(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第5261423号
(P5261423)

(45)発行日　平成25年8月14日(2013.8.14)　(24)登録日　平成25年5月2日(2013.5.2)

(51)Int.Cl.		F I		
G05B 19/418	(2006.01)	G05B	19/418	Z
G06Q 50/04	(2012.01)	G06F	17/60	108
G06Q 50/10	(2012.01)	G06F	17/60	138
G05B 23/02	(2006.01)	G05B	23/02	T

請求項の数 5　(全 21 頁)

(21)出願番号　特願2010-62038(P2010-62038)
(22)出願日　平成22年3月18日(2010.3.18)
(65)公開番号　特開2010-225150(P2010-225150A)
(43)公開日　平成22年10月7日(2010.10.7)
審査請求日　平成25年3月11日(2013.3.11)
(31)優先権主張番号　12/409,157
(32)優先日　平成21年3月23日(2009.3.23)
(33)優先権主張国　米国(US)

早期審査対象出願

(73)特許権者　502096543
パロ・アルト・リサーチ・センター・インコーポレーテッド
Ｐａｌｏ　Ａｌｔｏ　Ｒｅｓｅａｒｃｈ　Ｃｅｎｔｅｒ　Ｉｎｃｏｒｐｏｒａｔｅｄ
アメリカ合衆国、カリフォルニア州　９４３０４、パロ・アルト、コヨーテ・ヒル・ロード　３３３３
(74)代理人　100075258
弁理士　吉田　研二
(74)代理人　100096976
弁理士　石田　純

最終頁に続く

(54)【発明の名称】観察に富んだシステムにおける障害診断の方法およびシステム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
１つ以上の生産目標を実現できる設備で生産システムの動作を制御する制御システムであって、
少なくとも１つのプロセッサと、
前記少なくとも１つのプロセッサと動作可能に接続されたメモリと、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用して、前記設備内の１つ以上の設備資源の利用の実行計画を提供するように動作する計画装置と、
前記設備のモデルと、
診断システムと、を備え、
前記診断システムは、
前記メモリに記憶される複数の診断抽象化要素であって、前記診断抽象化要素毎に複雑性が異なる前記設備の資源に関する１つ以上の障害仮定を表し、前記設備の資源に関する永続的な障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素と、断続的な障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素とを含み、それぞれ連続してより複雑な障害仮定を有する、複数の診断抽象化要素と、
前記設備の少なくとも１つの資源に対する少なくとも１つの障害状態表示と、前記設備の良好なまたは疑いのない資源のリストと、前記設備の不良のまたは疑わしい資源のリストと、前記設備の未知の資源のリストと、を含む信念モデルと、
診断装置と、を含み、

前記診断装置は、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用して、前記複数の診断抽象化要素のうち、１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の診断抽象化要素を最初に選択するように動作し、かつ、続いて、最後に選択された診断抽象化要素が前記信念モデル内の現在の障害状態表示と論理的に整合しないとき、前記診断抽象化要素のうち、より複雑な障害仮定を有する別の診断抽象化要素を選択するように動作する、抽象化診断構成要素と、
前記少なくとも１つのプロセッサを使用して、現在の設備状況を判定するように動作し、かつ、現在選択されている診断抽象化要素、前に実行された計画、前記設備からの少なくとも１つの対応する観察、および前記設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、前記信念モデルを更新するように動作する領域診断構成要素と、を含み、
前記計画装置は、障害が有ることが判明しているまたは高い確率で障害があると推定される１つ以上の資源の使用を回避するために、前記信念モデルに基づいて生産性を改善するためのジョブをスケジュールする計画を少なくとも１つ生成する、
ことを特徴とする制御システム。
【請求項２】
請求項１に記載の制御システムであって、
前記複数の診断抽象化要素は、前記設備の資源に関する単一の障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素と、多重障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素とを含み、それぞれ連続してより複雑な障害仮定を有する、
ことを特徴とする制御システム。
【請求項３】
請求項１に記載の制御システムであって、
前記複数の診断抽象化要素は、前記設備の資源に関する相互作用障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素と、相互作用でない障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素とを含み、それぞれ連続してより複雑な障害仮定を有する、
ことを特徴とする制御システム。
【請求項４】
請求項３に記載の制御システムであって、
前記領域診断構成要素は、前記設備の２つ以上の相互作用に関係する少なくとも１つの相互作用障害を識別するように動作する、
ことを特徴とする制御システム。
【請求項５】
生産設備の資源の現在の状況を決定する方法であって、
プロセッサが、
複数の診断抽象化要素をメモリに記憶させるステップであって、前記診断抽象化要素毎に複雑性が異なる前記設備の資源に関する１つ以上の障害仮定を表し、前記設備の資源に関する永続的な障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素と、断続的な障害仮定を表す少なくとも１つの診断抽象化要素とを含み、それぞれ連続してより複雑な障害仮定を有する、複数の診断抽象化要素をメモリに記憶させるステップと、
前記設備の資源に関する１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の診断抽象化要素を選択するステップと、
現在選択されている診断抽象化要素、前に実行された計画、設備からの少なくとも１つの対応する観察、および設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、現在の設備状況を決定するステップと、
最後に選択された診断抽象化要素が現在の障害状態表示と論理的に整合しないとき、より複雑な障害仮定を有する別の診断抽象化要素を選択的に選択するステップと、
前記設備の少なくとも１つの資源に対する少なくとも１つの障害状態表示と、前記設備の良好なまたは疑いのない資源のリストと、前記設備の不良のまたは疑わしい資源のリストと、前記設備の未知の資源のリストとを含む信念モデルを前記メモリに維持するステップと、

現在選択されている診断抽象化要素、前に実行された計画、設備からの少なくとも１つの対応する観察、および設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、信念モデルを更新するステップと、

障害が有ることが判明しているまたは高い確率で障害があると推定される１つ以上の資源の使用を回避するために、前記信念モデルに基づいて生産性を改善するためのジョブをスケジュールする計画を少なくとも１つ生成するステップと、

を実行することを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

例示的な本実施形態は、複数の資源を含む生産設備において障害を診断して生産目標を実現するための制御システムおよびその診断システムに関する。

【背景技術】

【０００２】

システム性能および構成要素状態の診断の自動化は、生産性の改善、障害のある資源または性能の低い資源の識別、修理または保守のスケジューリングなどに役立てることができる。精密な診断には、生産システム内の構成要素の実際の状況に関する情報が必要である。この情報は、個々の構成要素に付随するセンサから直接得ることができ、かつ／または、システム構造およびシステムダイナミクスについてのモデルまたは他の知識を使用して、生産設備内の限られた数のセンサ読取り値から推論することができる。

【０００３】

従来技術の例として、以下の特許文献１および２に記載の技術がある。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００４】

【特許文献１】米国特許第７２３３４０５号明細書

【特許文献２】米国特許第７０４３３２１号明細書

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

起こりうるすべてのシステム障害を完全にセンサでカバーするにはコストが法外に高くなり、かつ／または厳しい生産環境では実用的でない。代わりに、診断手順を使用して、限られたセンサから検出された障害または疑わしい障害の発生源を推論することが好ましい。従来の自動化された診断システムは、障害の可能性に関する１組の仮定に焦点を合わせる。複雑な診断仮定は、より広い範囲の障害状況を正確に診断できる一方、演算を多く使い、実施するのが高価である。簡略化されすぎた仮定では、生産システムおよびその構成要素の状況を精密に評価できない可能性がある。したがって、限られたセンサの有効範囲しかもたない生産システムに対する現在の設備状況を決定するように、精密かつ効率的な形で自動化された診断を実行できる改善された制御および診断システムならびに技法が必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

本開示は、生産システムの動作を制御し、そして生産設備の現在の資源状況を決定するシステムおよび方法、ならびにそのための命令を有するコンピュータ読取り可能媒体を提供する。この媒体では、診断システムが異なる診断抽象化を使用し、障害のある構成要素を識別する際の障害仮定は累進的により複雑になる。またこの媒体は、一緒に使用されるとシステム障害を引き起こす構成要素の組合せを識別することもできる（相互作用障害の識別機能）。この開示を使用して、生産設備の障害を診断する際に、定性的なモデルベースの推論に対する統合された多面的な手法を促進できると有利である。それには、診断シ

ステム資源の効果的で効率的な使用、ならびに、どちらも個別には障害をもたないが一緒にすると障害を引き起こす２つの構成要素の組合せまたは相互作用によって引き起こされる相互作用障害を検出および診断する能力が含まれる。

【０００７】

設備を有する生産システムの動作を制御する制御システムが提供される。この制御システムは、計画装置、設備モデル、および診断システムを備え、計画装置は、設備内の１つ以上の設備資源を使用する実行計画を提供する。診断システムは、設備の資源に関する１つ以上の障害仮定を個別に表す診断抽象化を含み、各診断抽象化の障害仮定の複雑性は異なる。たとえば、１つ以上のかなり簡単な診断仮定は、単一の、永続的で、かつ／または相互作用でない障害に関係することがあり、より複雑な仮定は、多重障害、断続的な障害、および／または相互作用障害に関係する。診断システムは、設備の少なくとも１つの資源に対する少なくとも１つの障害状態表示を含む信念モデルと、診断装置とをさらに含む。この診断装置は、抽象化診断構成要素および領域診断構成要素を備える。抽象化診断構成要素は最初に、システムおよびその資源または構成要素の自動化された診断で使用するための単一の相互作用でない永続的な障害仮定などの、最も簡単なまたは最も複雑でない診断抽象化を選択する。領域診断構成要素は、現在の設備状況を判定して、選択された抽象化、設備モデル、ならびに１つ以上の前に実行された計画および対応する観察に従って、信念モデルを更新する。選択された診断抽象化が、信念モデル内の現在の障害状態表示と論理的に整合しないことがわかったとき、抽象化診断構成要素は、続けてより複雑な仮定を有する抽象化を選択する。このようにして、診断システム資源を効率的に利用するために、可能な限り最も簡単な仮定が使用され、またその後、診断の精度を向上させるために、必要に応じて累進的により複雑な仮定が使用される。特定の実施形態では、領域診断構成要素はまた、２つ以上の設備資源の相互作用に関係する相互作用障害を識別するように動作する。いくつかの実施形態では、信念モデルは、設備の良好なまたは疑いのない資源のリストと、設備の不良のまたは疑わしい資源のリストと、設備の未知の資源のリストとを含み、かつ／または信念モデルは、１つ以上の設備資源に対する障害確率を表示することができる。

