

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6545397号
(P6545397)

(45) 発行日 令和1年7月17日(2019.7.17)

(24) 登録日 令和1年6月28日(2019.6.28)

(51) Int.Cl.

G06Q 10/00 (2012.01)

F 1

G06Q 10/00 300

請求項の数 4 (全 18 頁)

(21) 出願番号 特願2018-542309 (P2018-542309)
 (86) (22) 出願日 平成29年3月13日 (2017.3.13)
 (86) 国際出願番号 PCT/JP2017/009994
 (87) 国際公開番号 WO2018/167826
 (87) 国際公開日 平成30年9月20日 (2018.9.20)
 審査請求日 平成30年8月10日 (2018.8.10)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 000006013
 三菱電機株式会社
 東京都千代田区丸の内二丁目7番3号
 (74) 代理人 100123434
 弁理士 田澤 英昭
 (74) 代理人 100101133
 弁理士 濱田 初音
 (74) 代理人 100199749
 弁理士 中島 成
 (74) 代理人 100188880
 弁理士 坂元 辰哉
 (74) 代理人 100197767
 弁理士 辻岡 将昭
 (74) 代理人 100201743
 弁理士 井上 和真

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】因果関係評価装置、因果関係評価システムおよび因果関係評価方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

対象設備において観測された観測データと因果関係が推定される単語同士のペアである評価候補とが対応付けられた複数の評価用データを評価候補ごとに入力し、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標である妥当性指標を因果関係の方向ごとに算出する因果方向評価部と、

前記因果方向評価部によって評価候補ごとに算出された因果関係の方向ごとの妥当性指標に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を判定する妥当性判定部と

を備え、

10

前記因果方向評価部は、

評価候補である単語同士のそれぞれに対応する観測データについて双方向に回帰評価を行う双方向回帰評価部と、

前記双方向回帰評価部によって回帰の方向ごとに算出された回帰誤差と観測データとの関係性に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの因果関係の方向を判定する因果方向判定部と、

前記因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する指標算出部とを備え、

前記指標算出部は、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の近似的な独立性の判定をそれぞれ複数回行って累積された判定結果に基づいて、評価候補の単

20

語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の独立性を示す確率的な指標である確率指標の値を回帰の方向ごとに算出し、

前記因果方向判定部は、前記指標算出部によって回帰の方向ごとに算出された確率指標に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データ間の因果関係の方向を判定し、

前記指標算出部は、回帰の方向ごとの確率指標の値を用いて、前記因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出し、

前記妥当性判定部は、前記因果方向評価部によって算出された評価候補ごとおよび因果関係の方向ごとに算出された複数の妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標として判定する

ことを特徴とする因果関係評価装置。

【請求項 2】

前記指標算出部は、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の近似的な独立性の判定として、任意に選択した複数の非線形関数を用いて相関係数を算出し、相関係数が 0 である確率を導出することを特徴とする請求項 1 記載の因果関係評価装置。

【請求項 3】

対象設備に行われた作業に関する作業報告書の文章から単語を抽出し、因果関係が推定される単語同士を評価候補とともに、前記対象設備において観測された観測データのうち、抽出した単語に対応する観測データを抽出する第 1 のデータ抽出部と、

前記第 1 のデータ抽出部によって評価候補とされなかった単語群のうち、対応する観測データ間に相関関係がある単語同士を評価候補とする第 2 のデータ抽出部と、

前記第 1 のデータ抽出部と前記第 2 のデータ抽出部とによって評価候補とされた単語同士のペアと単語同士のそれぞれに対応する観測データとが対応付けられた複数の評価用データを記憶するデータ記憶部と、

前記データ記憶部に記憶された複数の評価用データを評価候補ごとに入力し、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標である妥当性指標を因果関係の方向ごとに算出する因果方向評価部と、

前記因果方向評価部によって評価候補ごとに算出された因果関係の方向ごとの妥当性指標に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を判定する妥当性判定部と

を備え、

前記因果方向評価部は、

評価候補である単語同士のそれぞれに対応する観測データについて双方向に回帰評価を行う双方向回帰評価部と、

前記双方向回帰評価部によって回帰の方向ごとに算出された回帰誤差と観測データとの関係性に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの因果関係の方向を判定する因果方向判定部と、

前記因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する指標算出部とを備え、

前記指標算出部は、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の近似的な独立性の判定をそれぞれ複数回行って累積された判定結果に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の独立性を示す確率的な指標である確率指標の値を回帰の方向ごとに算出し、

前記因果方向判定部は、前記指標算出部によって回帰の方向ごとに算出された確率指標に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データ間の因果関係の方向を判定し、

前記指標算出部は、回帰の方向ごとの確率指標の値を用いて、前記因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出し、

前記妥当性判定部は、前記因果方向評価部によって算出された評価候補ごとおよび因果

10

20

30

40

50

関係の方向ごとに算出された複数の妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標として判定する

ことを特徴とする因果関係評価システム。

【請求項 4】

因果方向評価部が、対象設備において観測された観測データと因果関係が推定される単語同士のペアである評価候補とが対応付けられた複数の評価用データを評価候補ごとに入力し、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標である妥当性指標を因果関係の方向ごとに算出するステップと、

妥当性判定部が、前記因果方向評価部によって評価候補ごとに算出された因果関係の方向ごとの妥当性指標に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を判定するステップと

を備え、

前記因果方向評価部の双方向回帰評価部が、評価候補である単語同士のそれぞれに対応する観測データについて双方向に回帰評価を行い、

前記因果方向評価部の因果方向判定部が、前記双方向回帰評価部によって回帰の方向ごとに算出された回帰誤差と観測データとの関係性に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの因果関係の方向を判定し、

前記因果方向評価部の指標算出部が、前記因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出し、

前記指標算出部が、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の近似的な独立性の判定をそれぞれ複数回行って累積された判定結果に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の独立性を示す確率的な指標である確率指標の値を回帰の方向ごとに算出し、

前記因果方向判定部が、前記指標算出部によって回帰の方向ごとに算出された確率指標に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データ間の因果関係の方向を判定し、

前記指標算出部が、回帰の方向ごとの確率指標の値を用いて、前記因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出し、

前記妥当性判定部が、前記因果方向評価部によって算出された評価候補ごとおよび因果関係の方向ごとに算出された複数の妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標として判定する

ことを特徴とする因果関係評価方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

この発明は、設備の故障または障害に関する因果関係の妥当性を評価する因果関係評価装置、因果関係評価システムおよび因果関係評価方法に関する。

【背景技術】

【0002】

設備の故障または障害に関する因果関係に基づいて、設備から得られた観測データから故障または障害の兆候を判断する研究が盛んに行われている。

設備から得られた観測データのみに基づいて、設備の故障または障害に関する因果関係を推定することは難しく、一般に、設備の故障または障害が発生したときの観測データの相関関係が確認できる程度であった。

