(19)日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11)国際公開番号
WO2020/044415

発行日　令和3年8月10日(2021.8.10)

(43)国際公開日　令和2年3月5日(2020.3.5)

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード（参考）
G06N 5/04 (2006.01)	G06N 5/04	

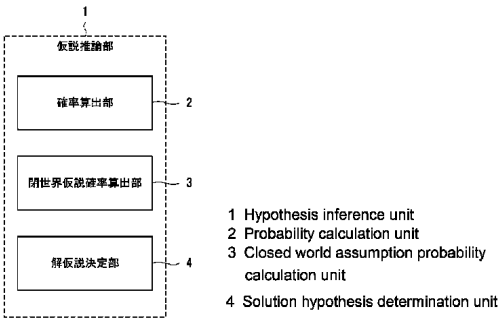
審査請求 有　予備審査請求 未請求　（全 30 頁）

出願番号　特願2020-539882(P2020-539882)	(71)出願人　000004237
(21)国際出願番号　PCT/JP2018/031624	日本電気株式会社
(22)国際出願日　平成30年8月27日(2018.8.27)	東京都港区芝五丁目７番１号
(81)指定国・地域　AP(BW,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SD,SE,SG,SK,SL,SM,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT	(74)代理人　110002044 特許業務法人ブライタス (72)発明者　山本　風人 東京都港区芝五丁目７番１号　日本電気株式会社内

(54)【発明の名称】仮説推論装置、仮説推論方法、及びプログラム

(57)【要約】

観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、候補仮説が観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出部２と、候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出部３と、確率値と閉世界仮説確率値とを用いて、候補仮説の中から観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、解仮説決定部４と、を有する仮説推論装置１である。



【特許請求の範囲】
【請求項１】
観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出手段と、
前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出手段と、
前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、解仮説決定手段と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【請求項２】
請求項１に記載の仮説推論装置であって
前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、候補仮説削除手段と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【請求項３】
請求項１又は２に記載の仮説推論装置であって
前記解仮説決定手段は、前記確率算出手段と、前記閉世界仮説確率算出手段とに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値を算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とする仮説推論装置。
【請求項４】
請求項３に記載の仮説推論装置であって
前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、出力情報生成手段と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【請求項５】
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【請求項６】
請求項５に記載の仮説推論方法であって、
（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【請求項７】
請求項５又は６に記載の仮説推論方法であって、
前記（ｃ）のステップにおいて、前記（ａ）及び前記（ｂ）のステップに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値とを算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とする仮説推論方法。
【請求項８】
請求項７に記載の仮説推論方法であって

（ｅ）前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、ステップ
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【請求項９】
コンピュータに、
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
【請求項１０】
請求項９に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記コンピュータは、
（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ
を実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
【請求項１１】
請求項９又は１０に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
前記（ｃ）のステップにおいて、前記（ａ）及び前記（ｂ）のステップに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値とを算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
【請求項１２】
請求項１１に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、
（ｅ）前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、ステップ
を実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、仮説推論を実行する仮説推論装置、仮説推論方法に関し、更には、これらを実現するためのプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体に関する。
【背景技術】
【０００２】
従来における、仮説推論処理によれば、まず、クエリ論理式と背景知識とを用いて、候補仮説の集合を生成する。クエリ論理式は、一階述語論理リテラルの連言である。また、一階述語論理リテラルとは、一階述語論理における原子論理式あるいはその否定である。背景知識は、推論ルールの集合である。推論ルールは、含意型の論理式である。
【０００３】
次に、そのような仮説推論処理においては、生成した集合の候補仮説それぞれに対して評価をする。そして、候補仮説に対する評価に基づいて、候補仮説の集合から、クエリ論理式に対する説明として、最も適切な候補仮説（解仮説）を選択する。

