

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4312762号
(P4312762)

(45) 発行日 平成21年8月12日(2009.8.12)

(24) 登録日 平成21年5月22日(2009.5.22)

(51) Int.Cl.		F I		
FO2D 45/00	(2006.01)	FO2D 45/00	368Z	
GO1M 15/11	(2006.01)	FO2D 45/00	358C	
		FO2D 45/00	362J	
		GO1M 15/11		

請求項の数 8 (全 17 頁)

(21) 出願番号	特願2005-518203 (P2005-518203)
(86) (22) 出願日	平成16年7月9日(2004.7.9)
(65) 公表番号	特表2006-515911 (P2006-515911A)
(43) 公表日	平成18年6月8日(2006.6.8)
(86) 国際出願番号	PCT/US2004/022092
(87) 国際公開番号	W02005/017803
(87) 国際公開日	平成17年2月24日(2005.2.24)
審査請求日	平成17年4月8日(2005.4.8)
(31) 優先権主張番号	10/637, 121
(32) 優先日	平成15年8月8日(2003.8.8)
(33) 優先権主張国	米国 (US)

(73) 特許権者	307004774
	テミック オートモーティブ オブ ノース アメリカ インコーポレイテッド アメリカ合衆国 60010 イリノイ州 ディア パーク ウェスト レイク ク ック ロード 21440 パテント ア ンド ライセンシズ
(74) 代理人	100116322
	弁理士 桑垣 衛
(72) 発明者	リュウ、ルイス イーザン アメリカ合衆国 48085 ミシガン州 トロイ メイベリー ドライブ 119 2

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内燃機関におけるミスファイアの検出

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

往復内燃機関の気筒におけるミスファイアを検出するための方法であって、
前記往復機関の加速度挙動を表す一連のサンプルデータを取得する工程と、
i + 1 番目の速度サンプルと i - 1 番目の速度サンプルの速度の間の差分を i 番目の加
速度サンプルとして計算する中心差分アルゴリズムを使用して、前記サンプルデータに含
まれる速度情報から加速度サンプルを計算する工程と、

前記加速度サンプルを少なくとも三つの伝送路に提供する工程と、
周期的ミスファイアの検出のために、前記加速度サンプルの非周期的で不規則な信号を
減少させるべく、第一の伝送路において前記加速度サンプルをパターンマッチングする工
程と、

不規則ミスファイアの検出のために、前記加速度サンプルの周期的な信号を減少させる
べく、第二の伝送路において前記加速度サンプルをパターン排除する工程と、

多重ミスファイアの検出のために、第三の伝送路において前記加速度サンプルに対して
第一の伝送路におけるパターンマッチングとは異なる別のパターンマッチングを行う工
程と、

各伝送路で処理された加速度サンプルの大きさに依存する周期的ミスファイア、不規則
ミスファイア及び多重ミスファイアを検出する工程とを備える方法。

【請求項2】

少なくとも動力伝達装置のねじれ振動を補正するべく、機関の速度と負荷の関数で前記

サンプルデータを補正する工程を更に備える、請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

0.5 次未満の信号を低減するために、各伝送路において加速度サンプルを非線形に高域フィルタリングする工程を更に備える、請求項 1 記載の方法。

【請求項 4】

クランク軸の所定の回転角における加速度サンプルに重み付けを行って積算する工程と、線形補間を利用して、前記サンプルを間引く工程とを更に備える、請求項 1 記載の方法。

【請求項 5】

前記検出する工程は、加速度サンプルをソートされた中央値から、検出されたミスファイアに依存する平均値および中央値の内の一つに移動することを含む、請求項 1 記載の方法。

10

【請求項 6】

往復内燃機関に対するミスファイア検出システムであって、前記往復機関の加速度の挙動を表す一連のサンプルデータを獲得するための手段と、 $i + 1$ 番目の速度サンプルと $i - 1$ 番目の速度サンプルの速度の間の差分を i 番目の加速度サンプルとして計算する中心差分アルゴリズムを使用して、前記サンプルデータに含まれる速度情報から加速度サンプルを計算するための手段と、

周期的ミスファイアの検出のために、前記加速度サンプルの非周期的で不規則な信号を減少させるべく、第一の伝送路において前記加速度サンプルをパターンマッチングするための手段と、

20

不規則ミスファイアの検出のために、前記加速度サンプルの周期的な信号を減少させるべく、第二の伝送路において前記加速度サンプルをパターン排除するための手段と、

多重ミスファイアの検出のために、第三の伝送路において前記加速度サンプルに対して第一の伝送路におけるパターンマッチングとは異なる別のパターンマッチングを行うための手段と、

各伝送路で処理された加速度サンプルの大きさに依存する周期的ミスファイア、不規則ミスファイア及び多重ミスファイアを検出するための手段とを備えるシステム。

【請求項 7】

クランク軸の所定の回転角における加速度サンプルに重み付けを行なって積算するための手段と、線形補間を利用して、前記サンプルを間引くための手段とを更に備える、請求項 6 記載のシステム。

30

【請求項 8】

前記検出するための手段は、加速度サンプルをソートされた中央値から、検出されたミスファイアに依存する平均値および中央値の内の一つに移動するための手段を含む、請求項 6 記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、内燃機関の制御の分野を対象にしており、より詳細には、往復機関のミスファイア検出システムに対する信号処理システムおよびその方法を対象にする。

40

【背景技術】

【0002】

現在の機関の制御の多くは、統合されたミスファイア検出システムを有する。機関内におけるミスファイアは、不完全燃焼によって効率性を低下させ、排気ガスを上昇させる。急速に厳しくなる排気ガス規制によって、全ての機関および車両の動作条件においてミスファイアを正確、かつ完全に検出する確実な保証が必要とされている。具体的には、その業界においてエンジンのミスファイアを検出するために、車載式故障診断システム(OBDII)の次世代の規格を設定している。これらの新しい規格に必要とされるのは、多くの異なる種類のミスファイアを、機関が最大回転に至る範囲に渡って検出しなければなら

50

ないことである。

【 0 0 0 3 】

通常、システム設計者は、特定の機関の気筒におけるミスファイアを判定するために、燃焼行程の間に生成される（または生成されない）機関トルクに大きく依存する、加速度の測定値を頼りにする。任意の加速度情報が与えられると、ミスファイアは、様々なシグネチャ分析、かつ/またはスペクトル分析の方法によって予測される。