【０００８】

生産設備の資源の現在の状況を決定する方法が提供される。この方法は、設備の資源に関する１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の診断抽象化を選択するステップと、現在選択されている診断抽象化、前に実行された計画、設備からの１つ以上の対応する観察、および設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、現在の設備状況を決定するステップとを含む。この方法はまた、最後に選択された診断抽象化が現在の障害状態表示と論理的に整合しないとき、より複雑な障害仮定を有する別の診断抽象化を選択的に選択するステップを含む。特定の実施形態では、この方法は、設備の少なくとも１つの資源に対する少なくとも１つの障害状態表示を含む信念モデルを維持するステップと、現在選択されている診断抽象化、前に実行された計画、設備からの少なくとも１つの対応する観察、および設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、信念モデルを更新するステップとを含む。この方法はまた、現在の設備状況を決定するステップを含むことができ、また本開示のさらなる態様によれば、設備の２つ以上の資源の相互作用に関係する少なくとも１つの相互作用障害を識別するステップを含む。

【０００９】

コンピュータ読取り可能媒体には、複数の診断抽象化のうち、生産設備の資源に関する１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の抽象化を選択し、そして現在選択されている診断抽象化、前に実行された計画および設備からの対応する観察、ならびに設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、現在の設備状況を決定するコンピュータ実行可能命令、ならびに最後に選択された診断抽象化が現在の障害状態表示と論理的に整合しないとき、診断抽象化のうち、より複雑な障害仮定を有する別の抽象化を選択的に選択する命令が提供される。この媒体は、設備の少なくとも１つの資源に対する少なくとも１つの障害状態表示を含む信念モデルを維持し、そして現在選択されている診断抽象化、前に実行さ

れた計画、設備からの少なくとも１つの対応する観察、および設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、信念モデルを更新するコンピュータ実行可能命令をさらに含むことができる。

【図面の簡単な説明】

【００１０】

【図１】生産システム、ならびに計画装置、設備モデル、および診断システムを有する例示的なモデルベースの制御システムを示す図である。

【図２】図１の生産システム内の例示的なモジュール式の印刷システム設備のさらなる詳細を示す図である。

【図３】図１および図２の例示的な計画装置および診断システムのさらなる詳細を示す図である。

【図４】適応診断仮定を使用して現在の生産設備状況を判定する例示的な方法を示す図である。

【図５】複雑性の異なる資源障害仮定を表す例示的なメタ診断格子構造を示す図である。

【図６】生産システムの代表的な部分を簡略化された形で示す図である。

【図７】図６のシステムからの例示的な実行済み計画および対応する観察を、単一の永続的な障害仮定に対する対応するシステム診断状況結果とともに示す図である。

【図８】相互作用でない永続的な障害に対するメタ対立の識別後の障害仮定の複雑性の下限を表す線を含む、図５のメタ診断格子構造を示す図である。

【図９】図１～図３の制御装置内の診断システムのさらなる詳細を示す図である。

【図１０】相互作用でない障害および相互作用障害を表す別の例示的な診断格子構造を示す図である。

【図１１】図６のシステムからの例示的な実行済み計画および対応する観察を、単一の永続的な障害仮定に対する、対応するシステム診断状況結果とともに示す図である。

【図１２】単一の障害仮定に対する設備状況を判定するために図１～図３および図９内の診断装置によって実行される例示的なアルゴリズムの図である。

【図１３】多重障害仮定に対する設備状況を判定するために図１～図３および図９内の診断装置によって実行される別の例示的なアルゴリズムの図である。

【図１４】図６のシステムからの例示的な実行済み計画および対応する観察を、多重障害仮定に対する、対応するシステム診断状況結果とともに示す図である。

【図１５】図６のシステムからの例示的な実行済み計画および対応する観察を、多重の相互作用障害仮定に対する、対応するシステム診断状況結果とともに示す図である。

【図１６】多重の相互作用障害仮定に対する設備状況を判定するために図１～図３および図９内の診断装置によって実行される別の例示的なアルゴリズムの図である。

【発明を実施するための形態】

【００１１】

本開示は一般に、生産システムの診断に関し、様々な印刷および文書搬送資源を有する例示的な文書処理システムについて以下に例示し、かつ説明する。しかし、本開示の概念はまた、製品梱包システム、ならびに複数の資源が、機械、人間、ソフトウェア、または論理構成要素、目標物などのいずれであっても、１つ以上の生産目標を実現するための一連の行動からなる計画に従って選択的に使用される他の任意のタイプまたは形式のシステム内で、設備資源の現在の状況を診断する際に有用であることがわかった。

【００１２】

本開示について、異なる資源（たとえば、それぞれ所定の所望の印刷行動を実行できる２つ以上の印刷エンジン、所定の印刷基板を１つのシステム位置から別のシステム位置へ搬送するのに使用できる２つの異なる基板ルーティング経路など）の使用、および／または異なる動作パラメータ値での所定のシステム資源の動作（たとえば、異なる速度での基板供給構成要素の動作、異なる電圧、温度、速度での印刷エンジンの動作など）を含む２つ以上の異なる方法で、所定の生産目標を実現できるシステムに関連して、例示および説明する。そのような生産システム内で障害のある資源（たとえば、モジュール、構成要素

など）を診断するために、制御システムの診断システムは、実行済み計画および対応する設備観察とともに設備モデルを利用して、設備資源に関する１つ以上の障害仮定を表す現在選択されている診断抽象化（診断の内容を抽象化した表現）を使用して、現在の設備状況を判定する。診断システムが、現在の障害状態表示と最後に選択された診断抽象化との間で論理上の不整合に達したときは、選択されている抽象化は、続けてより複雑な仮定に変更される。診断システムは、観察されたシステムの挙動と整合する最も複雑でない仮定を使用して、効率的に設備状況の理解を促進することができる。

【００１３】

例示的なシステム１を図１～図３に示す。本開示の様々な態様によれば、例示的なシステム１は、診断システム４０を有する制御装置２を含む。図１は、例示的な生産システム６を示す。例示的な生産システム６は、顧客４から生産ジョブ４９を受け取る生産装置構成要素１０（以下、単に「生産装置１０」とも呼ぶ）と、１つ以上の計画５４に従って、生産装置１０によって顧客４に提供される１つ以上の製品５２を生産するように作動または動作できる複数の資源２１～２４を含む設備２０と、を含む。製品の生産には、製品または目標物の修正、たとえば製品の梱包または包装、製品の搬送、製品の再設定などを含むことができる。図２は、１つの例示的な設備２０のさらなる詳細を示し、図３は、例示的なモデルベースの制御システム２およびその診断システム４０に関するさらなる詳細を示す。生産装置１０は、顧客ジョブ４９を満足させるように、出力製品５２を生産する１つ以上の設備２０を管理する。この実施形態では、生産装置１０は、モデルベースの制御システム２の多目的計画装置３０（以下、単に「計画装置３０」とも呼ぶ）にジョブおよび目的５１を提供し、生産システム６は、計画装置３０から、設備２０内で実行するための計画５４を受け取る。ジョブ５１は、生産目標および診断目標の一方または両方を含むことができる。図１に示すように、制御システム２は、設備２０のモデルを有する設備モデル５０と、信念モデル４２を有する診断システム４０とをさらに含む。診断システム４０は、診断装置４７（図１および図３）を使用して、１つ以上の前に実行された計画５４、設備２０からの対応する観察５６、およびモデル５０に基づいて、現在の設備状況５８を判定および更新する。診断システム４０はまた、図示の実装形態では、現在の設備状況５８およびモデル５０に基づいて、１つ以上の可能な計画５４に対する予想される情報利得データ７０を計画装置３０に提供する。ただし、図示の制御システム２のインテリジェント計画選択の態様は、本開示の厳密な要件ではない。

【００１４】

モデルベースの制御システム２、ならびにその診断、計画、およびモデル構成要素は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、プログラム可能論理回路、またはこれらの組合せとして実装することができ、単一の形で実施しても、分散させた形で実装してもよい。可能な一実装形態では、計画装置３０、診断システム４０、およびモデル５０はソフトウェア構成要素であり、１組の下位要素またはオブジェクトとして実施することができる。これには、１つ以上の処理装置、データ記憶装置、メモリなどを含む１つ以上のコンピュータなどの１つ以上のハードウェアプラットホーム上で実行するコンピュータ実行可能命令およびコンピュータ読取り可能データが含まれる。構成要素３０、４０、および５０、ならびにそれらの下位要素は、同じコンピュータ上で実行することができ、または本明細書に記載の機能および動作を提供するように互いに動作可能に結合された２つ以上の処理構成要素内で分散させた形で実行することができる。同様に、生産装置１０は、任意の適切なハードウェア、ソフトウェア、ファームウェア、論理回路、もしくはそれらの組合せ内で、単一のシステム構成要素内で、または複数の相互運用可能な構成要素内で分散させた形で実施することができる。この点に関しては、モジュール式のソフトウェア構成要素（たとえば、モデル５０、計画装置３０、診断システム４０、および／またはこれらの下位要素）を使用して、デバッグおよび試験の容易さ、現況技術のモジュールを任意の役割につなぐ能力、ならびに複数のサーバ、コンピュータ、ハードウェア構成要素などにわたる動作の分配を促進するように、制御システム２を実施することができる。図１の実施形態はまた、制御システム２の他の構成要素が実施されるコンピュータまたは他の（