【０００４】
関連する技術として、非特許文献１に開示されている確率的仮説推論モデルは、解仮説に含まれる論理式のみに真偽値を割り当て、それ以外の論理式の真偽値は不明とするモデル（Least-specific model）が開示されている。
【０００５】
また、関連する技術として、非特許文献２には、エルブランの定理に基づき、背景知識からすべてのクエリ論理式に対して真偽値を割り当てるモデル（Most-specific model）が開示されている。例えば、すべてのクエリ論理式に、真偽値「Ｔｒｕｅ」又は「Ｆａｌｓｅ」を割り当てる。
【先行技術文献】
【非特許文献】
【０００６】
【非特許文献１】Naoya Inoue and Andrew S. Gordon. “A Scalable Weighted Max-SAT Implementation of Propositional Etcetera Abduction.” In Proceedings of the 30th International Florida Artificial Intelligence Research Society Conference (FLAIRS), pp.62-67,May 2017.
【非特許文献２】Rohit J. Kate and Raymond J. Mooney. “Probabilistic Abduction Using Markov Logic Networks.” In Proceedingsof IJCAI-09 Workshop on Plan, Activity, and Intent Recognition. 2009.
【発明の概要】
【発明が解決しようとする課題】
【０００７】
しかしながら、上述したような非特許文献１に開示されているモデル（Least-specific model）では、仮説推論処理の効率が高いが、真偽値を恣意的に不明にできてしまうため、期待する推論結果が得られない場合がある。すなわち、評価関数値を最大化するために、解仮説に含まれないクエリ論理式の真偽値はすべて「ｕｎｋｎｏｗｎ」に設定するので、不適切な推論結果を得ることになる。
【０００８】
また、非特許文献２に開示されているモデル（Most-specificmodel）では、すべてのクエリ論理式に対して何らかの真偽値が得られるが、エルブラン空間を構築する必要があるため、仮説推論処理の効率が低くなる場合がある。
【０００９】
本発明の目的の一例は、仮説推論処理の効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる仮説推論装置、仮説推論方法、及びコンピュータ読み取り可能な記録媒体を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【００１０】
上記目的を達成するため、本発明の一側面における仮説推論装置は、
観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出部と、
前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出部と、
前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、解仮説決定部と、
を有することを特徴とする。
【００１１】
また、上記目的を達成するため、本発明の一側面における仮説推論方法は、
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、

（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を有することを特徴とする。

【００１２】

更に、上記目的を達成するため、本発明の一側面におけるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体は、
コンピュータに、
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を実行させることを特徴とする。

【発明の効果】

【００１３】

以上のように本発明によれば、仮説推論処理の効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる。

【図面の簡単な説明】

【００１４】

【図１】図１は、仮説推論装置の一例を示す図である。
【図２】図２は、仮説推論装置を有するシステムの一例を示す図である。
【図３】図３は、候補仮説生成部の一例を示す図である。
【図４】図４は、仮説推論装置の動作の一例を示す図である。
【図５】図５は、クエリ論理式、背景知識の一例を示す図である。
【図６】図６は、候補仮説の一例を示す図である。
【図７】図７は、冗長な候補仮説を削除した候補仮説の一例を示す図である。
【図８】図８は、候補仮説のデータ構造の一例を示す図である。
【図９】図９は、仮説推論装置を実現するコンピュータの一例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【００１５】

（実施の形態）

以下、本発明の実施の形態について、図１から図９を参照しながら説明する。

【００１６】

［装置構成］

最初に、図１を用いて、本実施の形態における仮説推論装置１の構成について説明する。図１は、仮説推論装置１の一例を示す図である。

【００１７】

図１に示す仮説推論装置１は、処理効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる装置である。図１に示すように、仮説推論装置１は、確率算出部２と、閉世界仮説確率算出部３と、解仮説決定部４とを有する。

【００１８】

このうち、確率算出部２は、観測情報（クエリ論理式）と知識情報（背景知識）とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、候補仮説が観測情報に対する説明となる確率値を算出する。閉世界仮説確率算出部３は、候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった観測情報に対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する。解仮説決定部４は、確率値と閉世界仮説確率値とを用いて、候補仮説の中から観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する。