【 0 0 0 4 】

実際には、機関の加速度の挙動は、燃焼トルク以外のパワートレインに関連する挙動による影響も受ける。これらの他の挙動は、分析において主要な燃焼トルクに関連する加速度信号の忠実度、または信号対ノイズ比（S N R）を大幅に減少させる。更に、ある機関の稼動状態下においては、解析の際にノイズが主要なエンジントルクに関連する加速度信号を上回る。更にノイズに関連する挙動は、機関の動作による原因のみに限定されるのではなく、動力伝達装置全体に関連する挙動も含む。有害なノイズ関連の挙動としては、少なくとも部分的には気筒のミスファイアによって引き起こされる相対的に低い周波数もしくは燃焼率（firing rate）、動力伝達装置の共鳴効果、または振動、トルクコンバータのロックアップ、マニュアルトランスミッションの低速でのラグging（lugging）挙動特性、トランスミッションギアの変速、荒れた路面状況等がある。これらの刺激を起こす源は、各々、共鳴周波数やその調波において動力伝達装置を振動させ、或いは一時的に振動させる。有害なその他のノイズ関連の挙動には、高周波数の挙動があり、例えば機関が高回転で動作している場合に、燃料が供給された状態、および多様な負荷のかかる状態において発生し、これらは全て機関のミスファイアを隠蔽し得る。これらのノイズ源は、現実には不規則に起こり得る。

【 0 0 0 5 】

上述した挙動が明らかな場合、ミスファイアに誘発される挙動に関して、ノイズとなるかなり大きな値が加速度の測定値に導入される。このノイズは、ミスファイアの現象が起こす任意の指標となる挙動を完全に無意味なものにし得る。

【 0 0 0 6 】

図1において、第一の部分101はノイズがない波形を示しており、数個の気筒の配列において点火して適切に点火している気筒による機関のクランク軸からの加速度信号を表す。第二の部分103が示す波形は、一連の点火している気筒配列において、後にミスファイアを起こしている気筒による機関のクランク軸からの加速度を表す。参照番号103において、適切な点火が発生しなかったために、機関のクランク軸は著しく減速している。この加速度の挙動の観測を所与のものとするれば、振幅比較処理によって所定の閾値105において機関の加速度の挙動を監視し、加速度信号の推移が閾値105を下回っているかというミスファイアの条件を表示することが可能である。

【 0 0 0 7 】

図2は、約150回の気筒の燃焼サイクルで動作している機関から得られる実際の加速度信号201の挙動を表す。この加速度信号201は、一個の気筒からスパーク信号を周期的に除去することによって繰り返し誘発されるミスファイアを含む。図2から理解されることだが、現実に適用される場合、動作している機関からの信号は、以前に述べたように、燃焼に関連するトルク以外の原因の影響を受ける。参照の目的のために、繰り返し誘発されるミスファイアを、横軸に関連する参照標識で区分する。波形201は、機関のクランク軸に連結された加速度検出装置を使用して生成されたものである。図2に表された波形は、クランク軸のねじり振動、往復質量による慣性トルク、動力伝達装置の共鳴効果、および機関のクランク軸で機械的に誘発されたその他の振動のために、比較的忠実度に劣る。周期的なミスファイアによる調波効果だけでなく、本質的にノイズを生成する不規則な事象もある。このような状態は、より高速な機関の回転下、および異なる機関燃料の供給、かつ/または負荷条件において更に悪化する。これらの異なる条件によって、単純な閾値検出方法によるミスファイアの検出は、実質的に使用不能となる。

【 0 0 0 8 】

ミスファイアの判定方法の中には、例えば、加速度信号において動力伝達装置の振動のような、低周波の挙動を排除するために移動平均フィルタ、かつ/または平均値フィルタ、或いは中央値フィルタを使用する方法もある。移動平均フィルタは、入力信号において、不規則に発生する非インパルス性の摂動を滑らかにするには、とりあえずは十分であるが、動力伝達装置の入力によって発生する、鋭く単調なエッジの遷移を不鮮明にしてしまう傾向がある。それに対して、中央値フィルタは、インパルス性の入力（例えば、ミスファイアの加速度の挙動）を排除しながらも、前記の鋭い動力伝達装置の先端の遷移を保存する傾向があるが、移動平均フィルタよりも非インパルス性の振動による影響を受けやすい。更にこれらの技術は、高回転の条件、燃料を供給された条件、異なる負荷条件、機関の燃焼サイクル当たりの多重ミスファイア等による、激しいねじれ振動またはノイズに対処していない。

10

【0009】

必要とされるのは、広範囲に渡るミスファイアのパターンを検出可能な、改良されたミスファイアの検出方法であり、特にパワートレインの動作に及ぼす悪影響に敏感でない検出方法である。具体的には、改良されたシステムは、機関が最大回転に至るまでの動作を含む、広範囲な機関の動作条件に渡る動力伝達装置の摂動を把握する必要がある。上記の改良された技術はまた、ミスファイアを正確に検出するために、加速度信号の信号対ノイズ比を改良することによって加速度信号の忠実度を改良する必要もある。前記改良された技術は、理想的には高忠実度の加速度信号において、周期的に発生するミスファイア、不規則に発生するミスファイア、および機関の燃焼サイクル当たりの多重ミスファイアのい

20

ずれをも検出し得る。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

新規性があると考えられる本発明の特性は、添付の請求項の範囲において詳細に説明される。本発明は、その更なる目的および利点と共に、添付の図面と併せて以下に続く説明を参照することで最も良く理解されよう。添付の図面において、同一の参照符号は、同一の要素を識別するものとする。

【0011】

本発明は、広範囲に渡るミスファイアのパターンを検出可能な、改良されたミスファイア検出方法、およびそのシステムを提供する。詳細には、機関が最大回転に至るまでの広範囲に及ぶ機関の動作条件における動力伝達装置の摂動を捕捉する。更に、本発明は、ミスファイアを正確に検出するために、加速度信号の信号対ノイズ比を改良することによって、より高忠実度である加速度信号による周期的および不規則なミスファイアの双方を検出する。

