 8 】

半導体製造システムに直接適用できるヘルス監視及び障害診断方法は、一般に、例えば、結合部のパックラッシュと関連した障害などの、少数の障害に限られていた。これは、追加の制限、例えば障害の可変性、不安定で非均一な作動状態、及び長時間にわたって集められる構成要素特徴の限られた入手可能性、がこの領域の中に存在するという理由であつてもよい。上記した解析法は、主に一次線形方程式によって画定されるシステムに適用されて、力学が非線形であるシステムに直接適用できない。しかしながら、パラメータ識別、カルマンフィルタ方法、ロボット障害診断の複数の線形ニューラルネットワークモデルの使用、及びシミュレーションされた電気油圧式作動装置における障害を検出するための診断オブザーバの使用、を用いているロボットのシステムアプリケーションの 2 、 3 の実施例がある。

40

【 0 0 1 9 】

状態を監視して、障害を診断するために改良されたシステムを提供することは有利である。

【発明の開示】

【課題を解決するための手段】

【 0 0 2 0 】

本願明細書において開示される実施例は、1 つ以上の構成要素のための選択された変数の時間履歴を得るデータ収集機能、時間履歴の指定された特徴を算出する事前処理機能、

50

1つ以上の構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じるために特徴を評価する分析機能、及び1つ以上の仮説から1つ以上の構成要素の状態を判断するための推論機能、を含んでい
る状態監視及び障害診断のシステムを目的とする。

【0021】

別の実施例では、構成要素状態監視及び障害診断の方法は、1つ以上の構成要素に対する選択された変数の時間履歴を得るステップ、時間履歴の指定された特徴を算出するステップ、1つ以上の構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じる特徴を評価するステップ、及び、1つ以上の仮説から1つ以上の構成要素の状態を判断するステップを含む。

【0022】

別の実施例では、コンピュータプログラム製品は、構成要素状態監視及び障害診断のためのコンピュータ使用可能プログラムコードを有するコンピュータ使用可能媒体を含む。それはコンピュータ上で実行するとき、コンピュータに、1つ以上の構成要素の選択された変数の時間履歴を獲得させ、時間履歴の指定された特徴を計算させ、1つ以上の構成要素の状態の1つ以上の仮説を生成する特徴を評価させ、1つ以上の仮説から1つ以上の構成要素の状態を判断させる。

【0023】

また別の実施例では、1つ以上の構成要素に対する選択された変数の時間履歴を得るデータ収集機能、時間履歴の指定された特徴を算出する事前処理機能、1つ以上の構成要素の状態の1つ以上の仮説を生じる特徴を評価する分析機能、及び、1つ以上の仮説から1つ以上の構成要素の状態を判断する推論機能、及びデータ収集機能によって得られる選択された変数を決定して、指定された特徴を算出する事前処理機能におけるデータ処理を始動して、仮説を生む分析機能による特徴の評価を開始して、推論機能によって構成要素状態の誘導を始動させるマネージャ機能、を有する構成要素状態監視及び障害診断用システムを含む。

【発明を実施するための形態】

【0024】

開示される実施例の前述の態様及び他の特徴は、添付の図面と関連して取り入れられる以下の説明において説明される。

【0025】

図1は、本願明細書において開示されるように、マシンの状態を監視しつ障害を診断するのに適しているシステム100のブロック図を示す。開示された実施例が図面を参照して記載されているにもかかわらず、実施例は多くの代替形式において実施されてもよいということが理解されるべきである。さらに、いずれかの適当なタイプ、または、構成要素または材料の物理的形状が用いられてもよい。

【0026】

開示された実施例は、ヘルス監視と称されるシステム構成要素の状態を査定しつ障害診断を実行するシステム及び方法を目的とする。ヘルス監視及び障害診断機能の結果として、システムはまた、メンテナンスまたはサービスが実行されるまで、必要に応じて予知保全またはサービスの予定を決めて、動作を維持するようにシステム工程を調整してもよい。

【0027】

状態評価は、測定特徴、性能、出力またはシステム構成要素の動作の他のインジケータを参照してその状態を判断する。障害診断は、動作、他の構成要素の特徴のインジケータからの、またはシステム操作からの、構成要素障害を識別する能力を参照する。オートメーション化した障害診断は、診断エラーコード及び双方向診断スクリーンを含む、障害分類及びトラブルシューティングタスクからオペレータを補足するかまたは救ってもよい。

【0028】

予知保全は、適当な動作を維持するために実行されるタスクを参照し、一方サービスは、非動作中の構成要素上で実行されたタスクを参照して活動中の状態にそれを戻す。

【0029】

10

20

30

40

50

図1に示すように、進行中のシステムは、4つの機能を含んでもよい。即ち、データ収集機能105、事前処理機能110、分析機能115、及び推論機能120である。さらに、機能115、110、115、120の動作は、ヘルス監視及び障害診断マネージャ130によって統合されてもよい。4つの機能105、110、115、120の各々及びマネージャ130は、ソフトウェア、ハードウェア、または両方のいかなる組合せにおいて実行されてもよい。

【0030】

システム100のソフトウェア実装部分は、例えばマシン読み込み可能なプログラムソースコードなどの、コンピュータプログラムによってコード化される1つ以上のプログラム記憶装置に存在してもよい。そして、それは、1つ以上のコンピュータに、開示された実施例に説明されている動作を実行させるのに適している。プログラム記憶装置は、テープ、ディスク、またはコンピュータハードドライブのような磁気媒体、光学式媒体、半導体媒体、またはコンピュータプログラムを記憶するのに適している他のいかなるデバイスも含む。

10

【0031】

データ収集機能が、監視されているマシンの動作の間、選択された変数の時間履歴を獲得すること、事前処理機能が、獲得した時間履歴の特徴を評価すること、分析機能が、各々の構成要素の状態について1つ以上の仮説に関連されて生成する個々の構成要素の特徴を評価すること、そして、推論機能が、マシンの個々の構成要素の状態及びマシンが良い作動状態においてあるという信頼度を含むマシンの全体的な評価を引き出すこと、というのが開示された実施例の特徴である。開示された実施例の目的として、マシンは、光学的、メカニカル、電気的、または電気機械的なデバイス、コンピュータソフトウェアプログラム、または上述した項目のいかなる組合せであってもよく、かつ、動作が監視されてもよいいかなるエンティティを含んでもよい。

20

【0032】

システムは階層的に分散された方法で実装されてもよいことが開示された実施例の更なる特徴である。例えば、各々の機能の多数の例では、ヘルス監視及び障害診断目的に必要なデータが、データを処理する充分な知能があるレベルで用いられるように、マシンの範囲内の漸次高くなるレベルのコントローラに存在するかまたは関係付けられてもよい。

30

【0033】

さらなる実施例として、マシンは、多数のロボットマニピュレータを備えた大気セクションを監督しているマスタコントローラを有する半導体製造システムであってもよい。各々のマニピュレータは、多数のモータを有していてもよい。データ収集機能のインスタンスは、各々のモータコントローラに存在してもよく、事前処理機能のインスタンスは、一群のモータコントローラを制御する各々のロボットコントローラに存在してもよい。大気セクションのためのコントローラは、分析機能のインスタンスを保持してもよく、マスタコントローラは推論機能のインスタンスを保持してもよい。この階層的アプローチは、各々の個々のデバイスコントローラから上方へシステムアーキテクチャを介してマスタコントローラまでの個々のデータポイントのリアルタイムストリーミングに対する必要性を除去することによってネットワークトラフィックを減らす。この方法はまた、より高いレベルのコントローラに対する必要性を除去し、各々が異なる種類の変数を用いて異なる処理アルゴリズムに適した監視をする、様々な装置に対するデータ収集方法を構成するので有利である。

40

【0034】

階層的または分散アプローチは、e診断法と称される、既存の集中化された傾向と異なっているということが強調されなければならない。e診断法では、ヘルス監視及び障害診断のために必要なデータの全ては、例えば上記のマスタコントローラなどの高水準コントローラに送られて、この高いレベルで分析される。この方法は、しばしばリアルタイムで低レベルのコントローラから高レベルコントローラまでずっと伝播するためにデータの極めて高容量を必要とする。さらに、高レベルコントローラは、例えばモータパラメータま

50

たはロボットの運動学的かつダイナミックモデルなどのロボット化されたシステムの構成要素の全ての特性を記憶して、収集されたデータを処理することが可能であることを必要とする。

【0035】

図1に戻ると、各々の機能は、一般に、下位レベルからデータを受け取って、データを処理して、次の機能にまたは最終的にユーザまたはより高レベルのシステムに処理されたデータを渡す。

【0036】

図2は、各々の4つの機能105、110、115、120及びマネージャ130が実現してもよい典型的な機能コントローラ200を示す。各々の機能は、システム100の範囲内で先在するハードウェアまたはソフトウェア機能コントローラにおいて作動してもよい。例えば、各々の機能は、構成要素コントローラ、多数の構成要素の動作を導くコントローラ、サブシステムを制御するコントローラ、またはシステムコントローラに存在してもよい。各々の機能は、また、専用のハードウェアまたはソフトウェアにおいて実行されてもよい。

10

【0037】

機能コントローラ200は、一般に、プロセッサ205、リードオンリメモリ210、ランダムアクセスメモリ215、プログラム記憶装置220、ユーザインターフェース225及びネットワークインターフェース230を含んでもよい。

20

【0038】

プロセッサ205は、オンボードキャッシュ235を含み、例えば、オンボードキャッシュ235、リードオンリメモリ210、ランダムアクセスメモリ215、及びプログラム記憶装置220などのコンピュータ使用可能媒体などの、コンピュータプログラム製品から一般に情報及びプログラムを読み込むことができる。

20

【0039】

起動時に、プロセッサ205は、リードオンリメモリ210で見出したオペレーティングプログラムを開始して、初期化の後、プログラム記憶装置220からの命令をランダムアクセスメモリ215にロードしてそれらのプログラムの制御下で作動してもよい。頻繁に用いられる命令は、オンボードプログラム235で一時的に記憶されてもよい。リードオンリメモリ210及びランダムアクセスメモリ215の両方は半導体技術または他の適当な材料及び技術を利用してよい。プログラム記憶装置220は、ディスクケット、コンピュータハードドライブ、コンパクトディスク(CD)、デジタル多用途d hisuku(DVD)、光ディスク、チップ、半導体またはコンピュータ読み込み可能なコードの形式でプログラムを記憶できるいざれかの他のデバイスを含んでもよい。

30

【0040】

オンボードキャッシュ235、リードオンリメモリ210、ランダムアクセスメモリ215、及びプログラム記憶装置220、いざれか個々に、または、いかなる組合せでも、オペレーティングシステムプログラムを含んでもよい。オペレーティングシステムプログラムは、機能コントローラ200によって提供されるデータの品質を改善して、保証された応答時間を機能コントローラ200が提供することができるよう、任意のリアルタイムオペレーティングシステムで補充されてもよい。

40

【0041】

特に、オンボードキャッシュ235、リードオンリメモリ210、ランダムアクセスメモリ215、及びプログラム記憶装置220、いざれか個々に、または、いかなる組合せでも、データ収集、事前処理、分析、推論機能、及び後述されるヘルス監視及び障害診断マネージャの動作、プロセッサ205に実行させるためのプログラムを含んでもよい。さらに、オンボードキャッシュ235、リードオンリメモリ210、ランダムアクセスメモリ215、及びプログラム記憶装置220は、例えば、ネットワークインターフェース230を介してプロセッサ205によって、新規であるかまたはアップグレードされたプログラムをロードされてもよい。

50

【0042】

ネットワークインターフェース230は、一般に、機能コントローラ200と他の機能コントローラとの間のインターフェース、システムコントローラ、または他のシステムを提供するのに適していてもよい。ネットワークインターフェース230は、1つ以上の追加の機能コントローラからデータを受け取って、データを同じかまたは他の機能コントローラへ運ぶ働きをしてもよい。ネットワークインターフェース230は、また、リモート監視及び診断サービスを提供することができる大域的診断システムへのインターフェースを提供してもよい。

【0043】

通信ネットワーク120は、公衆交換電話網(PSTN)、インターネット、無線ネットワーク、有線ネットワーク、ローカルエリアネットワーク(LAN)、ワイドエリアネットワーク(WAN)、仮想プライベートネットワーク(VPN)、その他を含んでもよい。X.25、TCP/IP、ATM、その他の他の種類の他の種類のネットワークをさらに含む。一実施例では、通信ネットワーク120は、「ファイヤーワイヤー」ネットワークとも称されるIEEE1349であってもよい。

10

【0044】

機能コントローラ200は、ディスプレイ240及び例えばキーボード255またはマウス245などの入力装置を備えたユーザインターフェース225を含んでもよい。ユーザインターフェースは、プロセッサ205の制御下のユーザインターフェースコントローラ250によって作動されてもよく、ヘルス監視及び障害診断の結果を視覚化するグラフィカルユーザインターフェースをユーザに提供してもよい。ユーザインターフェースは、また、トラブルシューティングルーチンまたは修復過程を介してサービス要員を導くために用いられてもよい。さらに、ユーザインターフェースコントローラは、また、他の機能コントローラ、外部ネットワーク、他の制御システムまたはホストコンピュータと通信するための接続またはインターフェース255を提供してもよい。

20

【0045】

図1に戻ると、データ収集機能105は、監視されている装置の動作に関する選択された変数の時間履歴を得るために作動する。時間履歴は、長時間にわたる特定の変数または変数群に対する値の集合をいう。上記した機能コントローラ200の構成要素に加えて、データ収集機能105は、選択された変数の値を収集するための1つ以上のバッファ125を含む。データ収集機能105も、記録されるべきデバイス信号及び変数を特定して、データ記録のためのサンプリング期間を設定して、データ記録(例えば、イベント時、運動の開始時、運動の終了時、遅延については、閾値より上の時、閾値より下の時、遅延で)のためのトリガーモードを設定して、記録されるべきサンプル数を設定して、かつデータ記録を停止するためのメカニズムを設定するためのプログラム及び回路135を含む。

30

【0046】

事前処理機能115は、獲得した時間履歴の指定された特徴を決定する。例えば、指定された特徴は、平均信号値または最大電力消費を含んでもよい。事前処理機能によって実行される典型的な計算は、例えば加算、減算、乗算、割り算、最大、最小及び平均値の計算、フーリエ変換、ウェーブレット変換及び様々な数学モデルの評価などの、単純な数値演算を含んでもよい。上記した機能コントローラ200の構成要素に加えて、事前処理機能115は、データ収集機能105から時間履歴を受け取るための、かつ、必要な単純な計算を実行するための、プログラム及び回路140を含む。

40

【0047】

分析機能120は、多くの個々の構成要素の特徴を分析するためのかつ構成要素の各々の状態について1つ以上の仮説を生じるためのアルゴリズムを含む。例えば、分析機能120は、例えば電圧、電流、トルク、信号変動、その他などの、調べられる特徴の種類に対して特に合うように変えられた様々な分析アルゴリズム145を含んでもよい。さらなる例として、ロボット化された製造ツールで実行されるときに、分析機能120は、エンコーダ信号分析、モータPWM及び電流分析、電力供給電圧分析、トラッキングエラー分

50

析、及びロボットトルク分析のためのアルゴリズムを含んでもよい。アルゴリズムは、アクセスをすることができる、様々な分析法のライブラリ 150 を利用することができる単純閾値規則 1555、ファジー論理 160、ニューラルネットワーク 165、回帰分析 170、及びパターン認識技術 175 を支配する。

【0048】

分析機能 120 から得られる仮説に基づいて、推論機能 125 は、個々の構成要素の状態及び 1 つ以上の監視下のデバイスが良いヘルス状態にあるという信頼度を含む、システム 100 の最終的な応答を引き出す。推論機能 125 は、例えば、システム構成要素及びサブシステムのためのパラメータの所定のセットに関する規則に基づく情報を有する知識ベース 197などを有してもよい診断エキスパートシステム 180 を含んでもよい。診断エキスパートシステム 180 は、ブール論理 185、ファジー論理 190 またはニューラルネットワーク 195 に基づく様々な方法を利用してよい。

10

【0049】

本システム 100 の機能は、ヘルス監視及び障害診断(HMFD)マネージャ 130 によって統合される。マネージャ 130 は、データ収集、事前分析、多くの所定の監視下の装置のために作動する推論機能の各々を、構成して初期化してもよい。

【0050】

例えば、マネージャ 130 は、記録するための多くのサンプル及び 1 つ以上の時間履歴を生成する事前設定機能のための情報を開始することとともに、記録する多くの変数を備えたデータ収集機能 105 を初期化してもよい。マネージャ 130 は、例えばデータ収集は、監視されるデバイスの通常動作の間ずっと起こるか、または、電流信号を通常のベースラインのプロファイルと比較されるときに便利であるその通常動作の一部である、ある事前決定された動作をデバイス実行するときに、データ収集が生じてもよい、多数の収集モードのいずれも、データ収集機能 105 の動作を統合してもよい。あるいは、監視されているデバイスが特にヘルス監視及び障害診断の目的のために事前設計された一式のテンプレート動作を実行するときに、データ収集は規則的な間隔で引き起こされてもよい。1 つの実施例では、マネージャは、ヘルス状態の悪化を検出するためのまたは監視下の装置の障害を診断するための最小限の量に、データ収集動作の間、記録されるデータの量を制限してもよい。

20

【0051】

いくつかの実施例では、潜在的な問題題が検出される時、マネージャ 130 は、正確な障害診断のためのデータ収集機能 105 によって、追加のデータの収集を始める。マネージャ 130 は、また、予め具体的には、ヘルス監視及び障害診断目的のために事前設計されていたテンプレートシーケンスを始めてよい。このシーケンスは、障害の特定のモードまたは障害のモードのカテゴリに特有でもよい。

30

【0052】

マネージャ 130 は、時間履歴が事前処理機能 110 に送られるときに起こる事前処理の種類を特定することによって事前処理機能 110 を初期化するために作動してもよい。さらに、マネージャ 130 は、事前処理機能 110 から受け取った様々なデータ特徴に対するデータで実行されるべき種類の分析を用いて分析機能 115 を予め設定してもよい。マネージャ 130 は、また、ライブラリ 150 を予めロードして、異なる分析において用いられる方法を特定してもよい。さらに、分析が終了しているときに、マネージャ 130 は推論機能 125 において意思決定を開始してもよい。

40

【0053】

上記したように、システム 100 は、少なくとも 2 つのはっきりした機能を提供する。即ち、ヘルス監視及び障害診断である。ヘルス監視の目的は、構成要素のいずれかの問題のある状態が識別されると、ロボット化されたツールの個々の構成要素の状態評価を実行して、サービス要求を報告することである。この情報は、予防メンテナンスのために用いられてもよい。そして、思いがけない障害による材料損傷及び予定外のダウンタイムを減らす。その上、ツールが動作することができるために、例えば、それがサービスを提供さ

50

れるまで、次の予定メンテナンスが起こるまで、本システムはロボット化されたツールの動作を調整して、可能な範囲までツール機能を保持し、重要な性能特徴上の進行している障害の影響を減じ、かつ／または、例えば次のスケジュール維持が生じるまでなどの、ツールがサービスされ得るまで、ツールが実行し得るように致命的な障害への時間を増やす。

【0054】

他方、障害診断の目的は、診断エラーコード及び双方向診断上のスクリーンを含み、反応性、品質及びサービスコストを改善して、障害分類及びトラブルシューティングタスクからオペレータを補足するかまたは救うことである。

【0055】

半導体デバイスの製造のためのオートメーション化した材料処理プラットフォームが、進行中の状態監視及び障害診断システムが実施されてもよい典型的な実施例として用いられる。

【0056】

半導体デバイスの製造のための典型的な材料処理プラットフォームは、表1にリストされている主要構成要素のための注記とともに、図3において概略的に表される。

【0057】

【表1】

表1：図3のプラットフォームを取り扱っているオートメーション化した材料処理プラットフォームのための注記。

番号	説明
301	大気セクション
302	真空断面
303	処理モジュール
304	エンクロージャ
305	ロードポート
306	大気ロボットマニピュレータ
307	基板アライナ
308	ファンフィルタユニット
309	真空室
310	ロードロック
311	真空ロボットマニピュレータ
312	真空ポンプ
313	スリットバルブ
314	ツールコントローラ
315	大気セクションコントローラ
316	真空セクションコントローラ
317	処理コントローラ
318	ロードコントローラ
319	大気ロボットコントローラ
320	アライナコントローラ
321	ファンフィルタユニットコントローラ
322	モータコントローラ
323	真空ロボットコントローラ

【0058】

10

20

30

40

50

プラットフォームは、大気セクション301、真空セクション302、及び複数の処理モジュールを有する。

【0059】

大気セクション301は、エンクロージャ304、1つまたは複数のロードポート305、1つまたは複数のロボットマニピュレータ306、1つ以上の複数の基板アライナ307、及びファンフィルタユニット308を含んでもよい。それは、また、1つ以上のイオン化装置(図示せず)を含んでもよい。真空セクションは、真空チャンバ309、1つまたは複数のロードロック310、1つまたは複数のロボットマニピュレータ311、1つまたは複数の真空ポンプ312、及び複数のスリットバルブ313を含んでもよい。そして、それらは、通常、ロードロック310と真空チャンバ309との間、及び真空チャンバ309と処理モジュール303との間で、ロードロック310を備えた大気セクション301のインターフェースに位置する。

【0060】

プラットフォームの動作は、大気セクションコントローラ315、真空セクションコントローラ316、及び1つまたは複数の処理コントローラ317を監督するツールコントローラ314によって統合される。大気セクションコントローラ315は、1つまたは複数のロードポートコントローラ318、1つまたは複数の大気ロボットコントローラ319、1つまたは複数のアライナコントローラ320、及びファンフィルタユニットコントローラ321を担当している。ロードポートコントローラ318、大気ロボットコントローラ319、及びアライナコントローラ320の各々は、順番に1つまたは複数のモータコントローラ322を担当している。真空セクションコントローラ316は、1つまたは複数の真空ロボットコントローラ323を担当し、真空ポンプ312を制御して、スリットバルブ313を作動させる。処理コントローラ317の役割は、処理モジュール303で実行される動作に依存する。

【0061】

いくつかの場合では、2つ以上のレイヤーの制御を单一のコントローラに結合することは現実的であるかもしれない。例えば、大気ロボットコントローラ119及び対応するモータコントローラ122は、単一の集中型のロボットコントローラにおいて結合されてもよい。または、大気セクションコントローラ115は、大気ロボットコントローラ119と組み合わされて、2つの別々のコントローラユニットの必要性を排除してもよい。

【0062】

5軸ダイレクトドライブのロボットマニピュレータは、図3のプラットフォームにおいて用いられてもよい。この種のロボットマニピュレータの単純化された概略図は、図4において提供される。主要構成要素のための注記は、表2にリストされる。