これに対し、特許文献1には、設備から得られた観測データのみに基づいて、品質劣化の因果関係を推定する装置が記載されている。

【0003】

特許文献1に記載の装置では、設備から得られた観測値が品質閾値よりも劣化した場合

10

20

30

40

50

および観測値の時系列変化を検出した場合を品質劣化発生として検出し、品質劣化が発生したときの観測値との相関係数が閾値を上回る観測値群を相関クラスタとして抽出する。

上記装置は、相関クラスタにおける観測値のペアに対して互いに回帰分析残差の独立性検定を行い、回帰分析残差が独立となる回帰を因果関係であると推定し、この因果関係の最も上位に推論された観測値を、品質劣化の要因として推定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2014-49921号公報

【発明の概要】

10

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1に記載される装置は、前述したように観測値のペアに対して互いの統計的な独立性を判定している。

しかしながら、統計的な独立性を厳密に判定するためには、無限に存在する非線形関数のそれぞれにおいて独立の妥当性を示す指標が成立することを示す必要があり、現実的な時間内で判定することはできない。

このため、従来では、経験上選択した特定の非線形関数を使用して観測データ間の統計的な独立性を判定しており、近似的な因果関係は評価できるが、高精度に因果関係を評価できないという課題があった。

例えは、特許文献1では、非線形関数の1つであるシグモイド関数を用いた非線形回帰分析を行って因果関係を推定している。

20

【0006】

この発明は上記課題を解決するもので、実時間でかつ高精度に因果関係を評価することができる因果関係評価装置、因果関係評価システムおよび因果関係評価方法を得ることを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この発明に係る因果関係評価装置は、因果方向評価部と妥当性判定部とを備える。因果方向評価部は、対象設備において観測された観測データと因果関係が推定される単語同士のペアである評価候補とが対応付けられた複数の評価用データを評価候補ごとに入力し、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標である妥当性指標を因果関係の方向ごとに算出する。妥当性判定部は、因果方向評価部によって評価候補ごとに算出された因果関係の方向ごとの妥当性指標に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を判定する。

因果方向評価部は、双方向回帰評価部と、因果方向判定部と、指標算出部とを備える。双方向回帰評価部は、評価候補である単語同士のそれぞれに対応する観測データについて双方向に回帰評価を行う。因果方向判定部は、双

30

方向回帰評価部によって回帰の方向ごとに算出された回帰誤差と観測データとの関係性に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの因果関係の方向を判定する。指標算出部は、因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する。指標算出部は、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の近似的な独立性の判定をそれぞれ複数回行って累積された判定結果に基づいて

40

、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データの相互の独立性を示す確率的な指標である確率指標の値を回帰の方向ごとに算出する。因果方向判定部は、指標算出部によ

つて回帰の方向ごとに算出された確率指標に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データ間の因果関係の方向を判定する。指標算出部は、回帰の方向ごとの確

率指標の値を用いて、因果方向判定部によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する。妥当性判定部は、因果方向評価部によって算出された評価候補ごと

50

および因果関係の方向ごとに算出された複数の妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、

因果関係の方向および妥当性指標として判定する。

【発明の効果】

【0008】

この発明によれば、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標を使用することで、実時間で因果関係の妥当性を判定でき、かつ高精度に因果関係を評価することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】この発明の実施の形態1に係る因果関係評価システムの構成例を示すブロック図である。

【図2】実施の形態1に係る因果関係評価装置の構成例を示すブロック図である。

10

【図3】図3Aは、単語因果関係データベースのデータ項目の例を示す図である。図3Bは、作業報告書データベースのデータ項目の例を示す図である。図3Cは、観測データベースのデータ項目の例を示す図である。図3Dは、評価用データバッファのデータ項目の例を示す図である。

【図4】図4Aは、実施の形態1に係る因果関係評価システムの機能を実現するハードウェア構成を示すブロック図である。図4Bは、実施の形態1に係る因果関係評価システムの機能を実現するソフトウェアを実行するハードウェア構成を示すブロック図である。

【図5】実施の形態1に係る因果関係評価システムの動作を示すフローチャートである。

【図6】第1のデータ抽出部の動作例を示すフローチャートである。

【図7】第2のデータ抽出部の動作例を示すフローチャートである。

20

【図8】双方向回帰評価部の動作例を示すフローチャートである。

【図9】因果方向判定部の動作例を示すフローチャートである。

【図10】指標算出部の動作例を示すフローチャートである。

【図11】妥当性判定部の動作例を示すフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、この発明をより詳細に説明するため、この発明を実施するための形態について、添付の図面に従って説明する。

実施の形態1.

図1は、この発明の実施の形態1に係る因果関係評価システム1の構成例を示すブロック図である。因果関係評価システム1は、図1に示すように、単語因果関係データベース(以下、DBと記載する)2、作業報告書DB3、および観測データDB4のそれぞれに登録されたデータを入力し、単語基準の因果関係情報を出力する。

30

単語基準の因果関係情報は、対象設備に発生した事象の因果関係を単語基準で示す情報であって、対象設備に行われた作業に関する作業報告書の文章から抽出された単語同士の因果関係を示している。単語基準の因果関係情報には、例えば、対象設備に発生した事象の原因事象に関連した単語である原因単語と、結果事象に関連した単語である結果単語とが含まれる。

【0011】

因果関係評価システム1は、第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6、評価用データバッファ7、因果方向評価部8および妥当性判定部9を備える。

40

図2は、実施の形態1に係る因果関係評価装置10の構成例を示すブロック図である。

因果関係評価装置10は、例えば、図2に示すように、因果方向評価部8および妥当性判定部9を備える。因果方向評価部8は、双方向回帰評価部80、因果方向判定部81および指標算出部82を備える。

【0012】

単語因果関係DB2には、因果関係のある単語同士のペアが複数登録されている。

図3Aは、単語因果関係DB2のデータ項目の例を示す図である。図3Aに示した単語因果関係DB2には、例えば、項目“原因単語”、項目“結果単語”および項目“妥当性指標”が設けられ、各項目に対応するデータが登録される。項目“原因単語”には原因単