30

【0012】

図3は本発明に基づくブロック図である。動輪300は、その端部に放射状に配置された歯、すなわち位置標識を有する。動輪300は、往復内燃機関に機械的に連結され、前記往復内燃機関によって駆動される。例えば、歯を有する動輪は、機関のクランク軸の前部に連結され得る。符号器、または位置検出器301は前記動輪300と対向して配置され、機関の燃焼工程によって駆動される動輪が回転する際に歯の位置を検出するのに使用される。可変リラクタンセンスンサ301（または、ホール効果センサのような、その他の種類の互換センサ）は、センサの近くを動輪の歯が通過するタイミングを示す信号302を提供するための検出器301として使用可能である。信号302において各歯の計数であるタイムスタンプは、当技術分野において周知のように、往復機関の加速度の挙動を説明するのに使用される。前記システムは、サンプル値のシステムであるが、必要に応じて連続時間システムの範囲においても実施可能であることに注目されたい。本発明において35個の歯を有する動輪300は、36番目の歯となり得る欠損歯と共に使用される。その他の歯の構成による動輪も同様に使用可能であることに注意すべきである。

40

【0013】

機関の絶対位置を判定するための周知の技術は数多く存在する。本発明において、検出

50

器 301 は、往復機関のクランク軸によって駆動される歯を有する動輪に接続されている。前記動輪には 35 個の歯（上死点を検出するための 36 番目の欠損歯も含む）があり、機関が 10 度回転する毎に検出器からパルスを出力させる。4 ストロークの往復機関において、クランク軸が 720 度回転することで一回の機関サイクルが完了し、前記機関サイクルがミスファイアの解析に關与する主要な周期である。

【0014】

図 4 は、サイクル/機関の回転数または回数に関する、6 気筒 4 ストロークの往復機関に対する正常燃焼トルク、往復質量によるトルク、ミスファイア、ねじれ振動、高次のサブパシャル (high-order subpartials)、および動力伝達装置の振動による、機関加速度の様々なスペクトル挙動の特性を表す図である。正常燃焼の点火トルク（ここではエネルギーとして測定される）、および往復質量によるトルク 401 は、3、6、および 9 サイクル/回転において現れる。ミスファイアが誘発するエネルギー 403 は、（通常一回転あたり、6 気筒の内の 3 気筒が点火することから）一回転につき一回のミスファイア 405 を表すエネルギーと、（各気筒は、通常、二回転毎に点火することから）一回転あたり二分の一サイクル行っている一気筒の単独の気筒（ハード）障害 407 を表すエネルギーとを含む。気筒のミスファイア、トルクコンバータのロックアップ、マニュアルトランスミッションの低速でのラギング挙動特性、トランスミッションギアの変速、および荒れた路面状況によって少なくとも部分的に引き起こされる動力伝達装置の振動 409 は、次数の低い場合において特徴的に発生し、比較的振幅が激しく、次数の間を移動し、ミスファイアに關連するエネルギーに不安定に近接して位置する。

【0015】

詳細には、往復機関において、ミスファイアを起こす条件の判定を最も困難にしている、動力伝達装置の振動の次数に不安定に近接しているのは、一次（一サイクル/回転）および二分の一（二分の一サイクル/回転）の挙動である。更に、実験を通して、これらの挙動源がまとまって近接している様子は、動力伝達装置の振動、および動力伝達装置の振動と、機関回転数、機関の負荷状態、および機関とトランスミッションの結合性を含む様々な機関の動作条件による振幅のために、次数において大幅に変化することが分かっている。図に示す加速度の波形の忠実度を改良するために、システムおよび対応する方法が、以下において詳細に説明されるであろう。

【0016】

図 3 に戻って参照すると、検出器 301 からの出力 302 は、前記検出器からのタイムスタンプを取得するデータ抽出装置 303 によって抽出される。エンジン位置捕捉装置 304 は、これらのタイムスタンプを使用して、選択された歯のタイミング周期、デルタ時間を出力する。前記装置 304 は、前記歯のタイムスタンプ信号を間引いて、エンジンサイクル当たりの所望の数のデータサンプルにする。具体的には、デルタ時間測定値 DT は、間引きされた歯のデータサンプル (i) の両端のサンプルの間によって与えられる。DT は一定の機関回転数における全てのサンプルに対して一定であることが理想的であろう。しかしながら、ミスファイアが DT を変化させる。

【0017】

サンプル 306 は、当技術分野において周知であるように、続いて非燃料系プロファイル補正 (non-fueled profile correction) 308 を使用して処理される。上記の補正 308 は、動輪 300 の歯における製造上の欠陥、歯の公差（寸法の許容誤差のことです）、および検出器 301 によるそれらの検出を補償するものである。上記補正は、所定の非燃料系プロファイル補正ファクタ、PC (i)、310 によって与えられるか、または動作中に学習され得る。非燃料系補正デルタ時間測定値 310、すなわち DT* は、続いて各サンプル (i) に出力される。

【0018】

本発明の一実施形態に基づいて、燃料系プロファイル補正 (fueled profile correction) 312 が、続いて適用される。上記補正は、図 3 のブロック図の如何なる場所において適用可能であることを認識すべきである。図に示すように、上記補正は性能を最適化して

10

20

30

40

50

いる。燃料系プロファイル補正は、動力伝達装置のねじれ振動（調波）を補正する。前記ねじれ振動は、ミスファイアの振幅よりも大きな振幅を有することがあり、ミスファイアを正確に検出することを困難にしていることから、高回転において問題となるものである。詳細には、デルタ時間（ DT^* ）は、速度（ n ）、負荷（ $torque$ ）、および歯の数（ i ）に依存する乗算子（ fpc ）によって以下のように補正補正される。

【0019】

【数1】

$$DT^{**}_i = fpc(i, n, load) \cdot DT^*_i$$

10

【0020】

前記乗算子は、予め定義することが可能であり、または通常ミスファイアのない動作中に習得することも可能である。例えば、乗算子は較正中に固定値と共にテーブルに予め格納され得る。一方、乗算子は車両の動作中に適合され得る（可変である）。乗算子は、 i 番目のサンプルに対する速度および負荷に関して挿入され、上記のように適用される（上記の適用において適用速度および負荷は、任意のデータサイクルに対して固定されている）。参照テーブル318への機関速度の入力は、入力フィルタおよび履歴現象と共に提供されたサンプル（即ち、 $v = 1 / DT^*$ ）からの速度計算316を使用して判定される。機関の負荷320は、乗算子への入力パラメータであり、任意の標準的な点火サイクル 20