【0063】

【表2】

表2：図4のロボットマニピュレータのための注記。

番号	説明	
401	ロボットフレーム	10
402	取付フランジ	
403	鉛直レール	
404	リニア軸受	
405	キャリッジ	
406	鉛直駆動モータ	
407	ポールスクリュー	
408	モータ1 (駆動リンク1)	
409	モータ2 (駆動リンク2)	
410	エンコーダ1 (モータ1に接続された)	
411	エンコーダ2 (モータ2に接続された)	20
412	外側シャフト	
413	内側シャフト	
414	リンク1 (上部アーム)	
415	ベルト駆動リンク2	
416	リンク2 (前アーム)	
417A	モータA (駆動エンドエフェクタA)	
417B	モータB (駆動エンドエフェクタB)	
418A	ベルト駆動Aの第一段階	
418B	ベルト駆動Bの第一段階	
419A	ベルト駆動Aの第二段階	30
419B	ベルト駆動Bの第二段階	
420A	エンドエフェクタA (上部エンドエフェクタ)	
420B	エンドエフェクタB (下部エンドエフェクタ)	
421A, 421B	エンドエフェクタA及びB上のペイロード	
422	マスタコントローラ	
423A, 423B, 423C	モータコントローラ	
424A, 424B	エンドエフェクタA及びBのための電子ユニット	
425	通信ネットワーク	
426	スリップリング	
428A, 428B	マッパーセンサ	40
429	電源	
430	真空ポンプ	
431A, 431B	バルブ	
432A, 432B	圧力センサ	
433, 434A, 434B	リップシール	
435	ブレーキ	

【0064】

図4を参照すると、ロボットマニピュレータは、円形の取付フランジ402から懸架された開いた円筒フレーム401のまわりで造られる。フレーム401は、鉛直レール403をリニア軸受404と組み合わせて、ポールネジメカニズム407を介してブラシ不要のDCモータ406によって駆動されるキャリッジ405に、ガイダンスを提供する。キャリッジ405は、光学エンコーダ410、411を備えている一対の同軸でブラシ不要のDCモータ408、409を収容する。上部モータ408は、ロボットアームの第1リンク414に接続している中空の外側軸412を駆動する。下部モータ409は、第2リンク416にベルト駆動415を介して連結される同軸の内側軸413に接続している。

第1リンク414は、二段階ベルト構成418A、419Aを介して上部エンドエフェクタ420Aを駆動するブラシ不要のDCモータを収容する。別のDCのブラシ不要のモータ417B及び二段階ベルト駆動418B、419Bは、下部エンドエフェクタ420Bを作動させるために用いられる。段階418A、418B、419A及び419Bは、入力ブーリーと出力ブーリーとの間で1:2の比率で設計される。基板421A及び421Bは、それぞれ、420A真空作動エッジコンタクトグリッパーまたは表面接触吸入グリッパーにより、エンドエフェクタ420A及び420Bに取り付けられて保持される。典型的なグリッパーの設計については図5及び6を参照せよ。

【0065】

それぞれ、第1リンク414、第2リンク416、上部エンドエフェクタ420A及び下部エンドエフェクタ420Bは、また、テキストの全体にわたって、それぞれ上アーム、前アーム、エンドエフェクタA及びエンドエフェクタBと称する。ポイントA、B及びCは、それぞれ、肩、肘及び手関節と称される回転継手を示す。ポイントDは、対応するエンドエフェクタ上で基板の中心の所望の位置を示す基準点を示す。

10

【0066】

ロボットマニピュレータの制御システムは、分散タイプであってもよい。それは、電源429、マスタコントローラ422、及びモータコントローラ423A、423B及び423Cを含む。マスタコントローラ422は、監視タスク及び軌道計画に関与する。モータコントローラ423A、423B及び423Cは、1つまたは2つのモータに対する位置及び進行中のフィードバックループを実行する。図4では、コントローラは423Aはモータ408及び409を制御し、コントローラ423Bはモータ417A及び417Bを制御し、コントローラは423Cはモータ406を制御する。フィードバックループを実行することに加えて、モータコントローラも、モータ電流、モータ位置及びモータ速度などのデータを収集し、マスタコントローラにデータを流す。モータコントローラ423A、423B及び423Cは、高速通信ネットワーク425を介してマスタコントローラに接続される。継手Aは無限の回転関節であるので、通信ネットワーク425はスリップリング426を介して道順を決められる。追加の電子ユニット424A及び424Bが用いられて、それぞれエンドエフェクタ420A及び420Bのエッジコンタクトグリッパーを支持してもよい。

20

【0067】

30

図5は、真空作動エッジコンタクトグリッパーシステムの概略図を示す。それは一端の真空ラインに取り付けられたベローズ501及び多端に取り付けられたプランジャ503を含む。真空がない場合、バネ仕掛けのプランジャは、基板505を固定止め具504に押しつけて、それを適当な位置に保持する。真空がある場合には、プランジャは待避させられ、それは基板上のその保持を開放する。フラグ507の位置は、順番に、以下の3つの状態のうちの1つを示すプランジャの位置を決定するために用いられる。即ち、クランプされていない（待避されたプランジャ503）、適当に固定されている（部分的に伸ばされたプランジャ503）、及び締め付け障害（充分に伸ばされたプランジャ503）である。グリッパーは、真空バルブ（例えば図4の431Aまたは431B）を開閉することによって作動される。減圧は、図4の432Aまたは432Bなどの圧力センサで測定されてもよい。

40

【0068】

図6は、表面接触吸入グリッパーの断面図を示す。ロボットエンドエフェクタ603は、真空ライン604に接続している2つ以上の開口部605を有する。真空がある場合には、基板601はエンドエフェクタ403の方へ引っ張られて、摩擦によって所定の位置に保持される。グリッパーの作用は、例えば図4の431Aまたは431Bなどの真空バルブによって始められる。エンドエフェクタ603上の基板601の有無は、例えば図4の432Aまたは432Bなどの圧力センサによって決定されてもよい。基板601がある場合、圧力センサまたは432Aまたは432Bは、真空を検出する。

【0069】

50

上記に示したように、両方の種類のグリッパーは、例えば図4のバルブ431A及び431Bなどの真空バルブを必要とし、それは真空ラインを開閉する。真空バルブは、マスタコントローラ422またはモータコントローラ423A-Cのいずれかによって制御されてもよい。さらに、真空システムは、また、真空システムの真空レベルを決定するために用いられる圧力センサ432A及び432Bなどの、圧力センサが標準装備になっていてもよい。

【0070】

真空作動エッジコンタクトグリッパーまたは表面接触吸入グリッパーに対する真空の使用は、真空ラインが関節を介して実行されることを必要とする。そして、真空ポンプなどの外部真空源を接続する。関節A及びCは連続する回転関節であるので、リップシール433、434A及び434Bは、関節A及びCにわたって真空を伝播するために用いられる。

10

【0071】

いくつかの場合には、ロボットエンドエフェクタ420A、420Bは、基板存在センサを備えていてもよい。このセンサは、図5の真空作動エッジコンタクトグリッパーまたは図6の表面接触吸引グリッパーに対して上記された基板存在検知方法のいずれかを補完してもよく、または、基板が、例えば、基板とエンドエフェクタとの間の摩擦力によって受動的にエンドエフェクタ上で保持されるときなどに、基板存在検知の唯一の手段として役立ってもよい。

【0072】

20

エンドエフェクタ420A、420Bの各々は、また、例えば図4の428A及び428Bなどの基板マッパーセンサを備えていてもよい。各々のマッパーセンサは、図7に示すように、発光体701及び光検出器702から成る。ロボットが基板キャリアを走査するので、光検出器のバイナリ出力は状態を変更して、基板キャリアにおけるスロットの各々においてウェーハの有無を決定するコントローラによって読み込まれる。バイナリ出力が状態を変更してロードポートにおいて「クロススロットされた」ウェーハ及び「二倍に配置された」ウェーハを検出するためにこの情報を用いるたびに、コントローラもロボット軸位置を記録する。

【0073】

30

ロボットの鉛直運動を制御するモータ（図4のモータ406）は、ソレノイド作動ブレーキ435を備えている。モータトルクがない場合、ブレーキはロボットの自由落下を防ぐために係合する。鉛直軸は、また、キャリッジ405が鉛直運動の可能な範囲を上回るときを検出する、例えば切り替えられる制限などのオーバトラベルセンサを備えていてもよい。

【0074】

ロボットマニピュレータは、例えば熱を除去するファンがモータ及びエレクトロニクスによって生成された熱を除去するための冷却ファンなどの追加の構成要素を含んでいてもよい。いくつかの用途では、ロボットマニピュレータは、水平方向の横移動器上にインストールされてもよい。

【0075】

40

例えば図4の410及び411などの光学エンコーダはロボットの適当な動作のために重要で、ヘルス監視及び障害診断に関する貴重な情報源を示すので、それらの機能についてのより詳細な説明が提供されなければならない。回転光学エンコーダは、コントローラと容易にインターフェースされるデジタル出力へ角運動を変換するデバイスである。2種類の光学エンコーダがある。即ち、インクリメンタルとアブソリュートとである。

【0076】

回転インクリメンタル光学エンコーダ（図8）は、以下の構成要素を有していてもよい。即ち、光センサ、回転エンコーダディスク、静止マスク、光検出器、及び光検出器からの出力信号を增幅して二乗するためのエレクトロニクスである。エンコーダディスクがマスクの前で回転するときに、それは光源からの光を止める。マスクを通過する光は、出力

50

される正弦波の形式でパルスを生成する光検出器によって受信される。エンコーダエレクトロニクスは、この出力を、カウンタに対する伝送の準備ができている方形波形式に変換する。カウント数は、エンコーダディスクの角位置に正比例する。多くのエンコーダも、例えばホームポジションを決定するためなどの参照用に1つのパルスのあらゆる力学的回転を提供する単一のゼロマークを含む。

【0077】

原則として、回転ディスクが光源と光検出器との間の光を遮断して出力信号を生じるという点で、回転アブソリュート光学エンコーダ(図9)は、インクリメンタルエンコーダと同様である。しかしながら、單一トラックのインクリメンタルエンコーダとは対照的に、アブソリュートエンコーダディスクは、各々が透明及び不透明な部分のパターンを有するいくつかの同心トラックを特徴とする。これらの独立トラックは、各々の解決できる位置のための一意の組合せを提供する。アブソリュートエンコーダは一意であるので、電力が除去されるときに、アブソリュートエンコーダは位置を解放しない。そして、それはゼロまたはホームポジションに戻ることによってシステムを初期化することは必要でない。大部分の用途では、デバイスがオンにされる場合にだけ、絶対位置が決定される。そのポイントのオンから、それを速い速度で高解像度を得ることをそれに可能にするために、位置はアナログ正弦／余弦信号に基づいて徐々に増加する方法で決定される。

【0078】

ロボットマニピュレータの例は、障害を示してもよい多数の構成要素を備えた複合のメカトロニクスシステムである。これらの構成要素は、電源、モータ、エンコーダ、ベルト、ペアリング、ボールねじ、ブレーキ、真空システム構成要素、通信システム構成要素、マスタコントローラ、モータコントローラ、及び冷却ファンを含む。

【0079】

本状態監視及び障害診断システムは、選択された信号の時間履歴を利用して、個々のシステム構成要素の状態評価を実行する。信号は、すでにツールの中に存在するソースから得られてもよく、またはヘルス監視及び障害診断の目的のために特に加えられる追加のセンサによってもたらされてもよい。

【0080】

通常、すでにツールの中に存在するソース、即ち、ロボット及び他の装置によって用いられて所望の機能性を実現するそれらのソース、からできるだけ多くの情報を抽出することが望ましい。これは、追加のセンサが増大した複雑さ及びコストに至るという理由による。しかしながら、場合によっては、既存の信号から情報の全てを抽出することは可能でないかまたは複雑なアルゴリズムを必要とするので、ヘルス監視及び障害診断のために特にセンサを追加することが好ましくてもよい。そして、それはより強力で高価なプロセッサで動くことを必要として、開発及び支援のために高価でもよい。

【0081】

既存の測定可能な信号

通常、以下の信号は、ロボット化された製造ツールの中に存在していて、状態監視及び障害診断に利用可能になされてもよい。

(a) モータのPWMデューティ：モータのPWMデューティとは、いかなる所定の時間でも各々のモータ位相に供給される入力電圧の割合である。各々のモータ位相でのデューティサイクルは、ヘルス監視及び障害診断システムが利用できる。

(b) モータ電流：モータ電流は、各々のモータの各々の3つの位相の各々の中を流れている電流を示す。モータ電流は、絶対値としてまたは最大電流の割合として得られてもよい。絶対値として得られる場合、それはアンペアという単位を有する。モータ電流値は、順番に用いられてモータのトルク電流関係を用いてモータトルクを計算してもよい。

(c) 実際の位置、速度及び加速：これらは、各々のモータの軸の位置、速度及び加速である。回転軸に対して、位置、速度及び加速値は、それぞれ、度、度／秒、度／平方秒という単位である。運動軸に対して、位置、速度、及び加速値は、それぞれ、mm、mm／秒、及びmm／平方秒という単位である。

10

20

30

40

50

(d) 所望の位置、速度及び加速：これらは、コントローラがモータに有するべきと命令する位置、速度及び加速値である。これらの特性は、上記の実際の位置、速度及び加速と類似した単位を有する。

(e) エラー追跡位置及び速度：これらは、それぞれの所望及び実際の値の間の相違である。これらの特性は、上記の実際の位置、速度及び加速と類似した単位を有する。

(f) 処理時間：これは、位置及び速度トラッキングエラーに対して動きの終わりに指定されたウインドウ内で解決するのに要する時間である。

(g) エンコーダアナログ及び絶対位置出力：アナログ信号及び絶対位置信号である 2 種類の信号を出力するエンコーダによって、モータの位置は、決定される。アナログ信号は、 $mV \cdot 0.1 \text{ t } s$ という単位で正弦信号及び余弦信号である。絶対位置信号は、アナログ正弦サイクルの数または通り過ぎたアナログ正弦サイクルの整数倍数を示す不揮発性整数値である。通常、デジタル出力はパワーアップで読み込まれて、その後で、軸位置はアナログ信号だから決定される。 10

(h) グリッパー状態：これは、グリッパーの開閉状態である。真空作動エッジコンタクトグリッパーの場合、それは 1 つ以上のセンサの遮断された / 遮断されない状態である。

(i) 真空システム圧力：これは、真空センサによって測定される真空レベルである。これは、出力がアナログ / デジタル変換器によってデジタル化されるアナログセンサである。吸入グリッパーの場合、真空レベルは、ウェーハが把持されたかどうか示す。

(j) 基板存在センサ状態：受動的なグリップエンドエフェクタにおいて、ウェーハ存在センサ出力は、バイナリ出力である。真空作動エッジコンタクトグリップエンドエフェクタでは、ウェーハの存在は、各々がバイナリである 2 つ以上のセンサの出力状態から決定される。 20

(k) マッパーセンサ状態：これは、いずれかの所定の例において遮断されるかまたは遮断されないマッパーセンサの状態である。

(l) マッパー / アライナ検出器光強度：これは、光検出器 (図 5 の 503) によって検出される光の強度の測定である。この信号は、整数値 (例として 0 - 1024 の範囲を有してもよい) として、概して利用できる。

(m) マッパーセンサ位置捕獲データ：これは、マッパーセンサが状態を変更するロボット軸位置値のアレイである。

(n) 真空バルブ状態：これは、真空バルブの命令された状態である。それは、真空バルブを作動するソレノイドがエネルギーを与えられると仮定されるかどうかを特定する。 30

(o) ヒューズ出力ターミナルでの出力：モータ制御回路の各々のヒューズの各々の出力ターミナルでの電圧が監視される。飛んだヒューズは、低出力ターミナル電圧をもたらす。

(p) 基板配置データ：これらは、アライナによって報告される、基板の配置基準の基板偏心ベクトル及び角度方向である。

(q) 外部基板センサの遷移における位置データ：場合によっては、ツールの大気セクション及び真空セクションは、ロボットによって運ばれる基板の先頭エッジ及び末尾エッジを検出する光学センサを備えていてもよい。これらのイベントに対応するロボット位置データは、ロボットエンドエフェクタ上の基板の偏心のオンザフライ認識に用いられる。 40

(r) 基板サイクル時間：これは、ツールによって処理されて通常、安定したフロー条件の下で測定される、単一の基板に対して要する時間である。

(s) ミニ環境圧力：これは、ツールの大気セクションにおける圧力センサによって測定される圧力である。

【 0082 】

H M D F 用追加センサ

上記したように、ヘルス監視及び障害診断の目的で特に追加された情報源によって、ツールですでに利用できる信号を補完することは、しばしば望ましい。これらのソースは、以下を含んでもよい。

(a) モータトルクの直接測定：モータトルクは、モータ電流から推定される代わりに、

10

20

30

40

50

直接測定されてもよい。これは、エネルギーを与えられたモータを静止状態で保持するために必要な外力 / トルクを測定するためにフォースゲージまたはトルクゲージを用いてなされる。

(b) モータ温度 : これは、モータの温度を参照して、モータに載置される温度センサによって読み込まれる。温度は、セ氏温度を単位にして利用可能であってもよい。

(c) 過剰運動センサ : これらは、センサが関連する動き軸が、その運動の許容範囲を上回ったかどうかを示す、例えばリミットスイッチなどのセンサである。

(d) 音響及び振動センサデータ : これは、ロボット上のまたはロボットの近くの様々なポイントに配置されたマイクロホン及び加速度計から得られた電気信号を示す。

(e) 赤外線センサデータ : これは、温度変化を監視するためのツールの様々な位置に配置された赤外線センサから得られる温度読み込みを示す。

(f) 電力消費 : モータ電流、速度及びデューティサイクル値は、いかなる所定の時間にも各々のモータによって消費される電力を計算するために用いられる。

(g) 偏差 : これは、偏差を測定するためにロボットの様々な位置に配置されたひずみゲージから得られる電気信号を示す。

(h) ベルト張力 : ベルト引っ張り器に取り付けられる力検出装置の出力は、ベルト張力の測定として役立つ。それは、ニュートンという単位を有する。

(i) 冷却ファンの運転期間 : 冷却ファンは、連続して作動しているまたはサーモスタッフ制御されるかのいずれでもよい。ロボットからの熱放散の役立つインジケータは、サーモスタッフ制御された冷却ファンの運転期間である。

(j) 基板の帯電 : 他の方法の中で、基板充電のレベルは、基板の制御された放電を介して決定されてもよい。

(k) 外部のセンサの移行での位置データ : 追加の外部センサが用いられて、基板及びロボット構成要素を運動のエッジを検出して、コントローラが対応するロボット位置データを捕捉しつつ例えばロボット及び基板反復チェックのための得られる情報を用いることとする。

(l) ビデオ画像 : これらは、ロボットが周期的に至る特定の場所で固定されてまたはロボットによって運ばれるカメラのいずれかに搭載されたビデオカメラから得られるビデオ画像を示す。後者の場合、カメラは、エンドエフェクタまたは固定目印のいずれかを示す。

(m) プレナム圧力 : これは、ファンフィルタユニットにおけるフィルタの入力側にある圧力センサによって測定される圧力である。

【 0 0 8 3 】

障害モードの事例

構成要素障害は、2つの異なるタイプに、広く分類され得る。即ち、徐々に展開される「慢性」障害及びすぐに起こる「急性」障害である。第1の種類の障害は、それらの開発の初期段階で状態監視システムによって検出され得る。早期検出及び修復は、動作の間、予想外の障害を避けるのを助ける。他方、第2のタイプの障害は、それら自身は早期検出の役に立たない。しかしながら、障害診断システムは、それらが起こるとそれらを診断するのを助けて、従って、マシンを動作状態へ復旧する時間を短くすることができる。起こり得る障害の異なるタイプは、以下に記載されて表3に要約される。

【 0 0 8 4 】

10

20

30

40

【表3】

表3：障害モード及び障害兆候の事例

構成要素	障害モード	突発／漸次	測定可能な兆候
モータ	マグネットの低下または分解	漸次	モータ巻線電流の全体的な増加； モータ温度の全体的な増加； 電力消費の増加； エネルギー散逸の増加； 冷却ファンのより長い作動時間
	固定子の滑り及び不整列	漸次	モータ巻線電流の増加； モータ温度の全体的な増加； 電力消費の増加； エネルギー散逸の増加； 冷却ファンのより長い作動時間
	高コネクタ抵抗	漸次	P MWデューティの全体的な増加； 電力消費の全体的な増加； エネルギー消費の増加
	焼けたモータの位相	突発性	相巻線のモータ電流の急落
	飛んだヒューズ	突発性	ヒューズの出力端子での電圧急落
エンコーダ	光学ディスク汚染	漸次	正弦信号振幅
	リード - ヘッド不整列	漸次または突発性	正弦／余弦信号の位相ひずみ； 信号振幅の減衰
	エンコーダ配線の電気ノイズ	漸次または突発性	正弦／余弦信号の信号対雑音比の減少
	誤ったカウント	漸次または突発性	絶対軸位置とエンコーダカウントをインクリメントすることから計算される位置との間の相違
ベルト	仕様を下回る張力	漸次	振動性トラックエラー； ベルト引張り器での下方力測定； ベルト張力に対応する共振周波数の減少
	仕様を上回る張力	突発性	ベルト引張り器での上方力測定； 共振周波数の増加
	構成要素に対する摩擦	漸次または突発性	より高いモータ電流； より高い電流消費； モータ温度における増加； 冷却ファンのより長い運転時間； 音響エネルギー散逸のパワースペクトルの変化
	ベルト滑り	漸次または突発性	ビデオカメラ及び過剰運動センサなどの外部センサによって測定される位置の重大な変化； トラッキングエラーの増加
真空システム	漏れ	漸次または突発性	低真空圧測定； 圧力移行時間の増加。これは、表面接触真空グリッパーの場合にはグリップ作動時間の増加、真空作動されたエッジコンタクトグリッパーの場合にはグリップ開放時間の増加という結果になる； 表面接触真空グリッパーにおける把持への障害及び真空作動エッジコンタクトグリッパーの場合には非把持への障害