50

語が登録され、項目“結果単語”には結果単語が登録される。項目“妥当性指標”には、妥当性指標の値が登録される。妥当性指標とは、原因単語と結果単語との因果関係の妥当性を示す確率的な指標であり、原因から結果に向かう因果関係の方向の妥当性を示す確率的な値である。単語因果関係DB2には、因果関係があることが分かっているデータが登録される。例えば、単語因果関係DB2には、妥当性指標の値が閾値以上である原因単語と結果単語が登録される。

【0013】

作業報告書DB3には、対象設備に行われた作業に関する作業報告書情報が登録されている。図3Bは、作業報告書DB3のデータ項目の例を示す図である。図3Bに示した作業報告書DB3には、例えば、項目“報告書ID”、項目“報告日時”、および項目“報告文章”が設けられ、各項目に対応するデータが登録される。項目“報告書ID”には、作業報告書ごとに付与された識別情報である報告書IDが登録され、項目“報告日時”には、作業報告書に関する作業が行われた日時が登録される。項目“報告文章”には、作業報告書の文書データが登録される。

10

【0014】

観測データDB4には、対象設備において観測された観測データが登録される。図3Cは、観測データDB4のデータ項目の例を示す図である。図3Cに示した観測データDB4には、例えば、項目“観測日時”、項目“観測項目”および項目“時系列データ”が設けられ、各項目に対応するデータが登録される。項目“観測日時”には、観測データが観測された日時が登録され、項目“観測項目”には、作業項目のうち、観測データが得られた作業項目が登録される。項目“時系列データ”には、対象設備に行われた作業によって時系列に観測された複数のデータで構成されたデータ系列が登録される。このデータ系列が観測データであり、以降では、時系列データと記載する。項目“時系列データ”には、観測条件によって不定個数のデータが登録される可能性がある。

20

【0015】

第1のデータ抽出部5は、対象設備に行われた作業に関する作業報告書の文章から単語を順次抽出し、対象設備において観測された時系列データのうち、抽出した単語群のそれに対応する時系列データを抽出する。さらに、第1のデータ抽出部5は、抽出した単語群のうち、因果関係が推定される単語同士を評価候補とする。

30

例えば、第1のデータ抽出部5は、作業報告書DB3の項目“報告文章”に登録されている文章データから単語を抽出し、作業報告書の文章解釈によって単語同士の因果関係を推定する。第1のデータ抽出部5は、作業報告書DB3の項目“報告日時”に登録された報告日時のうち、単語を抽出した作業報告書の報告日時に応する観測日時に観測された時系列データを観測データDB4から抽出して単語に対応付ける。

さらに、第1のデータ抽出部5は、単語因果関係DB2に登録された、因果関係のある単語同士を評価候補とする。

【0016】

第2のデータ抽出部6は、第1のデータ抽出部5によって評価候補とされなかった単語群のうち、対応する時系列データ間に相関関係がある単語同士を評価候補とする。

40

例えば、第2のデータ抽出部6は、評価候補とされなかった単語群のうちから、任意の単語同士のペアを抽出して、抽出したペアの単語同士のそれぞれに対応する時系列データの間に高頻度で共通して発生するデータ特徴（例えば、特定の時系列データ波形）があるか否かを判定する。共通のデータ特徴があると判定すると、第2のデータ抽出部6は、判定対象の時系列データのそれぞれに対応する単語同士を評価候補とする。

【0017】

評価用データバッファ7は、第1のデータ抽出部5と第2のデータ抽出部6とによって評価候補とされた単語同士のペアと単語同士のそれぞれに対応する時系列データとが対応付けられた複数の評価用データを記憶するデータ記憶部である。

図3Dは、評価用データバッファ7のデータ項目の例を示す図である。図3Dに示した評価用データバッファ7には、例えば、項目“評価候補単語1”、項目“単語1関連デー

50

タ”、項目“評価候補単語2”および項目“単語2関連データ”が設けられ、各項目に対応するデータが登録される。項目“評価候補単語1”には、評価候補の単語ペアのうちの一方が登録され、項目“単語1関連データ”には、項目“評価候補単語1”に登録された単語に対応する時系列データが登録される。項目“評価候補単語2”には、上記評価候補の単語ペアのうちの他方が登録され、項目“単語2関連データ”には、項目“評価候補単語2”に登録された単語に対応する時系列データが登録される。なお、項目“単語1関連データ”および項目“単語2関連データ”には、不定個数のデータが登録される可能性がある。

【0018】

因果方向評価部8は、評価用データバッファ7に記憶された複数の評価用データを評価候補ごとに取得して、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標である妥当性指標の値を因果関係の方向ごとに算出する。 10

双方向回帰評価部80は、評価候補である単語同士のそれぞれに対応する時系列データについて双方向に回帰評価を行う。例えば、双方向回帰評価部80は、評価用データバッファ7の項目“単語1関連データ”に登録された時系列データを説明変数とし、項目“単語2関連データ”に登録された時系列データを目的変数として回帰評価を行う。次に、双方向回帰評価部80は、項目“単語2関連データ”に登録された時系列データを説明変数とし、項目“単語1関連データ”に登録された時系列データを目的変数として回帰評価を行う。これらの回帰評価によって回帰関数と回帰誤差とが回帰の方向ごとに算出される。

【0019】

因果方向判定部81は、双方向回帰評価部80によって回帰の方向ごとに算出された回帰誤差と時系列データとの関係性に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する時系列データの因果関係の方向を判定する。 20

例えば、因果方向判定部81は、双方向回帰評価部80によって回帰の方向ごとに算出された回帰誤差と時系列データを、指標算出部82から入力し、指標算出部82によって算出された確率指標の値に基づいて、回帰誤差と時系列データとの関連性を評価する。上記確率指標は、回帰誤差と時系列データとの独立性を示す確率的な指標である。因果方向判定部81は、このように評価した関連性に基づいて、時系列データの因果関係の方向を判定する。

【0020】

指標算出部82は、因果方向判定部81によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する。例えば、指標算出部82は、回帰の方向ごとの回帰誤差と説明変数とされた時系列データとの統計的な独立性の判定を複数回行って累積された判定結果に基づいて、上記確率指標の値を回帰の方向ごとに算出する。次に、指標算出部82は、回帰の方向ごとに算出した上記確率指標の値を用いて、因果方向判定部81によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する。 30

なお、回帰誤差と説明変数とされた時系列データとの独立性を示す上記確率的な指標を用いて妥当性指標を算出する場合を示したが、これに限定されるものではない。

すなわち、妥当性指標は、評価候補である単語同士の因果関係の妥当性を示す確率的な指標であればよい。妥当性指標が確率的な指標であるため、妥当性指標を用いて単語同士の因果関係の妥当性を定量的に評価することができる。 40