【００１９】
このように、本実施の形態においては、確率値と閉世界仮説確率値とを用いて、候補仮説の中から観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定できるので、仮説推論処理の効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる。
【００２０】
［システム構成］
続いて、図２を用いて、本実施の形態における仮説推論装置１の構成をより具体的に説明する。図２は、仮説推論装置を有するシステムの一例を示す図である。
【００２１】
図２に示すように、本実施の形態における仮説推論装置１は、確率算出部２、閉世界仮説確率算出部３、解仮説決定部４に加えて、候補仮説生成部５、候補仮説削除部６、出力情報生成部７を有する。また、仮説推論装置１を有するシステムは、出力装置８、記憶装置２０を有する。記憶装置２０は、仮説推論装置１の内部に設けてもよいし、外部に設けてもよい。
【００２２】
候補仮説生成部５は、クエリ論理式Ｄ１と、記憶装置２０に記憶されている背景知識Ｄ２とを取得し、候補仮説を生成する処理により、複数の候補仮説を有する候補仮説集合Ｄ３ａを生成する。また、候補仮説生成部５は、図３に示すように、推論ルール検索部３１、適用判定部３２、推論ルール適用部３３を有する。図３は、候補仮説生成部の一例を示す図である。
【００２３】
クエリ論理式Ｄ１は、一階述語論理リテラルの連言である。一階述語論理リテラルは、一階述語論理における原子論理式か、あるいはその否定である。
【００２４】
背景知識Ｄ２は、推論ルールの集合である。推論ルールは、含意型の論理式であって、式（１）に示す形式の論理式で表現される。
【００２５】
【数１】

$$P_1 \wedge P_2 \wedge \cdots \wedge P_N \Rightarrow Q_1 \wedge Q_2 \wedge \cdots \wedge Q_M \qquad (1)$$

P_i, Q_j ：一階述語論理リテラル

【００２６】
なお、推論ルールの前件に含まれる変数は、すべて全称限量されているものとし、推論ルールの後件のみに含まれる変数は、すべて存在限量されているものとする。以降、限量子が省略されている場合においても、そのような前提に基づいて変数それぞれは限量されているものとする。
【００２７】
また、前件が空、すなわち式（１）においてＮ＝０の場合も許容することとし、そのようなルールをファクトと呼び、無条件に後件が成り立つことを表す。以降、ファクトについては前件及び含意記号を省略するものとし、単に式（２）の形式の論理式で表現する。
【００２８】
【数２】

$$Q_1 \wedge Q_2 \wedge \cdots \wedge Q_M \qquad (2)$$

【００２９】
また、後件が偽であるような推論ルールも許容する。更に、推論ルールそれぞれには、

確率算出部２、閉世界仮説確率算出部３において確率計算に必要なパラメータが付与される。どのようなパラメータが付与されるかは、確率算出部２、閉世界仮説確率算出部３においてどのようなモデルを採用するかに依存する。具体的には、推論ルールには、そのルールが後ろ向きに成り立つ確率値（式（３）を参照）と、そのルールが前向きに成り立つ確率値（式（４）を参照）とが与えられる。

【００３０】

【数３】

$$p\left(\bigwedge_{i=1}^{N} P_i \,\middle|\, \bigwedge_{j=1}^{M} Q_j\right) \qquad (3)$$

【００３１】

【数４】

$$p\left(\bigwedge_{i=1}^{M} Q_i \,\middle|\, \bigwedge_{j=1}^{N} P_j\right) \qquad (4)$$

【００３２】

ただし、ファクト、後件が偽の推論ルールについては、後ろ向き推論に用いられることは無いため、後ろ向きに成り立つ確率は不要である。

【００３３】

候補仮説集合Ｄ３ａは、候補仮説生成部５によって出力される、候補仮説の集合である。候補仮説は、一階述語論理リテラルをノードとした有向非循環ハイパーグラフであり、ハイパーノード間を繋ぐエッジは「どのリテラルが、どのリテラルを、どの推論ルールを用いて説明しているか」という関係を表現する。エッジを向きに沿って辿ったときの終端ノードは、クエリ論理式Ｄ１に含まれる一階述語論理リテラルのいずれかに一致する。また、説明されていないノード、すなわちどのエッジの終点にも含まれないノードに対応する一階述語論理リテラルをそれぞれ要素仮説論理式と呼ぶ。

【００３４】

推論ルール検索部３１は、現在の候補仮説集合Ｄ３ａに対して、後ろ向きに適用可能な推論ルールを検索する処理である。具体的には、推論ルール検索部３１は、推論ルールの後件に含まれる一階述語論理リテラルについて、候補仮説に含まれる一階述語論理リテラルの連言と等価になるような変数代入の仕方が存在する推論ルールを検索する。例えば、候補仮説ｑ（Ａ）に対しては、推論ルールｐ（ｘ）⇒ｑ（ｘ）は、後ろ向きに適用可能であり、推論ルールｐ（ｘ）⇒ｒ（ｘ）は後ろ向きに適用可能でない。