	真空センサとアクチュエータとの間の障害物	漸次または突発性	圧力移行時間の減少；表面接触真空グリッパーの場合にはグリップ作動及び真空作動されたエッジコンタクトグリッパーの場合にはグリップ開放を実現するために必要な減圧の増加	10
	真空バルブと真空センサとの間の障害物	漸次または突発性	真空センサによって検出される低真空圧；圧力移行時間の増加。これは、表面接触真空グリッパーの場合にはグリップ作動時間の増加、真空作動されたエッジコンタクトグリッパーの場合にはグリップ開放時間の増加という結果になる；表面接触真空グリッパーにおける把持への障害及び真空作動エッジコンタクトグリッパーの場合には非把持への障害	
真空作動されたエッジコンタクトグリッパー	障害したプランジャー	漸次または突発性	グリップ作動のための減圧の増加；グリップ開放の失敗	20
	破損したスプリング	突発性	グリッパーは常に開放された状態である	
ペアリング／ボールねじ	結合	漸次	モータ電流の増加；電力消費の増加；エネルギー散逸の増加；トラッキングエラーの増加；モータ温度の増加	30
	遊び	漸次	過剰運動センサ及びビデオ画像カメラなどの外部位置センサによって記録されるより高い位置エラー；顕著なモータ固定子に不整列を生じさせるのに十分大きい場合；[？？？]モータ巻線電流の増加；モータ温度の増加；電力消費の増加；エネルギー散逸の増加；冷却ファンのより長い作動時間	
通信システム	スリップリング障害	漸次	障害の初期ステージにおけるエラー率の増加；マスタコントローラは最終ステージで1つ以上のモータコントローラから状態更新を受信しない	40
	モータコントローラの通信チップの障害	突発性	マスタコントローラは最終ステージで1つ以上のモータコントローラから状態更新を受信しない	
	マスタコントローラの通信チップの障害	突発性	モータコントローラはマスタコントローラからの動き情報を受信しない	
	2つの隣接するモータコントローラの間の割り込み通信リンク	突発性	ネットワークのノード数の減少	
基板マッパー	センサ電子出力のノイズ	漸次	それが各々の基板を通過するときにマッパーデジタル出力の複数の阻止／非阻止移行	50
	光強度変動	漸次	阻止／非阻止移行の移行または欠如	
	障害センサ	突発性	阻止／非阻止移行の欠如	

ブレーキ	部分的に開放されたかまたは開放されていないブレーキ	漸次	モータ電流の位置依存増加；電力消費の全体的な増加；エネルギー散逸の増加；測定された音響信号のスペクトルの変化
		突発性	モータ電流の増加；電流消費の全体的な増加；エネルギー消費の増加；測定された音響信号のスペクトルの変化
外部	障害物	突発性	モータ電流の急増；位置及び速度エラーの急増
冷却ファン	停止機能	突発性	全体的なシステム温度の増加
電源	無電圧（例えば、飛んだヒューズ）	突発性	ゼロモータ電流；モータコントローラの電圧センサが低バス電圧エラーを示す；トラッキングエラーの急増
	仕様を下回る電圧	突発性	小変化に対して：通常のデューティサイクルより高い；電流の付随変化なし；大変化に対して：モータコントローラの電圧センサが「バス低電圧」障害を示す
	仕様を上回る電圧	突発性	小変化に対して：通常のデューティサイクルより低い；電流の付随変化なし；大変化に対して：モータコントローラの電圧センサが「バス過電圧」障害を示す
アクティブなグリッパー	破損したスプリング	突発性	グリッパーは常に開いた位置にある
	障害したプランジャ	漸次	ゆっくりとした把持動作及び非把持動作
ロボット	反復性低下	漸次	ロボットエンドエフェクタが外部センサによって検出されるといの捕捉された位置データの変動；所定の位置に反復して命令されたロボットエンドエフェクタのビデオ画像
	ミスピックまたは配置ミス	突発性	ピック及び配置動作を示すビデオ画像
アライナ	光強度の変動	漸次	十分に曝されたときのエッジセンサ出力の変動（減少）
ファンフィルタユニット	目詰まりしたフィルタ	漸次	同じミニ環境圧力を維持するためにプレナム圧力が増加される
イオン化装置	電極劣化	漸次	基板帶電の増加
ツールベル障害	基板反復性低下	漸次	基板エッジが外部センサによって検出されるときに捕捉される位置データの変動；所定の位置に届けられる基板のビデオ画像
	ロボットステーション不整列	漸次または突発性	自動ティーチング及び／または自動レベル結果の変動
	スループット減少	漸次または突発性	基板サイクルタイムの増加

ロボット及びアライナ

[モータ障害]

モータは、ロボットのコア構成要素であって、最適状態に及ばない動作をもたらす多くの方法のうちの1つにおいて失敗するかもしれない。以下は、それらが起こるときに予測され得る障害の徐々に起こるいくつかのモードである。

(a) 永久磁石の弱化：永久磁石の弱化（例えば、積極的な環境で磁石材料崩壊による）は、順番に所定の電流に対する低トルク出力をもたらす磁電界強度の損失をもたらす。より高い巻線電流が、同じトルク出力を維持するために必要とされる。より高い電流は、より高い抵抗エネルギー損失をもたらす。それは、順番に全体的な電力消費における増加及びモータ温度の増加をもたらす。

(b) 固定子及び不正確な位相角の滑り／不整列：固定子を正しい場所に保持するクランプの緩みは、固定子の滑り及び不整列をもたらすことがあり得る。これは、有効なモータの位相角を変え、それは不正確な通信をもたらす。不正確なモータの位相角は、また、位相角評価手順の不正確な実施に起因する。徴候は、上記した磁石を弱化する兆候、即ち、より高い巻線電流、モータ温度、及び電力損失、と同様である。

(c) 高いコネクタ抵抗：モータのコネクタリードの汚染及び／または腐食は、より高い有効巻線抵抗という結果になる。これは、デューティサイクルの全体的な増加及び全体的な電力損失及びモータ温度をもたらす。

【0088】

以下のモータ障害は、突発的に起こるかもしれない。

(a) 焼けたモータの位相：突発的に起こっているモータ障害の例は、焼けたモータの位相である。この障害は、通常、影響を受ける位相においてだけ電流の急落を検出するモータコントローラによって、フラグを立てられる。

(b) 飛んだヒューズ：飛んだヒューズは、モータ増幅器に、そして、従ってモータ位相の全てへの電力供給を切り離す。飛んだヒューズは、ヒューズの出力されたターミナルで、電圧の突然の低下をもたらす。

[エンコーダ障害]

エンコーダ障害は、誤った位置読み込みをもたらすかもしれない。それらは、以下のタイプを含むかもしれない。

(a) 光ディスク汚染：エンコーダディスクまたは読み込みヘッド上のベアリング油のほこりまたは移染の蓄積による汚染は、エンコーダから出力されるアナログ正弦信号の減衰に結果としてなり得る。これは、徐々に起こっている障害であって、エンコーダ正弦信号の振幅を監視することによって予測され得る。信号減衰の範囲は、エンコーダ位置の関数として変化する。

(b) 読み込みヘッドの不整列：エンコーダからの2つの正弦／余弦信号は、通常90度位相がずれている。しかしながら、不整列の読み込みヘッドは、信号の減衰にさらに、2つの信号の間の位相差の変化をもたらす。このように、この障害は、信号の間の位相差を監視することによって検出されてもよい。この障害は、漸次または突発的に起こり得る。

(c) 電気ノイズ：信号の電気ノイズは、エンコーダからアナログ信号のノイズ比に対するより低い信号をもたらす。この障害は、外部のイベントに応答してまたは装置障害のために間欠的に起こり得る。そして、エンコーダアナログ信号のノイズ比に対する信号を監視することによって検出され得る。

(d) 見のがされたエンコーダカウント：一般的に、絶対位置は、パワーアップ時にエンコーダから読み込まれ、その後で、ラインカウント及びアナログ信号だけが軸位置を決定するために用いられる。周期的に、ラインカウント及びおそらくアナログ信号から得られる軸位置は、エンコーダ絶対位置と照合されてもよい。見のがされたエンコーダカウントは、軸位置と絶対位置との間（両方とも、同じ瞬間で読み込まれた）の違いによって示される。

【0089】

[駆動ベルト障害]

10

20

30

40

50

タイミングベルトは、動力伝送デバイスとして役立ち、以下の方法で機能しないかもしれない。

(a) 不正確なベルト張力：伸びのために、ベルト張力は、徐々に低下し得る。低いベルト張力は、位置サーボループの段階的な不安定化に結果としてなり得る。これは、減少された安定余裕と同様にますます変動する位置及び速度追跡エラーにおいて現れる。ベルト引っ張り器の余分の調整は、また、通常のベルト張力より高い張力に結果としてなり得る。より高い／より低いベルト張力も、ベルト引っ張り器に載置された力センサによって測定された力の増加／減少をもたらす。ベルト張力の変化も、ベルトの近くのポイントで測定された音響及び構造振動信号の周波数スペクトルの変化をもたらす。さらに、ベルト張力の変化は、メカニズムの周波数特性の変化によって検出され得る。

10

(b) 構成要素に対するベルト摩擦：機械的問題のために移動している(walking)不正確なベルトアセンブリまたはベルトは、隣接した構成要素とすれ合っているベルトに結果としてなり得る。すれている余分のベルトは、摩擦、電力消費、電流消費、熱放散、及びモータ温度の増加をもたらす。

(c) ベルトスリップ：ベルトは、タイミングギアに対してスリップすることがあり、そして、このスリップは衝突という結果として突然起こり得る。スリップしたベルトは、トラッキングエラーの増加に結果としてなり、更には外部の位置センサ読み込みの重大な変動をもたらす。外部の位置センサの1つの例は、外に据え付けたビデオカメラである。スリップしたベルトは、また、ロボット関節での冗長な位置センサ(例えばエンコーダ)とモータに接続している主要な位置センサ(エンコーダとの間の矛盾している読み込みとして、現れることがある。

20

【0090】

[真空システム障害]

真空圧力は、ウェーハを把握するために用いられる。2種類の真空ベースのウェーハグリッパー、即ち、図6の表面接触吸入グリッパー及び図5のエッジコンタクト真空作動グリッパー、がある。真空システムで起こる可能性がある典型的な障害は、以下を含む。

(a) 真空リーク：真空リークは、リップシール上の擦り切れのために起こることがある。真空ラインの漏れ穴は、低減圧(真空バルブが開いていて、表面接触吸入グリッパーの場合に、基板がエンドエフェクタに存在するとき)をもたらして、読み込んでいる真空センサ(302、402)の測定値における低下を介して検出されることがある。さらに、握り動作は、非握りかグリッパー動作時間の増加のいずれかをもたらす。真空作動エッジコンタクトグリッパーに対して、グリップ動作時間は、バルブ(306、406)が開くように命令される瞬間と位置検出フラグ(308)はグリッパの開いた状態を検出する時間との間で測定される。表面接触吸入グリッパーに対して、グリップ動作時間は、バルブが開くように命令される瞬間と握り動作時間は瞬間の間で測られる、そして、真空センサ測定値が受け入れ可能な真空レベルに達する時間との間で測定される。

30

(b) 真空障害：真空センサとアクチュエータとの間の真空ライン内の障害物は、真空がオンにされるときに真空作動エッジコンタクトグリッパーの長い動作時間と同様により短い真空移行時間をもたらす。

【0091】

[真空作動エッジコンタクトグリッパー]

図5及び6に示した基板グリッパーは、いくつかの以下の方法で機能しなくなるかもしれない。

40

(a) 壊れたばね：真空がない場合、バネ仕掛けのプランジャは、基板に押しつけられて基板を所定の位置に握る。壊れたばねは、グリッパーに常に「開放された」状態を生じさせる。

(b) 故障したプランジャ：プランジャは故障することがあり、これは真空ラインを開閉することに応答してグリッパー状態に変化がないことをもたらす。

[ベアリング及びボールネジ]

ベアリング及びボールネジは、いくつかの以下の方法で徐々に機能しなくなるかもしれ

50

ない。

(a) 結合 : ボールベアリングの結合は、動きへの抵抗の増加を生じさせる。結合は、モータ電流、モータ温度及びエネルギー散逸の増加並びにトラッキングエラーをもたらす。それはまた、影響を受ける関節を動かすベルトの張力の増加をもたらす。

(b) 遊び : ベアリングの遊びは、外に据え付けたビデオカメラのような外部の位置センサによって記録される位置における誤りをもたらす。ベアリングがモータの一部分である場合、それはまた、固定子の不整列をもたらす場合があり、以前に検討した徵候をもたらす場合がある。遊びは、また、振動運動につながって、安定余裕を減らす場合がある。

【 0 0 9 2 】

[通信システム]

通信ネットワークは、マスタコントローラとモータコントローラとの間でデータを転送する。通信ネットワークに対する障害モードは、以下を含んでもよい。

(a) スリップリング障害 : スリップリングは、回転関節にわたってデータを送信して、擦り切れのために徐々に低下する場合がある。スリップリングの低下は、個々のコントローラによって受信されるデータにおけるエラーレートの増加によって検出される。

(b) モータコントローラ上の通信モジュールの障害 : マスタコントローラは、モータコントローラから状態メッセージを聞く。マスタコントローラは、そのモータコントローラから状態メッセージの欠如を検出することによってモータコントローラの障害を検出することができる。この処理は、また、「ノード防御」とも称される。

(c) マスタコントローラ上の通信モジュールの障害 : モータコントローラは、マスタコントローラから規則的な軌道情報を受け取る。マスタコントローラの故障は、いずれかの軌道情報ものの欠如によって検出される。この過程は、また、「心拍監視」とも称される。

(d) 2つの隣接したモータコントローラの間の通信リンクにおける中断 : この種類の障害は、以下の2つの徵候のうちの1つをもたらす。ネットワークに冗長性がある場合、ホストコントローラはネットワークを再配置して異なるネットワークトポロジにおいて作動し続けることが可能である。冗長性がない場合、ホストはネットワークを再配置することができない。後者の場合マップされてはならないノードの前のケースまたはリストにおいて、障害リンクの場所は、前者の場合には新しいネットワークトポロジに基づいて、または後者の場合にはマップされることができないノードのリストに基づいて決定されてもよい。

【 0 0 9 3 】

[基板マッパー]

基板マッパーは、一般に、各々のマップされた基板に対する2つの状態移行を登録するオンオフセンサである。その障害モードは、以下の種類を含んでもよい。

(a) 雑音センサ出力 : これは、基板毎に複数の(2つ以上)状態移行及び/または奇数の状態移行をもたらす。

(b) 障害マッパーセンサ : 障害センサは、状態移行をもたらさない。

【 0 0 9 4 】

[ブレーキ障害]

モータブレーキは、通常電気機械的に動かされて、以下の障害のうちの1つ以上を有するかもしれない。

(a) ブレーキが解除しない : これは、ローターに対してブレーキパッドの中で連続した摩擦をもたらして、モータ電流の変動に依存した位置をもたらす。さらに、トラッキングエラー、エネルギー散逸、熱放散並びに音響及び振動スペクトルの変化における全体的な増加がある。

(b) 部分的にリリースされるブレーキ : これは、ローターに対してブレーキパッドの中で断続的な摩擦をもたらして、モータ電流の変動に依存した位置をもたらす。さらに、エネルギー散逸、熱放散並びに音響及び振動スペクトルの変化における全体的な増加がある。

10

20

30

40

50

【0095】

[外部障害]

外部障害は、モータ電流における速い増加及び実際のモータ電流とモデル予測モータ電流との間の差における増加をもたらす。モータ電流の増加の割合は、障害のタイプに依存する。ソフト障害は、モータ電流が徐々に増加する障害である。ソフト障害の例は、延伸されてZ方向に移動するそのアームを用いて、ロボット（図4の）のエンドエフェクタが直面する障害である。アームの柔軟性は、置換に関して線形に増加しているモータ電流をもたらす。ハード障害の場合には、モータ電流は急に増加する。ハード障害の例は、半径方向において移動するロボット（図4の）のエンドエフェクタが直面する障害である。

【0096】

10

外部障害とのインターフェースのより直接的な徴候は、利用できるならば、ひずみゲージで示されるたわみの増加である。

【0097】

[冷却ファン]

モータ及び電子機器を冷却するために用いられるファンは、モータ電流レベルの増加を伴うことなしに全体的なシステム温度の増加をもたらすよう作動できないかもしれない。

【0098】

[電力供給]

電力供給障害から生じている障害の典型的モードは、以下に示される。

(a) 仕様書以下の電圧：モータコントローラの電圧センサは、「電圧未満の」障害を明確に示す。この種のセンサがない場合、この状態は、より高いデューティサイクル及び位置追跡エラーによって特徴づけられる。

20

(b) 仕様書以上の電圧：モータコントローラの電圧センサは、「電圧以上の」障害を明確に示す。この種のセンサがない場合、この状態は、通常のデューティサイクルより低く特徴づけられる。

(c) 飛んだヒューズ：これは、ヒューズ出力端子における電圧検知によって検出される。

ヒューズが飛ばされるときに、電圧はゼロの近くにある。

[ロボットレベル障害]

(a) 反復性低下：ロボットは、指定された場所に繰り返しエンドエフェクタを配置するその能力を解放する。ロボットエンドエフェクタが動きの間の外部センサによって検出されるかまたは所定の場所に繰り返し命令されるロボットエンドエフェクタのビデオ画像を使用するときに、この障害は概して徐々に発現して、捕らえられる位置データにおける変化として検出される場合がある。

30

(b) ミスピック / ミス配置：この障害は、ロボットアーム上またはピックアンドプレース動作が起こる場所のいずれかに搭載されるビデオカメラ（または複数ビデオカメラ）によって、ロボットのピックアンドプレース動作のビデオ録画を用いて診断されてもよい。

【0099】

[アライナ / マッパー光強度変動]

アライナまたはマッパーの発光体によって発される光の強度は、長い期間にわたって徐々に変動する（低下する）場合がある。マッパーの場合、強度の重大な低下は、発光体と光検出器との間の基板の有無に関する誤ったデータをもたらすことがあり得る。アライナの場合、それは発光体が抑止される範囲に関する誤ったデータをもたらすことがあり得る。順番に、これは障害またはアライナのウェーハエッジ位置データをもたらす。

40

これは、概して徐々に展開していて、充分に光源にさらされるときに、センサ出力の変動（減少）として検出されてもよい。

【0100】

支援システム

[ファンフィルタユニット]

ファンフィルタユニットはフィルタを含み、それは概してツールの大気セクションの上

50

部断面領域の大部分の範囲にわたる。漸次のフィルタの目詰まりは、フィルタ（プレナム圧力）の入力側でプレナム圧力を増やすことによって示され、ツールの大気セクション（ミニ環境圧力）で同じ圧力を維持する。

【0101】

[イオン化装置障害]

イオン化装置は、ツールの大気セクションにおいて移される基板に蓄積している帯電を中立化するために用いる装置である。イオン化装置の障害は、基板上の過度の帯電蓄積をもたらす。

【0102】

ツールレベル障害

10

[反復性低下]

ツールレベル障害は、基板反復性低下、ロボットステーション不整列及びスループット低下を含む。

【0103】

[基板反復性低下]

基板反復性低下は、指定された公差の範囲内で繰り返し1つ以上の位置に基板を届けるためのツール能力の損失である。これは、2、3例を挙げると、ロボットエンドエフェクタ上の基板ずれによるまたはアライナの障害による、ロボット反復性低下の副作用であるかもしれない。この障害は概して徐々に発現し、動きの間外部センサによってまたは基板が所定の場所に届けられるときにビデオ画像に基づいて、基板エッジが外部センサによって検出されるときに、捕捉される位置データにおける変化として検出され得る。

20

【0104】

[ロボットステーション不整列]

ロボットに関する位置の適当な配置は、ツールの適当な動作のために重要である。不整列は、自動ティーチ結果及び自動レベル結果における変化として検出されることがある。

【0105】

[スループット低下]

スループットは、1時間あたりツールによって処理される基板の数で測定される。スループット低下は、基板サイクル時間の増加によって示される。

【0106】

30

H M F D 技術

データ収集、前処理、分析及び推論である4つの基本的機能を実行する方法が、更に詳細に説明される。データ収集、前処理、分析及び推論に利用可能な多くの異なる種類の方法があり、方法の各々は特定の種類の障害の検出及び識別に適している。

【0107】

エネルギー散逸の監視及び分析

この方法は、ロボット障害の早期検出システムの実施に適している。この方法の基本原理は、ロボットの機械または電気部品の低下から生じる障害がロボットの動作の全体効率の低下をもたらすというその障害である。従って、この種の障害は、ロボットのエネルギー散逸の特定の測定を監視することによって、発生の初期段階に検出され得る。低下効率の低下をもたらす障害のいくつかの例は、以下の通りである。損害を受けたか不正列のベアリング、注油の損失、ロボット動きへの障害、ローター上の永久磁石の低下、及び正常に動作しないモータブレーキ、である。ロボット動きの間監視され得るエネルギー散逸のいくつかのタイプがある。

40

【0108】

[機械的エネルギー散逸]

エネルギー散逸の1つの測定は、一連のロボット動作の間の全体の機械的エネルギー散逸である。これは、以下の式によって与えられる。

【0109】

【数1】

$$\Delta E_{\text{total,mech}} = \sum_{i=1}^N \int_{\Delta T} \tau_i \dot{\theta}_i \, dt - \Delta E_{\text{pot}}$$

【0110】

ここで、 i 及び $\dot{\theta}_i$ は、個々のモータの出力トルク及び角速度であり、 N はロボットのモータの数を表し、 ΔT は一連のロボット動作の継続期間であり、 E_{pot} はロボットのポテンシャルエネルギーの変化である。

10

【0111】

項 E_{pot} は、重力ポテンシャルエネルギーの変化及びばね及び送風機のような従属部品に保存されるエネルギーにおける変化を含む。ポテンシャルエネルギーの変化は、所定の一連の動作に対して一定であって、ロボットの開始位置と終了位置との間で、ポテンシャルエネルギーの違いから計算され得る。時間がたつと、全体の機械的エネルギー散逸の増加は、機械部品の劣化から生じている障害を示す。

【0112】

[電気エネルギー散逸]

エネルギー散逸の別の測定は、一連のロボット動作の間、モータにおいて散逸された全体の電気エネルギーである。これは、以下の式によって与えられる。

20

【0113】

【数2】

$$\Delta E_{\text{total,elec}} = \sum_{i=1}^N \int_{\Delta T} V_i I_i \, dt - \Delta E_{\text{pot}}$$

【0114】

ここで、 V_i はモータ電圧入力であり、 I_i はモータ入力電流である。

【0115】

30

全体の電気エネルギー散逸の増加は、ロボットの電気または機械部品の劣化から生じている障害を示す。

【0116】

[個々の関節のエネルギー損失]

障害構成要素の場所に関する役立つ情報は、ロボットの個々の関節のエネルギー損失を監視することによって得られることがある。例えば、個々の関節の各々における機械的エネルギー散逸は、また、特定の関節における障害ベアリングまたはブレーキに関する役立つ情報を提供することができる。以下の式は、ロボットの関節 i の機械的エネルギー損失を与える。