【0021】

燃料系プロファイル補正によって、（図4の411に示すように）ねじれ、および他のクランク軸の振動に対して帯域幅が制限される。この帯域幅の制限は、較正においてオフラインで実行される。燃料系プロファイル補正は、ミスファイアの検出に関わる次数、即ち、最高でも二次までの補正のみに使用されるので、有利に用いられる。より詳細には、乗算子は燃料系のデータ（即ち、ミスファイアのない正常なエンジン動作）から判定されるが、乗算子は、非常に重要であることに、例えば次数が二次より高いような、ミスファイアの検出に関与しない信号を削除するために帯域通過フィルタによって、帯域幅を制限 30

される。上記の帯域幅の制限がないと、乗算子は、実際には速度/負荷の補間の間に、検出機能の低下、またはミスファイアの誤検出を招く誤差を生じ得る。更に、前記乗算子は、より良好な補完のためにより線形性を有し、帯域幅の制限された信号のみを適用することで、より強力である。都合の良いことに、前記乗算子は非実時間で（即ち、遅延を伴って）計算可能である。

【0022】

補正された速度は、続いて与えられたサンプル（即ち、 $v = 1 / DT^{**}$ ）による速度計算314において判定され、続いて線形有限インパルス応答（FIR）フィルタ322によってフィルタリングされる。このフィルタ322は、プログラム可能なデジタルフィルタであり、前記フィルタは、先験的な機関特性によってプログラムされ、かつ/または機関が動作し、改良された帯域外信号の検出に対して、通常遭遇する場合よりも高次である 40

ような場合に適合し得る。具体的には、速度計算（ $v_i = 1 / DT^{**}_i$ ）の後に、信号は以下のように線形にフィルタリングされる。

【0023】

【数2】

$$v'(i) = b(1) \cdot v(i) + b(2) \cdot v(i-1) + \dots + b(n+1) \cdot v(i-n)$$

【0024】

上式中、 i は現在の速度指数であり、 n はFIRの次数を示す。FIRの係数324は、 50

経験的に決定され、予め定義可能、または機関の動作中に習得され、適合され得る。FIRフィルタが次数の位相を保持すると有益である。更に、FIRフィルタは、後で説明するように、非線形フィルタ、ハードミスファイアの伝送路に使用されるパターンマッチング、および任意の伝送路に使用されるパターン排除と組み合わせて使用することも可能である。

【0025】

有効なノイズ信号が、0.5次に近い次数に存在する。0.5次というのは、ハードミスファイアを表すように、非常に意味のあるものであり、検出するのに非常に重要な次数であることに注目すべきである。従って、0.5よりも低い次数は、ハードミスファイアを検出するために減衰させるべきであり、特に機関が高回転で動作し、負荷が低い場合において減衰させるべきである。本発明は、高いFIRの次数を使用し、かつフィルタを低域フィルタの代わりに帯域フィルタで構成することでこの問題を解決する。先行技術において既に存在するが、本発明では削除している、DC構成要素を考慮する場合も同様に重要である。特定のパターンマッチブロック（非調波の減衰）と共に、（0.5以下の次数も加えて減衰する）高域非線形フィルタを追加し、さらにこの方法にFIRを適用することによって、図3の図のブロックを組み合わせを通じて、以下で説明するように、ミスファイアの検出が大幅に改良される。

10

【0026】

次のブロック326では、フィルタリングされた速度、 $f(v)$ を使用して、加速度を判定する。本発明において使用される新規性のある加速度計算は、本発明のを使用する際に観測される非線形性を除去し、高周波ノイズ除去性能を改良するためのものである。前記加速度は、速度の中心差分を使用して以下のように計算される（前記計算において、誤差の大きさは DT^2 で表す）。

20

【0027】

【数3】

$$\text{Acceleration} = v_{i+1} - v_{i-1}$$

【0028】

先行技術による計算では、以下のように一次の加速度計算を使用していた（誤差の大きさは DT で表す）。

30

【0029】

【数4】

$$\text{Acceleration} = dv/dt = d\theta/dt \cdot dv/d\theta = v_i \cdot (v_i - v_{i-1})$$

【0030】

単振動の信号分析から、速度 v は、正弦級数または余弦級数（前出のブロック322においてFIRでフィルタリングされた信号の検出を近似するのに有効である）として近似され、前記単振動は、 $v \cdot v$ の項によって先行技術の計算から生成されることがわかる。信号のDC値が大きい場合、DC値は小さな単振動のみをもたらす。しかしながら、帯域通過FIRフィルタによってDC値は大幅に減少し、その結果、単振動はより重要になる。いずれの場合も、これらの単振動は望まれるものではない。前記速度乗算子のない本発明の中心差分アルゴリズムを使用することで、単振動の生成を排除することができる。その結果は依然として加速度であるが、 dv/dt に代わって dv/d となる。

40

【0031】

都合の良いことに、中心差分アルゴリズムは、一つのサンプルの代わりに、二つのサンプルに渡って差分を計算するために、高周波数の信号の減衰（0.6ナイキストにおいて

50

3デシベル)も、加えて提供する。これらの高周波数は、本発明における高周波のサンプルレート処理を使用する際に、ミスファイアの検出に関連する周波数よりも十分に高く、従って、中心差分アルゴリズムはSNR値を改善することになる。

【0032】

加速度サンプル(ACL_h1)は、続いて特別な非線形高域フィルタ328を通じて処理される。前記高域フィルタは、動力伝達装置の摂動の拒絶(以前に図4の参照番号409において表される)を強化するために、前記帯域通過FIRフィルタ322の下部の傾斜(以前に図4の参照番号413において表される)を強調する。上記フィルタ328は、プログラム可能なデジタルフィルタであり、先験的な機関の特性によってプログラムされるか、かつ/または機関の動作に適合するようにプログラムされる。本願において使用される非線形フィルタの設定は、移動時間加重トリム平均(Shifted Time-Weighted Trimmed-mean(STWTM))フィルタと呼ばれる。

10

【0033】

通常、時間加重トリム平均のフィルタリングは、最初に長さNのキューをソートし、1から(N-M)/2までのサンプル、および((N+M)/2+1)からNまでのサンプルを破棄することによって実行され得る。これらの結果から、値Mが選ばれ、平均値が計算される。最後の工程として、入力データから前記平均値を減算する。

【0034】

しかしながら、本発明におけるSTWTMの実行において、必ずしもキューの両側から同一の長さを破棄する必要はなく、前記キューの両側は、STWTMの実行において更に自由度を提供するものであり、実行性能を改善するものである。