【0021】

妥当性判定部9は、因果方向評価部8によって算出された評価候補ごとの妥当性指標に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を判定する。例えば、妥当性判定部9は、因果方向評価部8によって評価候補ごとに算出された複数の妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値を、因果関係を示す情報として妥当であると判定し、単語基準の因果関係情報に採用する。

【0022】

図4Aは、因果関係評価システム1の機能を実現するハードウェア構成を示すプロック

50

図である。DB100、DB出入力インターフェース101、情報入力インターフェース102、情報出力インターフェース103および処理回路104は、バスによって互いに接続されている。図4Bは、因果関係評価システム1の機能を実現するソフトウェアを実行するハードウェア構成を示すブロック図である。DB100、DB出入力インターフェース101、情報入力インターフェース102、情報出力インターフェース103、プロセッサ105およびメモリ106は、バスによって互いに接続されている。

【0023】

単語因果関係DB2、作業報告書DB3および観測データDB4は、図4Aと図4Bに示すDB100である。単語因果関係DB2、作業報告書DB3および観測データDB4のそれぞれに記憶された情報は、DB出入力インターフェース101を通して第1のデータ抽出部5および第2のデータ抽出部6に入力される。

10

【0024】

第1のデータ抽出部5および第2のデータ抽出部6によって評価候補とされた単語ペアとこれらの単語のそれぞれに対応する時系列データは、情報入力インターフェース102を通して評価用データバッファ7に入力されて記憶される。

また、妥当性判定部9によって因果関係を示す情報として妥当であると判定された評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値は、情報出力インターフェース103を通して因果関係評価装置10から出力される。

評価用データバッファ7は、DB100を有する記憶装置に設けてもよいが、図4Aに示す処理回路104の内部メモリに設けてもよく、図4Bに示すメモリ106に設けてもよい。

20

【0025】

因果関係評価システム1における第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6、評価用データバッファ7、因果方向評価部8および妥当性判定部9の各機能は、処理回路により実現される。すなわち、因果関係評価システム1は、図5に示すステップST1からステップST7までの処理を実行するための処理回路を備える。処理回路は、専用のハードウェアであっても、メモリに記憶されたプログラムを実行するCPU(Central Processing Unit)であってもよい。

【0026】

処理回路が図4Aに示す専用のハードウェアである場合、処理回路104は、例えば、単一回路、複合回路、プログラム化したプロセッサ、並列プログラム化したプロセッサ、ASIC(Application Specific Integrated Circuit)、FPGA(Field-Programmable Gate Array)またはこれらを組み合わせたものが該当する。第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6、評価用データバッファ7、因果方向評価部8および妥当性判定部9のそれぞれの機能を別々の処理回路で実現してもよいし、これらの機能をまとめて1つの処理回路で実現してもよい。

30

【0027】

処理回路が図4Bに示すプロセッサ105である場合に、第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6、評価用データバッファ7、因果方向評価部8および妥当性判定部9の各機能は、ソフトウェア、ファームウェアまたはソフトウェアとファームウェアとの組み合わせによって実現される。ソフトウェアまたはファームウェアはプログラムとして記述され、メモリ106に記憶される。

40

プロセッサ105は、メモリ106に記憶されたプログラムを読み出して実行することにより各部の機能を実現する。すなわち、因果関係評価システム1は、プロセッサ105により実行されるとき、図5に示すステップST1からステップST7までの処理が結果的に実行されるプログラムを記憶するためのメモリ106を備える。

これらのプログラムは、第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6、評価用データバッファ7、因果方向評価部8および妥当性判定部9の手順または方法をコンピュータに実行させるものである。

50

【0028】

メモリ106には、例えば、RAM(Random Access Memory)、ROM(Read Only Memory)、フラッシュメモリ、EPROM(Erasable Programmable Read Only Memory)、EEPROM(Electrically - EEPROM)などの不揮発性または揮発性の半導体メモリ、磁気ディスク、フレキシブルディスク、光ディスク、コンパクトディスク、ミニディスク、DVDなどが該当する。

【0029】

なお、第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6、評価用データバッファ7、因果方向評価部8および妥当性判定部9の各機能について、一部を専用のハードウェアで実現し、一部をソフトウェアまたはファームウェアで実現してもよい。

例えば、第1のデータ抽出部5、第2のデータ抽出部6および評価用データバッファ7については専用のハードウェアとしての処理回路でその機能を実現し、因果方向評価部8および妥当性判定部9については、プロセッサ105がメモリ106に記憶されたプログラムを読み出して実行することによってその機能を実現してもよい。

このように、処理回路は、ハードウェア、ソフトウェア、ファームウェアまたはこれらの組み合わせによって上記機能のそれぞれを実現することができる。

【0030】

次に動作について説明する。

図5は、実施の形態1に係る因果関係評価システム1の動作を示すフローチャートであり、評価候補の抽出から因果関係情報が出力されるまでの一連の処理を示している。

まず、第1のデータ抽出部5が、作業報告書DB3に登録された作業報告書の文章から単語を抽出し、抽出した単語に対応する時系列データを観測データDB4から抽出する(ステップST1)。この後、第1のデータ抽出部5は、作業報告書の文章解釈によって単語同士の因果関係を推定し、因果関係が推定される単語同士を評価候補とする。

さらに、第1のデータ抽出部5は、単語因果関係DB2に登録されている、因果関係がある単語同士を評価候補とする。

第1のデータ抽出部5は、前述したように単語因果関係DB2および作業報告書DB3から抽出した単語とこれに対応する時系列データとを第2のデータ抽出部6に出力する。

【0031】

次に、第2のデータ抽出部6は、第1のデータ抽出部5から単語およびこれに対応する時系列データを入力すると、ステップST1において評価候補とされなかった単語群のうち、時系列データ間に相関関係がある単語同士を評価候補とする(ステップST2)。

例えば、第2のデータ抽出部6は、評価候補とされなかった単語群のうちから、任意の単語同士のペアを抽出し、抽出したペアの単語同士のそれぞれに対応する時系列データに高頻度で共通して発生するデータ特徴があるか否かを判定する。データ特徴があると判定した場合、第2のデータ抽出部6は、判定対象の時系列データのそれぞれに対応する単語同士を評価候補とする。

第2のデータ抽出部6は、ステップST1およびステップST2において評価候補とされた単語同士のペアと単語同士のそれぞれに対応する観測データとが対応付けられた複数の評価用データを評価用データバッファ7に記憶する(ステップST3)。

【0032】

次に評価候補ごとのループ処理に移行する。

双方向回帰評価部80は、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する時系列データについて双方向の回帰評価を行う(ステップST4)。