【0117】

40

【数3】

$$\Delta E_{i,\text{mech}} = \int_{\Delta T} \tau_i \dot{\theta}_i \, dt$$

【0118】

その機械的に対応する物と同様に、個々のモータの電気的エネルギー損失における変化も特定のモータの差し迫った障害に関する役立つ情報を提供する。

【0119】

50

【数4】

$$\Delta E_{i,elec} = \int_{\Delta T} V_i I_i dt$$

【0120】

エネルギー散逸に基づく状態監視は、以下の2つ方法のうちの1つで現実のシステムで実行され得る。第1の方法は、ロボットがその延長期間にわたって繰り返す運動シーケンスが存在すると仮定する。この種の運動シーケンスは、ヘルス監視及び障害診断のためのテンプレートとして用いられることがある。エネルギー散逸、トルク及び他の動き特徴に関するデータは、正常なロボットに対して測定されて将来の使用に備えて記憶され得る。基板処理ロボットは一組の位置の中で基板の搬送に連続して係わるので、1つの位置から他の位置への基板の運動は、ヘルス監視用のテンプレートシーケンスとしての資格を得る。第2の方法は、例えばニューラルネットワークを用いかつ正常なロボットのエネルギー散逸を計算するためのこのモデルを用いる、「通常の」ロボットモデルの開発を含む。このモデル計測されたエネルギー散逸は実際のエネルギー散逸と比較されて、時間にわたるエネルギー散逸の増加があるかどうか判断してもよい。

10

【0121】

以下の種類の障害は、この方法によって検出され得る。モータ磁石の崩壊、固定子不整列、より高いコネクタ抵抗、より高いベルト張力は、可動構成要素、不完全なボールベアリング、ブレーキドラッグの存在、不正確な交換角度及びフェーズの障害のいずれでも摩擦において増加する。

20

【0122】

トルク残差の監視及び分析

トルク残差は、実際のモータトルクとベースライン評価との間の相違の測定である。トルク残差の分析は、ロボットで起こり得る特定の種類の障害を識別することができる。この方法はロボットの動作の間得られるトルクデータをロボットの通常の挙動を表すトルクデータと比較することに基づく。ベースライントルクデータ（通常の挙動を表すデータ）は、まず選択された運動シーケンステンプレートとして最初に記憶される生のデータとして、またはロボットのモデルからの、いずれかで得られる。トルク残差の生の値に加えて、所定の運動シーケンスにわたる残差の絶対値の全体はまた、包括的ロボットヘルスの役立ツインジケータである。

30

【0123】

[選択された運動シーケンステンプレート用生のデータ記憶]

この方法は、ロボットが延長期間にわたって繰り返す運動シーケンスが存在すると仮定する。この種の運動シーケンスは、ヘルス監視及び障害診断のためのテンプレートとして用いられ得る。エネルギー散逸、トルク及び他の動き特徴に関するデータは、正常なロボットに対して測定されて、将来の使用のために記憶され得る。基板処理ロボットは一組の位置の中で基板の搬送に連続して係わるので、1つの位置から他の位置への基板の運動を実施する運動シーケンスは、ヘルス監視のためのテンプレートシーケンスとしての資格を得る。1つのステーションの延長位置における「解決」イベントは、テンプレート運動シーケンスの開始の引き金を引き、次のステーションでの延長位置における解決イベントはヘルス監視運動シーケンスの終了の引き金を引くことができる。このように、ステーションの各々の一組に対して1つである、複数のテンプレートシーケンスを有することが可能である。この方法での主な不利は、運動パラメータが不变のままである間だけ、運動シーケンスのために収集された参照データが有効であるということである。

40

【0124】

[分析的ロボットモデル]

ロボットの通常の挙動は、所定の機械設計のために分析的に抽出されたダイナミックモ

50

モデルによって表されてもよい。一旦モデルの構造が抽出されると、モデルのパラメータは、しばしば、C A D モデルの援助で、またはパラメータ推定技術を実験的に用いて得られる、含まれる機械的構成要素の物理的性質に基づいて算出され得る。この方法の不利は、別個のダイナミックモデルがロボットアームメカニズムの異なる構成に対して抽出されることが必要であり、例えば摩擦などのいくつかの物理的現象は必須の精度によって分析的に記載するのが困難であるということである。

【 0 1 2 5 】

[ニューラルネットワークベースのロボットモデル]

分析モデルの代替として、正常なロボットから得られたデータは、ロボット力学のニューラルネットワークモデルを構築するために用いられ得る。同じ種類のニューラルネットワークが、ロボットアームメカニズムの複数の構成に対して用いられ、モデルのトレーニングが容易に自動化され、ニューラルネットワークモデルが概してしばしば分析的に記載するのが困難であるかなり複合物理現象を表すということが都合がよい。

10

【 0 1 2 6 】

トルク残差の分析に基づいて識別され得る典型的な障害は、有効なモータ容量における減少及び周期的な障害を含む。

【 0 1 2 7 】

外乱オブザーバ

外乱オブザーバは、ロボットマニピュレータのサーボ制御において共通して用いられる。それらは、ロボットモデルにおいて説明されない妨害の評価を提供する。これらのオブザーバは、位置サーボモータと比較してより高い帯域幅で安定しているように設計されて、それゆえに、ロボットマニピュレータのより良い追跡制御を可能にし得る。ロボットの各々のモータのための外乱オブザーバによって提供される妨害評価は、異常を検出するために監視されてもよい便利な特性として役立つ。外乱オブザーバは、急にまたは間欠的に起こる障害を検出するために用いられてもよい。この種の障害の例は、以下の通りである。特定のモータの位置で起こるブレーキ障害、特定のモータの位置でベルト摩擦、動きへの外部の障害、入力電圧の突然の変動、である。

20

【 0 1 2 8 】

モータ電力消費の監視及び分析

モータ電力消費は、ロボットの全体的なヘルスの役立つインジケータである。上記したエネルギー散逸と同様に、電力消費の増加は、ロボットの潜在的な障害を示している。モータトルクの様に、電力消費はロボットの電流状態の特性であり、その変動は障害の種類に関する役立つ情報を生むことができる。

30

【 0 1 2 9 】

トラッキングエラーの監視及び分析

トラッキングエラーの監視及び分析は、ヘルス問題を明らかにし得る方法である。トラッキングエラーは、ロボットの所定の軸または構成要素の実際の位置とこの軸または構成要素に対する命令された（所望の）位置との間の差として定義される。このヘルス監視方法は、ロボットが正常なヘルス状態にあったときに最初に得られる基本データを有する動作の選択されたテンプレートシーケンスに対するロボットの正常な動作の間に収集されたトラッキングエラーに基づいている。ほかの同一の動作状態の下でトラッキングエラーにおける変化及び傾向は、ヘルス問題を示す。

40

【 0 1 3 0 】

生の追跡エラーに加えて、以下の 2 つの抽出されたトラッキングエラーの量は、有効なヘルスインジケータとして役立つ。即ち、正規化トラッキングエラー及び運動シーケンスにわたってトラッキングエラーの絶対値の全体、である。

(a) 正規化トラッキングエラー：トラッキングエラーは、モータの加速及び減速の変化率と強く相關している傾向があつて、比例的に増加してもよい。ロボットヘルスのより良いインジケータは、他の動きパラメータの効果が取り除かれる正規化トラッキングエラーであつてもよい。

50

(b) トランシーバーの全体：全体の運動シーケンスにわたるトランシーバーの大きさ（絶対値）の全体は、運動の間、全体のトランシーバーの測定値である。

【0131】

エンコーダ信号の監視及び分析

各々のエンコーダのアナログ信号出力は同等の振幅であるが位相は互いに90度シフトされた、2つの正弦信号からなる。以下の不具合は、信号の振幅及び位相特性における変動を監視することによって検出され得る。即ち、位相の違いの変化は、エンコーダのリードヘッドの不整列またはエンコーダディスクの揺動を示し、振幅の変化は、エンコーダディスク上の破片の存在を示す。

【0132】

アナログエンコーダ信号は、通常動作の間または障害診断の目的に対して誘発される特定の動きパターンの間のいずれかで監視され得る。望ましい動きパターンは、一定の周波数正弦信号をもたらす安定した速度運動である。

【0133】

[熱放散の監視及び分析]

熱放散は、エネルギー散逸の別の形式である。ロボットの様々な位置での熱放散の量は、また、差し迫った障害を予測するために用いられてもよい。運動構成要素の間のより高い摩擦をもたらすいかなる障害も、熱放散のより高いレベルをもたらす。さらに、モータ及びソレノイドスイッチのより高い電流レベルは、また、より高い熱放散をもたらす。より高いモータ電流レベルは、順番に多くの異なるタイプの障害の結果である。

【0134】

熱放散は、ロボットを狙った、ツールの戦略的な位置で取り付けられる赤外線センサを介して監視されてもよい。温度は、モータ及びモータコントローラ内に存在する温度センサを用いて測定され得る。この方法は、障害の以下のタイプを検出するために用いられ得る。即ち、モータ磁石の崩壊、不正確なモータの位相角、固定子の不整列、ペアリング摩擦の増加、ブレーキドラッグである。

【0135】

構造振動の監視及び分析

差し迫った障害の事前の探知への別のアプローチは、ロボットの様々な位置で構造振動を監視することである。構造振動は、加速度計及びひずみゲージで直接にまたは間接的に音響信号を介して間接的にのいずれかで監視してもよい。差し迫った障害は、音響信号及び構造振動信号パワースペクトルの重大な変動を検出することによって予測され得る。例えば、障害ペアリングまたはすれているベルトは、音響エネルギーレベル及び信号パワースペクトルレベルにおける新しい「ピーク」の導入における増加をもたらす。ベルト張力の変化は、パワースペクトルの「ピーク」の変動によって検出され得る。

【0136】

音響エネルギーは、ロボットの様々な位置に配置されるマイクロホンを用いて測定され得る。構造振動は、ロボットの様々な位置に加速度計を取り付けることによって測定され得る。上記したエネルギー散逸方法と同様に、ロボットがある期間にわたって繰り返す特定の運動シーケンスは、正常なロボットに対するパワースペクトルが障害のあるロボットに対するそれと比較されることに基づくテンプレートシーケンスとして用いられ得る。信号は、また、ロボットの特定の方向で構造上の制御励起に応答して測定され得る。以下の種類の障害は、この方法を用いて分析され得る。即ち、ベルト張力の増減、ゆるい締めつけ具、ペアリング摩擦の増加、及び運動構成要素の擦り切れ、である。

【0137】

周波数応答解析

ヘルス問題と関連するロボットマニピュレータの特性の変化は、周波数応答解析を用いて識別されてもよい。この方法で、ロボットの周波数応答は、正常の状態のロボットに対して最初に得られるベースライン周波数応答と比較される。比較は、生のデータまたは、転送機能及び生のデータからのパラメータ推定技術によって得られる他の数学的な式に基

10

20

30

40

50

づいてもよい。

【0138】

通常、動きプロファイルは、ロボット構造の励起を最小にするように通常設計されているので、周波数応答解析のために必要なデータはロボットの正常な動作の間、得られることができない。従って、データ収集処理は、ロボットが規則的な動作に対して利用されないときに、起こることを必要とする。データは、位置の予め設定された格子にロボットを命令することによって、かつ各々の位置のエンコーダ読み込みを介してロボットの応答を監視すると共に、ロボットのモータに励起信号を送ることによって、得られてもよい。励起は、白またはピンクのノイズの形式、掃引周波数高調波信号または、興味の周波数範囲にわたって特定されたステップにおいて漸次その周波数が変化する單一周波数高調波信号の形式であってもよい。

【0139】

周波数応答解析によって識別されてもよいヘルス問題は、ゆるい機械的ハードウェア、すり切れたバーツ及びベルトの不正確な張力を含んでもよい。

【0140】

ベルト張力の監視

ロボットリンク及び、図4のベルト415、418A、418B、419A及び419Bなどのロボット化された製造ツールの他の構成要素を駆動するベルトの張力は、ベルトと対応するベルト引っ張り器との間の力を検出するセンサを介して監視されてもよい。ロボットが所定の位置において静止するときに、力は概して読み込まれる。力における変化または傾向はヘルス問題を示す。

【0141】

さらに、ロボットの動作の間、センサによって検出される力は、対応するベルト駆動によって伝導されるトルクを推定するために用いられてもよい。この情報は、例えば機械的締め具などの問題をロボットの特定の構成要素に絞るために用いられてもよい。

【0142】

例えば、図4のベルト418A及びベルト419Aを備えたモータ417Aなどの、二段階ベルト駆動を備えたモータは、予期されるより高いトルクを出力し、ステージの両方によって伝送されるトルクが正常のままである場合、問題は、ベルト駆動の第1の段階の前に構造に存在する。しかしながら、第1の段階が正常なトルクより高いトルクを送信する場合、問題はベルト駆動の2つ段階の間で探されなければならない。最後に、段階の両方とも異常なトルクレベルを送信する場合、問題はベルト駆動の第2の段階を越えてコンポーネント内にある。

【0143】

静的力バランス分析

モータ電流とモータトルクとの間の関係は、モータのトルク電流関係（モータトルク容量とも称される）によって決定される。モータ磁石の弱化などの障害は、モータのトルク容量の低下をもたらす。この種の障害は、モータトルク及びモータ電流を直接測定することによって識別され得る。モータトルクの直接の測定は、静荷重状態の下で可能である。静荷重状態の例は、静止しているが外力に抵抗しているロボットアームのそれである。外力が力ゲージによって測定され得る場合、個々のモータのトルクは決定され得る。

【0144】

外力の大きさが未知数である場合であっても、分析的静的力モデルは、モータのトルクの間の比率を得るために用いられてもよい。モータのトルク比は、モータ電流比率と比較されることがあり、モータ容量の低下につながる障害が識別されてもよい。以下の障害は、この方法を用いて識別され得る。即ち、モータ磁石の弱化、モータベアリングの遊びである。3つの位相モータにおけるモータトルクTとピークモータ電流 I_{phase} との間の関係は、以下の式によって与えられる。

【0145】

10

20

30

40

【数5】

$$T = \frac{3}{2} n L R B I_{phase} = K_t I_{phase}$$

【0146】

ここで L は、モータの軸に沿った巻き取り長さであり、 R は巻線コイルの半径であり、 B はコイルに垂直な磁場であり、 K_t はモータのトルク係数またはモータのトルク容量である。

10

【0147】

モータのトルク係数を測定することに加えて、静的分析は、モータの巻線抵抗における変化を識別するために用いられてもよい。静的状態の下で、モータのリードからリードへの巻線抵抗、モータのリード電圧及びモータのリード電流の間の関係は、

【0148】

【数6】

$$V_{lead} = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{lead} R_{l-l}$$

20

【0149】

によって、デルタ及びワイ巻モータの両方に対して与えられる。

【0150】

デジタルセンサ出力の監視及び分析

デジタルセンサは、ロボットの異なる従属部品に配置されるオン／オフセンサである。状態遷移時間を監視して記録することによって、特定の種類の障害が検出され得る。状態遷移時間は、正常な動作の間または、診断のために設計された特定の動作の間のいかにも記録されてもよい。

30

【0151】

真空作動エッジコンタクトグリッパーは、プランジャーの位置を検出する追加のセンサを有していてもよい（図5）。真空リークがある場合、または、真空システムの障害がある場合、このセンサに対する把持遷移時間は増加する。

【0152】

この文書の目的として、飛んだヒューズの検出用の電気回路もデジタルセンサのカテゴリに該当する。

【0153】

アナログセンサ出力の監視及び分析

アナログ光学センサは、基板アライナにおいて基板を整列配置するために用いる。これらのセンサからのアナログ出力は、アナログ／デジタル変換器に通されて、コントローラによって読み込まれる。信号の振幅は、アライナのウェーハの偏心の範囲を決定する。LEDである光源から来ている信号の強さのいかなる減衰も、検出されて、説明されることを必要とする。この減衰は、LEDソースの劣化によるかもしれない。

40

【0154】

アライナセンサの状態を監視するために、LEDソースの較正は、アライナ上にいかなる基板もない場合に周期的になされる。LEDソースの減衰はコントローラソフトウェアにおいて補償することができ、かつ／または、LEDソースに供給される電圧は調整されることができる。類似した監視及び分析方法は、基板マッパーセンサに適用されてもよい。

【0155】

50

あるいは、基板が常にアライナに存在する場合、LEDソースの較正は基板の周知の直径に基づいてされてもよい。基板の偏心に関係なく、偏心なしで基板の半径を表す収集されたデータにおいて一対の値が見出され得る。これらの2つのポイントでのセンサ読み込みは、基板半径の期待される公称値と照合されてもよい。

【0156】

真空圧力センサは、真空レベルを示すアナログセンサである。この真空圧力は、所望の真空状態に達するかどうか判断するために圧力閾値と比較される。所望の真空状態に至るためにそれが要する時間である真空遷移時間は、特定の障害を決定するために用いられ得る。真空作動エッジコンタクトグリッパーまたは表面接触吸入グリッパー（図5及び6）の場合には、握り及び非握りの間の状態遷移時間の変化は、真空システムの特定の断面のリークまたは障害を示すかもしれない。

10

【0157】

映像信号の監視及び分析

ビデオカメラは、ロボットのワークスペースに取り付けられて、コントローラに接続されてもよい。コントローラは、ビデオ画像を処理して、特定の種類の障害を検出してもよい。例えば、映像信号は使ってロボットの反復性を決定するために用いられてもよい。ロボットが特定の場所にあるときに、ロボットエンドエフェクタのビデオ画像は捕捉され、分析されてもよい。画像は、エンドエフェクタ上の特定の特徴の場所の重大な変動があるかどうか決定するためのパターン認識ツールを使用して分析されてもよい。

【0158】

20

ビデオカメラはまた、直接監視するロボットのエンドエフェクタ上に直接インストールされて、エッジコンタクトグリッパーの動作を含む、ロボットによって実施されるピックを監視して動作を配置する。結果として生じるビデオは、記録されることができて、ピックアンドプレース動作の間、障害の診断において役に立つ。これは、オペレータによって観察されるはずがなく、かつ/または再生するのが困難である、めったに起こらない障害に対する極めて価値あるツールである。映像信号が用いられてロボット位置反復性に影響を及ぼす障害を識別する。反復性に影響を及ぼす典型的な障害はタイミングベルトのスリップ、ヒステリシスに至るベルトの伸長、及びベアリングクランプの弛緩である。

【0159】

通信ネットワークトラフィックの監視及び分析

30

通信ネットワークの状態は、通信ネットワークの個々のリンクにわたるエラーレート（即ち、転送されるデータの指定された量毎の多くのエラー）によって監視されてもよい。この方法は、通信信号を運ぶスリッピングの状態を監視するために特に実際的である。

【0160】

さらに、モータコントローラでの致命的な通信ネットワーク障害は、警戒しているネットワークノード防御を介してマスタコントローラによって監視され得る。この方法で、例えば、マスタコントローラは、各々のモータコントローラの各々によって送出された周期的な状態メッセージの存在を監視する。

【0161】

40

同様に、マスタコントローラでの致命的な通信ネットワーク障害は、心拍監視を介してモータコントローラによって検出され得る。この場合、モータコントローラは、例えばマスタコントローラからの周期的な軌道フレームの発生を監視する。

【0162】

[変化検出方法]

上記した障害診断方法は、2~3の例を挙げると、例えばエネルギー散逸、モータトルク、トルク残差、トラッキングエラー、ベルト張力、及びピークの振動周波数などの、ロボットの様々な物理的特徴の監視を含む。それらがそれらの閾値を上回るかまたは下落する場合、これらの特徴を監視することは、それらを特定の閾値と比較して、障害に信号を送ることを含む。この種の技術は、統計的品質管理において用いられ、また、管理図と称される。いくつかの統計的技術は管理図のために開発され、これらの方法は同様に監視し

50

ているヘルスに適用され得る。

【0163】

2つの基本的必要条件は、管理図の使用に対して満たされることを必要とする。第一は、周知の統計的分布モデルを用いて、上記で定義された物理的特徴に関して、性能測定基準の定義である。第二は閾値の定義である。そして、性能特定基準の変化が予測されることになっている信頼（信頼係数とも称される）のレベルに由来する。数的指標の変動は、監視されて、閾値と比較される。用いられる数的指標によって、管理図は様々なタイプに分類される。シユーハート管理図は、性能特定基準として最直前の観察を用いる。99.7%の信頼係数として、上下の管理限界は、 $(\mu + 3\sigma)$ 及び $(\mu - 3\sigma)$ として選択される。そこで、 μ は、推定された平均であり、 σ は推定された標準偏差である。それは、2~3の例を挙げれば、例えばモータのトルクにおける一時的なスパイクまたは以下のエラーまたは電力消費などの物理的特徴の値の突然の変化の検出に理想的である。他方、指数的に重み付けされた移動平均（EWMA）は、2~3例を挙げれば、例えばエネルギー散逸、ベルト張力などの物理的特徴の値における遅い運動を検出するための測定基準として用いられる。EWMAは、次のように定義される。

【0164】

【数7】

$$EWMA_i = (1 - \lambda)EWMA_{i-1} + \lambda X_i$$

20

【0165】

ここで、 X_i は、反復 i 及び $i-1$ 繰り返しでの測定値であり、EWMA 0 は監視処理の開始における推定された平均である。

【0166】

EWMAの標準偏差は、

【0167】

【数8】

$$\sqrt{\frac{\lambda}{2-\lambda}}\sigma$$

30

【0168】

で、与えられ、ここで、 σ は、監視される特性の推定された標準偏差である。

【0169】

障害の大半は、互いに強く相關している2つ以上の物理的特徴の値の変化によって特徴づけられる。そのような場合、ホテリングの2乗統計量は突然の変化を検出するための性能測定基準EWMAチャートが用いられる。これらの方法の両方とも、公称からの偏差の2乗の測定値である単一のスカラ量を生み、多変量のフレームワークの変数の間の共分散を説明する。

40

【0170】

正常な行動のベースライン

変化検出アルゴリズムは、監視されている物理的特徴のベースライン推定の存在を仮定する。ベースライン推定の例は、特定の運動シーケンスの間の散逸されたエネルギーの平均値である。基準とすることは、障害検出における重要なステップであって、物理的特徴の推定を得るためにデータ収集及び処理を含む。データ収集は正常な作動状態の下で行われ、それはロボットが周知の障害を有しない状態をいう。データ収集は、同じ作動状態の下で得られたいつかの繰り返された測定結果を平均することを含む。測定値は、例えば特定の動作の間散逸される全体のエネルギーまたはトラッキングエラーの最大絶対値また

50

はモータトルクの最大絶対値、または、特定の動作の間規則的な間隔で測定されたモータトルク値などの一連の値などの、単一の値であってもよい。測定された値は、データが収集された状態についての仕様とともにデータベースに記憶される。

【0171】

データ処理は、いくつかの形式のうちの1つをとってもよい。1つの形式は、システムの同定である。そして、それはシステムの分析モデルから成る一組のベースパラメータの推定を含む。他の形式は、全システムかまたは分析モデルを有しない特定の非線形の効果だけのいずれかを形にあらわすニューラルネットワークモデルの開発である。

【0172】

データ正常化及び傾向取消は、必要とされるかもしれないデータ処理の別の種類である。変化検出のための管理図を適用するために、監視されている測定基準は、正常作動状態の下で一定の公証値を有することを必要とする。実際は、しかしながら、監視されている物理量は、正常作動状態の下でさえいずれかの漸次の一時的な運動も示してもよい。1つの例は、時間の関数として、漸次の減少傾向を示すために観察されてきたエネルギー散逸の傾向である。管理図のこの種の量を効果的に用いるために、傾向は形に表されて取消されるべきである。この目的に適用され得る従来の時系列解析技術がある。長期の段階的な傾向を形に表すために適用され得る1つの方法は、ホルトワインター方法または二重指數関数平滑法である。動作速度設定のような物理量と動作状態との間に相互関係がある場合、データ正常化も必要である。