【００３５】

適用判定部３２は、候補仮説を生成する処理の終了判定を行う。具体的には、適用判定部３２は、現在の候補仮説集合Ｄ３ａに対して、新たに適用できる推論ルールが存在しない場合には、候補仮説生成部５の処理を終了し、その時点までに生成した候補仮説を出力する。

【００３６】

推論ルール適用部３３は、推論ルール検索部３１で検索された推論ルールを候補仮説集合Ｄ３ａに適用し、新たな候補仮説を生成する処理である。具体的には、推論ルール適用部３３は、推論ルールｐ（ｘ）⇒ｑ（ｘ）を候補仮説ｑ（Ａ）に適用し、新たな候補仮説ｑ（Ａ）∧ｐ（Ａ）を生成する。

【００３７】

なお、候補仮説生成部５は、図３に示した処理により候補仮説集合Ｄ３ａを生成してもよいし、その他の方法を用いて候補仮説集合Ｄ３ａを生成してもよい。

【００３８】

候補仮説削除部６は、候補仮説集合Ｄ３ａから、最良仮説として冗長な候補仮説を削除する。具体的には、候補仮説削除部６は、候補仮説集合Ｄ３ａから、一つのクエリ論理式Ｄ１としか依存関係（確率的な依存関係）を持たない一階述語論理リテラルを有する候補

仮説を削除して、候補仮説集合Ｄ３ｂを生成する。

【００３９】

また、候補仮説削除部６は、一階述語論理リテラルの真偽値についても、ヒューリスティクスに基づいて何らかの値に定める。すなわち、仮説推論に関係するが、わざわざ考えるまでもない命題を除外する。例えば、クエリ論理式Ｄ１の説明にも寄与しない仮説推論、ファクトが別のファクトを説明するような仮説推論、クエリ論理式Ｄ１を説明していてもクエリ論理式Ｄ１、ファクトとの確率的な依存関係を持っていない仮説推論は除外してよい。

【００４０】

具体的には、候補仮説削除部６は、クエリ論理式Ｄ１から前向き推論により導かれる一階述語論理リテラルについては真偽値を「Ｔｒｕｅ」とする。逆に、候補仮説削除部６は、クエリ論理式Ｄ１から後ろ向き推論により導かれる一階述語論理リテラルについては真偽値を「Ｆａｌｓｅ」とする。

【００４１】

このように、候補仮説集合Ｄ３ｂに対して最良の真偽値割り当てを求めることで、クエリ論理式Ｄ１について、真偽値が「ｕｎｋｎｏｗｎ」とすることを許容しない。言い換えれば、エルブラン空間をより狭い空間（候補仮説集合Ｄ３ｂ）において、仮説推論処理を実行するので、エルブラン空間における仮説推論処理をする場合より、仮説推論処理の効率を低下しないようにできる。

【００４２】

確率算出部２は、候補仮説集合Ｄ３ｂから候補仮説を取得し、候補仮説それぞれについて、確率的仮説推論モデルに基づいて、候補仮説の蓋然性を表す実数値を出力する。具体的には、確率算出部２は、クエリ論理式Ｄ１と背景知識Ｄ２とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、候補仮説がクエリ論理式Ｄ１に対する説明となる確率値を算出する。

【００４３】

例えば、確率算出部２は、確率的仮説推論モデルを採用した場合、候補仮説において前件と後件の両方が含まれている推論ルールについて、推論ルールがすべて成立する同時確率を算出する。確率的仮説推論モデルは、例えば、Least-specific modelなどが考えられる。なお、確率算出部２は、確率値として任意の定義を採用してもよい。

【００４４】

閉世界仮説確率算出部３は、候補仮説集合Ｄ３ｂから候補仮説を取得し、候補仮説それぞれについて、確率算出部２において勘案されていない、閉世界仮説を仮定することにより新たに真偽値が定まる一階述語論理リテラルに対する蓋然性についての評価を行い、蓋然性を表す実数値を出力する。具体的には、閉世界仮説確率算出部３は、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する。

【００４５】

例えば、閉世界仮説確率算出部３は、確率的仮説推論モデルを採用した場合、候補仮説集合Ｄ３ｂには含まれるが、対象の候補仮説に含まれない一階述語論理リテラルの真偽値を偽であると定める。そして、閉世界仮説確率算出部３は、新たに成立の是非が定まった推論ルールを列挙し、その是非が成り立つ同時確率を計算する。