１以上の）プラットホーム内で実施される任意選択のオペレータインターフェース８を含む。別法として、オペレータインターフェース８は、制御システム２に動作可能に結合された別個のシステムとすることができる。例示的なオペレータインターフェース８は、オペレータ観察５６ａを診断システム４０に提供するように、診断システム４０に動作可能に結合され、またインターフェース８により、オペレータは、診断ジョブ記述言語８ａを使用して診断ジョブ８ｂを定義することができ、診断システム４０は、診断ジョブ６０を生産装置１０に提供することができる。この実装形態では、診断システム４０は、１つ以上の自己生成された診断ジョブ６０および／またはオペレータによって定義された診断ジョブ８ｂを生産装置１０に選択的に提供するように動作し、生産装置１０は、ジョブおよび目的５１を計画装置３０に提供する。

【００１５】

計画装置３０は、生産装置１０から入ってくるジョブ５１によって指示される少なくとも１つの出力目的３４（図３）および生産目標に基づいて、設備２０内で実行するための１つ以上の計画５４を生産システム６に提供する。図３に示すように、計画装置３０は、計画５４を構築する際に、生産目的３４ａおよび診断目的３４ｂを含めて、ジョブおよび目的５１から導出された１つ以上の出力目的３４を選択的に考慮に入れる。可能な一実装形態では、生産目的３４ａは、生産システム６から得られるジョブおよび目的５１に従って作製および更新され、診断目的３４ｂは、診断システム４０によって提供される現在の設備状況５８および予想される情報利得データ７０から導出され、またこれらに従って更新される。一実装形態では、生産目的３４ａは、生産された製品５２（図１）に対する注文のスケジューリングに関連させることができ、また、生産の優先順位付け、在庫の最小化、ならびにコストおよび顧客の需要によって主に動かされる他の考慮すべき点および制約を含むことができる。生産目的３４ａの例には、所定の製品出力目標（簡単な生産基準）の実現に関する計画の構築／生成の優先順位付け、ならびに簡単な時間効率のよい生産、コスト効率のよい生産、およびロバストな生産などの二次的な考慮すべき点が含まれる。たとえば、コスト効率のよい生産目的３４ａは、生産装置１０から受け取ったジョブ５１によって要求される生産目標を満たした計画の中で最もコスト効率のよい計画５４の構築／生成につながる。診断目的３４ｂは、所定の生産関連タスクの実行、設備２０の動作中の保守および修理コストの最小化、断続的または永続的な障害を引き起こす資源２１～２４の識別など、生成された計画５４の好ましい行動シーケンスの決定に関係する目的を含むことができる。動作の際には、計画装置３０は、設備２０内で実行するための計画５４を作成して提供する。計画５４は、ジョブ５１に従って生産目標を実現しながら１つ以上の生産目的および／または診断目的３４を促進する一連の行動を含み、１つの所定の行動が、１つの所定の計画中に２回以上現れることがある。たとえば、設備２０のモデル５０内で定義される状態および資源２１～２４に対して、図２に示すように、モジュール式の印刷システム２０を通って開始状態から終了状態まで所定の基板をルーティングするような行動が取られる。動作の際には、計画装置３０は、診断目的３４ｂおよび診断システム４０からの予想される情報利得データ７０に基づいて少なくとも部分的に、所定の生産目標を実現する計画５４を生成または構築する。図示の実施形態では、計画装置３０は、設備２０内で実行するための計画５４を生成する際に診断システム４０からの現在の設備状況５８を評価する目標ベースの計画構築構成要素３２を含む。構成要素３２はまた、１つ以上の設備構成要素２１～２４がシステム障害を引き起こしたと疑われることを観察５６および現在の設備状況５８が示すのに基づいて、計画５４を構築する際に、障害のある構成要素２１～２４またはそれらの集合の識別を容易にすることができる。

【００１６】

例示的な診断システム４０は、設備２０の現在の状態を表す信念モデル４２と、前に実行された１以上の計画５４および対応する設備観察５６に基づいて、設備２０の現在の状況５８を計画装置３０に提供する診断装置４７とを含む。診断装置４７はまた、設備観察５６、設備モデル５０、および前に実行された計画５４に従って、信念モデル４２の設備状況を推定および更新する。インターフェース８からのオペレータ観察５６ａを使用して

、診断装置４７による現在の設備状況の推定および更新を補足することもできる。診断装置４７は、状況情報５８を提供して、１つ以上の資源２１～２４または設備２０（図１）の他の構成要素の確認された状況または疑わしい状況を計画装置３０に知らせる。この状況情報５８は、生産目的３４ａおよび診断目的３４ｂを考慮して所定の生産ジョブまたは目標５１を実施するための計画５４を提供する際、設備モデル５０からの設備２０に関する情報とともに計画構築構成要素３２によって考慮することができる。診断システム４０はまた、モデル５０および信念モデル４２に基づいて予想される情報利得データ７０を計画装置３０に提供する構成要素４６を含む。任意選択で、情報利得データ７０は、オペレータインターフェース８からのオペレータによって定義された診断ジョブ８ｂを考慮して決定することができる。一実施形態では、信念モデル４２（図１）は、設備２０の良好なまたは疑いのない資源のリスト４２ａと、設備２０の不良のまたは疑わしい資源のリスト４２ｂと、設備２０の未知の資源のリスト４２ｃとを含む（たとえば、下記の図７、図１１、図１４、および図１５）。本開示の別の態様では、信念モデル４２は、設備２０の少なくとも１つの資源２１～２４に対する障害確率を示す。

【００１７】

図２は、生産システム６内の例示的なモジュール式の印刷システム設備２０のさらなる詳細を示す。例示的なモジュール式の印刷システム設備２０は、２つの供給源２１ａおよび２１ｂの一方から印刷可能なシート基板を提供する材料供給構成要素２１と、複数の印刷またはマーキングエンジン２２と、出力仕上げ機ステーション２３と、複数の双方向基板搬送／ルータ構成要素２４（図２には破線の円で示す）を含むモジュール式の基板搬送システムと、搬送システム２４と仕上げ機２３の間に配置された１つ以上の出力センサ２６と、設備２０の様々なアクチュエータ資源２１～２４を動作させるための制御信号を提供する制御装置２８とを含む。例示的な印刷システム設備２０は、４つの印刷エンジン２２ａ、２２ｂ、２２ｃ、および２２ｄを含む。ただし、任意の数のそのようなマーキングエンジンを含むことができる。例示的な印刷システム設備２０は、３つの双方向基板搬送経路２５ａ、２５ｂ、および２５ｃを有するマルチパス搬送ハイウェイをさらに提供する。搬送構成要素２４は、制御装置２８からの適切なルーティング信号によって、供給部２１からマーキングエンジン２２（２重両面印刷のための反転の有無にかかわらず）の１つ以上を通って、最終的には出力仕上げステーション２３まで個々の基板シートを搬送するように動作可能である。出力仕上げステーション２３では、所定の印刷ジョブが出力製品５２として提供される。さらに、印刷エンジン２２はそれぞれ、局所的な２重ルーティングおよび媒体の反転を個別に実現することができ、また、制御装置２８からの信号を介して動作可能な単一色または多色印刷エンジンとすることができる。特定の実施形態では、モデルベースの制御システム２を設備制御装置２８内に組み込むことができる。

【００１８】

図１～図３を次に参照し、動作の際には、例示的な計画装置３０は、１つ以上の生産目的３４ａおよび診断目的３４ｂを考慮して、入ってくるジョブ５１から導出された印刷システム設備２０の構成要素資源２１～２４に対する一連の行動を表す計画５４を自動的に生成する。具体的には、２つ以上の可能な計画５４をいつ使用して所望の製品５２を生産できるのかなど、出力目標をどのようにして実現できるのか（たとえば、所望の製品５２をどのようにして作製、修正、梱包、包装、移動、再設定できるのかなど）に関して、設備２０が柔軟性を有するとき、診断システム４０は、最も有益な観察５６をもたらすと予想される計画５４を生成するように、計画装置３０の計画構築動作を変更または左右することができる。この点に関して、構築された計画５４は、短期的な生産目的３４ａを損なう可能性があるが（たとえば、ジョブ時間の増大、またはわずかな品質の低下）、それにもかかわらず、システムが学習するために生産を停止する必要はない。構築されたジョブ５４の実行から得られるさらなる情報を、生産装置１０によってならびに／または計画装置３０および診断システム４０によって使用して、障害のある構成要素資源２１～２４に対処し、効果的な修理／保守をスケジュールし、および／またはシステム状態をさらに診断する（たとえば、（１以上の）センサ２６によって前に検出された障害の発生源として

特定のシステム資源２１～２４を確認もしくは除外する）ことができる。このようにして、構築された計画５４から収集した情報（たとえば、設備観察５６）を診断装置４７によって使用して、現在の信念モデル４２の精度をさらに改善することができる。