【0173】

特定のH M D F 動作

以下、進行中のヘルス監視及び障害診断システムの特定の動作がここで説明される。これらの動作は、4つのはっきりしたカテゴリに分類されてもよい。即ち、状態及び履歴情報機能、連続ヘルス監視機能、オンデマンドヘルス監視機能、及び診断機能である。

【0174】

状態及び履歴情報

進行中のヘルス監視及び障害診断システムは、ユーザに使用の範囲の履歴及び期間にわたって起こった障害に関する情報を提供する。以下は、システムがユーザが利用できるようにする量のリストである。

(a) 進行中のロボットのサーボ状態：これは、位置フィードバックサーボがモータの各々のために作動するかどうかに関連する。モータの全てが使用可能にされたそれらのフィードバックサーボを有する場合、ロボットは「サーボアクティブ」状態にある。そうでない場合には、ロボットは「サーボ非アクティブ」状態にある。

(b) ロボット「サーボアクティブ」状態の全体継続期間：これは、ロボットが最初に権限を与えられた時から、ロボットが「サーボアクティブ」状態にある間の、日、時間、分及び秒における全体的な継続期間のことをいう。

(c) 進行中の「サーボアクティブ」セッションの継続期間：これは、進行中の「サーボアクティブ」セッションの日、時間、分、及び秒における継続時間のことをいう。ロボットが現在サーボアクティブ状態にない場合、この量は最後のサーボアクティブセッションの継続期間のことをいう。

(d) ロボット動きの継続：これは、ロボットがその通常動作の一部として動いている期間のことをいう。

(e) 動きエラー数：これは、ロボットサーボ状態がエラー状態のために「アクティブ」か「非アクティブ」に変化した回数のことをいう。

(f) エラーの間の平均動き期間：これは、連続した動きエラーの間の持続時間の平均をいう。

(g) モータ「マイル数」：これは、各々のモータが移動した程度またはmmにおける距離をいう。

(h) 基板取得 / 開放動作の数：これは、ロボットが実施したピックアンドプレース動作の回数を示す。

10

20

30

40

50

【0175】

状態及び履歴データの概要は、表4で見出される。

【0176】

【表4】

表4：履歴及び状態情報

目的	進行中のロボットサーボ状態
概説	位置フィードバックサーボがモータの各々に対して作動されたかどうかを示す。モータの全てがそれらのフィードバックサーボを利用可能にした場合、ロボットは「サーボアクティブ」状態にある。そうでなければ、ロボットは、「サーボ非アクティブ」状態にある。
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

10

目的	ロボットの「サーボアクティブ」状態の全体継続期間
概説	ロボットが最初に権限を与えられた時から、ロボットが「サーボアクティブ」状態にある間の、日、時間、分及び秒における全体的な継続期間。
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

20

目的	進行中の「サーボアクティブ」セッションの継続期間
概説	ロボットが最初に権限を与えられた時から、ロボットが「サーボアクティブ」状態にある間の、日、時間、分及び秒における全体的な継続期間
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

30

目的	ロボット動きの継続
概説	ロボットがその通常動作の一部として動いている期間
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

目的	動きエラー数
概説	ロボットサーボ状態がエラー状態のために「アクティブ」か「非アクティブ」に変化した回数
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

40

目的	エラーの間の平均動き期間
概説	連続した動きエラーの間の持続時間の平均
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

【0177】

目的	モータ「マイル数」
概説	各々のモータが移動した程度またはmmにおける距離
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

目的	基板取得／開放動作の数
概説	ロボットが実施したピックアンドプレース動作の回数
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

10

目的	エラー報告
概説	エラーの主要な出所、対応するエラーコード、及びエラーの説明を含む、エラー状態が発生するときの通知
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

20

目的	診断情報のロギング
概説	全てのシステム動作、システム状態の変化及びシステムエラーに関する情報がファイルに記録される
実行可能性	簡単に使える。理論展開または実験的検証を必要としない。追加のセンサまたはハードウェアを必要としない。
優先実行	高い（優れた、利点対エフォートの割合）

【 0 1 7 8 】

進行中のヘルス監視システムは、また、エラーの発生の日付及び時間並びにエラーの結果で実行される診断方法の結果を含むエラーログを提供してもよい。エラー報告及びロギングに関するより多くの情報は、以下に提供される。

30

【 0 1 7 9 】

エラー報告：正常な動作を中断させるハードウェアまたはソフトウェアエラーの場合には、監視システムは、ユーザにエラーを報告する。各々のエラー報告は以下の情報から成る。即ち、エラーの主要な出所、対応するエラーコード及びエラーの説明である。適用できるならば、それはまた、エラー、対応するエラーコード及びエラーの説明の二次的出所を含んでもよい。

【 0 1 8 0 】

【 診断情報のロギング 】

全てのシステム動作、システム状態の変化及びシステムエラーに関する情報は、ファイルに記録される。このファイルの各々のエントリのフォーマットは、可変で、以下の情報を含んでもよい。即ち、発生時間、発生源、及び説明である。ロギングは、以下の方法でさらに構成されてもよい。ソースは、リストから選択され得る。ソースからの情報の冗長のレベルは、指定され得る。出所をグループ化して各々の出所に対して目的地ファイルを指定すること。

40

【 0 1 8 1 】

継続ヘルス監視

ロボット及びツールのその他のデバイスの継続的なヘルス監視は、通常動作の間の測定可能な信号のいくつかまたは全てを測定して得られるデータを分析することによって実施される。測定及び分析機能は、常に連続的または周期的であるが、常に通常動作と平行して起こってもよい。連続監視の目的は、ヘルス悪化のサインを検出し、可能であるならば

50

、この悪化を生じさせるサブコンポーネントを位置付けることである。しかしながら、これらの機能は、問題の特定の原因を占めないかもしれない。

【0182】

[エネルギー散逸に基づくロボット／アライナの全体のヘルス

この方法は、ロボットヘルスの悪化を検出するためのエネルギー散逸の使用を含む。基本原理は、ロボットヘルスの悪化がロボットの作業効率の低下及び、従ってエネルギー散逸の増加をもたらすということである。

【0183】

目的

エネルギー散逸監視の目的は、エネルギー効率の減少をもたらすロボットの障害の開始を検出することである。 10

【0184】

概要

特定の運動シーケンスの間散逸されるエネルギーは、ロボットの個々の関節に対してと同様にロボット全体に対して計算される。この計算された散逸は、正常なロボットに対するエネルギー散逸に対して比較される。エネルギー散逸の増加は、ロボットヘルスの低下を示している。この方法は、ロボットのエネルギー効率の低下をもたらす障害の開始を検出するのに理想的である。

【0185】

階層レベル

この方法は、全体的な運動を制御するマスタコントローラにおいて実行されてもよい。各々のモータコントローラは、マスタコントローラにそれぞれのモータの巻線電流、電圧及び速度に関するデータを流してもよい。データ収集、前処理、分析及び推論動作は、マスタコントローラにおいて実行されてもよい。 20

【0186】

一連のステップ

(a) マネージャは、エネルギー散逸を計算するために必要なデータの読み込みを開始または終了するためにデータ収集装置に信号を送る。データ収集の開始及び終了は、ロボットが完全に止まるときに、インスタンスと一致する必要がある。ロボットが基板をピックするかまたは配置するときに、ロボットは完全に止まる。 30

(b) データ収集層は、システム内のモータの各々に対するモータ電圧、モータ電流、モータ速度、モータ位置及びモータの命令された加速度を記録する。さらに、それはまた各々のデータセットに対する時間を記録する。

(c) 前処理層は、上記の積分エネルギー方程式を用いて各々のモータのエネルギー散逸を計算する。それは、上記した方法のうちの1つ以上に基づくモデルを用いてエネルギー散逸の基礎値を計算する。それは、2種類の監視測定基準を計算する。即ち、計算された値と基礎値との差分、及び差分の指數的に重み付けされた運動平均値である。それはまた、信頼係数に基づいて上限を計算する。

(d) 分析層は、各々の運動シーケンスに対する各々のための測定基準を監視する。それは、監視下の測定基準が対応する予め定められた上限値を上回るかどうか検出する。 40

(e) 推論層は、多数の運動シーケンスに対する個々のモータのエネルギー散逸情報を用いて、問題を抱えているロボットのサブコンポーネントを識別する。

(f) 問題が検出される場合、マネージャは更なる診断ルーチンを開始して問題の原因を狭める。

【0187】

構成データ

(a) エネルギー散逸が算出される一連の動作の開始ポイント及び終了ポイント。

(b) 上記の一連の動作に対するエネルギー散逸に対する基礎値または公称トルクの計算を可能にする一組のモデルパラメータ。

(c) 運動平均サンプルの大きさ (EWMAを用いている場合に必要でない)。 50

(d) 閾値を計算するために用いられる信頼係数。

(e) データ収集率 動作の1秒毎のデータポイント数。

【 0 1 8 8 】

障害モード

エネルギー散逸の監視は、以下の障害の開始の検出を可能にする。即ち、不正確なモータの位相角、エンコーダとモータローターとの間の相対運動、モータ巻線と筐体との間の相対運動、及び、モータ磁石の弱化（崩壊）、高コネクタ抵抗、ベアリング結合、ベアリングの遊び、ボールネジ締め具、ベルト摩擦、及び完全に解除されていないブレーキ、である。

【 0 1 8 9 】

10

[トルク / 電流意残差に基づくロボット / アライナ全体のヘルス]

この方法は、モータトルク及び電流残差の監視を含む。残差の重大な変化は、ロボットの全体的なヘルスの低下の兆しである。上記した静的ケースを除いてはモータトルクは容易に測定できないので、それらはモータの巻線電流及びモータトルクモデルから推定されることを必要とする。その結果、モータの典型的なトルク電流関係の変化は、推定されたトルク残差に影響を及ぼす。

【 0 1 9 0 】

目的

この方法は、モータの回転に対する抵抗の増加をもたらす障害を検出するのに適している。さらに、モータトルクがモータ電流から推定される場合、モータのトルク容量の減少をもたらす障害も検出される。

20

【 0 1 9 1 】

概要

この方法は演繹的に記憶されるいづれかの一組のモータ電流があるか、または、現在または過去のロボット状態に基づいてモータ電流を予測することができる利用可能なロボットダイナミックモデルがあると仮定する。このように予測される流れは、個々のモータで測定される電流と比較されて電流残差を得る。残差は、時間にわたって監視され、その値の顕著な傾向は障害の開始を示す。電流残差の変化は、以下の2つの原因の結果であり得る。それは、例えば位相角、消磁または不整列などの、モータの物理的な特性の変化を反映してもよい。それは、また、モータから出力されたより高いトルク出力において要求する、モータの回転に対する外部抵抗の変化を反映してもよい。トルク残差に加えて、全ての運動シーケンスにわたるトルク残差の全体も監視される。

30

【 0 1 9 2 】

階層レベル

この方法は、ロボット運動を制御するマスタコントローラにおいて実行されてもよい。各々のモータコントローラは、マスタコントローラにそれぞれのモータの巻線電流、位置及び速度に関するデータを流してもよい。データ収集、前処理、分析及び推論動作は、マスタコントローラにおいて実行されてもよい。

【 0 1 9 3 】

40

一連のステップ

(a) マネージャは、各々のモータに対するデータ収集の開始及び終了を信号で伝える。リモートコントローラからデータをストリーミングするための限られた帯域幅だけがある場合、データ収集は一度に1つのモータで実行される場合があった。データ収集は、また、特定の予め定められたモータ位置または運動シーケンスで引き起こされる場合があった。データ収集の継続期間は、また、ロボット状態によって、変化する場合があった。

(b) データ収集層は、モータ電流を記録する；ダイナミックモデルが用いられる場合、それはまた、位置、速度及び加速を記録してもよい。

(c) ダイナミックなモデルが用いられる場合、前処理層はモデルに基づくトルクを算出する。トルクデータが特定のモータ位置で収集される場合、前処理層は監視測定基準としてトルク残差を計算する。他方、トルクデータが全体の運動シーケンスに対して収集され

50

る場合、前処理層は監視測定基準として全体の運動シーケンスにわたるトルク残差の絶対値の全体を計算する。それは、また、追加の監視測定基準として上記の各々の運動平均を計算する。さらに、それは上記した各々の測定基準に対する限界値を計算する。事前処理層は、また、生のトルクデータの部分に関する高速フーリエ変換を実行する。

(d) 分析層は、上記で定義された測定基準を監視して、限界値を越えた測定基準の偏差を検出する。これも、周波数スペクトルのピークの出現及び変動を監視する。

(e) 推論層は、異なる時間での異なるモータからのデータを評価して、故障しているロボットサブコンポーネントを識別する。それはまた、異常を最も感知できるロボットの場所を識別する。

(f) マネージャは、推論層からの情報を用いて特定の診断方法を開始する。

10

【0194】

構成データ

(a) ロボット運動シーケンス、各々のモータに対するデータ収集の開始位置及び終了位置。各々のモータに対する複数の開始及び終了位置があってもよい。

(b) 閾値の計算のための信頼係数。

(c) 運動平均サンプルの大きさ。

(d) データ収集率 動作の1秒毎のデータポイント数。

(e) 正常なロボットからの測定値に基づくトルクの基礎値または公称トルクの計算を可能にする一組のパラメータ。

【0195】

20

障害モード

モータトルク及び電流を監視することは、以下の障害の開始の検出を可能にする。即ち、不正確なモータの位相角、エンコーダとモータローターとの間の相対運動、モータ巻線と筐体との間の相対運動、モータ磁石の崩壊、ベアリング結合、ボールネジ締め具、ベルト摩擦、ブレーキ障害、その他、である。

【0196】

[電力消費に基づくロボット/アライナの全体的なヘルス]

電力消費は、以前に説明したモータトルクの監視及び分析と同様の方法で監視及び分析され得る。電力消費監視がオーバートルク監視を有している利点は、障害の出現においてだけ一般に増加する、消費された電力である。電力消費のこの特性は、障害検出における閾値の適用を単純化する。

30

【0197】

[トラッキングエラーに基づくロボット/アライナの全体的なヘルス]

この方法は、トラッキングエラーの監視を含む。通常より高いトラッキングエラーが問題の存在を示す。

【0198】

目的

この方法は、個々のモータの回転に対する抵抗の増加をもたらす障害及びサーボ不安定性をもたらす障害を検出するのに適している。

【0199】

40

概要

トラッキングエラーは、必須のモータ位置と実際の位置との違いである。より高いトラッキングエラーレベルは、1以上の障害状態のために起こるその動きに対する通常より高い抵抗をモータが経験していることを示す。さらに、トラッキングエラーの大きな振幅は、1つ以上の障害状態のために起こるサーボループの不安定性を示す。

【0200】

階層レベル

この方法は、ロボット動きを制御するマスタコントローラにおいて実行される。各々のモータコントローラは、マスタコントローラにそれぞれのモータの所望の位置、実際の位置及び速度に関するデータを流す。データ収集、前処理、分析及び推論動作は、マスタコ

50

ントローラにおいて実行される。

【0201】

一連のステップ

(a) マネージャは、各々のモータに対するデータ収集の開始及び終了を信号で伝える。リモートコントローラからのストリーミングデータに対する限られた帯域幅だけがある場合、データ収集は一度に1台のモータで実行され得る。データ収集は、また、特定の予め定められたモータ位置または運動シーケンスで引き起こされる場合があった。データ収集の継続期間は、また、ロボット状態によって変化してもよい。

(b) データ収集層は、各々のモータに対する必須の位置と実際の位置とを記録する。

(c) 前処理層は、トラッキングエラーに基づいていくつかの監視測定基準を計算する。
データが特定の予め定められたモータ位置で収集される場合、ピクトトラッキングエラーの絶対値は監視測定基準の監視として役立つ。他方、データが特定の予め定められたシーケンスの長さにわたって収集される場合、トラッキングエラーの二乗の積分は監視測定基準として役立つ。さらに、それはトラッキングエラーに関するデータの部分で高速フーリエ変換を実行する。

(d) 分析層は、トラッキングエラーの二乗の積分において、ピクトトラッキングエラーの大きさにおけるいかなる全体的な増加も検出し、それらを閾値に対して比較する。それも、トラッキングエラー信号におけるいかなる新規な優位周波数成分も検出する。

(e) 推論層は、データ収集のいくつかのインスタンスにわたる分析結果を用いて、ロボット特徴の変化を確かめる。トラッキングエラーにおける異常があるロボット位置及び速度に関してマネージャに報告する。

(f) マネージャは、特定の診断方法を開始するために推論層からの情報を用いる。

【0202】

構成データ

(a) 開始位置及び終了位置及び各々のモータに対するデータ収集に対する運動シーケンス。各々のモータに対する複数の開始及び終了位置があつてもよい。

(b) トラッキングエラーに関する閾値レベル、各々のモータ及び各々の動作シーケンスに対するトラッキングエラーの二乗の関数に関する閾値。

(c) FFT分析のためのサンプルサイズ。

(d) データ収集率 動作の1秒毎のデータポイント数。

【0203】

障害モード

トラッキングエラー監視は、以下の障害の開始の検出を可能にする。即ち、不正確なモータの位相角、エンコーダとモータローターと間の相対運動、モータ巻線と筐体との間の相対運動、モータ磁石の崩壊、ベアリング結合、ボールネジ締め具、ベルト摩擦、ブレーキ故障、である。

【0204】

その他

[ロボット/アライナモータモデル正当性]

この方法は、モータモデルに対するモータ電圧、電流、位置及び速度の一致を監視することを含む。モータモデル予測からのいかなる偏差も、モータの物理的な特性のうちの1つの変化をもたらす障害を示している。

【0205】

目的

この方法の目的は、モータの物理的な特性の1または多数の変化をもたらすかもしれない障害を検出することである。

【0206】

概要

モータモデルは、電界強度、巻線抵抗、インダクタンス、モータ電流などの特性に対する電界ギャップ幅、電圧、位置及び速度などの物理的特徴を述べる。静的状態の下でモ-

10

20

30

40

50

タモデルを定義する式は、上記で詳述される。ダイナミック状態の下で、入力電圧は、また、モータ速度と比例している逆起電力を克服しなければならない。障害は、物理的特徴のうちの1つの変化に結果としてなり得る。モータモデルに上記の特性の一致を監視することは、物理的特徴の変化の検出を可能にする。

【0207】

階層レベル

この方法は、ロボット動きを制御するマスタコントローラにおいて実施される。各々のモータコントローラは、それぞれのモータの位置、速度、電流及び電圧に関するデータをマスタコントローラに流す。データ収集、前処理、分析及び推論動作は、マスタコントローラにおいて実行される。

10

【0208】

一連のステップ

(a) マネージャは、各々のモータに対するデータ収集の開始及び終了を信号で伝える。リモートコントローラからのデータをストリーミングするための限られた帯域幅だけがある場合、データ収集は一度に1つのモータで実行されてもよい。データ収集は、また、特定の予め定められたモータ位置または運動シーケンスで引き起こされてもよい。データ収集の継続期間及び周波数も、ロボット状態によって変化してもよい。

(b) データ収集層は、モータ電圧、モータ電流及びモータ速度、並びにモータ位置を記録する。

(c) 前処理層は、記録された電圧及び速度に基づくモデル化電流を算出する。それから、それは、実際の電流とモデル化された電流との差分として残差を算出して、最大変動を決定する。

20

(d) 分析層は、最大変動を許容閾値と比較する。

(e) 推論層は、データ収集のいくつかのインスタンスにわたって分析結果を用いて、ロボット特徴の変化を確かめる。変動の異常がある所で、それもロボット位置及び速度に関してマネージャに報告する。

【0209】

構成データ

(a) 抵抗、インダクタンス及び逆起電力定数を含むモータ特性。

(b) 残差に対する許容範囲。

30

【0210】

障害モード

モータ、ケーブル及びモータ駆動回路の電気特性の変化（例えばコネクタ問題による抵抗増加など）、モータの磁気特性における変化（弱化磁石は逆起電力に影響を及ぼす）、不正確なバス電圧（モータ電圧が命令されたPWMに関して測定されるところだった時から）、エンコーダまたはモータコイル筐体のスリップ。

【0211】

[ロボット/アライナエンコーダデータの保全性 インクリメンタルエンコーダ目的]

この方法の目的は、エンコーダの位置読み込みメカニズムで問題を識別することである。

40

【0212】

概要

エンコーダは、2つの形式がある：インクリメンタル及びアブソリュート並びにエンコーダタイプに依存する障害検出のためのメカニズム。

【0213】

インクリメンタルエンコーダでは、位置は、リードヘッドを通過したエンコーダカウンタの数を数えることによって測定される。いずれにせよ、カウントが見のがされる場合、報告された位置は不正確になるだろう。インクリメンタルエンコーダは、回転毎に1回起くるインデックスパルスを有する。コントローラは、各々のインデックスパルスの到着で

50

徐々に増加する位置読み込みを記録する。見のがされたカウントがない場合、いかなる2つのインデックスパルスでの位置読み込みの違いも、エンコーダ回転毎に徐々に増加するカウントの数の整数の倍数でなければならない。実際は、2、3の見のがされたカウントは必然的であり、見のがされたカウントの数が閾値レベルを上回る場合、警告が記録される。

【0214】

階層レベル

この方法は、リモートモータコントローラにおいて最も良く実行される。

【0215】

一連のステップ

図10のフローチャートを参照する。

- (a) インデックスパルスが読み込まれるときに、マネージャはイベントを生成するメカニズムをセットアップする。
- (b) イベントが生成されるときに、データ収集層はインクリメンタル位置を記録する。
- (c) 分析層は、連続したインデックスパルスでの位置の間の差分を計算して、差分が回転毎にインクリメンタルカウントの数の倍数の公差の範囲内であるかどうかを判断する。
- (d) 推論層は、エンコーダ障害の発生を報告する。

【0216】

構成データ

- (a) 見のがされたエンコーダカウンタに関する公差。

10

【0217】

障害モード

エンコーダディスク上のほこりがエンコーダが正しく読み込まれるのを防げるときに、見のがされたカウントは報告される。

【0218】

[ロボット/アライナエンコーダデータ保全性 アブソリュートエンコーダ目的]

この方法の目的は、アブソリュートエンコーダの位置読み込みメカニズムでの問題を識別することである。

【0219】

30

概要

エンコーダは、2つの形式がある。インクリメンタル及びアブソリュート並びにエンコーダタイプに依存する障害検出のためのメカニズム。

【0220】

アブソリュートエンコーダでは、絶対位置は初期化でまたは、強制的絶対位置読み込み命令に応答してのいずれかで読み込まれる。エンコーダは、絶対位置を読み込んで、その後で、インクリメンタルエンコーダとある意味で同様のその実際の位置を増加させる。エンコーダ障害がない場合、静止エンコーダに対して、エンコーダを更新することによって得られる位置は、読み込まれた強制的絶対位置によって得られた位置に一致しなければならない。