20

【0035】

STWTMは実行中に、加速度サンプルを表す固定長(較正によって決定される)の連続時間系を獲得し、振幅および機関のクランク軸角におけるオフセットの範囲内に抑えられた一部の加速度データサンプルの平均加速度の大きさに依存する、フィルタリングされた加速度データサンプルを提供する。動力伝達装置の摂動は、異なる機関の動作条件下(機関の回転数、機関にかかる負荷、標準的な点火の変動等)における回数によって移動するために、フィルタ328の位置は、前記オフセットを使用して補正される。後のブロック334において、ミスファイアの条件は、フィルタリングされた加速度データサンプルの大きさに依存して表示され得る。

30

【0036】

ミスファイア検出器334は、各機関ファミリに対して生成された較正に依存する、STWTMフィルタ328のオフセットポイント(S)を生成する。前記オフセットは、分析による特定の気筒内におけるミスファイアの発生の予想に基づいて、ソートされたデータ配列の始点を定義する。このオフセット命令は、例えば回転数や負荷のような、機関の動作条件にも依存し得る。これは、リーンバーン技術と共に使用する際に有利になり得る。状況に応じて、他の機関の動作パラメータも、オフセットポイント(または予想されるミスファイア現象の位置)を調整するために、測定、および使用可能である。

【0037】

具体的には、マイクロコントローラが、以前に紹介したシステムハードウェアを使用して、「N」加速度データサンプルの固定長の連続時間系を継続的に獲得する。継続的に取得されたサンプル数は、フィルタ328のランク、または次数を定義する。異なるフィルタのランクは、様々な機関の動作条件、または検出されるためのミスファイアの条件に依存して使用可能である。STWTMフィルタは全ての加速度サンプルに適用され、(R-1)/2((ランク-1)/2)の信号遅延を導入する。基本的なフィルタの実行方法は、最初に一般に知られているソートアルゴリズム(例えば、バブルソート、挿入等)を使用して、以下のようにランクRのデータセットXを、最小から最大の大きさに順にソートする。

40

【0038】

【数5】

$$XS = \text{sort}(X(i-R/2), X(i-R/2+1), \dots, X(i), \dots, X(i+R/2-1), X(i+R/2))$$

【0039】

次に、ソートされた配列内の「S」要素（中間値から平均に移動する、または離れる要素の数）で開始する、前記ソートされた配列内における「N」個の要素の平均値（中心から平均値への移動に関する要素の数）が以下のように選択される。

【0040】

10

【数6】

$$XSM(i) = \text{mean}(XS(S, S+1, S+2, \dots, S+N-1))$$

【0041】

サンプル「i」におけるフィルタリングされたSTWTM値は、以下のようになる。

【0042】

【数7】

20

$$STWTM(i) = X(i) - XSM(i)$$

【0043】

STWTMフィルタは、ミスファイアがある時にミスファイアデータと非ミスファイアデータとの区別を大幅に改善する。適切な値でプログラムされている場合、STWTMフィルタは、減速を強調するために、ミスファイアの行程中の0よりも大きい加速値を「引き下げる」。

【0044】

動作中、STWTMフィルタは先行技術の中央値フィルタと同様に、サンプルをソートする。しかしながら、STWTMフィルタは、オフセットSを提供する。通常、中央値フィルタはミスファイアを検出するために、中央値を取るであろう。しかしながら、ミスファイアは値を歪めることができ、そのために本発明は所望の中央値（および先行技術にあるような中央値ではない）へのオフセットポイントを組み込んでいる。オフセット量は経験的に決定され、フィルタのランク内のミスファイアの数によって決定される。

30

【0045】

代替の実施形態では、ソートされた配列内の較正可能な要素（Sと同様）は、フィルタの計算における減算子として使用される。平均値を加算すると、STWTMフィルタの出力における高周波ノイズを減少させることになる。フィルタリングされた加速度値（ACL_{h2}）は、続いて二つの伝送路間で共有される。第一の伝送路325は、周期的な（ハード）ミスファイアの条件を検出するのに使用され、第二の伝送路329は不規則に発生するミスファイアの条件の検出に使用される。具体的には、第二の伝送路は、当技術分野において周知であるパターン排除330を使用して、不規則に発生するミスファイアをより検出し易くするために、周期的な信号を排除する。しかしながら、第一の伝送路は、調波現象を強め、不規則現象を減少させるために、新規の技術であるパターンマッチング332を使用する。パターンマッチングは、同期化されたサンプルに基づく各データに対する加速度値の平均、かつ/または中央値を使用して、いくつかの機関の燃焼サイクルの全てのデータベースで実行される。これによって、不規則ノイズ、非周期的調波ノイズ、および一サイクルよりも低い調波におけるノイズが減少する。

40

【0046】

50

基本的にパターンマッチング 3 3 2 を実行すると、次式のように五つの機関サイクルを使用する「i」要素における入力ベクトル「X」のパターンマッチングによって値「Y」が出力される。

【 0 0 4 7 】

【 数 8 】

$$Y(i) = \text{median}(X(i-2*n), X(i-n), X(i), X(i+n), X(i+2*n))$$

【 0 0 4 8 】

状況に応じて、中央値関数は平均関数と置き換えることが可能である。平均値に代わって中央値を利用すると、周辺に影響を与えることが少なくなるように、ミスファイアの発生やミスファイアからの脱出等の移行が改良されるが、平均値も利用可能であろう。パターンマッチングはまた、任意のサイクルの数に対して行われ、上記のように五つのサイクルのみに行われるのではない。加えて、パターンマッチングは、他の用途のために、その他の応用に対する二つ以上の次元に拡張可能である。

【 0 0 4 9 】

パターンマッチングは、全てのサイクルが類似すべき周期サンプル内のデータを基本的に破壊する。これによって、「n」サンプルに一致しない調波の不規則信号の振幅を減少させながら、全ての「n」サンプルを繰り返すデータを増大させる。通常、ミスファイアの分析による値「n」は、一回転におけるサンプルの数の二倍、または一サイクルにおけるサンプルの数の二倍であろう。パターンマッチングは、サイクル(0.5次のハードミスファイア)毎に繰り返すデータ、および他の調波を繰り返すデータを増大させ、非周期的信号および不規則な信号を減少させる。しかしながら、このブロック 3 3 2 がミスファイアの処理において最適に機能するためには、高域フィルタ 3 2 8 を使用しなければならない。