【００４６】

解仮説決定部４は、確率値と閉世界仮説確率値とが算出された候補仮説から、候補仮説が閉世界仮説のもとでクエリ論理式Ｄ１の説明としての蓋然性が最大となるような候補仮説を出力する。具体的には、解仮説決定部４は、確率値と閉世界仮説確率値とを用いて、候補仮説の中からクエリ論理式Ｄ１に対する最良の説明となる解仮説Ｄ４を決定する。

【００４７】

例えば、解仮説決定部４は、確率値と閉世界仮説確率値とを乗算した評価値が最大となる候補仮説を選択する。なお、解仮説は、整数線形計画問題、重み付き充足可能性問題など、何らかの組み合わせ最適化問題として定式化して、対応したソルバにより最適解を探

索することにより、得てもよい。

【００４８】

出力情報生成部７は、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽「Ｆａｌｓｅ」と定まった一階述語論理リテラル、又は、閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置８に出力するための出力情報を生成する。又は、出力情報生成部７は、クエリ論理式Ｄ１と、一階述語論理リテラル、候補仮説と、確率値と、閉世界仮説確率値と、解仮説Ｄ４とを用いて、出力装置８にグラフ構造を出力するためのグラフ構造情報を生成する。更に、出力情報生成部７は、出力情報とグラフ構造情報の両方を生成してもよい。その後、出力情報生成部７は、生成した出力情報、又はグラフ構造情報、又はそれら両方を出力装置８へ送信する。

【００４９】

出力装置８は、出力情報生成部７から出力可能な形式に変換された出力情報、又はグラフ構造情報、又はそれら両方を受信し、出力情報、又はグラフ構造情報、又はそれら両方に基づいて生成した画像及び音声などを出力する。出力装置８は、例えば、液晶、有機ＥＬ（Electro Luminescence）、ＣＲＴ（Cathode Ray Tube）を用いた画像表示装置、更にはスピーカなどの音声出力装置などを有している。なお、出力装置８は、プリンタなどの印刷装置でもよい。

【００５０】

［装置動作］

次に、本発明の実施の形態における仮説推論装置１の動作について図４、図５、図６、図７、図８を用いて説明する。図４は、仮説推論装置の動作の一例を示す図である。図５は、クエリ論理式、背景知識の一例を示す図である。図６は、候補仮説の一例を示す図である。図７は、冗長な候補仮説を削除した候補仮説の一例を示す図である。図８は、候補仮説のデータ構造の一例を示す図である。また、以下の説明においては、適宜図２から図８を参酌する。また、本実施の形態では、仮説推論装置１を動作させることによって、仮説推論方法が実施される。よって、本実施の形態における仮説推論方法の説明は、以下の仮説推論装置の動作説明に代える。

【００５１】

図４に示すように、最初に、候補仮説生成部５は、クエリ論理式Ｄ１と背景知識Ｄ２とを取得し、複数の候補仮説を有する候補仮説集合Ｄ３ａを生成する（ステップＡ１）。続いて、候補仮説削除部６は、候補仮説集合Ｄ３ａから、一つのクエリ論理式Ｄ１としか依存関係（確率的な依存関係）を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除して、候補仮説集合Ｄ３ｂを生成する（ステップＡ２）。

【００５２】

続いて、確率算出部２は、クエリ論理式Ｄ１と背景知識Ｄ２とを用いて生成した候補仮説集合Ｄ３ｂそれぞれについて、候補仮説がクエリ論理式Ｄ１に対する説明となる確率値を算出する（ステップＡ３）。閉世界仮説確率算出部３は、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まったクエリ論理式Ｄ１に対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する（ステップＡ４）。なお、ステップＡ３、Ａ４の処理の順序は特に規定しない。また、ステップＡ３、Ａ４の処理は、同時に実行してもよい。

【００５３】

続いて、解仮説決定部４は、確率値と閉世界仮説確率値とを用いて、候補仮説の中からクエリ論理式Ｄ１に対する最良の説明となる解仮説Ｄ４を決定する（ステップＡ５）。

【００５４】

続いて、出力情報生成部７は、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まったクエリ論理式Ｄ１、又は、閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置８に出力するための出力情報を生成する（ステップＡ６）。又は、出力情報生成部７は、クエリ論理式Ｄ１と、候補仮説と、確率値と、閉世界仮説確率値と、解仮説Ｄ４とを用いて、出力装置８にグラフ構造を出力するためのグラフ構造情報を生成する。更に、出力情報生成部７は、出力情報とグラフ構造情報の両方を生成してもよい。