40

【0221】

一連のステップ

図11のフローチャートを参照する。

- (a) マネージャは、規則的な間隔で絶対位置を読み込み、絶対位置の読み込みの前後で実際の位置を読み込むメカニズムをセットアップする。
- (b) 分析層は、2つの実際の位置の差分を計算する。それは、実際の位置の差分が公差より少ないかどうかを調べることによって、エンコーダが静止しているかどうか調べる。
- (c) エンコーダが静止している場合、分析層は絶対位置と実際の位置の平均との差分を計算する。
- (d) 推論層は、エンコーダ障害の発生を報告する。

50

【0222】

階層レベル

この方法は、主コントローラまたはリモートモータコントローラのどちらで実行されてもよい。

【0223】

構成データ

(a) 静止状態上の公差

(b) エラー状態上の公差

障害モード

アブソリュートエンコーダエラーは、ソフトウェアまたはハードウェア障害によるのと同様にエンコーダディスク上のほこりにより発生する。 10

【0224】

[連続的ベルト張力監視]

アームを動かしているベルトの張力は、遊びブーリー（ベルト引っ張り器の）に載置する力センサを用いてベルト張力の直接測定によって、連続的に監視され得る。ベルト張力の重大な低下または増加は、潜在的な問題として報告される。

【0225】

[構造振動の監視]

構造振動の監視は、障害の開始の検出において役立つ。構造振動は、加速度計及びひずみゲージを介して直接にまたは音響信号を介して関節のいずれかで監視し得る。差し迫った障害は、音響信号及び構造振動信号のパワースペクトルにおける重大な変化を検出することによって予測され得る。パワースペクトルの変化は、「ピーク」周波数における「ピーク」または変動の大きさにおける変化の形でありえた。音響エネルギーは、ロボットの様々なポイントに配置されるマイクロホンを用いて測定され得る。構造振動は、ロボットの様々なポイントで加速度計を取り付けることによって測定され得る。障害の以下のタイプは、この方法を用いて分析され得る。即ち、ベルト張力増減、ゆるい締めつけ具、ベアリング摩擦の増加、構成要素を移動することの摩擦、である。 20

【0226】

[熱放散の監視]

熱放散は、エネルギー散逸の別の形式である。ロボット上の様々な位置での熱放散の量は、また、差し迫った障害を予測するために用いられ得る。運動構成要素の間のより高い摩擦をもたらすいかなる障害も、熱放散のより高いレベルをもたらす。さらに、モータ及びソレノイドのスイッチのより高い電流レベルも、より高い熱放散をもたらす。 30

【0227】

熱放散は、ロボットの様々な構成要素の温度の上昇を測定することによって監視され得る。温度の上昇は、ロボットの戦略的ポイントを狙う赤外線センサを用いて、またはモータ内部の温度測定センサによってのいずれかで測定され得る。

【0228】

熱放散監視は、マスタコントローラによって実行される。以下は、含まれるステップである。 40

(a) データ収集層は、期間にわたるロボットの様々なポイントで、温度を記録する。

(b) 分析層は、温度を閾値と比較する。

(c) 閾値を上回る場合、推論層はその構成要素に関する問題を報告する。

(d) マネージャは、問題の原因を決定するために更なる試験を指示する。

【0229】

障害の以下のタイプは、熱放散を監視することによって検出され得る。即ち、モータ磁石の崩壊、不正確なモータの位相角、固定子の不整列、ベアリング摩擦の増加、ブレーキ故障、である。

【0230】

[冷却ファンの監視]

50

冷却ファンは、モータ及びエレクトロニクスによって生成される熱を除去するためにしばしば利用される。冷却されているモータ及びエレクトロニクスの熱放散とそれらの温度との間に関係があるので、冷却ファン及びエアダクトの状態は、冷却されているモータ及びエレクトロニクスの温度を介して監視され得る。

【0231】

[ロボット/アライナオーバトラベルスイッチの監視]

目的

目的は、ソフトウェア障害、位置フィードバックの問題、モータ増幅器の問題、またはエンコーダまたはベルトの滑りなどの機械的障害から生じるかもしれない余分の運動（オーバトラベル）を検出することである。

10

【0232】

概要

オーバトラベルスイッチは、ロボット軸がその定められた限界を越えて進行するときに、引き起こされる機械的または光学的センサである。これらのセンサの状態の変化は、順番に必要なフォローアップステップを取るロボットコントローラによって直ちに検出される。

【0233】

階層レベル

この診断ルーチンは、ロボットコントローラにおいてまたはマスタコントローラP Cにおいて存在してもよい。

20

【0234】

一連のステップ

オーバトラベル状態が検出されるときに、次の工程が起こる。

- (a) マネージャは、ロボットと関連する全ての動き軸を使用不能にする。
- (b) マネージャは、ブレーキを備えている全ての軸に対してブレーキをかける。
- (c) マネージャはエラーを生成し、その境界を審判した軸及び軸位置を識別する。

【0235】

構成データ

- (a) 動き軸を有するオーバトラベルスイッチ関連。

30

【0236】

障害モード

検出され得る障害モードは、以下の通りである。即ち、正常に動作しないエンコーダ、ベルト滑り及び正常に動作しないソフトウェア、である。

【0237】

[ロボット/アライナグリッパー及び真空システムヘルス]

ウェーハグリッパーの動作は、吸引装置システムによって可能にされる。吸引装置システムに関する問題は、握り動作を監視することによって診断され得る。ウェーハグリッパーに基づく2種類の真空がある。即ち、図6の表面接触吸入グリッパー及び図5のエッジコンタクト真空作動グリッパー、である。2種類の真空の問題が起こり得る。即ち、真空リーク及び真空ライン障害、である。真空リークは、リップシール上の消耗または裂け目のために起こり得る。真空ラインのリークは、真空圧力低下（真空バルブが開いていて、表面接触吸入グリッパーの場合には、基板はエンドエフェクタ上に存在する）をもたらして、真空センサ（502、502）の低下で検出され得る。さらに、握り動作は、把持しないことまたはグリッパー動作時間の増加のいずれかをもたらす。真空作動エッジコンタクトグリッパーとして、把持動作時間は、バルブ（506、606）が開くよう命令される瞬間と位置検知フラッグ（508）がグリッパーの開いた状態を検出するときとの間に測定される。真空線センサとアクチュエータとの間の真空ラインにおける障害は、吸引装置がオンにされるときに、真空作動エッジコンタクトグリッパーの長い動作時間と同様により短い真空移行時間をもたらす。真空ライン問題に加えて、故障したプランジャまたは壊れたばねなどの機械的問題も、グリッパーの障害ということに結果としてなり得る。

40

50

【0238】

[通信ネットワークヘルス]

目的

この目的は、データ通信ネットワークに関する問題を検出することである。

【0239】

概要

マスタコントローラとリモートコントローラとの間の一定のデータフローがある。リモートコントローラは、ほぼ周期的な間隔でマスタコントローラにそれらの状態を送出し、マスタコントローラはほぼ周期的な間隔でリモートコントローラに制御情報を送出する。これらのメッセージの到着の周波数が監視される。これらのメッセージの到着の周波数の低下は、コントローラにネットワークトラフィックの起こり得る速度低下について、警告を発させる。

【0240】

エラーメッセージの周波数の監視に加えて、各々のモータコントローラの通信ポートは、期間にわたってそのポートで起こったエラーの数の記録を有する。この数は、ネットワークの全体的なヘルスの評価を提供する。

【0241】

ネットワークトラフィックの中断の共通の原因是、スリップリングにわたる通信の損失である。

【0242】

階層レベル

この診断ルーチンは、ロボットコントローラに存在する。統合では、これはマスタコントローラPCである。

【0243】

一連のステップ

(a) データ収集装置は、ノードからの状態メッセージが届く時間を記録する。それも、各々のコントローラの通信ポートに記憶されたエラーカウントを記録する。

(b) 分析層は、連続した状態パケットの間が特定の閾値を上回るかどうか決定して、このカテゴリに入るノードを識別する。それはまた、各々のコントローラの各々の通信ポートにおける新しいエラーの発生率を計算する。

(c) 閾値を上回る場合、状態パケットが行方不明であるノードに基づいて、推論層は問題を抱えているネットワークトポジの分岐及びリンクを識別する。

【0244】

構成データ

(a) 状態メッセージの受信における最大許容遅延に関する閾値。

(b) ネットワーク構成。

【0245】

障害モード

スリップリングにわたる通信障害、リモートコントローラ上の故障している通信プロセッサ、ネットワークコネクタにおけるゆるい接合。

【0246】

[連続ロボット反復性監視]

ロボットの位置反復性は、外部の静止センサを介して監視され得る。センサは、規則的な動作の間にロボットエンドエフェクタが停止すると、ロボットエンドエフェクタの位置を検知する。別の方法として、カメラが、外部の固定された装置として、または、ロボットに搭載されるかのいずれかで用いられてもよい。反復性に影響を及ぼす典型的な障害は、タイミングベルトの滑り、ヒステリシスに至るベルトの伸び、及びベアリングクランプの弛緩である。

【0247】

[基板反復性監視]

10

20

30

40

50

同様に、基板位置反復性は、外部の静止センサを用いて確認され得る。この確認は、基板アライナ、例えば支持パッド上の汚れまたは支持パッドの材料の崩壊によるロボットエンドエフェクタ上の基板すべり、グリッパーの障害、ロボットエンドエフェクタの基板がピックされて配置されるステーションとの不整合、基板「移動」を生じさせること、その他、に関する問題を明らかにし得る。替わりに、カメラがこの目的のために用いられ得る。

【0248】

[ピックノプレース動作の監視]

この方法は、ロボットアームに搭載されたビデオカメラを利用して、ロボットがピックアンドプレース動作を実行するときに、エンドエフェクタの全景を有する。ビデオデータは、動作の間、ロボットコントローラに連続的に流される。ビデオ録画の所定の継続期間は、コントローラによって記憶される。ミスピックまたは、ミス配置の障害が起こると、ビデオ録画は止まる。それからコントローラによって記憶されたビデオデータが、診断の目的のために情報の価値ある出処として役立ち得る。

【0249】

[連続ウイルススキャン]

この方法の目的は、データのロスまたは性能の低下をもたらすかもしれないシステムのソフトウェアウイルスの存在を識別することである。

【0250】

ロボットコントローラは、ソフトウェアウイルスによってセキュリティ上の弱点をつかれたセキュリティの抜け道を有するかもしれないオペレーティングシステムを実行するかもしれない。周期的なウイルススキャンは、それがデータのロス及び性能の低下をもたらす前に、ソフトウェアウイルスの検出を可能にする。ウイルススキャンは、オペレーティングシステム自体によってまたは第三者ツールによって予定されて実行されてもよい。必須の構成データは、ウイルススキャンの所望の頻度である。

【0251】

[ファンフィルタユニットフィルタの監視]

この特徴の目的は、目詰まり用ファンフィルタユニットのフィルタを監視することである。目詰まりは、プレナム圧力（フィルタの入力側の）及びミニ環境圧力（ツールの大気セクションの）の同時の監視によって検出される。増加したプレナム圧力は、同じミニ環境圧力を維持するために必要とされるか、そうでなければ同じ状態（閉ドア、不变の排気装置特性）はフィルタ目詰まりを示す。

【0252】

[イオン化装置機能性の監視]

イオン化装置は、ツールの大気セクションにおいて移される基板に蓄積している電荷を無効にするために用いられるデバイスである。イオン化装置の障害は、基板上の過度の電荷蓄積をもたらす。イオン化装置障害は、環境の変化を判断することによって検出され得る。測定された電荷が正または負の閾値を上回る場合、イオン化装置は障害である可能性がある。

【0253】

連続ヘルス監視機能の概要が、表5に提供される。

【0254】

10

20

30

40

【表 5】

表 5：連続ヘルス監視

エネルギー散逸に基づくロボット／アライナ全体的ヘルス	10
トルク／電流残差に基づくロボット／アライナ全体的ヘルス	
電力消費に基づくロボット／アライナ全体的ヘルス	
トラッキングエラーに基づくロボット／アライナ全体的ヘルス	
ロボット／アライナモータモデル正当性	
ロボット／アライナエンコーダデータ保全性	
連続ベルト張力監視	
構造振動の監視	
熱放散の監視	
冷却ファンの監視	
ロボット／アライナオーバトラベルスイッチの監視	
ロボット／アライナグリッパー及び真空システムヘルス	
通信ネットワークヘルス	
連続ロボット反復性監視	
ピック／プレース動作の監視	
連続ウイルススキャン	
ファンフィルタユニットフィルタの監視	
イオン化装置機能性の監視	20

【0255】

自動障害診断

ヘルス監視方法のいずれかがロボットの動作の低下を報告する場合、次のステップは、問題の根本的原因を識別することである。ロボットの通常動作の間に得られたデータを用いて主に障害を診断するために用いられる方法は、以下の通りである。

【0256】

[電流／トルク残差分析]

トルク残差分析は、実際のトルクと公称トルクとの差分の変動の分析を必要とする。変動パターンは、性能低下が生じている障害のタイプを決定するために用いられる。

30

【0257】

目的

この方法の目的は、はっきりしたトルクサインを有する障害を診断することである。診断は、トルク残差に関する時間連続データを分析することによってなされる。エネルギー散逸または追跡エラーの増加またはトルク残差の変化が特定のモータにおいて報告される場合、そして、モータ特性診断チェックがモータの特性に関する問題を見つからない場合、この方法は実行される。

【0258】

概要

いくつかの障害は、はっきりした障害サインを有し、それらの障害はトルク残差を分析することによって診断され得る。トルク残差は、実際のトルク信号と公称トルク信号との差分である。位置に関するトルク残差の変化の性質は、特定の種類の障害を示し得る。例えば、モータ位置に関する残差の周期変化は、問題の原因がブレーキの不整列のための周期的なブレーキ故障などの位置に依存しているけん引力であることを示す。

40

【0259】

階層レベル

この方法は、ロボット動きを制御するマスタコントローラにおいて実行される。各々のモータコントローラは、マスタコントローラに、それぞれのモータの位置、速度及び電流に関するデータを流す。データ収集、前処理、分析及び推論動作は、マスタコントローラにおいて実行される。

50

【0260】

一連のステップ

(a) マネージャは、問題のモータに対するデータ収集の開始及び終了のきっかけとなる。データ収集は、動きの安定した速度断面においてきっかけとされなければならない。健全なデータを得るために、運動シーケンスは、適当な位置の充分な変動を含まなければならない。

(b) データ収集層は、モータ電圧、モータトルク及びモータの速度及びモータ位置を記録する。

(c) 前処理層は、位置データが充分な範囲及び特定の最小限の変化を有することを最初に確認する。そうでない場合には、おそらく異なる開始位置及びより長い持続時間用いる新規なデータ収集コマンドを発行するために、マネージャに信号を送る。それはまた、一定の速度フェーズの間に収集されたデータだけを分離して、用いる。それは、実際のトルクと公称トルクとの差分として、モータモデル及び残差に基づいて公称トルクを計算する。それは、残差の平均及び分散を計算する。それはまた、位置に関して残差のフーリエ変換を計算する。自己相関はどうか？

(d) 分析層は、残差が特定の閾値より上にあるかどうかを判断する。それは、フーリエスペクトルのピークについて調べて、ピークの周波数を報告する。それはまた、残差の振動の期間と一致する距離を決定する。

(e) 残差が閾値未満である場合、推論層はそれが診断する障害を有しないと報告する。フーリエ変換において現れたピークがある場合、そして、ピークに対応する期間がモータの1回転においてカバーされる距離に等しい場合、障害が位置に関して周期的であるけん引力であるとそれは報告する。

【0261】

本HMDシステムの自動障害診断機能の概要が、表6において提供される。

【0262】

【表6】

表6：自動障害診断

電流／トルク残差分析
モータの電力消費分析
トラッキングエラー分析
障害検出
外乱オブザーバデータの分析
ベルト張力分析
周波数領域分析

10

20

30

【0263】

[モータの電力消費分析]

モータ電力消費は、ロボットの全体的なヘルスの役に立つインジケータである。上記したエネルギー散逸のように、電力消費の増加は、ロボットの潜在的な障害を示している。特定の間接でのより高い摩擦の存在は、関節を駆動しているモータにおける電力消費の増加をもたらす。また、ブレーキを摩擦することによる周期的な故障の存在は、周期的に変化している電力散逸を生む。

【0264】

[トラッキングエラー分析]

閾値を越えるトラッキングエラーの増加は、問題のインジケータである。加えて、トラッキングエラーの高速フーリエ変換は、特定の振動形式の増幅に関する情報を生む。

【0265】

[障害検出]

ロボットアームが遭遇する障害は、モータの力及びトラッキングエラーを分析して検出

40

50

され得る。

【 0 2 6 6 】

[外乱オブザーバデータの分析]

外乱オブザーバの出力は、アクチュエータ上の外乱力の計測値である。この出力の変化の分析は、障害の性質に対する洞察を生む。例えば、摩擦ブレーキによる周期的な故障の存在は、出力される周期的に変化している外乱オブザーバを生む。障害の存在は、置換によって増加する出力をもたらす。

【 0 2 6 7 】

[ベルト張力分析]

ベルト聴力は、連続的に力センサを用いて測定されて問題を検出するために分析され得る。特定の間接でのより高い摩擦は、その関節を動かしているベルトのより大きい張力をもたらす。

【 0 2 6 8 】

[周波数領域分析]

この方法の目的は、特定の周波数領域サインを用いて障害を診断することである。このサインは、様々な信号に存在してもよい。例として、ロボットの様々なポイントでの構造振動の分析は、問題の出所に役立つポインタを与えることができる。例えば、ゆるいベアリングは、特定の周波数ピークに対するより大きい振幅をもたらす。さらに、ゆるいボルトでの増加した摩擦は、特定の振動のモードに対するより高い減衰をもたらす。振動スペクトルの特定の変化を識別することは、問題の出所の弱点を突くのを助けることができる。

【 0 2 6 9 】

オンデマンドの H M F D ルーチン

本願明細書において記載された機能は、上記した連続するヘルス監視及び障害診断能力を補足する。それらは特別なシーケンスを必要としつつ / または基板を危険にさらし得るので、それらはロボットの通常動作の間、実行されることがない。連続監視及び自動診断とは対照的に、これらの機能は以下の状態においてオンデマンドで用いられる。

(a) ツールが利用されない時またはそれが予定されたメンテナンスの間使用可能にされる時のヘルス監視目的のため。

(b) ヘルス問題または障害が別 の方法によって検出されて原因を狭めかつ / または疑わしい構成要素を確認 / 排除するときの診断目的のため。

【 0 2 7 0 】

[ロボット / アライナモデル識別]

このオンデマンドのルーチンの目的は、ロボットまたはアライナの剛体ダイナミックモデルのパラメータを識別することである。パラメータの差分は、しばしば起きている障害による、ロボット (アライナ) 特性の変化していることを示す。

【 0 2 7 1 】

識別処理は、自動である。H M F D システムは、ロボットに予め定められた軌道をたどるように命令して、ロボット動きの間位置及びトルクを監視する。ダイナミックモデルの構造は、システムの全ての重要な機械部品を反映するために選択されて、ロボットのモータと関連するアクチュエータ動特性を含む。信頼できる結果を実現するために、モデルはベースパラメータに関して公式化され、軌道はダイナミックモデルの得られる構造に対して最適化される。

【 0 2 7 2 】

[ロボット / アライナ周波数応答]

周波数応答識別の目的は固有周波数及び減衰レベルの変化を判断することである。そして、それはゆるい機械継手を含むロボット構造上の特性の変化を示す。周波数応答は、ロボットの複数の位置の大きさ及び位相特性を提供する。

【 0 2 7 3 】

周波数応答を構築するために、H M F D D システムは、ロボットマニピュレータのワー

10

20

30

40

50

クスペースにおいて均等に分布した格子状の位置にロボットマニピュレータを移動させ、掃引周波数高調波信号によってロボットマニピュレータに起動信号を送り、各々の位置のロボットマニピュレータの応答を記録する。複素最小二乗適合技術を用いて、コントローラはそれから記録されたデータを用いてロボットマニピュレータの各々の位置に対する転送機能のパラメータを算出する。

【0274】

H M F D システムは、それらの大きさ及び位相特性をグラフで示すことによって得られる周波数応答を視覚化してもよい。

【0275】

[ロボット / アライナ関節状態チェック]

10

このオンデマンドルーチンの目的は、機械的関節の状態を点検することである。最初に、H M F D システムは、ロボットまたはアライナの剛体力学の識別を実行する。第2のステップで、減衰及び摩擦などの結合特性を表す識別結果が基礎値と比較される。期待値の指定された範囲外の変化は、対応する関節に関する問題を示す。

【0276】

[ロボット / アライナベルト張力チェック]

目的

このオンデマンドルーチンの目的は、明細書に対してロボットアームにおいて用いられてもよいベルトの張力を点検することである。

【0277】

20

概要

ロボットアームにおいて用いられるベルトの張力は、製造 / サービス要員のエラー、ベルト材料のずれ、またはベルト張力メカニズムの障害のために、正しく設定されないかまたは時間にわたって変化しないかもしれない。ベルト張力の変化は、フィードバック制御の安定性を含む、ロボットの性能に影響を及ぼす。ベルト張力は、ロボットの周波数応答に基づいて点検され得る。周波数応答解析に対して必要なデータは、通常動作の間、得られることができない。従って、特別なオンデマンドのルーチンが必要である。

【0278】

階層レベル

このルーチンは、ロボットコントローラまたはマスタコントローラ P C に存在してもよい。

30

【0279】

一連のステップ

(a) マネージャは、基板がロボットエンドエフェクタ上にないことを確認する。そうでない場合には、エラーが表示される。ロボットが基板存在検知を支持しない場合、マネージャは基板がロボットエンドエフェクタ上にないということを確認するためのオペレータに対する要求を表示する。

(b) マネージャは、ロボットにロボットのホームポジションへ移動するように命令する。この動作が失敗する場合、エラーが表示される。

(c) マネージャは、サーボコントローラを周波数応答識別のためにあらかじめ定義されたサーボパラメータに切り替える。

40

(d) マネージャは、問題のベルト駆動に関係付けられたモータの励起を開始する。データ収集層は、対応するエンコーダの励起及び応答を記録する。

(e) 前処理層は、データ収集層から得られるデータに基づくロボットの周波数応答を算出する。周波数応答が算出されることができない場合、エラーが表示される。

(f) 分析層は、前処理層から得られた周波数応答において問題のベルトの横振動と一致する周波数を識別する。周波数が識別されることができない場合、エラーが表示される。

[それも、ベルト状態チェック目的のための縦の振動に対応する周波数を識別するべきか？]