【００１９】

特に図１、図３、図５、および図８を参照すると、診断システム４０は、設備資源２１～２４に関する１つ以上の障害仮定を個別に表す複数の診断抽象化４８を備える。さらに、各診断抽象化４８の１つ以上の障害仮定の複雑性は異なる。図５および図８は、本開示の様々な態様による、複雑性の異なる仮定を有する資源障害抽象化４８ａ～４８ｈを表す例示的なメタ診断格子構造を示す。この例では、抽象化４８は、単一の障害仮定を表す抽象化４８ａ、４８ｃ、４８ｄ、および４８ｇと、設備資源２１～２４に関する多重障害仮定（図５および図８では「Ｍ」）を表す抽象化４８ｂ、４８ｅ、４８ｆ、および４８ｈとを含む。単一の障害仮定は、多重障害仮定ほど複雑ではない。さらに、抽象化４８のこの例示的な集合は、永続的な障害仮定を表す抽象化４８ａ、４８ｂ、４８ｄ、および４８ｅと、設備資源２１～２４に関する断続的な障害仮定（図５および図８では「Ｉ」）表す抽象化４８ｃ、４８ｆ、４８ｇ、および４８ｈとを含む。断続的な障害仮定は、永続的な障害仮定より複雑である。集合４８はまた、相互作用障害仮定（図５および図８では「Ｄ」）を表す抽象化４８ｄ、４８ｅ、４８ｇ、および４８ｈと、相互作用でない障害仮定を表す抽象化４８とを提供する。相互作用障害仮定は、より複雑な仮定である。この例では、抽象化４８は複雑性が異なり、診断システム４０によって、設備２０の現在の状況（診断）５８を決定するために、最も簡単な抽象化から最も複雑な抽象化という連続する順序で使用される。

【００２０】

図１、図３、および図９に最も良く示すように、診断システム４０は、抽象化４８およびシステム構成要素（領域）をそれぞれ診断するための診断構成要素４７ａおよび４７ｂを有する診断装置４７を含む。したがって、診断装置４７は、２つのレベルの診断を提供する。一方は、領域レベルで領域モデルベースの診断（ｍｏｄｅｌ　ｂａｓｅｄ　ｄｉａｇｎｏｓｉｓ，ＭＢＤ）構成要素４７ｂを介して、具体的な障害のある構成要素または資源２１～２４を識別し、他方は、抽象化レベルで抽象化ＭＢＤ構成要素４７ａを使用して、現象を明らかにするシステムをモデリングする最善の方法を識別し、それによって抽象化４８自体の領域レベルの診断仮定に関する診断を実行する。システム２０の詳細な特性から抽象化することによって、新規な抽象化ＭＢＤ構成要素４７ａは、可能な限り簡単であるが課題にすぐ対処するのに十分な抽象化４８を識別および選択するように動作する。この手法では、メタレベルでモデルベースの診断を適用することによって、すなわち抽象化４８自体の抽象化仮定に、所望の抽象化レベルを選択する。動作の際には、抽象化診断構成要素４７ａは最初に、抽象化４８のうち、１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の抽象化を選択する。領域診断構成要素４７ｂは、この第１の抽象化を使用して、現在の設備状況（領域診断）５８を判定し、また現在選択されている診断抽象化４８、前に実行された計画５４、設備２０からの少なくとも１つの対応する観察５６、および設備モデル５０に少なくとも部分的に基づいて、信念モデル４２を更新する。最後に選択された診断抽象化４８が、信念モデル４２内の現在の障害状態表示４２ａ～４２ｃと論理的に整合しないとき、抽象化診断構成要素４７ａは、診断抽象化４８のうち、より複雑な障害仮定を有する別の抽象化を選択する。したがって、システム４０は、現在の設備状況／診断５８が、前に実行された計画５４の結果観察された設備挙動と確実に整合するように、必要に応じて障害仮定を適合させるように動作する。さらに、例示的な領域診断構成要素４７ｂは、設備２０の２つ以上の資源２１～２４の相互作用に関係する少なくとも１つの相互作用障害を識別するように動作する。

【００２１】

また図４を参照し、設備資源２１～２４の現在の状況５８を決定する例示的な方法１００を示す。

【００２２】

方法１００は１０２から始まり、設備２０の良好なまたは疑いのない資源のリスト４２ａと、設備２０の不良のまたは疑わしい資源のリスト４２ｂと、設備２０の未知の資源のリスト４２ｃとを含む信念モデル（たとえば、上記のモデル４２）を提供する。方法１００は１０４に進み、複数の診断抽象化４８のうち、設備資源２１～２４に関する１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の抽象化を選択する。たとえば、図示の診断装置４７では、抽象化ＭＢＤ構成要素４７ａが最初に、単一の永続的で相互作用でない障害に対する最も簡単な場合を仮定し、それに応じて図５および図８内の抽象化４８ａを選択する。図４内の１０６で設備観察５６を受け取り、１１０で、現在選択されている診断抽象化４８と、過去の履歴および受け取った観察１０６から導出された現在の障害状態表示４２ａ～４２ｃとの間に矛盾が存在するかどうかについて判断がなされる。矛盾が存在しない場合（１１０でＮＯ）、処理１００は１１２に進み、現在選択されている診断抽象化４８、前に実行された計画５４、設備２０からの少なくとも１つの対応する観察５６、および設備モデル５０に少なくとも部分的に基づいて、現在の設備状況（領域診断５８）が判定される。診断５８が、たとえば計画装置３０に出力され、１１４で信念モデル４２が更新されてから１０６に戻り、より多くの観察を得る。

【００２３】

しかし、最後に選択された診断抽象化４８が、現在の障害状態表示４２ａ～４２ｃと論理的に整合しない場合（１１０でＹＥＳ）、１１６で、診断抽象化４８のうち、より複雑な障害仮定を有する別の抽象化が選択され、処理は１１０に戻り、この新しく選択された抽象化の正確さを再び試験する。したがって診断装置４７は、限られたセンサ２６から導出された形式または観察５６内の情報から少なくとも部分的に、設備２０の内部の構成要素２１～２４の状況を推論する。一実施形態では、診断システム４０は、設備２０の個々の資源２１～２４または構成要素の状況（たとえば、正常、摩耗、破損）と現在の動作状態（たとえば、動作中、休止中、使用中、空など）の両方を示すための設備状況５８を構築し、それに応じて、資源または構成要素２１～２４の状況および／または状態に対する信頼度を示すように信念モデル４２を更新することができる。一実施形態では、このモデルは、良好な資源、不良の資源、および疑わしい資源２１～２４のリスト４２ａ～４２ｃを提供し、ならびに／または資源２１～２４に対する障害確率値を含むことができる。

【００２４】

動作の際には、生産装置１０が１つ以上の計画５４の生産を開始した後、診断システム４０は、実行された（１以上の）計画５４および対応する観察５６の複写を（何らかのオペレータによって入力された観察５６ａとともに）受け取る。診断装置４７は、設備モデル５０とともに観察５６、５６ａを使用して、内部の構成要素／資源２１～２４の状況５８を推論または推定し、それに応じて信念モデル４２を更新する。推論された設備状況情報５８は、計画装置３０によって使用されて、障害があるとわかった（もしくは高い確率で考えられる）１つ以上の資源／構成要素２１～２４の使用を回避する計画５４を選択的に構築することなどによって、システム２０の生産性を直接改善し、および／または生産装置１０は、ジョブ５１をスケジュールする際に状況情報５８を利用して、障害のある資源２１～２４のそのような回避を実現することができる。さらに、将来の生産性を改善するために、診断システム４０は、様々な可能な生産計画５４の予想される情報利得に関するデータ７０を、計画装置３０に提供する。計画装置３０は、このデータ７０を使用して、最大限に診断を用いた（たとえば、最高の診断値に関する情報をもたらす可能性が最も高い）生産計画５４を構築することができる。

【００２５】

図９は、診断システム４０の一実装形態のさらなる詳細を示す。診断システム４０では、領域ＭＢＤ構成要素４７ｂが、設備モデル５０の構成要素モデルライブラリおよび構成要素トポロジー情報３０４に従って、システム観察５６、およびモデラ３２０から得られる構成要素モデル３１８によって、診断５８またはメタ対立３２４に対する対立（故障）表示を生成する。トポロジー情報３０４はまた、一連の応用モデル３０２に入力される。応用モデル３０２は、抽象化ＭＢＤ構成要素４７ａによって、識別された対立３２４から

のメタ観察３１２および現在選択されている診断抽象化４８に基づいて、好ましいメタ診断３２２または故障表示を生成するために使用される。

【００２６】

次に図５～図１６を参照すると、例示的な診断システム４０の動作について、簡略化されたシステム２００に関して説明する。簡略化されたシステム２００は、図６に示す生産設備を形成する資源または構成要素Ａ２０２、Ｂ２０４、Ｃ２０６、Ｄ２０８、Ｅ２１０、およびＦ２１２を有する。動作の際には、診断システム４０は、単一の障害および／または多重障害、相互作用障害および／または相互作用でない障害、ならびに永続的な障害および／または断続的な障害を含めて、様々なタイプの資源故障およびそれらの組合せを識別することができる。これらの様々な組合せを、図５および図８の抽象化４８ａ～４８ｈに示す。相互作用障害を見分けることができると、構成要素Ａ２０２が単独では正確に動作し、また構成要素Ｂ２０４が単独では正確に動作するにもかかわらず、これらの資源２０２および２０４がどちらも同じ製品上で動作すると故障が観察される特定の生産設備を診断するのに特に有利である。相互作用障害を診断できないので、従来のモデルベースの診断装置は、構成要素ＡおよびＢの両方に障害があると識別するはずであり、相互作用障害を修正するには一方だけを修理すればよい可能性があるにもかかわらず、構成要素２０２および２０４の両方を不必要に交換することにつながる。