【００５５】
出力装置８は、出力情報生成部７から出力可能な形式に変換された出力情報、又は証明木情報、又はそれら両方を受信し、出力情報、又はグラフ構造情報、又はそれら両方に基づいて生成した画像及び音声などを出力する（ステップＡ７）。
【００５６】
次に、仮説推論装置１の動作について更に具体的に説明をする。
クエリ論理式Ｄ１「ｂｉｒｄ（Ａ）∧ｓｗｉｍ（Ａ）」は、「鳥が泳いでいる」という目的状態を論理表現した連言とする。図５に示すクエリ論理式Ｄ１を参照。
【００５７】
背景知識Ｄ２は、「鳥が泳いでいる」という観測情報を表現した論理式をクエリ論理式Ｄ１として、「ｘが鳥ならｘは飛ぶ」「ｘがペンギンならｘは鳥である」「ｘがペンギンならｘは泳ぐ」「ｘが魚ならｘは泳ぐ」「ｘがペンギンであり、かつｘが飛ぶことは無い」という知識を論理表現で表した推論ルールを与える。図５に示す背景知識Ｄ２を参照。
【００５８】
また、背景知識Ｄ２の推論ルールそれぞれの後件に付与された実数値は、それぞれその推論ルールが前向きに成り立つ確率値を表す。例えば、図５の背景知識Ｄ２の三行目の場合、ｐｅｎｇｕｉｎ（ｘ）が成り立つなら、確率値０．９でｓｗｉｍ（ｘ）が成り立つことを表している。
【００５９】
ステップＡ１において、候補仮説生成部５は、まず、クエリ論理式Ｄ１と背景知識Ｄ２から、候補仮説集合Ｄ３ａを生成する。なお、候補仮説集合Ｄ３ａの初期状態は、クエリ論理式Ｄ１のみからなる候補仮説だけを含む。
【００６０】
具体的には、ステップＡ１において、まず、候補仮説生成部５の推論ルール検索部３１は、候補仮説集合Ｄ３ａに対して適用可能な推論ルールを背景知識Ｄ２から検索する。例えば、推論ルール「ｐｅｎｇｕｉｎ（ｘ）⇒ｓｗｉｍ（ｘ）」に対しては、「ｘ＝Ａ」と代入することで、推論ルールの後件と候補仮説の一部が一致するので、この推論ルールは後ろ向きに適用可能なものとして選択する。また、推論ルール「ｂｉｒｄ（ｘ）⇒ｆｌｙ（ｘ）」も同様に「ｘ＝Ａ」と代入することで、推論ルールの後件と候補仮説の一部が一致するので、この推論ルールは前向きに適用可能なものとして選択される。
【００６１】
続いて、ステップＡ１において、推論ルール検索部３１で選択された推論ルールは、推論ルール適用部３３において、候補仮説集合Ｄ３ａに対して適用される。例えば、推論ルール「ｐｅｎｇｕｉｎ（ｘ）⇒ｓｗｉｍ（ｘ）」を用いた後ろ向き推論を、上述した候補仮説集合Ｄ３ａの初期状態に適用すると、新たな候補仮説として「ｂｉｒｄ（Ａ）∧ｓｗｉｍ（Ａ）∧ｐｅｎｇｕｉｎ（Ａ）」が候補仮説集合Ｄ３ａに追加される。
【００６２】
次に、ステップＡ２において、候補仮説削除部６では、候補仮説生成部５から出力された候補仮説集合Ｄ３ａを入力として取得し、冗長な候補仮説、すなわち単一のクエリ論理式Ｄ１としか依存関係（確率的な依存関係）を持たない一階述語論理リテラルを含む候補仮説を削除する。
【００６３】
例えば、図６に示す候補仮説において、「ｆｉｓｈ（Ａ）」はクエリ論理式Ｄ１の「ｓｗｉｍ（Ａ）」としか依存関係を持たないため、この候補仮説は候補仮説集合Ｄ３ａから除外される。また、「ｆｉｓｈ（Ａ）」は、「ｓｗｉｍ（Ａ）」から後ろ向き推論によって導かれているため、以降の処理において「ｆｉｓｈ（Ａ）」の真偽値は「Ｆａｌｓｅ」として扱う。
【００６４】
次に、ステップＡ３において、確率算出部２は、候補仮説集合Ｄ３ｂを入力として取得し、候補仮説それぞれについて、クエリ論理式Ｄ１に対する説明としての蓋然性を評価す