因果方向判定部81は、回帰の方向ごとの回帰誤差と説明変数とされた時系列データとの関連性に基づいて、時系列データの因果関係の方向を判定する(ステップST5)。

この後、指標算出部82は、判定結果の因果関係の方向に応じて、単語間の因果関係の妥当性指標を算出する(ステップST6)。

ステップST4からステップST6までのループ処理は、評価候補ごとに実行される。

10

20

30

40

50

【0033】

妥当性判定部9は、因果方向評価部8によって算出された評価候補ごと妥当性指標の値に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値を判定する(ステップST7)。

例えば、妥当性判定部9は、因果関係情報として妥当と判定した、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値を採用して単語基準の因果関係情報を更新し、妥当でないと判定した評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値を不採用とする。

なお、図5のステップST4からステップST7までが、実施の形態1に係る因果関係評価方法に相当する。

【0034】

10

次に、各構成要素の詳細な動作について説明する。

図6は、第1のデータ抽出部5の動作例を示すフローチャートであり、図5のステップST1の詳細な処理を示している。

第1のデータ抽出部5は、作業報告書DB3に登録された作業報告書ごと、すなわち、作業報告書DB3のレコードWRごとに下記の処理を実行する。

まず、第1のデータ抽出部5は、レコードWRにおける項目“報告文書”に登録された文章データから単語を抽出する(ステップST1a)。

第1のデータ抽出部5は、項目“報告文書”に登録された上記文章データの文章解釈によって因果関係が推定される単語同士を評価候補とする(ステップST2a)。

次に、第1のデータ抽出部5は、レコードWRにおける項目“報告日時”に登録された日時に対応する、観測データDB4の時系列データを抽出する(ステップST3a)。

この後、第1のデータ抽出部5は、抽出した単語と時系列データとを対応付けたデータを作成する(ステップST4a)。ステップST1aからステップST4aまでの処理が作業報告書DB3のレコードWRごとに実行される。

【0035】

レコードWRごとの処理が完了すると、第1のデータ抽出部5は、単語因果関係DB2に登録された、因果関係のある単語同士(原因単語および結果単語)を評価候補とする(ステップST5a)。第1のデータ抽出部5は、作業報告書DB3から抽出した単語群およびこれらのそれぞれに対応する時系列データと、単語因果関係DB2から抽出した評価候補の単語ペアとを、第2のデータ抽出部6に出力する。

30

【0036】

図7は、第2のデータ抽出部6の動作例を示すフローチャートであり、図5のステップST2およびステップST3の詳細な処理を示している。

第2のデータ抽出部6は、評価候補でない単語の組み合わせwa, wbごとに、下記の処理を実行する。

第2のデータ抽出部6は、第1のデータ抽出部5によって評価候補とされなかった単語群のうちから、単語waに対応する時系列データDaと、単語wbに対応する時系列データDbとを抽出する(ステップST1b)。

続いて、第2のデータ抽出部6は、時系列データDaと時系列データDbとの相関関係を判定する(ステップST2b)。具体的には、第2のデータ抽出部6は、時系列データDaと時系列データDbとの相関係数を算出し、相関係数が閾値(例えば、0.8)以上となる場合に相関関係があると判定する。また、第2のデータ抽出部6は、時系列データDaと時系列データDbとの間に高頻度で共通して発生するデータ特徴(例えば、特定の時系列データ波形)を探査し、このデータ特徴がある場合に相関関係があると判定する。高頻度の条件は、例えば、単語waと単語wbとがともに文章データに発生する事例において、時系列データDaと時系列データDbとの間のデータ特徴が共通である頻度が80%以上である場合が挙げられる。

40

第2のデータ抽出部6は、時系列データDaと時系列データDbとに相関関係があると判定すると、単語waと単語wbとのペアを評価候補とする(ステップST3b)。

ステップST1bからステップST3bまでの処理が評価候補でない単語の組み合わせ

50

w_a , w_b ごとに実行される。

【0037】

単語の組み合わせ w_a , w_b ごとの処理が完了すると、第2のデータ抽出部6は、評価候補とされた単語同士とこれらに対応する時系列データとを、評価用データバッファ7に記憶する(ステップST4b)。例えば、評価候補の単語ペアにおける単語 w_a が、項目“評価候補単語1”に登録され、項目“単語1関連データ”に時系列データ D_a が登録される。項目“評価候補単語2”には、単語 w_b が登録され、項目“単語2関連データ”に時系列データ D_b が登録される。

【0038】

次に、因果方向評価部8による処理の詳細について説明する。

10

図8は双方向回帰評価部80の動作例を示すフローチャートであり、図5のステップST4の詳細な処理を示している。ここでは、評価用データバッファ7の項目“評価候補単語1”に単語 w_A 、項目“単語1関連データ”に時系列データ D_A 、項目“評価候補単語2”に単語 w_B 、項目“単語2関連データ”に時系列データ D_B がそれぞれ登録されているものとする。

【0039】

双方向回帰評価部80は、単語 w_A に対応する時系列データ D_A と、単語 w_B に対応する時系列データ D_B とを、評価用データバッファ7から抽出する(ステップST1c)。

次に、双方向回帰評価部80は、説明変数を時系列データ D_A とし、目的変数を時系列データ D_B とした回帰関数 $D_B = R_{BA}(D_A)$ を求め、回帰誤差 $E_{BA} = D_B - R_{BA}(D_A)$ を算出する(ステップST2c)。

20

さらに、双方向回帰評価部80は、説明変数を時系列データ D_B とし、目的変数を時系列データ D_A とした回帰関数 $D_A = R_{AB}(D_B)$ を求めて、回帰誤差 $E_{AB} = D_A - R_{AB}(D_B)$ を算出する(ステップST3c)。

【0040】

図9は因果方向判定部81の動作例を示すフローチャートであり、図5のステップST5の詳細な処理を示している。

まず、因果方向判定部81は、指標算出部82に指示して、確率指標 P_{BA} および確率指標 P_{AB} を算出させる。確率指標 P_{BA} は、時系列データ D_A と回帰誤差 E_{BA} とが独立であることの妥当性を示す確率的な指標である。また、確率指標 P_{AB} は、時系列データ D_B と回帰誤差 E_{AB} とが独立であることの妥当性を示す確率的な指標である。

30

因果方向判定部81は、指標算出部82によって算出された確率指標 P_{BA} と確率指標 P_{AB} とに基づいて、時系列データ D_A と時系列データ D_B との因果関係の方向を判定する(ステップST1d)。