【００２７】

診断システム４０は、最初に、最も簡単な障害仮定（たとえば、単一の相互作用でない永続的な障害）を選択してシステム２００を診断して、観察された設備挙動に基づいて、現在の抽象化４８の根底にある仮定を評価し、これらの仮定が矛盾をもたらしたときのみ、より複雑な抽象化４８が選択される。モデリング抽象化自体のメタ仮定は、モデルベースの診断構成要素４７ｂ内の仮定として扱われ、抽象化ＭＢＤ構成要素４７ａは、１つの特定の診断抽象化４８を現在の抽象化レベルとして選択する。図示の診断システム４０では、抽象化ＭＢＤ構成要素４７ａは、第１の抽象化４８ａを選択する際に、最初に単一の障害を仮定してから、多重障害を仮定する。しかし、多くの生産設備では、大部分の障害は断続的であり、分離するのが困難である。領域診断構成要素４７ｂは、断続的な障害（たとえば、図５および図８内の抽象化４８ｃ、４８ｆ、４８ｇ、または４８ｈ）を企図する抽象化が提供されたとき、過去の観察５６から学習することによって、断続的な障害を分離するように動作する。同様に、相互作用障害（たとえば、抽象化４８ｄ、４８ｅ、４８ｇ、または４８ｈ）を仮定する抽象化が提供された場合、領域診断構成要素４７ｂは、相互作用によってともに故障した設備資源の集合を識別することができる。

【００２８】

図７は、相互作用でない永続的な単一の障害を仮定する図５内の抽象化４８ａを最初に選択する図６の例で、構成要素Ａ２０２、Ｂ２０４、およびＣ２０６のみを考慮して３つの例示的な実行済み計画５４および対応する設備観察５６に対する診断結果を示す表２２０を示す。各計画$54p_i$＝［c_1，c_2，．．．，c_n］は、設備内のその実行に関係する構成要素のシーケンスである。この例では、計画１（Ａ，Ｂ）では故障し、したがって領域診断構成要素４７ｂは、資源Ｃ２０６には疑いがなく、そして構成要素Ａ２０２およびＢ２０４は疑わしいままであると結論づける。次いで計画２（Ｂ，Ｃ）の実行に成功し、それによってさらに、Ｂ２０４およびＣ２０６には疑いがなくなる。しかし、計画３（Ａ）の実行に成功すると、資源Ａ２０２にも疑いがなくなるように見えるはずである。これは、前の計画１の故障および現在選択されている抽象化４８ａと論理的に整合しない。このメタ対立AB_a（Ｍ）∨AB_a（Ｉ）∨AB_a（Ｄ）を検出すると、抽象化診断構成要素４７ａは、ライブラリから、より複雑な故障仮定を有する別の抽象化４８を選択する。たとえば、可能な一実装形態では、次いで抽象化診断構成要素４７ａは、次に多重障害を考慮することを選択し、したがって図５および図８内の抽象化４８ｂを選択する。これを使用して、計画２の実行に成功すると、Ｂ２０４およびＣ２０６には疑いがなくなるが、計画３が成功するとＡの疑いがなくなり、したがって抽象化診断構成要素４７ａによって別のメタ対立AB_a（Ｉ）∨AB_a（Ｄ）が見出される。したがって、抽象化レベル

では、図８は、抽象化４８ａおよび４８ｂ（たとえば、これらの抽象化は、設備を正確に診断するほどロバストでない）の単一または多重の相互作用でない永続的な障害仮定に対するメタ対立を識別した後の障害仮定の複雑性の下限を示す線を示す。

【００２９】

これに基づいて、抽象化診断構成要素４７は、より複雑な障害仮定に値すると判断し、したがって設備が断続的な障害および／または相互作用障害のどちらかまたは両方を含む可能性があると仮定する。たとえば、構成要素Ａは断続的に故障し、時間１で不良の出力をもたらし、時間３で良好な出力をもたらす可能性がある。このシステムはまた、相互作用障害を含む可能性がある。たとえば、システムは、相互作用障害［Ａ，Ｂ］を含むことがあり、構成要素２０２および２０４はどちらも、個別には正確に動作しているが、組み合わせると障害のある挙動をもたらす可能性がある。これらの数値では、［．．．］は、構成要素のすべてが同じ目標物上で動作するときのみ発生する相互作用障害を示す。計画１は、資源Ａ２０２およびＢ２０４がどちらも使用される唯一の計画であり、したがって相互作用障害［Ａ，Ｂ］は、設備からのすべての観察５６について説明する。

【００３０】

図示の診断システム４０では、仮診断５８が、故障した構成要素の集合で表される。計画５４が成功したとき、システム４０は、断続的な障害（¬ＡＢａ（Ｉ））が存在しない場合、計画内で言及されたすべての構成要素には疑いがないと推論し、また相互作用障害（ＡＢａ（Ｄ））が存在する場合、計画ｐからの構成要素のみを含む相互作用障害を含むすべての診断５８には疑いがないと推論する。さらに、構成要素４７ａは、計画ｐで故障すると、ｐ内の構成要素を含まないすべての診断５８には疑いがないと推論する。最初に、構成要素２０２～２１２のすべての部分集合を診断５８とすることができる。相互作用障害を導入すると、構成要素２０２～２１２のあらゆる組合せも障害となる可能性があり、したがって、計画が整数「ｎ」個の構成要素または資源を含む場合、

【数１】

$$o(2^{2^n})$$

個の可能な診断が存在する。

【００３１】

図１０は、３つの構成要素｛Ａ，Ｂ，Ｃ｝（図６内の構成要素２０２、２０４、および２０６）を有する簡単なシステムに対する診断格子４００の一部分を示す。話を簡単にするために、永続的な障害を仮定するが、多重の相互作用障害も可能である（たとえば、抽象化診断構成要素４７ａが図５および図８内の抽象化４８ｅを選択する）。先の例を使用すると、Ａ、Ｂを使用した計画１の実行は故障をもたらした。抽象化４８ｅの仮定を使用すると、構成要素Ｃ２０６だけでは、観察５６について説明することはできず、また［ＡＣ］、［ＢＣ］、または［ＡＢＣ］のいずれも説明することはできない。唯一の最小濃度の診断は、｛Ａ｝、｛Ｂ｝、および｛［ＡＢ］｝である。計画２の成功により、ＢおよびＣには疑いがなくなる。したがって、ＢまたはＣを含むあらゆる診断には疑いがなくなる。さらに、相互作用障害［ＢＣ］を含むあらゆる診断５８にも疑いがなくなる。最後に、計画３が成功したことが観察されると、Ａにも疑いがなくなる。これらの現象について説明する唯一の最小濃度の診断は、図１０に示す相互作用障害［ＡＢ］である。削除された診断の隣の数字は、どの計画がその診断を削除したのかを示す。

【００３２】

例示的な診断アルゴリズムについて、システム４０内の診断装置４７の動作に関して以下に説明する。例示的な診断アルゴリズムは、診断抽象化４８、良好な構成要素４２ａ、不良のまたは疑わしい構成要素４２ｂ、および未知の構成要素４２ｃの相互に排他的な集合を維持する。各診断抽象化４８は、障害のある構成要素が確実に存在する集合を表し、システム４０は、一度に１つの抽象化４８を調べる。さらに、診断システム４０の特定の

実施形態では、現在の抽象化４８および信念モデル４２内のリストは、設備資源の障害状況についての知識の状態すべてを表し、先の観察５６からの対立は廃棄することができる。設備２０は連続して動作することができるので、詳細に記録するには余りに多くの観察が存在する可能性がある。しかし、記載のアルゴリズムは、実際の（１以上の）障害を特定するためにより多くの観察を取得するが、決して障害を見逃さない。

【００３３】

単一の障害抽象化（たとえば、図５および図８内の４８ａ）の場合、システムＳｙｓはタプル（ｔｕｐｌｅ）〈Ｃ，Ｐ，Ｚ〉であり、ここでＣは、すべての設備資源２１～２４の集合であり、Ｐは、計画５４のリストであり（$p_i = [c_1, c_2, \ldots, c_n]$は計画５４に関係する構成要素のシーケンスである）、またＺは、観察５６のリストである。ここで、観察

【数２】

$$z_i \in \{f, s\}$$

は計画p_iに関連し、計画での故障は「ｆ」で示し、計画実行の成功は「ｓ」で示す。診断Ｄは、タプル〈ｇ，ｂ，ｘ，ｓｕ〉であり、ここでｇ⊆Ｃは良好な構成要素の集合であり、ｂ⊆Ｃは不良の構成要素の集合であり、ｘ⊆Ｃは疑われてはいないが疑いが晴れていない未知の構成要素の集合であり、ｓｕ⊆Ｃは疑わしい構成要素の集合である。

【００３４】

図１２は、計画５４と観察５６の各対に対して診断装置４７によって実行される第１のアルゴリズム４３０を示す。アルゴリズム４３０は、システム構成要素の障害についての知識の状態すべてを更新する。Ｓｙｓは、構成要素Ｃ＝｛Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ，Ｆ｝を有する図６内の６つの構成要素のシステム２００であるものとし、所定の計画５４では任意の組合せの構成要素を実行することができ、構成要素Ｂに障害がある。図１１内の表４２０は、各時間ステップｔに対して、知識の状態すべてを示す。ここでは、すべての構成要素は、現在の診断５８の集合のうちの正確に１つの要素である。計画５４の図示のシーケンスでは、計画１（ＡＢＣＤＥ）で故障すると、診断装置４７は、｛Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ｝のうちの１つに障害があることに焦点を合わせる。計画２（ＡＢＣ）で故障すると、領域診断構成要素４７ｂは、｛Ａ，Ｂ，Ｃ｝のうちの１つに障害があるということに焦点を狭めることができ、｛Ｄ，Ｅ｝は良好であることがわかる。計画３（ＡＤＥ）が成功すると、それに応じてＡ、Ｄ、Ｅには疑いがなくなり、焦点は｛Ｂ，Ｃ｝に狭められる。計画４（ＡＢＤＥ）で故障すると、故障した計画４は疑わしい集合とＢのみで交差するので、抽象化４８ａの最初の単一の障害仮定の下ではＢに障害があるはずであり、他のすべての構成要素には疑いがなくなる。