(g) 推論層は、得られる周波数を問題の各々のベルト駆動に対する許容可能な範囲と比

50

較する。[これは、分析層においてなされるべきか？]

(h) マネージャは、結果を表示する。問題がある場合、マネージャはベルト張力調整法をサービススクリーンに提供する。

【0280】

構成データ

- (a) ベルト駆動とモータとの間の関連性。
- (b) 周波数応答識別に対するサーボパラメータ。
- (c) 周波数応答識別に対する励起信号のパラメータ。
- (d) 各々のベルト駆動に対する許容可能な固有振動数の範囲。

【0281】

10

[静荷重状態下のモータのモデル妥当性]

目的

この方法の目的は、モータトルク係数が正当であると確認することである。

【0282】

概要

モータのモデル式は、静荷重状態の下で単純化される。上記に説明したように、モータが、逆起電力の欠如、粘性効果及び慣性効果において、静的状態の下で周知の外力に抵抗する場合、モータのトルク係数は測定された電流に直接由来する。外力の大きさが未知の場合であっても、分析的静的力モデルはモータトルクの間の割合を得るために用いられる。モータのトルク比は、モータ電流比率と比較されて、モータ容量の低下につながっている障害が識別され得る。以下の障害は、この方法を用いて識別され得る。即ち、モータ磁石の弱化、モータベアリングの遊び、である。さらに、モータの巻線抵抗は、また、上記の電圧電流関係を用いている測定された電流及び電圧に由来することができる。

20

【0283】

階層レベル

この診断ルーチンは、ロボットコントローラまたはマスタコントローラPCに存在する。

【0284】

一連のステップ

(a) ロボットエンドエフェクタがちょうど外力の印加の位置に触れるように、マネージャはロボットに命令する。外力は、ロボットがブーリーまたはレバーメカニズムによって引くかまたは押す周知の重量であってもよい。外部の負荷がない場合、ロボットは剛性表面を押す。

30

(b) マネージャは、リモート軸コントローラのうちの1つに命令して、その軸に対応するモータで周知のトルクにそれが命令するのを可能にする「力モード」に切り替える。

(c) データ収集層は、各々のモータで定常電流及び電圧値を記録する。

(d) 分析層は、各々のモータの巻線抵抗値を計算する。さらに、それは、静的平衡式に電流及び外力値を代入した後で残差を計算する。

(e) 推論層は、残差を閾値と比較して、閾値の違反を識別する。

(f) マネージャは、モータモデルのいかなる違反も報告する。

40

【0285】

構成データ

- (a) モータ巻線抵抗及びモータトルク係数の公称値。

- (b) 残差に関する許容可能な限界値。

[ロボット／アライナエンコーダ信号チェック]

目的

このオンデマンドのルーチンの目的は、仕様に対して光学アブソリュートエンコーダ及び仮想アブソリュートエンコーダによって出力される正弦／余弦信号の品質を点検することである。

【0286】

50

概要

エンコーダーリードヘッド及び光ディスクは、製造 / サービス要員エラーのために適当に整列配置されないかもしれない。または、それらの整列は、動作の間、損傷のために時間を切り替えるかもしれない。例えば塵または油のような汚れは、エンコーダの光ディスクを汚染するかもしれない。この種の不整列及び汚染は、エンコーダによって出力される正弦 / 余弦信号をひずませるかもしれない。信号の品質は、それらの振幅及び位相特性に基づいて点検され得る。信号は、低定速で記録されが必要で、その状態は通常動作の間概して起こらず、従って特別なオンデマンドのルーチンが必要である。

【0287】

階層レベル

この診断ルーチンは、ロボットコントローラまたはマスタコントローラ P C に存在してもよい。

【0288】

一連のステップ

(a) マネージャは、基板がロボットエンドエフェクタ上にないことを確認する。そうでない場合には、エラーが表示される。ロボットが基板存在検知を支持しない場合、マネージャは、基板がロボットエンドエフェクタ上にないということを確認するオペレータに対する要求を表示する。

(b) マネージャは、ロボットに安全な位置へ移動するよう命令する。

(c) マネージャは、一定の速度で所望の範囲まで軸が移動するよう命令する。所望の範囲は、1つの完全なエンコーダ回転と一致する。

(d) データ収集層は、指定された割合で正弦及び余弦信号の値を記録する。

(e) 前処理層は、デカルト成分が正弦及び余弦信号値である想像上のベクトルの大きさを計算する。

(f) 分析層は、想像上のベクトルのそれと同様に正弦及び余弦信号の最大値及び最小値を記録する。

(g) 推論層は、最大値及び最小値を予め設定された閾値と比較する。

(h) 閾値のいずれかが違反される場合、マネージャは場所を報告する。

【0289】

構成データ

(a) 最大及び最小の閾値レベル。

(b) データ収集率。

(c) 各々のロボット軸に対する安全なロボット位置。

(d) 記録の間の軸速度。

【0290】

[ロボット / アライナグリッパーのオンデマンドチェック]

このルーチンの目的は、図 5 及び 6 に示すようにロボットまたはアライナの真空作動される基板グリッパーの適当な動作を検証することである。請求があれば、H M F D システムは、遷移時間を監視しつつそれらを所定の仕様と比較すると共に、グリッパーを励起する。

【0291】

[マッパー / アライナセンサチェック]

このルーチンの目的は、ロボットマッパーまたはアライナ光学センサを機能性についてチェックすることである。H M F D システムはセンサに発光体をオンにするように命じ、それが充分に放射光にさらされると光受信器の出力を読み込む。得られる出力は、所定の仕様と比較される。

【0292】

[ロボットマッパー機能性チェック]

このルーチンの目的は、マッパー (図 7) が適当に機能することを検証することである。H M F D システムは、マッパーを用いて周知の直径を有する円形の断面のワイヤまたは

10

20

30

40

50

ピンなどの周知の寸法の特徴を走査するようにロボットに命令する。それから結果は、走査された特徴の周知の寸法と比較される。

【0293】

[ロボット/アライナ制御安定性検査]

このルーチンの目的は、ロボットまたはアライナコントローラチューニングの安定性を検査することである。HMF Dシステムは、ロボットをロボットのワークスペースにおいて均等に分布した格子状の位置に移動させ、衝撃、ステップまたは掃引周波数高調波信号によりロボットを励磁して、各々の位置の応答を記録する。コントローラは、それから、収集されたデータに基づいて安定余裕を評価する。

【0294】

[通信ネットワークトポロジチェック]

このチェックは、判定及び通信ネットワークのトポロジの表示を必要とする。

【0295】

[オンデマンドのロボット反復チェック]

目的

この目的は、ロボットの反復性におけるいかなる低下も検出することである。

【0296】

概要

ロボットの反復性は、特定の許容範囲内でワークスペースの同じポイントにロボットエンドエフェクタを命令する能力をいう。ロボット反復性の計測は、この許容範囲ウンドウの逼迫である。反復性損失は、ベアリング及び滑りベルトの遊びなどのずさんな機械的連結のために起こる。反復性損失は、動き命令の実行中にロボットエンドエフェクタ場所の繰り返される外部測定によって検出され得る。ロボット場所の外部測定の2つの可能なモードがある。1つのオプションは、ロボットエンドエフェクタ(図7)において直通ビームマッパーを用いることである。ロボットはそのエンドエフェクタを動かして、例えば垂直ナイフエッジなどの固定式の特徴がビームをカットする。ビームがカットされる正確なロボット位置が注目される。この位置の漸次の変動は、ロボット反復性に関する問題を示す。ロボットの反復を充分に検査するために、特徴は複数の方向からロボットによってアクセスされてもよく、または、複数の特徴が用いられてもよい。第2のオプションは、エンドエフェクタのまっすぐなエッジがワークセルに関して固定されたビームをカットするロボット位置を記録することである。

【0297】

階層レベル

この診断ルーチンは、ロボットコントローラまたは、マスタコントローラPCに存在してもよい。

【0298】

一連のステップ

(a) マスタコントローラは、光線による1つ以上の直通ビームがカットされるのを可能にする特定の動作シーケンスを実行するためにロボットを識別して命令する。

(b) データ収集層は、直通ビームがカットされたロボット位置を記録する。

(c) 分析層は、記録された位置におけるシフトを検出する。シフトが許容限度を越える場合、反復性の喪失が報告される。

【0299】

構成データ

(a) 反復性に関する許容差

[ロボットステーション配置チェック]

目的

この方法の目的は、ロボットに関してステーション場所またはその方向におけるいかなる変動についても調べることである。

【0300】

10

20

30

40

50

概要

ロボットに関してステーション場所及びステーション方向を自動的に決定する方法を説明する。方法は、ロボットエンドエフェクタまたはアライナ 307 上の直通ビームマッパー 428A、428B のいずれかを用いる一連のステップを説明する。要求されると、ロボットはこれらのステップを実行し、ステーション場所または方向において重大な変動がある場合、これらのステップ及びチェックを実行する。

【0301】**階層レベル**

この試験は、メインロボットコントローラにおいて実行されてもよい。

【0302】**一連のステップ**

(a) マネージャは全てのステーション及びティーチングを有効にするステーション上の特徴がアクセス可能であることを確認する。

(b) マッパー (428A 及び 428B) がティーチングに用いられることになっている場合、マネージャはロボットエンドエフェクタ上にウェーハがないことを確認するためにチェックする。

(c) マネージャは、ティーチシーケンスの開始を命令する。

(d) マネージャは、ステーション場所及び方向の変動を記録して、標準からの偏差をユーザに警告する。

【0303】**[オンデマンドのウイルススキャン]**

これは、コントローラタスクの適当な実行を妨げるウイルス及び他の処理に対して、例えばマスタコントローラのハードドライブなどのハードドライブの走査を含む。

【0304】

典型的なオンデマンドのヘルス監視及び障害-診断ルーチンの概要が、表 7 に提供される。

【0305】**【表 7】**

表 7 : 典型的なオンデマンド HMF D ルーチン

ロボット/アライナモデル識別
ロボット/アライナ周波数応答
ロボット/アライナ結合状態チェック
オンデマンドのロボット/アライナベルト張力チェック
静荷重状態下でのモータモデル検証
ロボット/アライナエンコーダ信号チェック
ロボット/アライナグリッパーのオンデマンドのチェック
マッパー/アライナセンサチェック
ロボットマッパー機能性チェック
ロボット/アライナ制御安定性検査
通信ネットワークトポロジチェック
オンデマンドのロボット反復性チェック
ロボット・ステーション配置チェック
オンデマンドのウイルススキャン

30

40

【0306】**試験データ例**

本ヘルス監視及び障害診断システムの選択された方法に対する例となる試験データがここで説明される。

【0307】**エネルギー散逸の監視及び分析**

50

上記に説明したように、この方法の基本原理は、ロボットの機械または電気部品の劣化に起因する障害がロボットの動作の全体効率の低下をもたらすということである。従って、この種の障害は、ロボットのエネルギー散逸の特定の計測を監視することによって、発生の初期段階に検出され得る。効率の減少をもたらす障害のいくつかの例は、以下の通りである。即ち、故障したかまたは不整列のベアリング、潤滑の喪失、ロボット動きへの障害、ローター上の永久磁石の劣化、及びモータブレーキの不具合、である。さらに、位置及び電流フィードバック制御ループにおける周辺の不安定性によって誘発される振動は、エネルギー散逸の増加をもたらして、この方法を使用して検出され得る。エネルギー損失インデックスは、ロボット及びそれぞれの結合の障害の存在を示すだけであるということに注意する必要がある。相補的な方法は、障害の原因を狭めるために用いられることを必要とするかもしれない。

10

【0308】

5軸依存ロボットは、通常動作の間、エネルギー散逸に関するデータを集めるために用いられた。このロボットは、図4のロボット例と同様である。ロボットが実行するたびに、ロボットコントローラに組み込まれた追跡メカニズムを用いて、基板を非放射状の位置から拾い上げるための延伸運動をロボットが実行するたびに、モータトルク及びモータ速度データがダウンロードされる。トルク及び速度データは、停止から始まって運動の終わりの停止にいたるロボットの期間を対象とする全体の運動に対して収集された。この特定の運動は、Z軸の動きを含まないので、重力ポテンシャルの変化がなく、理想的な無摩擦状態下で、正味のエネルギー散逸はゼロである。他方、本当のロボットに対して同じ平面の2つのポイントの間のロボット運動としての正味のエネルギー散逸がある。このエネルギー散逸は、ベアリング及びアクチュエータのようなマシン構成要素の摩擦による。

20

【0309】

[正常なロボットに対するエネルギー散逸]

図12は、通常の状態のロボットに対する中心を外れた位置への連続した延伸運動の間のエネルギー散逸のプロットを示す。

【0310】

[不正確な位相角を有するロボットに対するエネルギー散逸]

障害状態は、t1モータ(図4のモータ409)の位相角を変えることによってロボットにおいて人工的に誘発された。不正確な位相角は、同じ巻線電流に対してモータの低下トルク出力をもたらす。モータの実際に必要とされるトルク出力は同じなので、モータ電流は増加しなければならない。これは、順により高い抵抗エネルギー損失をもたらす。得られるより高い電圧は、フィードバックコントローラの実際のトルクのより高い値として、現れる。実際のトルクのこのより高い値は、エネルギー散逸を計算するために用いられ得る。図13は、連続した異なる位相角に対する連続した延伸運動に対するエネルギー散逸値を比較する。

30

【0311】

[長期間のエネルギー散逸の変動]

図12及び図13からわかるように、エネルギー散逸値は、連続した延伸運動にわたる変動がほとんどないことを示す。しかしながら、対象としているロボットに対して、エネルギー散逸は、より長い期間にわたって下降傾向を示した。図14は、30日の間隔の後の同じロボットに対するエネルギー散逸データを示す。図15は、30日間隔で、正常なロボットのエネルギー散逸を比較する。エネルギー散逸の全てのカテゴリにおいて5%の下落がある。エネルギー散逸におけるこの下落の理由は、まだ決定されていない。より多くの分析が、この問題に必要である。

40

【0312】

[エネルギー散逸を監視することによって検出され得ない障害]

エネルギー散逸の知覚できる増加をもたらさないかもしれない、従って、エネルギー散逸を監視することによって検出され得ない特定のタイプの障害がある。以下が2つの例である。

50

(a) 不正確な位置読み込みをもたらすエンコーダディスク上のほこり。

(b) 辛うじて安定したサーボ機構による振動：エネルギー散逸が増加する場合であっても、それは検出されるのに十分重要でないかもしれない。

【 0 3 1 3 】

トルク残差の監視及び分析

全体的なヘルスにおける低下を示すロボットから収集されたデータは、それ生じている特定の障害を決定するために更に分析され得る。以前に示したように、分析技術はトルク残差に基づく分析技術は、ロボットで起こり得る特定の種類の障害を識別することができる。

【 0 3 1 4 】

[有効モータ容量の減少]

不正確なモータの位相角または永久磁石の消磁のような障害は、モータの有効トルク係数の減少をもたらす。より高いモータ電流は、同じトルク出力に対して必要である。障害状態下のトルクと通常状態下のトルクとの間の差分として定義されたトルク残差は、通常状態のトルクと比例している。これは、レーザ横移動機に対して得られた図 1 6 に示されるデータで例示される。データは、最大加速度 $4,500 \text{ mm/s}^2$ 、最大速度 900 mm/s 、開始ポイント $x = 0$ 、及び終了ポイント $x = 1,000 \text{ mm}$ 、によって定義される動きプロファイルを完成させた横移動機として収集された。図 1 7 は、公称トルクに関してトルク残差の変動を示す。プロットが、トルクと比例しているモータ電流を示すということに注意する。

10

【 0 3 1 5 】

線形回帰係数は、モータのトルク係数が減少した範囲を示す。図 1 7 のデータは、間違った位相角については、必要とされるトルクは公称トルクより平均 33.7% 大きい。これは、 43 度の位相角エラーのために予想されるべきことと厳密に一致する。他方、図 1 8 で示したようにトルク残差とモータの速度との間にほとんど相関関係はない。

20

【 0 3 1 6 】

[周期的な障害]

ブレーキ障害などの障害はモータの周期的なじまになるものを誘導することができる。図は、アームのないリライアンスロボットの Z 軸（垂直リフト）から得られたデータを示す。データは、 320 mm/s のピーク速度を有する 300 mm の Z 動きに対するトルク値を表す。ブレーキ障害は、ブレーキシューが完全に外れるのを防ぐことによって誘導された。これは、モータ位置において周期的だった障害に結果としてなった。これは、位置に関してトルク残差の変動を示す図 2 0 から明白である。トルク残差の変動の期間は、Z ボールネジのピッチであるほぼ 16 mm である。

30

【 0 3 1 7 】

ロボット参照モデル

前の検討は、通常の労働条件下でロボットの動的挙動を定義するロボットの参照力学モデルが存在すると仮定する。この種のモデルは、エネルギー散逸の電流値がロボットヘルスの状態を決定するために比較され得るエネルギー散逸に対する基礎値を生む。モデルは、また、トルク残差を計算するために用いられ得る所定の運動シーケンスに対する公称トルクの変動を生む。この種のモデルは、周期的に更新されて、必ずしもヘルス問題を表すというわけではないロボット特性の重大な長期移動を説明することを必要とするかもしれない。上記したように、基線ロボット挙動を決定する可能なオプションのうちの 1 つは、ロボットの通常の動的挙動を表すニューラルネットワークモデルの使用である。

40

【 0 3 1 8 】

正常なロボットから得られたデータは、ロボット力学のニューラルネットワークモデルを構築するために用いられ得る。そして、このモデルは、ヘルス監視及び障害診断の参照モデルとして用いられ得る。図 2 1 は、実際のトルクとモデル予測された Z 軸トルクの比較を示す。ニューラルネットワークモデルは、 10 の神経単位を有する放射状の基礎ネットワークを用いて構築された。マットラブ (Matlab) によって提供される放射状の

50

基礎ネットワークツールが、この目的のために用いられた。ネットワークに対するトレーニングデータは、1300の状態で位置、速度、加速及びトルク値から成った。

【0319】

本ヘルス監視及び障害診断システム100は、ブルックス・オートメーション・インコ-ボレーテッドによるゴールドリンク（GOLDLINK、商標登録）大域的診断ツールなどの、ツールと統合されてもよい。

【0320】

ヘルス監視及び障害診断システム100の各々の機能は、追加の機能を実行してもよい1つ以上のリモートのコンピュータデバイスにその出力または結果を送信してもよい。例えば、前処理、分析及び推論機能を実行してもよいリモートサーバーに、データ収集機能105は、時間履歴を報告してもよい。システム内の他の機能はまた、システム100の範囲内で計算及びトラフィックの負荷を最小にするために更なる計算のためのリモート機能にデータを送出してもよい。

【0321】

このことは、リモートサイトで分析を展開して検証する機会を提供してアルゴリズムを論証し、フィールド内で直接システムによって報告される誤警報の危険性を除去すると共に、サイトで必要とされるサポートを最小にしてもよい。

【0322】

リモート機能に送信される情報は、周期的なヘルス監視データ、自動状態通知、及びオンデマンド情報を含んでもよい。

【0323】

【周期的なヘルス監視データ】

ローカル機能105、110、115、120の1つ以上は、連続的にリアルタイムの高いサンプリングレートでの選択された信号を記録し、特徴を処理し、分析を実行し、または推論機能を実行し、データを更なる処理用のリモートサイトに送ってもよい。

【0324】

例えば、データ収集機能105は、各々の動き軸に対する以下の信号を記録してもよい。

- (a) モータ電圧（PWMデューティサイクルに関して）
- (b) モータ電流
- (c) 命令された実際の位置
- (d) 実際の速度
- (e) モータ温度

局所的な事前処理機能110は、データを前処理して、動作及び動き軸につき以下の特徴の組を決定するために各々の動作に対する一組の特徴を算出する。

- (a) 日付 / 時間スタンプ
- (b) 情報から / ヘ
- (c) 消散されたエネルギー
- (d) 最大電流
- (e) 最大位置エラー
- (f) 位置エラーの設定
- (g) 設定時間
- (h) 最大温度

上の1組の特徴は、分析、推論または他の機能のためにリモートサーバーまたは他のコンピュータデバイスに、周期的なバッチ処理で送信されてもよい。

【0325】

リモートサーバーも、ローカル機能105、110、115、120またはマネージャ130から自動状態通知を容易にするために用いられてもよい。通知情報は、以下を含んでもよい。即ち、

- (a) 動作対メンテナンス変化

10

20

30

40

50

(b) 構成変化の通知

(c) 致命的エラーの通知

(d) 事前定義された間隔で送出されるサイクルカウントデータ

さらに、リモートサーバーまたはコンピュータ接続は、サポート及び診断の目的のためのオンデマンドの情報のアップロードを可能にする。典型的な情報は、以下を含んでもよい。即ち、

(a) 構成 (ワークスペース) 情報

(b) 時間スタンプされた命令 / 反応 / エラーログ

(c) データログ (データ収集層から)

さらに、例えばウイルス保護ソフトウェアのリモートアップグレード及びコントローラソフトウェアのリモートアップグレードなどのリモートシステムから他の特徴を提供することは有利であるかもしない。

【 0 3 2 6 】

説明されたシステムは、それがヘルス監視及び障害診断に対する一意の一組の機能を提供するので有利である。データ収集機能は、監視されているマシンの動作の間、選択された変数の時間履歴を獲得する。事前処理機能は獲得した時間履歴の特定の特徴を算出する。分析機能は、変数が関連する個々の構成要素の特徴を評価して、各々の構成要素の状態について、1つ以上の仮説を生成する。そして、推論機能は、マシンの個々の構成要素の状態及びマシン及びマシンが良い作動状態にあるという信頼度含む、マシンの全体的な評価を引き出す。

10

20

【 0 3 2 7 】

システムは、階層的に分散された方法で実施されてもよい。例えば、各々の機能の複数のインスタンスは、データがヘルス監視及び障害診断目的のために必要なデータがデータを処理するために充分な知能があるレベルで用いられるというように、マシン内の徐々により高レベルのコントローラの中にあるかまたは関係付けられる。

【 0 3 2 8 】

システムは、自動化された製造ツールにおいて動作しているロボットマニピュレータの予期せぬ障害による材料の損傷及び予定外のダウンタイムを実質的に減少させるかまたは完全に除去すると思われる。さらに、障害が起こる場合には、システムの障害診断能力が、応答、品質及びサービスのコストを改善すると思われる。

30

【 0 3 2 9 】

前述の説明は、本願明細書において開示される実施例を図示するだけであるということが理解されなければならない。様々な代替及び変更態様は、実施例から乖離することなく、当業者によって考案されてもよい。従って、ここで開示された実施例は、添付の請求の範囲内にある全てのこの種の選択肢、変更態様及び変化を容認することを目的とする。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 3 3 0 】