【0041】

因果方向判定部81は、 $P_{BA} > P_{AB}$ であれば、因果関係の方向を $D_A \rightarrow D_B$ と判定し、 $P_{BA} < P_{AB}$ であれば、因果関係の方向を $D_A \leftarrow D_B$ と判定する(ステップST2d)。

因果関係の方向が $D_A \rightarrow D_B$ である場合、時系列データ D_A が原因データ、時系列データ D_B が結果データとなり、単語 w_A が原因単語、単語 w_B が結果単語となる。

40

反対に、因果関係の方向が $D_B \rightarrow D_A$ であれば、時系列データ D_B が原因データ、時系列データ D_A が結果データとなり、単語 w_B が原因単語、単語 w_A が結果単語となる。

【0042】

図5のステップST6において、指標算出部82は、因果関係の方向が $D_A \rightarrow D_B$ である場合、単語 w_A と単語 w_B における妥当性指標として、確率指標 P_{BA} から確率指標 P_{AB} を減算した値を出力する。

因果関係の方向が $D_B \rightarrow D_A$ であれば、指標算出部82は、単語 w_A と単語 w_B における妥当性指標として、確率指標 P_{AB} から確率指標 P_{BA} を減算した値を出力する。

双方向回帰評価部80、因果方向判定部81および指標算出部82は、前述した処理を評価候補ごとに実行する。これによって、評価候補ごとに因果関係の方向と妥当性指標が

50

得られる。

【0043】

なお、データ系列 $\{X_i\}$ とデータ系列 $\{Y_i\}$ が統計的に独立であることを判定するためには、非線形関数 F, G に対して、下記式(1)で表される非線形相関関数 $r = 0$ が成立することを示す必要がある。

しかしながら、データ系列 $\{X_i\}$ とデータ系列 $\{Y_i\}$ とが統計的に独立であることを厳密に判定するためには、無限に存在する全ての非線形関数に対して $r = 0$ が成立することを示す必要があり、現実的な時間内で判定することはできない。

なお、下記式(1)において、 $F(X_i)$ バーは $F(X_i)$ の平均値、 $G(Y_i)$ バーは $G(Y_i)$ の平均値である。

$$r = \frac{\sum_i \{F(X_i) - \bar{F}(X_i)\} \{G(Y_i) - \bar{G}(Y_i)\}}{\sqrt{\sum_i \{F(X_i) - \bar{F}(X_i)\}^2} \sqrt{\sum_i \{G(Y_i) - \bar{G}(Y_i)\}^2}} \quad (1)$$

【0044】

そこで、指標算出部82は、有限の個数の非線形関数を選択し、選択した非線形関数のそれぞれに対する評価結果を確率的に評価することによって、2つのデータ系列が独立であることの妥当性を示す確率指標を算出する。

図10は、指標算出部82の動作例を示すフローチャートであり、確率的な指標の算出方法の詳細を示している。

【0045】

まず、指標算出部82が、非線形関数 F, G の種類とパラメータとをランダムに選択する(ステップST1e)。非線形関数 F, G の種類としては、例えば、指数関数、べき乗関数、双曲線関数、ロジスティック関数、および任意の統計分布の累積確率密度関数などが挙げられる。なお、双曲線関数は下記式(2)で表され、ロジスティック関数は下記式(3)で表される。下記式(2)および下記式(3)において、 α, β, γ はパラメータである。

$$f(x) = \frac{e^{(\alpha x + \beta)} + e^{-(\alpha x + \beta)}}{2} \text{ および } f(x) = \frac{e^{(\alpha x + \beta)} - e^{-(\alpha x + \beta)}}{e^{(\alpha x + \beta)} + e^{-(\alpha x + \beta)}} \quad (2)$$

$$f(x) = \frac{\alpha}{1 + \left(\frac{\alpha}{\beta} - 1\right) e^{-\gamma x}} \quad (3)$$

【0046】

続いて、指標算出部82は、選択した非線形関数 F, G を用いて、上記式(1)に従い評価候補に対応するデータ系列の非線形相関関数 r を算出する(ステップST2e)。

評価候補に対応するデータ系列は、例えば、単語 w_A に対応する時系列データ D_A と、単語 w_B に対応する時系列データ D_B である。

【0047】

この後、指標算出部82は、非線形相関関数 r に対して、下記式(4)に示す相関検定指標 t が自由度 $n - 1$ の t 検定に従うか否かを検定(相関検定)し、相関係数が0である確率 p_1 を導出する(ステップST3e)。この確率 p_1 は検定の p 値であり、 p 値は、母相関係数が0である確率 P_s である。なお、下記式(4)において、 n は、データ系列 $\{X_i\}$ とデータ系列 $\{Y_i\}$ の長さである。

$$t = r \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}} \quad (4)$$

【0048】

ステップST1eからステップST3eまでの処理は、ループ変数 s が示す規定回数の

10

20

30

40

50

ループで繰り返し実行される。

このループ処理が完了すると、指標算出部82は、データ系列 $\{X_i\}$ とデータ系列 $\{Y_i\}$ とが独立であることの妥当性を示す確率指標 P として、 $P = 1 - s(1 - P_s)$ を算出する(ステップST4e)。上記式(4)において、 $s(1 - P_s)$ は、ループ変数 s の値ごとに $(1 - P_s)$ を積算することを示している。

【0049】

このように、指標算出部82は、2つの系統のデータの相互の独立性について、有限個の非線形関数を用いた近似的な判定を複数回(s回)実行し、判定結果の累積データから2つの系統のデータが相互に独立であることの妥当性を示す確率的な指標を算出する。

すなわち、指標算出部82は、単語 w_A に対応する時系列データ D_A と、単語 w_B に対応する時系列データ D_B とを、データ系列 $\{X_i\}$ およびデータ系列 $\{Y_i\}$ に当てはめて、前述した方法によって確率指標 P_{AB} と確率指標 P_{BA} を算出する。

これにより、実時間で因果関係の妥当性を判定でき、かつ高精度に因果関係を評価することができる。

【0050】

次に、妥当性判定部9による処理の詳細について説明する。

妥当性判定部9は、因果方向評価部8によって評価候補ごとおよび因果関係の方向ごとに算出された複数の妥当性指標から、これらの妥当性指標がとる値の範囲を特定する。

そして、妥当性判定部9は、特定した範囲から逸脱しない範囲内で妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値を、因果関係情報として妥当な情報であると判定する。