【００３５】

図１３および図１４を参照すると、抽象化診断構成要素４７ａが、多重障害が起こりうると仮定する抽象化４８（たとえば、図５および図８内の抽象化４８ｂ）を選択する場合、診断５８Ｄはタプル〈ｇ，ｂ，ｘ，ＤＦ〉であり、ここでｇ⊆Ｃは良好な構成要素の集合であり、ｂ⊆Ｃは不良の構成要素の集合であり、ｘ⊆Ｃは疑われていない未知の構成要素の集合であり、ＤＦは診断焦点の集合である。診断焦点df_iはタプル〈su_i，sc_i〉であり、ここで$su_i \subseteq C$は、時間ｔの診断焦点df_i内で疑わしい構成要素の集合であり、$sc_i \subseteq C$は構成要素の集合であり、$su_i \cup sc_i$は、診断焦点df_iの範囲を画定する構成要素の集合である。図１３内のアルゴリズム４４０は、システム構成要素の障害についての知識の状態すべてを更新するために、計画５４と観察５８の各対に対して、診断装置４７によって実行される。Ｓｙｓが５つの構成要素Ｃ＝｛Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ｝を有する簡単なシステムであり、計画５４として構成要素の任意の組合せを実行することができ、そして構成要素ＢおよびＤに障害があるものとする。図１４内の表４５０は、この多重障害の抽象化４８ｂに対する時間ステップｔごとの知識の状態すべてを示す。

すべての構成要素は、現在の診断５８の集合のうちの正確に１つの要素である。図１４の表４５０に示すように、計画１（ＡＢＣＤＥ）で故障すると、診断装置４７は、｛Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ｝のうちの１つに障害があることに焦点を合わせる。計画２（ＡＢＣ）でも故障すると、焦点は、｛Ａ，Ｂ，Ｃ｝のうちの１つに障害があるということに狭められ、｛Ｄ，Ｅ｝は未知のままである。計画３（ＡＤＥ）で故障すると、｛Ｂ，Ｃ｝に障害が存在する可能性があるが、焦点はＡに狭められる（しかし範囲は依然として｛Ａ，Ｂ，Ｃ｝である）。次いで計画４（Ａ）が成功すると、Ａには疑いがなくなり、焦点は｛Ｂ，Ｃ｝に移動する。計画５（ＡＤＥ）で故障すると、Ａは前に疑いがなくなっているので、焦点は｛Ｄ，Ｅ｝のうちの１つに移る。計画６（ＡＣ）が成功すると、したがってＣには疑いがなくなり、それによって診断構成要素４７ｂはＢに障害があると結論づけ、この診断５８が出力される。これにより、焦点１が閉じられる。次いで計画７（ＡＤＣ）で故障すると、Ａ、Ｃには疑いがないことから、Ｄに障害があると判断され、したがって焦点２が閉じられ、残りの構成要素（たとえば、この例ではＥ）は未知の集合に移動される。次いで計画８（ＡＣＥ）が成功すると、したがってＡＣＥには疑いがなくなる。

【００３６】

図１５および図１６は、抽象化診断構成要素４７ａが図５および８内の抽象化４８ｅを選択した場合の複数の相互作用障害を示す。この場合、Ｘ＝｛x_1，．．．，x_n｝は要素の集合であり、Ｐ（Ｘ）は、Ｘ上の冪集合（ｐｏｗｅｒ　ｓｅｔ）であり（たとえば、Ｘ＝｛x_1，x_2｝⇔Ｐ（Ｘ）＝｛｛｝，｛x_1｝，｛x_2｝，｛x_1，x_2｝｝）、

【数３】

$$\overline{X} \equiv P(X)$$

はＸの冪集合を表す。さらに、この場合、次の通りである。

【００３７】

【数４】

$$\{\overline{Y}\} \sqcup \{\overline{X}\} \equiv \begin{cases} \{\overline{Y}\} & : \quad \text{if } X \subseteq Y \\ \{\overline{X}\} & : \quad \text{if } Y \subseteq X \\ \{\overline{Y}, \overline{X}\} & : \quad \text{その他の場合} \end{cases}$$

【００３８】

【数５】

$$\overline{P}(X) \equiv \bigcup_{Y \subset X} \overline{Y}$$

は、Ｘのすべての可能な部分集合上のすべての冪集合の集合であり、Ｅ（ＰＸ）は、Ｘ内で言及されたすべての個々の構成要素の集合、たとえばＸ＝｛｛ａ，ｂ，ｃ｝，｛ａ，ｄ，ｅ｝，｛ｇ｝｝⇔Ｅ（Ｘ）＝｛ａ，ｂ，ｃ，ｄ，ｅ，ｇ｝である。システムＳｙｓは、単一の障害の場合に定義されるタプル〈Ｃ，Ｐ，Ｚ〉である。診断５８Ｄは、タプル〈ｇ，ｂ，ｘ，ＤＦ〉である。

【数６】

$$g \subseteq \overline{P}(C)$$

はすべての大域的に良好な診断候補を表す。ここで診断候補は、故障を引き起こす可能性のある構成要素の集合である。Ｘ⊆Ｃを構成要素の集合とすると、

【数７】

$$\overline{X} \in \overline{P}(C)$$

はすべての診断候補ｄｃ∈Ｐ（Ｘ）を表す。ｂ⊆Ｐ（Ｃ）は不良の診断候補の集合であり、｛Ａ，［ＤＥ］｝は、Ａおよび診断候補［ＤＥ］（相互作用障害）が不良であることを示す。ｘ⊆Ｐ（Ｃ）は、疑われていない未知の診断候補の集合である。ＤＦは、診断焦点の集合である。診断焦点ｄｆ$_{i}$はタプル〈ｓｕ$_{i}$，ｓｃ$_{i}$〉であり、ここでｓｕ$_{i}$⊆Ｐ（Ｃ）は、時間ｔの診断焦点ｄｆ$_{i}$内で疑わしい診断候補の集合であり、ｓｃ$_{i}$⊆Ｐ（Ｃ）は診断候補の集合である。ｓｕ$_{i}$∪ｓｃ$_{i}$は、診断焦点ｄｆ$_{i}$の範囲を画定する診断候補の集合であり、

【数８】

$$lg_i \subseteq \overline{P}(C)$$

は、すべての局所的に（該当する）良好な診断候補を表す。

【００３９】

図１６は、対応する選択された抽象化（たとえば、図５および８内の抽象化４８ｅ）に対して診断装置４７によって実施される多重相互作用障害のアルゴリズム４７０を示し、図１５は、この例に対するシステム構成要素の障害についての知識の状態すべてを示す表４６０を示す。Ｓｙｓが５つの構成要素Ｃ＝｛Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ｝を有する簡単なシステムであり、計画５４として構成要素の任意の組合せを実行することができ、そして構成要素ＢおよびＤに障害があるものとすると、図１５は、良好な構成要素、不良の／疑わしい構成要素、および未知の構成要素の維持されたリストとともに、計画５４の例示的なシーケンスおよび対応する観察された設備挙動を示す。この例では、計画１（ＡＢＣＤＥ）で故障すると、診断装置４７は、｛Ａ，Ｂ，Ｃ，Ｄ，Ｅ｝のうちの１つに障害があるということに焦点を合わせる。計画２（ＡＢＣ）で故障すると、したがって診断装置４７は、｛Ａ，Ｂ，Ｃ｝のうちの１つに障害があるということに焦点を狭め、構成要素｛Ｄ，Ｅ｝は未知としてリストに示される。計画３（ＡＤＥ）で故障すると、｛Ｂ，Ｃ｝に障害が存在する可能性があるが、焦点はＡに狭められる（しかし範囲は依然として｛Ａ，Ｂ，Ｃ｝である）。計画４（Ａ）が成功すると、Ａには疑いがなくなり、焦点は｛Ｂ，Ｃ｝に移動し、Ａは、局所的に（該当する）良好な

【数９】

$$(\{\overline{A}\})$$

として保持される。次いで計画５（ＡＤＥ）で故障すると、Ａには疑いがないので、｛Ｄ，Ｅ｝に新しい焦点が導入されるが、診断装置４７は依然として、Ａを局所的に（該当する）良好な

【数１０】

$$(\{\overline{A}\})$$

として維持する。次いで計画６（ＡＣ）が成功すると、それによってＡ、Ｃ、［ＡＣ］には疑いがなくなり、

【数１１】

$$\overline{AC}$$

として示される。
【数１２】

$$\{\overline{A}\} \sqcup \{\overline{AC}\} = \{\overline{AC}\}$$

であることから、新しい大域的に良好な集合は、
【数１３】

$$\{\overline{AC}\}$$

である。診断装置４７は、Ａ、Ｃ、ＡＣは焦点１に該当するので、焦点１内の局所的に（該当する）良好な集合をＡＣに更新し、構成要素Ｂが焦点１内に残された唯一の診断候補になる。次いで計画７（ＡＤＣ）で故障する。Ａ、Ｃには疑いがないことから、Ｄが最小の診断候補であるため、Ｄに障害があると判断され、それに応じて診断装置４７は、焦点２を閉じる。次いで計画８（ＡＣＥ）が成功すると、それによってＡ、Ｃ、Ｅ、ＡＣ、ＡＥ、ＣＥ、ＡＣＥには疑いがなくなり、
【数１４】

$$\overline{ACE}$$

と示される。
【数１５】

$$\{\overline{AC}\} \sqcup \{\overline{ACE}\} = \{\overline{ACE}\}$$

であることから、新しい大域的に良好な集合は、
【数１６】

$$\{\overline{ACE}\}$$

である。次いで計画９（Ｂ）が成功すると、したがってＢには疑いがなくなり、
【数１７】

$$\overline{B}$$

と示される。
【数１８】

$$\{\overline{ACE}\} \sqcup \{\overline{B}\} = \{\overline{ACE}, \overline{B}\}$$