【 0 0 5 0 】

代替の実施形態では、前記二つの伝送路は F I R 3 2 2 の前で分離される。この場合、特定のパターンマッチングまたはブロックの削除と組み合わせて、パターンに関連する次数の更なる分離が、選択された F I R フィルタの適用を通じて行われ得ることによって、さらなる改善が見られる。

【 0 0 5 1 】

好適な実施形態において、例えば、二つの気筒が連続してミスファイアを発生したり、または一つの気筒列に二つのミスファイアが発生するような、多重ミスファイアを検出するために、第三の伝送路 3 3 5 が提供される。これらの種類のミスファイアは異なる加速度の特徴を与える。加速度ブロック 3 2 6 は、以前と同様であり得る。非線形高域フィルタ 3 2 7 は、これらの多重ミスファイアのパターンを整合するためのパターンマッチング可能な関連する次数を強調するために、異なることもある。状況に応じて、分離した F I R フィルタも、上記のように関連する次数を更に分離するために提供されることも可能である。第一、第二、または第三の伝送路のいずれの場合も、その結果生じた加速度はミスファイア検出ブロック 3 3 4 に提供され、フィルタリングされた加速度がミスファイアを示すのが判定される。

【 0 0 5 2 】

先行技術では、実際のミスファイアを検出するための加速度の測定にウィンドウピーク検出 (window peak detection) が使用される。抽出するウィンドウには、加速度を測定した小型のサンプルを含み得る。これらのサンプルは、特定の気筒の燃焼サイクルの一部分に関連する角度位置を表しており、獲得した加速度信号の挙動は関連する気筒と分離されるように、前記燃焼サイクルは、他の気筒の点火事象と重複しない。ウィンドウピーク検出において、ウィンドウ内の加速度は取得され、各気筒の抽出するウィンドウ内で抑えられる加速度の中で最も陰性の大きな加速度が、ミスファイアを定

10

20

30

40

50

義する閾値と比較される。

【 0 0 5 3 】

しかしながら、本発明において、ウィンドウピーク検出は使用しない。代わりに、加速度サンプルの重み付け / 積算、および補間が、ミスファイアの検出に使用される。今までにない新規な態様は、部分サンプルを含む任意の幅の、適当なクランク軸の回転角における加速度の重み付けされた積算である。具体的には、以下のように、「i」要素における入力ベクトル「x」の重み係数「w」を使用して、サンプルは重み付けされ、積算されて出力「y」が提供される。

【 0 0 5 4 】

【 数 9 】

$$y(i) = \sum_{j=1}^N w(j)x(i-j+1)$$

10

【 0 0 5 5 】

ミスファイアが最も発生しやすい場所では、より高い重みを付けが提供され、重み付けの程度は経験的に判定される。値「y」の一式は、続いてより低率に縮小されるが、線形補間を利用する入力ベクトル「x」のサンプルレートは、必ずしも整数の因数であるとは限らない。その他の補間方法（例えば、ニアレスト補間、スプライン補間等）も使用可能であることを認識すべきである。この機能は、高データ転送速度信号を全ての伝送路に対する点火率の信号に縮小するために実行される。補間の利点は、本発明に任意の機関の気筒数に対して普遍的に適用可能であることを提供することである。言い換えれば、回転当たりの任意のサンプル数は、任意の気筒数、かつ / または偶数番気筒の点火および奇数番気筒の点火で使用可能である。

20

【 0 0 5 6 】

例えば、サンプルレートが 18 である V8 機関によって、先行技術のウィンドウピーク検出を使用するには、サンプルは (4, 5, 4, 5, ...) と交互に並ぶウィンドウブロックのセット内で検出される必要がある。しかしながら、本発明にとって、サンプルレートが 18 であり、N = 5、w = (1, 1, 1, 1, 0.5) において上記に説明された重み付けおよび補間を使用すると、サンプル L + (0, 4.5, 9, 13.5, 18, 22.5, 27, 31.5, ...) において縮小、および補間される。上記において、L は相調整であり、ミスファイアの間の減速度値を最大にするために較正され、ミスファイアの出力は、ここで前記燃焼率における均等に間隔の開けられたサンプルとなる。

30

【 0 0 5 7 】

重み付けされ、積算され、補間された値は、続いて経験的に判定されたミスファイアを定義する閾値と比較される。特定の重み付けおよび補間の値は、周期的、不規則、および多重ミスファイアのそれぞれの特定のミスファイアのパターンを強調するために、各伝送路 3 2 5, 3 2 9, 3 3 5 に対して異なることもある。

【 0 0 5 8 】

上記の本発明における重み付けを行う較正は、ピストンの気筒圧によって実行される仕事量に一致し得るクランク角ウィンドウに対する加速度を積算するため、ウィンドウピーク検出よりも重要な意味を有する。更に、本発明はエイリアシングを回避することと、信号条件を改良し、ブロックの順序を新たに設定することで、先行技術に対する大きさの程度が改善された SNR とを提供する。

40

【 0 0 5 9 】

内燃機関において燃焼性能を測定する最も基本的な測定値の一つに、各燃焼事象によって生成される仕事がある。この値は一般に、気筒に影響を与える気体圧力を測定するための気筒内圧力変換器を使用し、生成された仕事を計算する実験環境において測定される。この値は業界内において規格化されており、図示平均有効圧力(indicated mean effective pressure(IMEP)) と呼ばれる。燃焼の基本的な測定値でありながら、この測定値に対す

50

る多数の有効な制御、および診断の用途がある。しかしながら、製造用途において使用される気筒内の圧力の検出器は、非常に高価であり、信頼性を考慮すべきことが多数存在する。例えば、この値の測定によって個々の気筒ベースでの負荷分散の実行を制御することが可能になり、結果として性能、ノイズおよび振動の減少等が改善される。更に、燃焼によって生成された個々の気筒のトルクを推定するには、IMEPから判定することが可能である。例えば、気筒あたりの行われる仕事は、通常、次式から判定される。

【0060】

【数10】

$$Work = \int p \cdot dv$$

10

【0061】

上式中、 p は一サイクルに対する気筒容積を積算した圧力である。しかしながら、圧力は直接測定することは不可能である。しかしながら、本発明の加速度の測定方法はトルクを判定するのに使用することができ、続いて、以下のように仕事、出力、およびIMEPを計算するのに使用可能である。