【0051】

図11は妥当性判定部9の動作例を示すフローチャートであり、図5のステップST7の詳細な処理を示している。

まず、妥当性判定部9は、評価候補に含まれる単語と、単語間の因果関係の方向ごとの妥当性指標の値とから、重み付き有向グラフを作成する(ステップST1f)。

例えば、妥当性判定部9は、原因単語と結果単語をそれぞれ“頂点”とし、“頂点”間を繋ぐ“辺”を設定し、“辺”に妥当性指標の値を重みとして設定した、因果関係の方向ごとの重み付き有向グラフを作成する。

【0052】

次に、妥当性判定部9は、ループが発生せず、妥当性指標が閾値(例えば0.5)以上であるという制限条件の下で、ノード当たり(“頂点”当たり)の妥当性指標の平均値が最大となるように、重み付き有向グラフの“辺”を削減する(ステップST2f)。

具体的には、妥当性判定部9が、ステップST1fにて作成した重み付き有向グラフにおいて、妥当性指標が閾値未満の“辺”を削除し、さらに、ループを構成している“辺”的うち、妥当性指標の値が最小の“辺”を順次削除する。

【0053】

この後、妥当性判定部9は、ステップST2fの処理を施した重み付き有向グラフにおける有効な“辺”に対応する評価候補とこの“辺”に設定された重みを、単語基準の因果関係情報の更新結果として出力する(ステップST3f)。

具体的には、妥当性判定部9が、ステップST2fの処理を施した重み付き有向グラフにおける“辺”を有効な“辺”と判断し、有効な“辺”に対応する評価候補、因果関係の方向、重みである妥当性指標の値を、因果関係情報として妥当な情報であると判定する。

続いて、妥当性判定部9は、判定結果の評価候補、因果関係の方向、および妥当性指標の値を、単語基準の因果関係情報に追加するか、もしくは既存の情報を更新する。

【0054】

以上のように、実施の形態1に係る因果関係評価装置10において、因果方向評価部8が、評価用データバッファ7から複数の評価用データを評価候補ごとに入力し、単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標である妥当性指標を因果関係の方向ごとに算出する。妥当性判定部9が、因果方向評価部8によって算出された評価候補ごとの妥当性指標に

10

20

30

40

50

基づいて、因果関係を示す情報として妥当な、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標を判定する。例えば、妥当性判定部 9 は、評価候補ごとに算出された妥当性指標の平均値が最大となる、評価候補、因果関係の方向および妥当性指標の値を、因果関係を示す情報として妥当と判定する。このように単語間の因果関係の妥当性を示す確率的な指標を使用することで、単語間の因果関係の妥当性を実時間で判定できかつ高精度に因果関係を評価することができる。

【 0 0 5 5 】

実施の形態 1 に係る因果関係評価装置 1 0 において、因果方向評価部 8 が、双方向回帰評価部 8 0 と、因果方向判定部 8 1 と、指標算出部 8 2 とを備える。

特に、指標算出部 8 2 が、回帰誤差と観測データとの統計的な独立性の判定を複数回行って累積された判定結果に基づいて、回帰誤差と観測データとの独立性を示す確率的な指標である確率指標の値を回帰の方向ごとに算出する。因果方向判定部 8 1 が、指標算出部 8 2 によって回帰の方向ごとに算出された確率指標の値に基づいて、評価候補の単語同士のそれぞれに対応する観測データ間の因果関係の方向を判定する。指標算出部 8 2 が、回帰の方向ごとの確率指標の値を用いて、因果方向判定部 8 1 によって判定された因果関係の方向に応じた妥当性指標の値を算出する。

このように構成することで、単語間の因果関係の妥当性を実時間で判定できかつ高精度に因果関係を評価することができる。

【 0 0 5 6 】

実施の形態 1 に係る因果関係評価システム 1 は、第 1 のデータ抽出部 5 、第 2 のデータ抽出部 6 、評価用データバッファ 7 、因果方向評価部 8 および妥当性判定部 9 を備える。

これらの構成を有することで、単語間の因果関係の妥当性を実時間で判定できかつ高精度に因果関係を評価することができるシステムを提供することができる。

【 0 0 5 7 】

実施の形態 1 に係る因果関係評価方法は、妥当性指標の値を因果関係の方向ごとに算出するステップと、評価候補ごとおよび因果関係の方向ごとの妥当性指標の値に基づいて、因果関係を示す情報として妥当な情報を判定するステップを備える。これにより、単語間の因果関係の妥当性を実時間で判定できかつ高精度に因果関係を評価することができる。

【 0 0 5 8 】

なお、本発明はその発明の範囲内において、実施の形態の任意の構成要素の変形、もしくは実施の形態の任意の構成要素の省略が可能である。

【 産業上の利用可能性 】

【 0 0 5 9 】

この発明に係る因果関係評価装置は、実時間でかつ高精度に因果関係を評価することができる所以、例えば、様々な機械システムの保守作業に好適である。

【 符号の説明 】

【 0 0 6 0 】

1 因果関係評価システム、2 単語因果関係 D B 、3 作業報告書 D B 、4 観測データ D B 、5 第 1 のデータ抽出部、6 第 2 のデータ抽出部、7 評価用データバッファ、8 因果方向評価部、9 妥当性判定部、10 因果関係評価装置、8 0 双方向回帰評価部、8 1 因果方向判定部、8 2 指標算出部、1 0 1 D B 入出力インターフェース、1 0 2 情報入力インターフェース、1 0 3 情報出力インターフェース、1 0 4 処理回路、1 0 5 プロセッサ、1 0 6 メモリ。