であることから、新しい大域的に良好な集合は、
【数１９】

$$\{\overline{ACE}, \overline{B}\}$$

である。この時点で、焦点１に該当する診断候補Ａ、Ｂ、Ｃ、ＡＣが良好であり、したがって診断装置４７は、局所的に良好な集合｛［ＡＢ］、［ＢＣ］｝からすべての最小の診断候補を生成して、焦点をこれらの集合に移動させる。次いで計画１０（ＡＢ）で故障すると、Ａ、Ｂは前に疑いがなくなっているので、相互作用集合［ＡＢ］が最小の診断候補であるため、相互作用集合［ＡＢ］に障害がある。

【００４０】

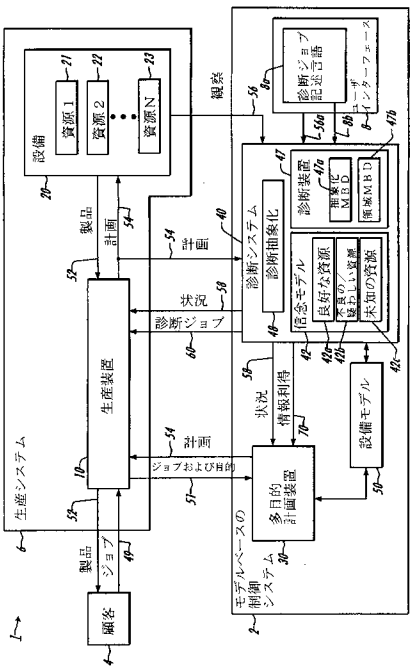
複数の診断抽象化のうち、生産設備の資源に関する１つ以上の最も複雑でない障害仮定を有する第１の抽象化を選択するように、そして現在選択されている診断抽象化、前に実行された計画および設備からの対応する観察、ならびに設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、現在の設備状況を決定するように命令し、ならびに最後に選択された診断抽象化が現在の障害状態表示と論理的に整合しないとき、診断抽象化のうち、より複雑な障害仮定を有する別の抽象化を選択的に選択するように命令するコンピュータ実行可能命令を有するコンピュータ読取り可能媒体が提供される。この媒体はまた、設備の少なくとも１つの資源に対する少なくとも１つの障害状態表示を含む信念モデルを維持し、そして現在選択されている診断抽象化、前に実行された計画、設備からの少なくとも１つの対応する観察、および設備モデルに少なくとも部分的に基づいて、信念モデルを更新するコンピュータ実行可能命令を含む。

【符号の説明】

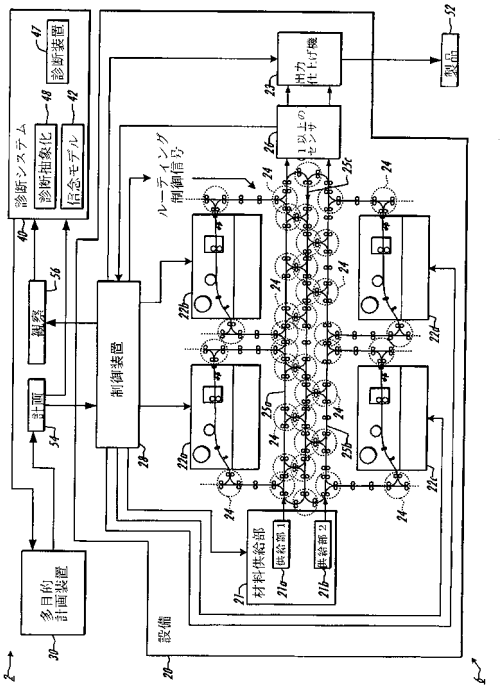
【００４１】

１　システム、２　制御システム、４　顧客、６　生産システム、８　ユーザインターフェース、８ａ　診断ジョブ記述言語、８ｂ　診断ジョブ、１０　生産装置、２０　設備、２１，２２，２３，２４　資源、２１ａ，２１ｂ　供給源、２２ａ，２２ｂ，２２ｃ，２２ｄ　印刷エンジン、２５ａ，２５ｂ，２５ｃ　双方向基板搬送経路、２６　出力センサ、２８　制御装置、３０　多目的計画装置、３２　目標ベースの計画構築構成要素、３４　出力目的、３４ａ　生産目的、３４ｂ　診断目的、４０　診断システム、４２　信念モデル、４２ａ　良好な資源、４２ｂ　不良のまたは疑わしい資源、４２ｃ　未知の資源、４７　診断装置、４７ａ　抽象化ＭＢＤ構成要素、４７ｂ　領域ＭＢＤ構成要素、４８　診断抽象化、４９　生産ジョブ、５０　設備モデル、５１　ジョブおよび目的、５２　製品、５４　計画、５６　観察、５６ａ　オペレータ観察、５８　現在の設備状況、６０　診断ジョブ、７０　情報利得データ。

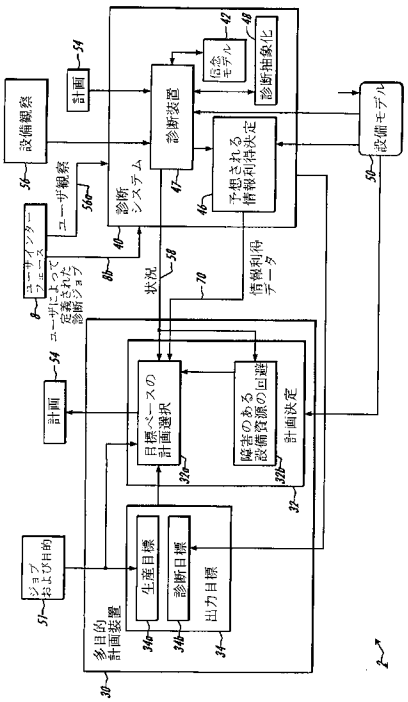
【図１】



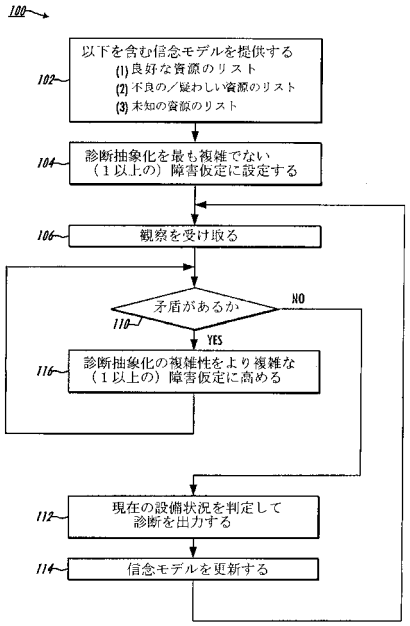
【図２】



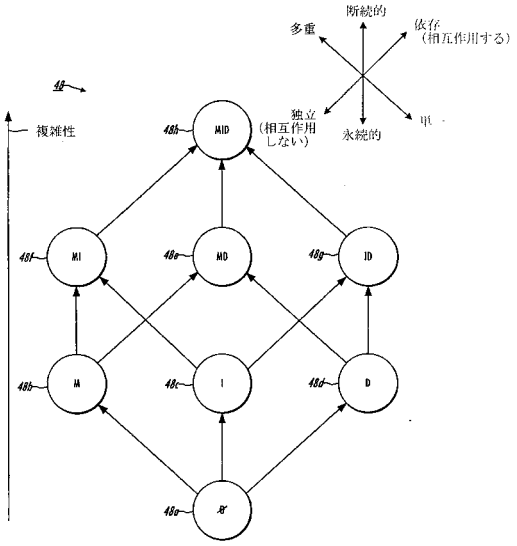
【図３】



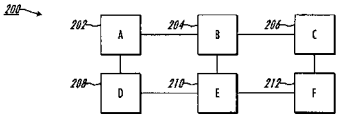
【図４】



【図５】



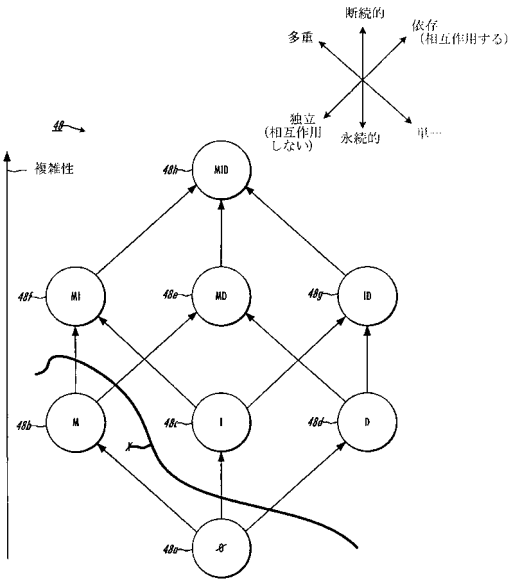
【図６】



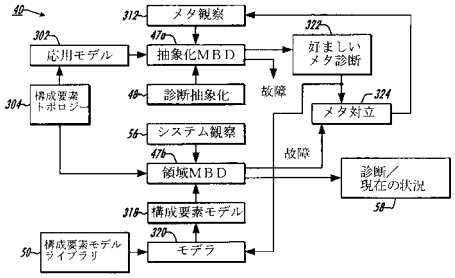
【図７】

時間	計画	観察	結果
1	A,B	故障	¬MはCの疑いをなくす
2	B,C	成功	¬IはB、Cの疑いをなくす
3	A	成功	¬IはAの疑いをなくす

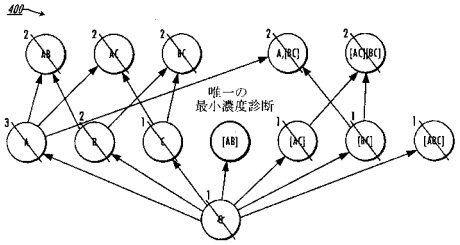
【図８】



【図９】



【図１０】



【図１１】

420

t	p	z	g（良好）	b（不良）	x（未知）	su（疑わしい）
0					ABCDEF	
1	ABCDE	f			F	ABCDE
2	ABC	f	DE		F	ABC
3	ADE	s	ADE		F	BC
4	ABDE	f	ACDEF	B		