【0062】

加速度、トルク、およびピストンの仕事量(仕事)は、運動方程式によって関連付けられている。固定された軸を単純に回転する系に対して、この関係は以下ようになる。

20

【0063】

【数11】

$$\text{Sum of torques} = I * \text{rotational acceleration}$$

【0064】

上式において、トルク合計は、出力軸トルクおよびピストンの仕事から生成されたトルクを含み、回転加速度は単に回転速度(以前に取得した加速度サンプルから判定される)における経時変化である。 I は回転軸の慣性モーメントを表す。内燃機関は複雑なシステムであって、 I は角度に依存し、前記システムに作用する多くの力/トルク(例えば、摩擦、クランク内のスプリング力等)があるが、これらの一般的な方程式において、回転加速度はトルクの測定値に固定されていることを認識すべきである。例えば、本発明は加速度を、角度の変化における回転速度の変化(dw/dt)として計算しているが、トルクの計算に使用する場合と、速度が一定または速度の変化が少ない場合における計算とは定数が異なる(角速度、即ち、 $dw/dt = \text{加速度}$ は、 $w * dw/dt$ であること)のみである。従って、上記の関係は、加速度はトルク/仕事の測定値であり、本発明に基づく信号処理は、トルクを分離して考え、またはクランク軸で測定されるような燃焼工程によって生成されたトルクを欠いて考慮し得ることが有効であると示している。

30

【0065】

任意のトルクに対して、仕事は次式から判定される。

40

【0066】

【数12】

$$Work = 4\pi * \text{Sum of Torques} / N_c$$

【0067】

上式中、 N_c は機関の気筒数を示す。結果として、出力は以下の式によって判定される。

【0068】

50

【数 1 3】

$$\text{Power} = N_c * \text{Work} * N/2$$

【0069】

上式中、Nは機関の回転数を示す。IMEPは続いて次式から得られる。

【0070】

【数 1 4】

$$\text{IMEP} = 2 * \text{Power} / (\text{Vd} * \text{N})$$

10

【0071】

上式中、 V_d は排気量である。従って、本発明は加速度が抽出された後に、仕事、出力、トルク、および図示平均有効圧力(IMEP)内の一つ以上を判定することを含む。認識すべきは、任意の上記測定値(仕事、出力、トルク、IMEP)は個々の気筒の事象に対する制御変数として使用可能なことである。IMEP測定値を使用するその他の多くの方法は、当技術分野において周知である。従って、本発明において提供される、信頼性があり費用効果の高い代替案は、非常に望ましいものである。

20

【0072】

燃焼工程によって生成された仕事(IMEP)が、結果としてクランク軸の回転速度の変化をもたらすことは、当技術分野において周知であり、角運動量保存の法則を使用して機関システムの動態論によって表される。上記の内容は、クランク軸の加速度、重み付け/積算、および補間機能を評価することによって、ミスファイアを判定するためにどのようにクランク軸の回転処理が実行されるのかを詳細に説明するものである。その計算された結果は、機関が点火される毎に一度づつスケール値を生成し、前記スケール値はミスファイアが発生したかどうかを判定するために閾値と比較される。この生成されたスケール値は、均一に点火する、バランスの取れた機関に対する標準的なクランク軸の回転動力を除去する。加えて本発明は、高周波で発生するねじれ振動、およびその他の不要な原動力による燃焼行程の帯域幅以外の信号も除去している。更に、本発明は動力伝達装置の障害および運転者による障害も除去している。従って、パターン排除伝送路におけるサイクル間の振動、および周期的な仕事、またはIMEPを推定するパターン整合された伝送路において繰り返される周期的な振動のために、クランク軸の回転信号が残されることになる。任意の伝送路のスケール値を使用することによって、任意のIMEPの変動によるノイズ振動および乗り心地(NVH)の測定値が判定され、パターン整合された伝送路のスケール値は、周期的に繰り返すIMEPの変動を表示する。これらの測定値(IMEPの推定値)は上記に説明されるように使用され、制御および診断に対する技術分野において周知である。

30

【0073】

エンジン回転数が5600回転、最大積載量(カリフォルニア大気資源委員会方針(California Air Resources Board Line))の31%の負荷におけるV8エンジンによるデータを使用して試験が実行された。ハードミスファイア、不規則ミスファイア、および多重ミスファイアを含む様々なミスファイアが導入された。加速度データは、先行技術である中央値フィルタのミスファイア検出アルゴリズムと、本発明の好適な実施形態であるミスファイアを検出する二つの伝送路を使用する方法とを対比して調査された。図5は先行技術に対する相対的加速度を表している。図6は本発明に基づく相対的加速度を表している。同一の内容を表示するデータが、両方法において使用された。具体的には、ミスファイアが現れていない標準動作期間500が提示され、その後続く期間502において8気筒の各々に対するハードミスファイアが発生した。この後に期間504が続き、期間504に

40

50

において不規則ミスファイアが発生した。続いて期間506において多重ミスファイア（周期的に対になる気筒のミスファイア）が発生した。

【0074】

図に示すように、本発明（図6）の全体の信号レベルは低いが、SNRは非常に高く、ミスファイアの検出を強化している。例えば、-0.3の閾値は本質的に全てのミスファイアを検出し、-0.5の閾値も同様に非常に有用である。更に、先行技術（図5）では、気筒ミスファイアの中にはノイズに近いものがあるように、気筒間においてミスファイアを識別するのにいくつかの問題を抱えている。それに対して、本発明ではそのような問題は生じない。更に注目する点は、本発明は多重ミスファイアが識別可能であるのに対し、先行技術では、これらのミスファイアはノイズに埋もれてしまい、検出不可能である。

10

【0075】

要約すると、上記に説明した方法を適用することによって、エンジン加速度を表す信号の忠実度（独立の因子、およびSNRのいずれかによって測定されたように）の大幅な改善が実現可能である。これは、機関および動力伝達装置に関連する、変動規模、耐性、および周波数振動による広いダイナミックレンジに渡る忠実度を改善することも含む。上記の改善によって、ハードミスファイア、不規則ミスファイア、および多重ミスファイアを含む、先行技術システムよりもより広範囲な車両動作条件における機関ミスファイアの検出が可能となる。

【0076】

更に、本発明は、非対称な非正規分布による障害を追跡記録または除去するような、ミスファイアの検出以外にも適用可能なことがある。更にパターン排除およびパターンマッチングは、非周期的ノイズから周期的な不規則情報および周期的な調波情報を判定するために、同時に使用することも可能である。

20

【0077】

上記において本発明の特定の構成要素および機能が説明される一方で、当業者は機能の内のいくつかを、または機能を追加して採用し、それらの機能は本発明の広い範囲に含まれ得る。本発明は、添付の特許請求の範囲によってのみ限定されるべきである。