【 図 1 A 】 開示された実施例による状態監視及び障害診断システムを示す。

【 図 1 B 】 開示された実施例による状態監視及び障害診断システムを示す。

【 図 2 】 開示された実施例を実行するための典型的な機能コントローラを示す。

40

【 図 3 】 半導体デバイスの製造のためのオートメーション化した材料処理プラットフォームを示す。

【 図 4 】 5 軸ダイレクトドライブのロボットマニピュレータを示す。

【 図 5 】 真空作動エッジコンタクトグリッパーを示す。

【 図 6 】 表面接触吸入グリッパーを示す。

【 図 7 】 1 つ以上のマッパー・センサを有するエンドエフェクタを示す。

【 図 8 】 インクリメンタル回転光学エンコーダを示す。

【 図 9 】 アブソリュート回転光学エンコーダを示す。

【 図 1 0 】 エンコーダデータ保全性チェックのための方法を示す。

【 図 1 1 A 】 アブソリュートエンコーダデータ保全性チェックのための方法を示す。

50

【図11B】アブソリュートエンコーダデータ保全性チェックのための方法を示す。

【図12】通常状態のロボットに対する中心を外れた位置への連続した延伸運動にわたってエネルギー散逸のプロットを示す。

【図13】連続した異なる位相角に対する連続した延伸運動のためのエネルギー散逸値を比較する。

【図14】30日の間隔の後、同じロボットの2つの異なるモータの位相角に対するエネルギー散逸データを示す。

【図15】正常なロボットの30日間隔でエネルギー散逸を比較する。

【図16】長時間にわたる2つの異なる位相角に対する横移動機モータ電流を示す。

【図17】公称電流に関してモータ電流残差の変動を示す。

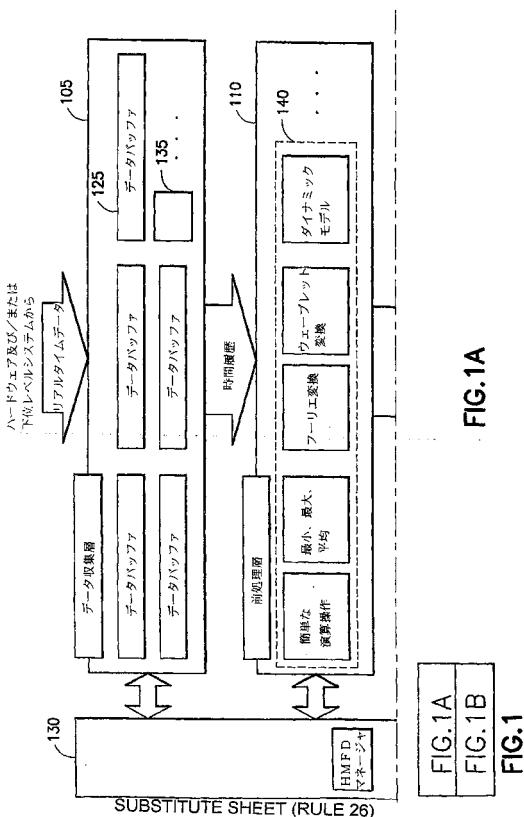
【図18】速度に関してトルク留数の変動を示す。

【図19】ブレーキ抵抗を有するモータトルクと有さないモータトルクとの比較を示す。

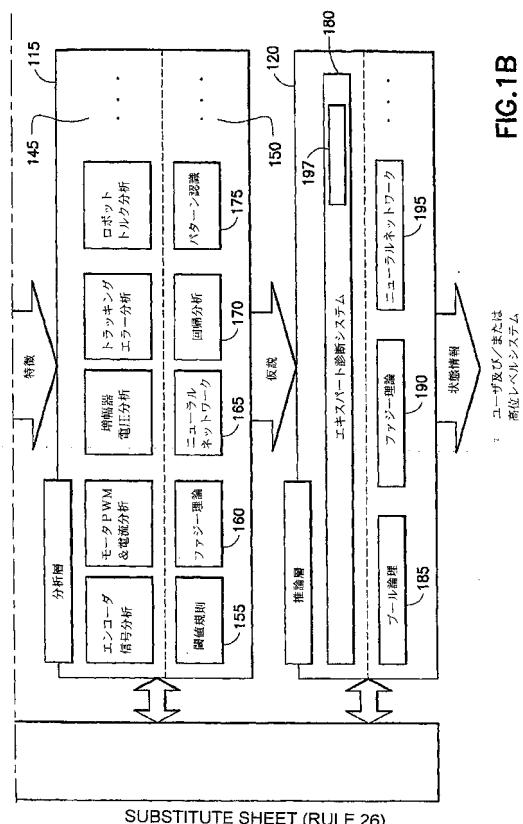
【図20】Zモータトルクの残差図を示す。

【図2.1】実際のトルク値とのモデル予測の比較を示す。

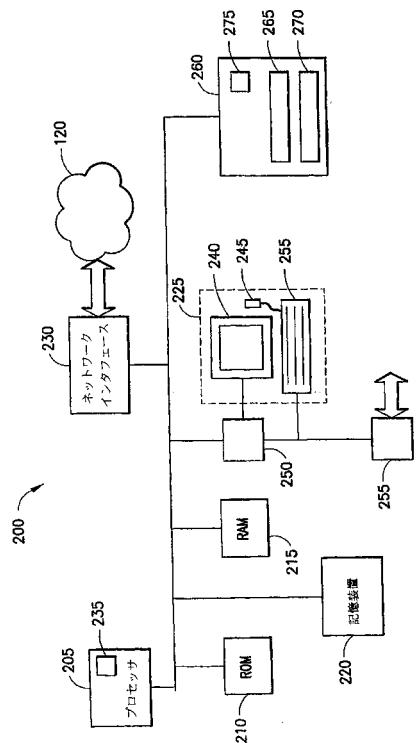
【 図 1 A 】



【 図 1 B 】



【図2】



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

FIG.2

【 四 3 】

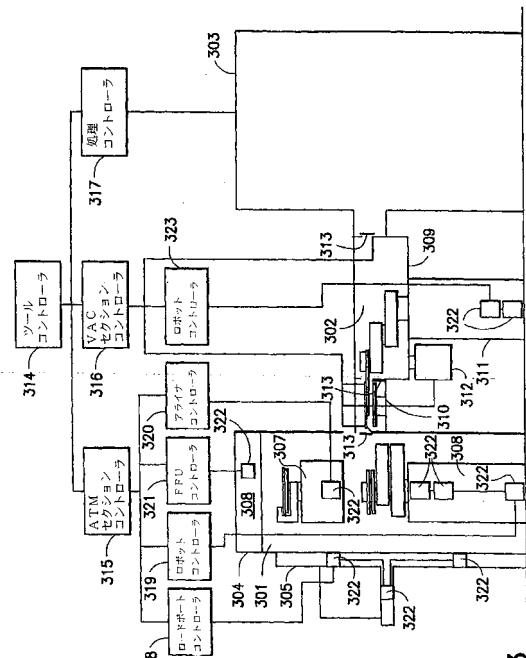


FIG. 3

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【 図 4 】

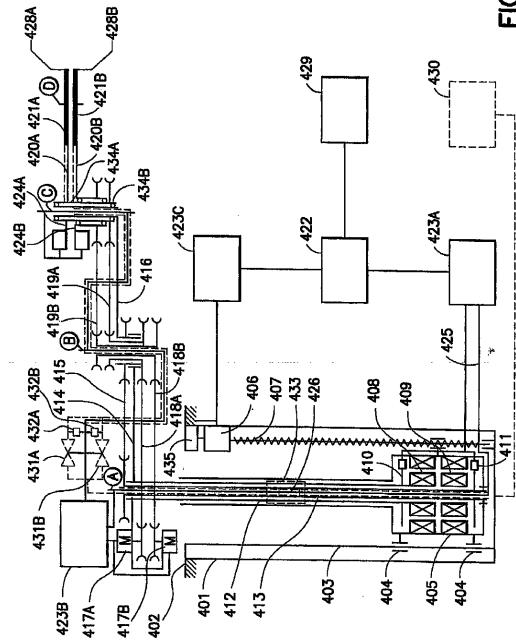
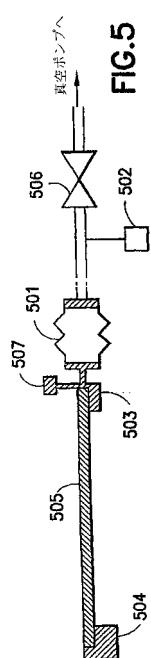


FIG. 4

【図5】



15

【図6】

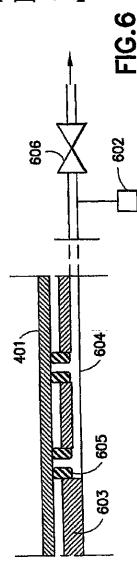


FIG.6

【図7】

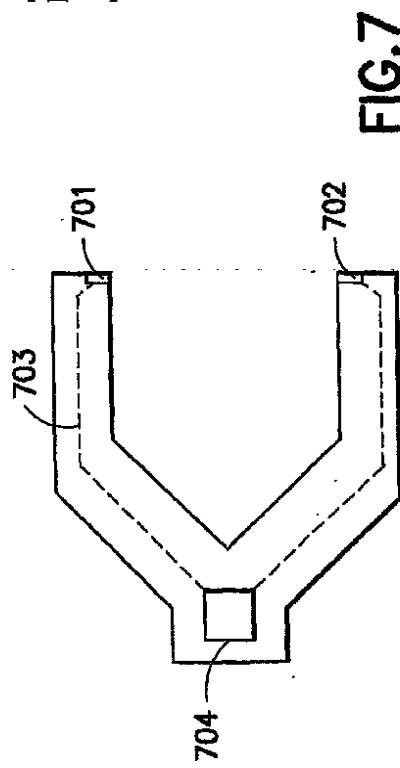


FIG.7

【図8】

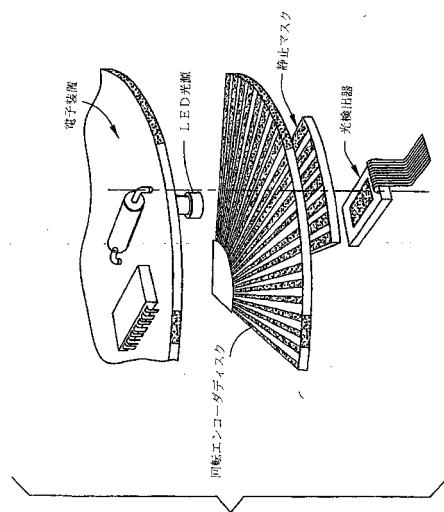


FIG.8

【図9】

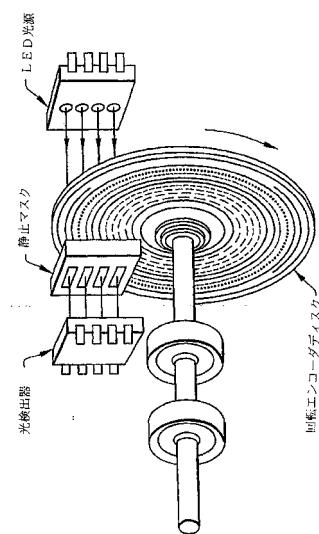


FIG.9

【図10】

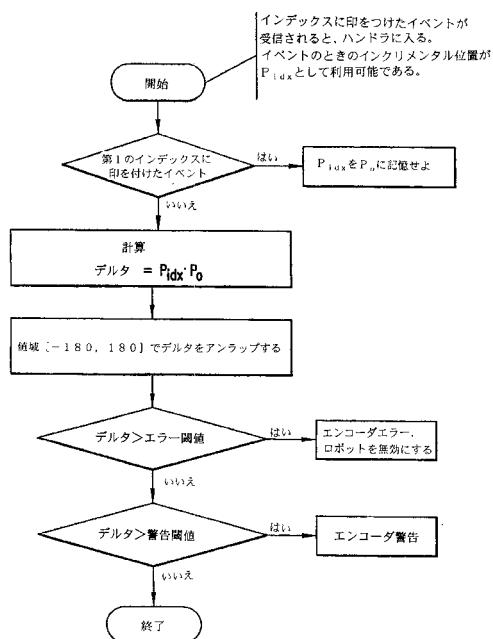


FIG.10

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図11A】

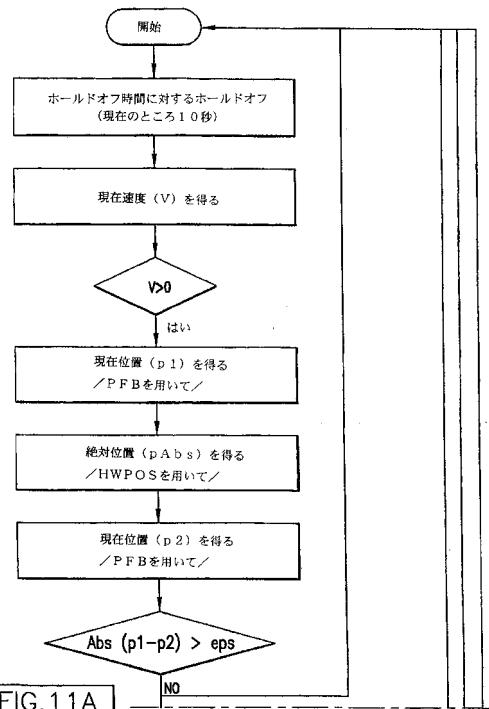


FIG.11A

FIG.11B

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

FIG.11A

FIG.11B

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図11B】

【図12】

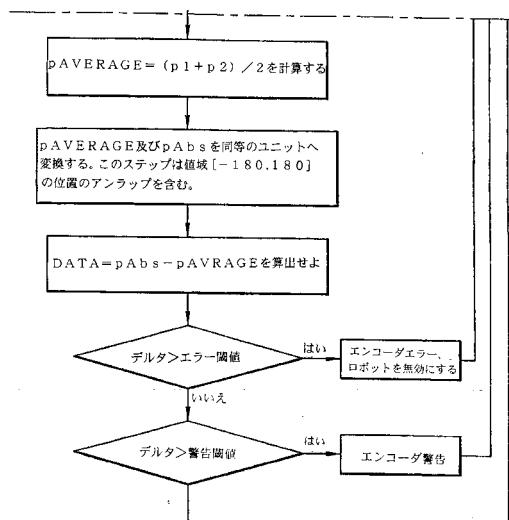
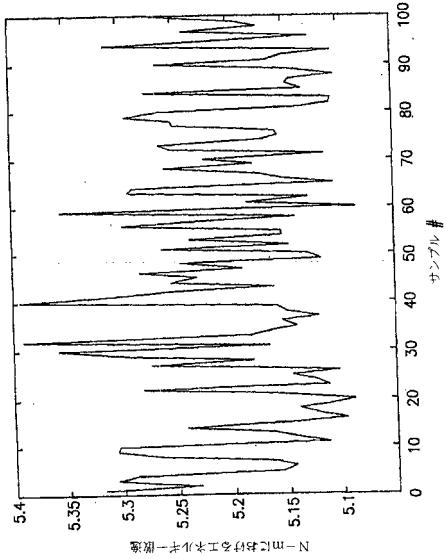


FIG.11B



SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

FIG.11

FIG.11B

FIG.11A

【図13】

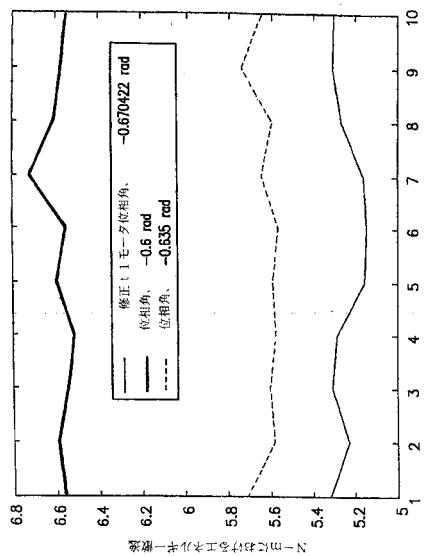


FIG.13

【図14】

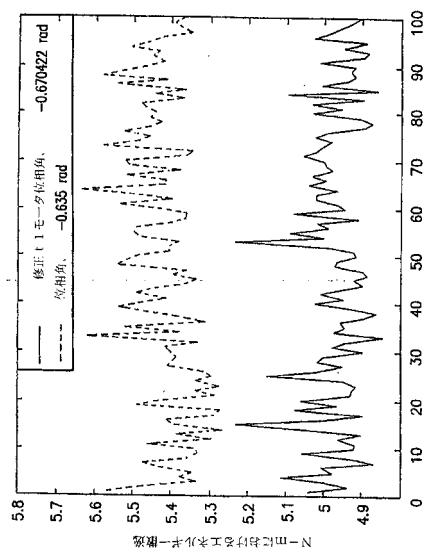


FIG.14

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図15】

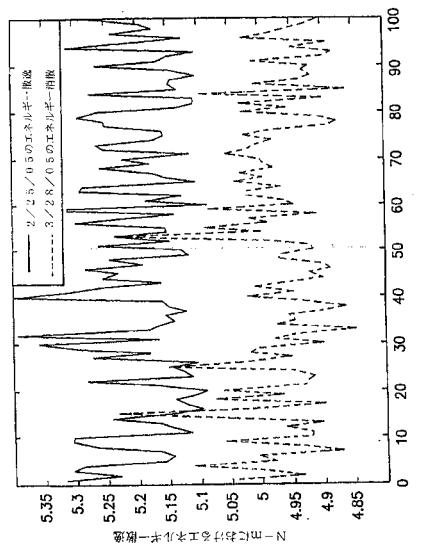


FIG.15

【図16】

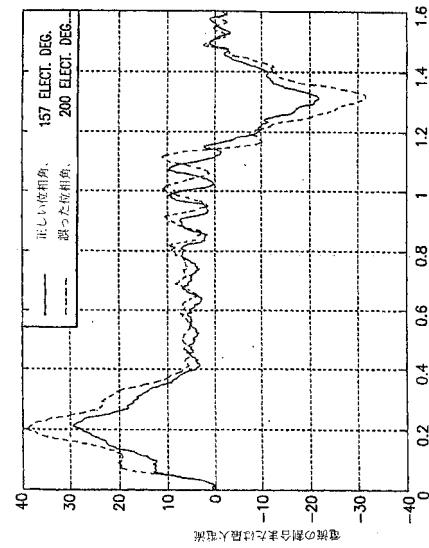


FIG.16

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図17】

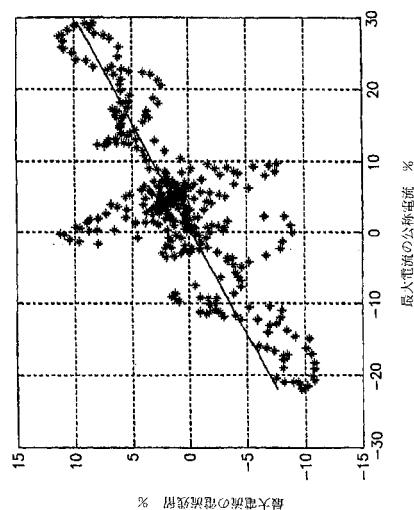


FIG.17

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図18】

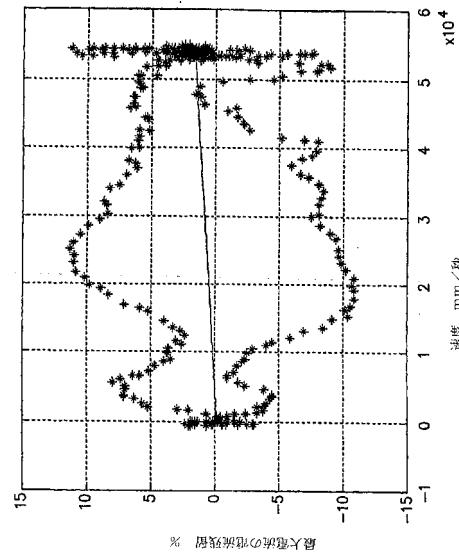


FIG.18

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図19】

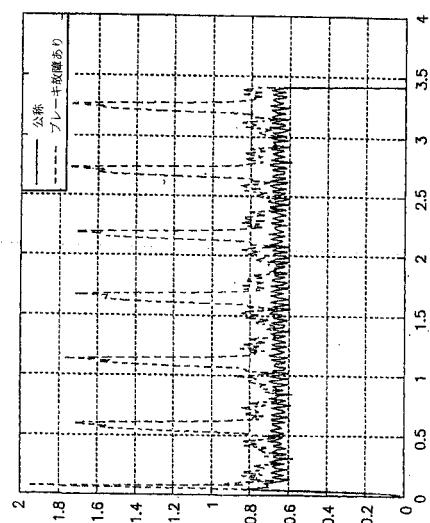


FIG.19

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図20】

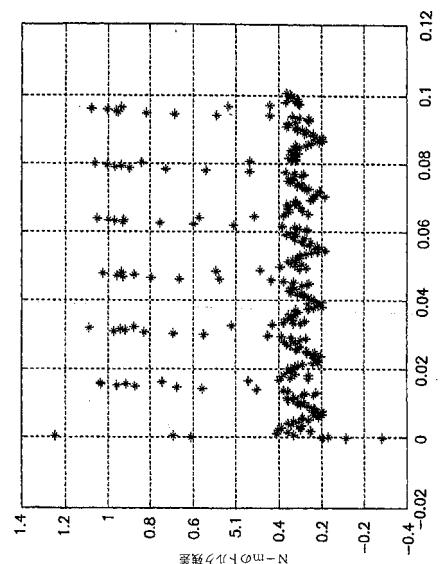


FIG.20

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

【図21】

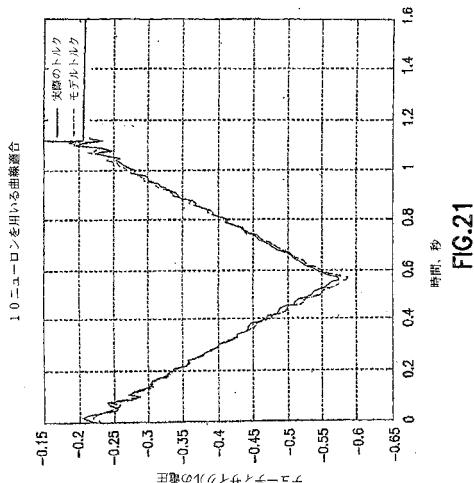


FIG.21

SUBSTITUTE SHEET (RULE 26)

フロントページの続き

(72)発明者 プロハースカ ジェイ.

アメリカ合衆国 ニューハンプシャー州 03051 ハドソン ウィンヘイブンドライブ 20

審査官 佐藤 彰洋

(56)参考文献 特開2000-056080 (JP, A)

特開2004-078633 (JP, A)

特開2000-259222 (JP, A)

特開平07-282146 (JP, A)

特表2004-503851 (JP, A)

特表2006-503354 (JP, A)

特開平04-217064 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G05B 23/02

G05B 19/418

G06Q 50/04

G05B 13/02