【図１２】

430

***Algorithm 1**: Single Faults Algorithm*

$g_t = g_{t-1}$; $b_t = b_{t-1}$; $x_t = x_{t-1} - p_{j,t}$;
$su_t = su_{t-1}$;
if *plan p fails at time t* **then**
  $rp_{j,t} = p_j - g_t$;
  if $|rp_{j,t}| = 1$ **then**
    $b_t = rp_{j,t}$;
    $g_t = (g_t \cup x_t \cup su_t) - b_t$;
    $x_t = su_t = \emptyset$;
    DONE!;
  else
    if $su_{t-1} = \emptyset$ **then**
      $su_t = rp_{j,t}$;
    else
      $su_t = su_{t-1} \cap rp_{j,t}$;
      $g_t = (su_{t-1} \cup rp_{j,t}) - su_t$;
      if $|su_t| = 1$ **then**
        $b_t = su_t$;
        $g_t = g_t \cup x_t$;
        $x_t = su_t = \emptyset$;
        DONE!;
else
  $g_t = g_{t-1} \cup p_j$;
  $su_t = su_{t-1} - g_t$;
  if $|su_t| = 1$ **then**
    $b_t = su_t$;
    $g_t = g_t \cup x_t$;
    $x_t = su_t = \emptyset$;
    DONE!;

【図１３】

440

***Algorithm 2:** Multiple Faults Algorithm*

$g_t = g_{t-1}$; $b_t = b_{t-1}$; $x_t = x_{t-1} - p_{j,t}$;
foreach $su_{i,t-1}$: *DFt−1* **do**
  $su_{i,t} = su_{i,t-1}$; $sc_{i,t} = sc_{i,t-1}$;
if *plan p fails at time t* **then**
  $rp_{j,t} = p_j - g_t$;
  if $|rp_{j,t}| = 1$ **then**
    $b_t = b_t \cup rp_{j,t}$;
    foreach $su_{i,t-1}$: *DFt−1* **do**
      if $(su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}) \cap rp_{j,t} \neq \emptyset$ **then**
        $x_t = (x_t \cup su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1} \cup rp_{j,t}) - b_t$;
        $su_{i,t} = \emptyset$;
        $sc_{i,t} = \emptyset$;
  else
    if
    $rp_{j,t} \cap \cup_i (su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}) = \emptyset \wedge rp_j \cap b_t = \emptyset$
    then
      $sunew_t = rp_{j,t}$;
      $scnew_t = \emptyset$;
    else
      if $rp_{j,t} \cap b_t = \emptyset$ **then**
        foreach $su_{i,t-1}$: *DFt−1* **do**
          if $rp_{j,t} \cap (su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1})$ **then**
            if $|rp_{j,t} < |su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}|^{\wedge}$
            $rp_{j,t} - (su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}) \subseteq x_t$
            then
              $x_t =$
              $(x_t \cup su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}) - rp_{j,t}$;
              $su_{i,t} =$
              $rp_{j,t} \cap (su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1})$;
              $sc_{i,t} = rp_{j,t} - su_{i,t}$;
            else
              $su_{i,t} =$
              $rp_{j,t} \cap (su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1})$;
              $sc_{i,t} =$
              $(su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}) - rp_{j,t}$;
        else
          foreach $su_{i,t-1}$: *DFt−1* **do**
            if $rp_{j,t} \cap su_{i,t-1} \neq \emptyset$ **then**
              $su_{i,t} = rp_{j,t} \cap su_{i,t-1}$;
              $sc_{i,t} = (su_{i,t-1} \cup sc_{i,t-1}) - su_{i,t}$;
else
  $g_t = g_{t-1} \cup p_j$;
  $x_t = x_t - g_t$;
  foreach $su_{i,t-1}$: *DFt−1* **do**
    $su_{i,t} = su_{i,t-1} - g_t$;
    $sc_{i,t} = sc_{i,t-1} - g_t$;
  if $|su_{i,t} \cup sc_{i,t}| = 1$ **then**
    $b_t = b_t \cup su_{i,t} \cup sc_{i,t}$;
  if $su_{i,t} = \emptyset$ **then**
    $su_{i,t} = sc_{i,t}$;

【図１４】

450

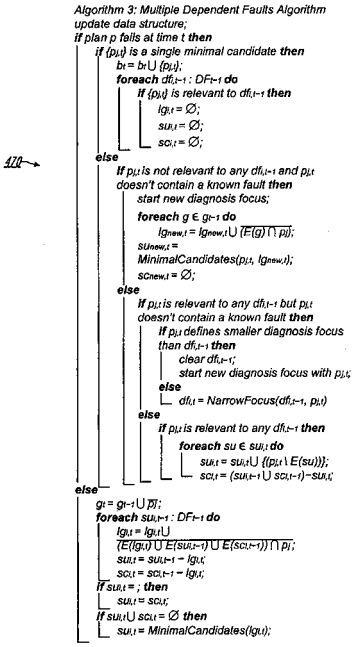
t	p	z	g	b	x	df_1		df_2	
						su_1	sc_1	su_2	sc_2
0					ABCDE				
1	ABCDE	f				ABCDE			
2	ABC	f			DE	ABC			
3	ADE	f			DE	A	BC		
4	A	s	A			BC			
5	ADE	f	A			BC		DE	
6	AC	s	AC	B				DE	
7	ADC	f	AC	BD					
8	ACE	s	ACE	BD					

【図１５】

460

t	p	z	g	b	df_1			df_2		
					su_1	sc_1	g_1	su_2	sc_2	g_2
0										
1	ABCDE	f			ABCDE					
2	ABC	f			ABC					
3	ADE	f			A	BC				
4	A	s	A'		BC		A'			
5	ADE	f	A'		BC		A'	DE		A'
6	AC	s	AC'		B		AC'	DE		A'
7	ADC	f	AC	D						
8	ACE	s	ACE'	D	B		AC'			
9	B	s	ACE',B'	D	[AB][BC]		AC',B'			
10	AB	s	ACE',B'	[AB],D						

【図１６】


Algorithm 3: Multiple Dependent Faults Algorithm
update data structure;
if plan p fails at time t then
if {p_{i,t}} is a single minimal candidate then
b_t = b_t ∪ {p_{i,t}};
foreach df_{i,t-1} : DF_{t-1} do
If {p_{i,t}} is relevant to df_{i,t-1} then
lg_{i,t} = ∅;
su_{i,t} = ∅;
sc_{i,t} = ∅;
else
If p_{i,t} is not relevant to any df_{i,t-1} and p_{i,t}
doesn't contain a known fault then
start new diagnosis focus;
foreach g ∈ g_{t-1} do
lg_{new,t} = lg_{new,t} ∪ (E(g) ∩ p_i);
su_{new,t} =
MinimalCandidates(p_{i,t}, lg_{new,t});
sc_{new,t} = ∅;
else
If p_{i,t} is relevant to any df_{i,t-1} but p_{i,t}
doesn't contain a known fault then
If p_{i,t} defines smaller diagnosis focus
than df_{i,t-1} then
clear df_{i,t-1};
start new diagnosis focus with p_{i,t};
else
df_{i,t} = NarrowFocus(df_{i,t-1}, p_{i,t})
else
If p_{i,t} is relevant to any df_{i,t-1} then
foreach su ∈ su_{i,t} do
su_{i,t} = su_{i,t} ∪ {(p_{i,t} \ E(su))};
sc_{i,t} = (su_{i,t-1} ∪ sc_{i,t-1}) − su_{i,t};
else
g_t = g_{t-1} ∪ p_i;
foreach su_{i,t-1} : DF_{t-1} do
lg_{i,t} = lg_{i,t} ∪
(E(lg_{i,t}) ∪ E(su_{i,t-1}) ∪ E(sc_{i,t-1})) ∩ p_i;
su_{i,t} = su_{i,t-1} − lg_{i,t};
sc_{i,t} = sc_{i,t-1} − lg_{i,t};
if su_{i,t} = ; then
su_{i,t} = sc_{i,t};
if su_{i,t} ∪ sc_{i,t} = ∅ then
su_{i,t} = MinimalCandidates(lg_{i,t});
470

フロントページの続き

(72)発明者　ルーカス　クーン
アメリカ合衆国　カリフォルニア　パロ　アルト　アマランタ　アベニュー　４０２０
(72)発明者　ジョアン　デクレア
アメリカ合衆国　カリフォルニア　ロス　アルトス　パコ　ドライブ　６８５

審査官　牧　初

(56)参考文献　特開２００３－２８８２３１（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－３５３０３５（ＪＰ，Ａ）
特開平４－３１６１３１（ＪＰ，Ａ）
特開平４－３１３１９５（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０５Ｂ　２３／００－２３／０２
Ｇ０５Ｂ　１９／４１８