【図面の簡単な説明】

【0078】

【図1】機関トルクを表し、適切な点火およびミスファイアの挙動を説明する理論上の加速度波形を示す図。

30

【図2】クランク軸のねじり振動、往復質量による慣性トルク、機関のクランク軸で機械的に誘発されたその他の振動、および動力伝達装置の捩動による高周波ノイズの効果を説明する、軽負荷における実際に毎分5000回転で動作している機関の加速度波形を示す図。

【図3】本発明の好適な実施形態に基づくシステムのブロック図。

【図4】サイクル/機関の回転または回数に関する、6気筒4ストロークの往復機関に対する正常燃焼トルク、往復質量によるトルク、ミスファイア、ねじれ振動、高次のサブパースナル、および動力伝達装置の振動による、機関の加速度の様々なスペクトルの挙動特性を表す図。

40

【図5】本発明の構造によって処理されていない様々な試験ミスファイア信号およびノイズを示すグラフ。

【図6】本発明の構造によって同一の加速度データが処理され、前記加速度データの信号対ノイズ比が双方共に改善されたことを示すグラフ。

【図1】

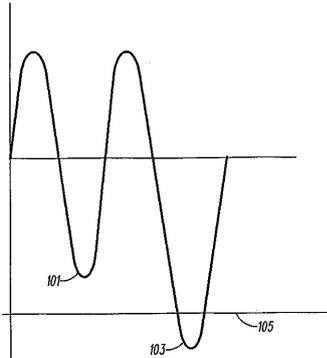


FIG. 1

【図2】

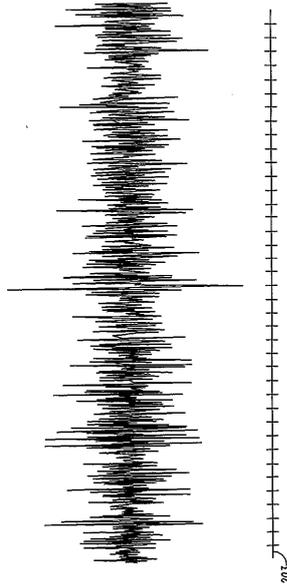
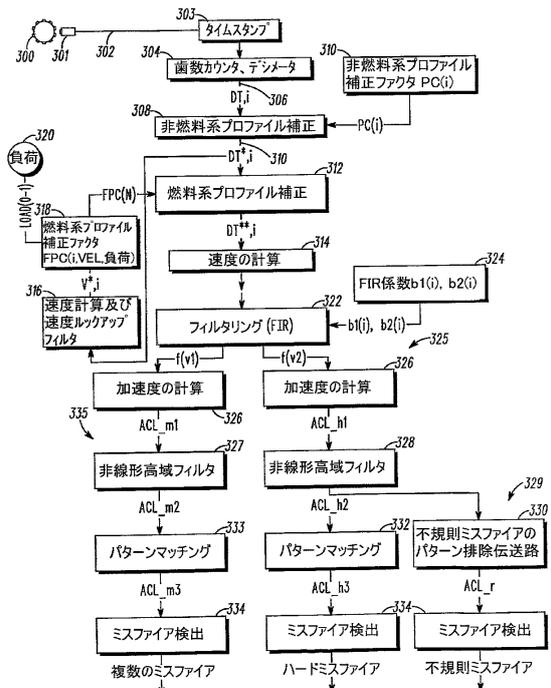
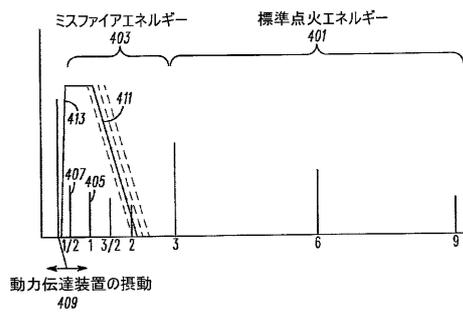


FIG. 2

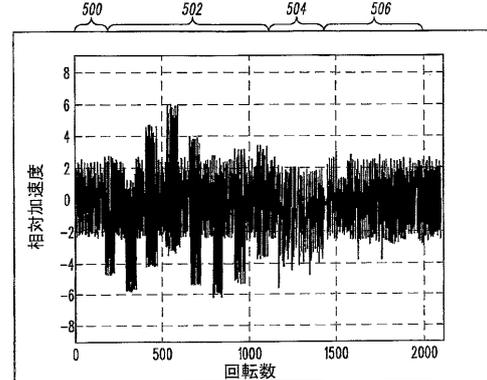
【図3】



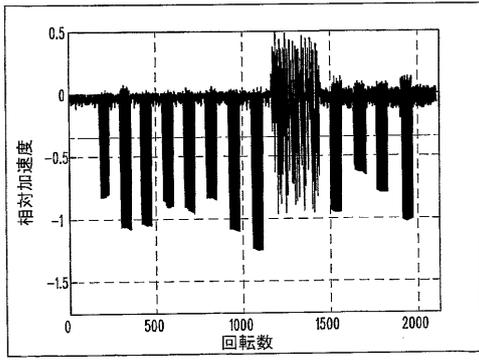
【図4】



【図5】



【図 6】



フロントページの続き

- (72)発明者 ギルバート、リチャード ジェイ .
アメリカ合衆国 4 8 1 5 2 ミシガン州 リボニア フェアレーン コート 1 9 1 1 1
- (72)発明者 クルトゲン、ドナルド ピー .
アメリカ合衆国 4 8 1 5 0 ミシガン州 リボニア ウェスト シカゴ 3 2 9 3 0
- (72)発明者 ネイバー、ジェフリー ディ .
アメリカ合衆国 4 8 1 2 4 ミシガン州 ディアボーン バークレー ストリート 1 2 5
- (72)発明者 ヤング、ハンロン
アメリカ合衆国 4 8 1 6 7 ミシガン州 ノースビル グラッドウィン ドライブ 4 2 1 0 4

審査官 有賀 信

- (56)参考文献 特表平10-501627(JP,A)
特開2000-161149(JP,A)
特開2003-113736(JP,A)
特表平11-513102(JP,A)
特表平08-503782(JP,A)
特開2002-162971(JP,A)
特開2001-021320(JP,A)
特開平11-013531(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

F02D 43/00 45/00

G01M 15/11