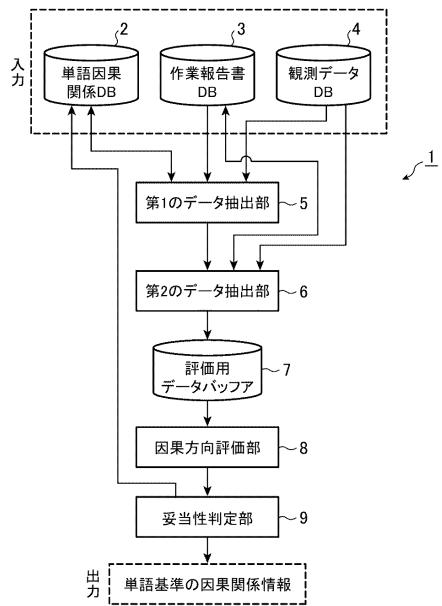
10

20

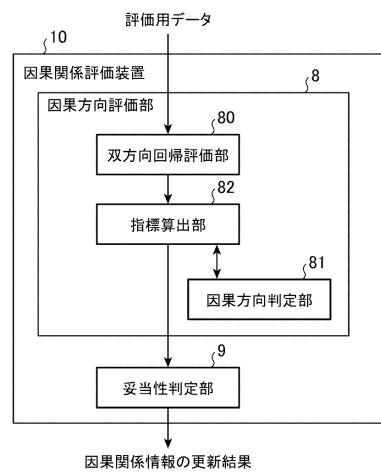
30

40

【図1】



【図2】



【図3】

原因単語	結果単語	妥当性指標

図3A

報告書ID	報告日時	報告文書

図3B

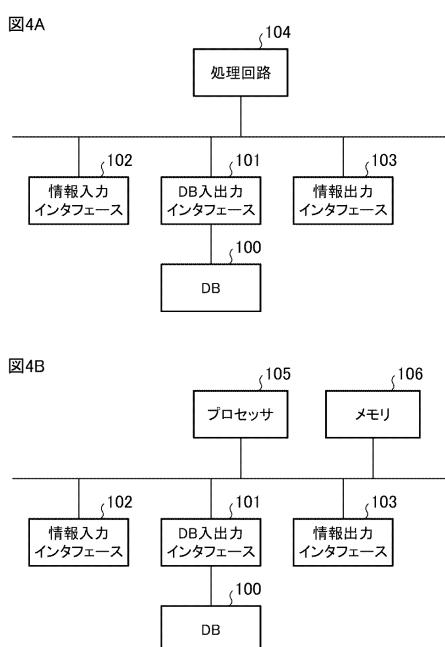
観測日時	観測項目	時系列データ

図3C

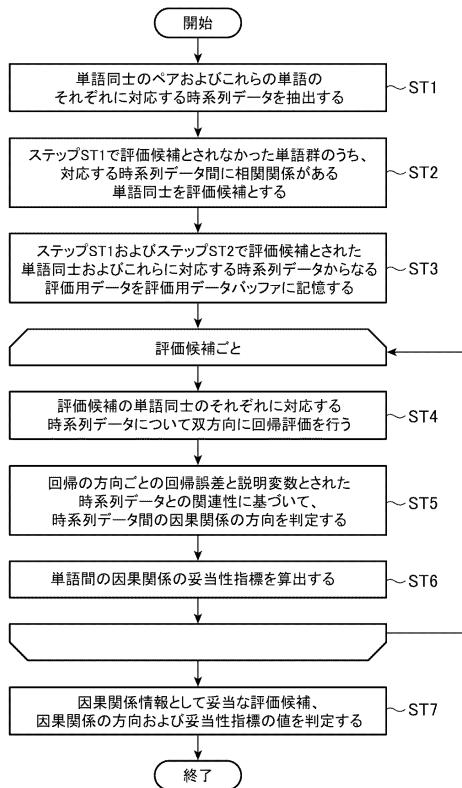
評価候補単語1	単語1関連データ	評価候補単語2	単語2関連データ

図3D

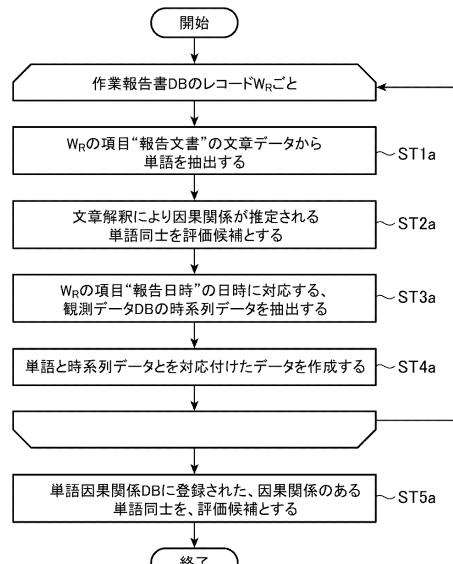
【図4】



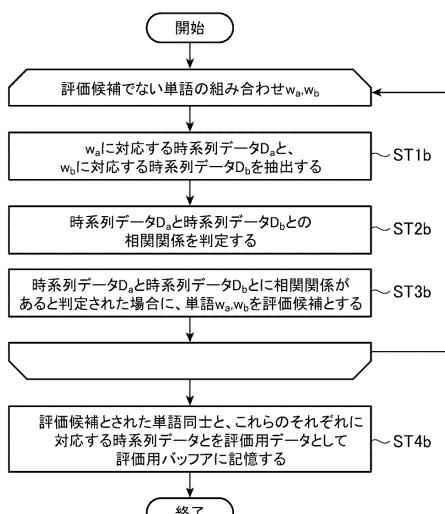
【図5】



【図6】



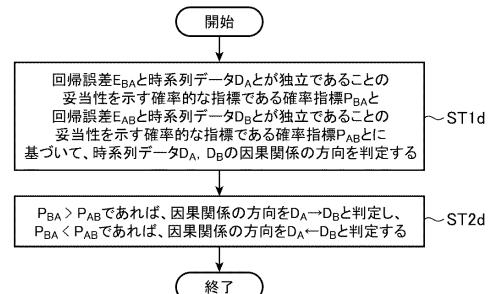
【図7】



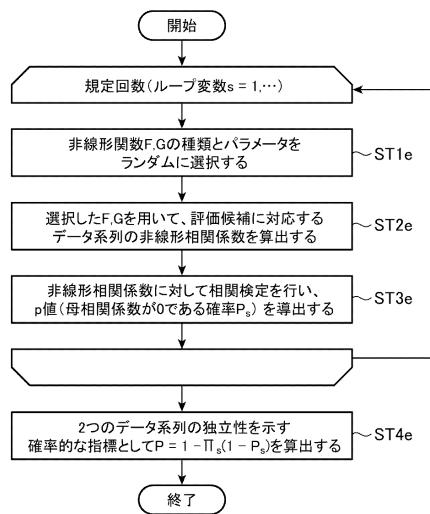
【図8】



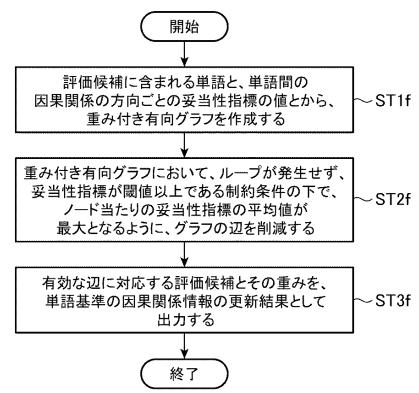
【図9】



【図10】



【図11】



フロントページの続き

(72)発明者 藤野 友也

東京都千代田区丸の内二丁目7番3号 三菱電機株式会社内

審査官 上田 威

(56)参考文献 特開2014-049921(JP, A)

特開2015-153133(JP, A)

特開2013-206016(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G06Q 10/00 - 99/00