る。このときの確率には任意の定義を採用してよいが、ここでは例として、候補仮説が表す真偽値割り当てが成り立つ確率、すなわちその真偽値割り当てにおいて成り立つ推論ルールがすべて成り立つ同時確率を算出する。

【００６５】

例えば、図７に示す候補仮説では、使われている推論ルールとは、実線矢印が対応する。従って、これら二つの推論ルールが前向きに成り立つ同時確率を算出することにより、この候補仮説がクエリ論理式Ｄ１の説明となることの蓋然性を示す確率値（＝１．０×０．９＝０．９）を算出する。

【００６６】

次に、ステップＡ４において、閉世界仮説確率算出部３は、候補仮説生成部５から出力された候補仮説集合Ｄ３ｂを入力として取得し、候補仮説それぞれについて、閉世界仮説を仮定することによって新たに真偽値が定まった一階述語論理リテラルについての蓋然性を評価する。ここでは例として、候補仮説が表す真偽値割り当てが成り立つ確率、すなわちその真偽値割り当てにおいて成り立つ推論ルールがすべて成り立つ同時確率を算出する。

【００６７】

例えば、図６に示す候補仮説において、「ｆｌｙ（Ａ）」を導く前向き推論は実行されていないため、この候補仮説における「ｆｌｙ（Ａ）」の真偽値は、閉世界仮説のもとでは偽（「Ｆａｌｓｅ」）となる。「ｆｌｙ（Ａ）」が「Ｆａｌｓｅ」に定まることで、推論ルール「ｂｉｒｄ（ｘ）⇒ｆｌｙ（ｘ）」に矛盾していることが分かるので、その蓋然性としては、この推論ルールが矛盾する閉世界仮説確率値０．１を評価値として出力する。

【００６８】

より具体的には、この候補仮説が成り立つためには上記推論ルールが成立していない必要があることから、上記推論ルールの成立確率０．９を１．０から差し引いた値０．１が閉世界仮説確率として計算される。

【００６９】

次に、ステップＡ５において、解仮説決定部４は、確率算出部２及び閉世界仮説確率算出部３により得られた評価値を勘案しながら、最良の候補仮説を選択する。例えば、解仮説決定部４は、図７の例では、確率値と閉世界仮説確率値とを乗算した評価値（＝０．９×０．１＝０・０９）が最大となる候補仮説を選択する。評価値が最大となる候補仮説が複数存在する場合は、いずれか一つを選択する。選択方法としては、例えば、含まれるノードの個数が少ない方を選ぶ、又は、計算機メモリ上でのアドレスが小さい方を選ぶことなどが考えられる。ただし、上述した選択方法に限定されるものではない。

【００７０】

次に、ステップＡ６において、出力情報生成部７は、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった一階述語論理リテラル、又は、閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置８に出力するための出力情報を生成する。又は、出力情報生成部７は、クエリ論理式Ｄ１と、一階述語論理リテラル、候補仮説と、確率値と、閉世界仮説確率値と、解仮説Ｄ４とを用いて、出力装置８にグラフ構造を出力するためのグラフ構造情報を生成する。

【００７１】

更に、出力情報生成部７は、出力情報とグラフ構造情報の両方を生成してもよい。例えば、図７に示すように、出力情報とグラフ構造情報とを表示することが考えられる。

【００７２】

なお、出力情報生成部７は、例えば、図６、図７に示したような表示をさせる情報を、図８に示す情報８１から８４を用いて生成する。図８に示す情報８１は、図６、図７に示す、候補仮説に含まれる論理式を識別する「ノードＩＤ」と、論理式とを関連付けた情報である。情報８２は、図６、図７で用いる、候補仮説に含まれる推論ルールを識別する「ルールＩＤ」と、推論ルールとを関連付けた情報である。

【００７３】
情報８３は、図６に示す、候補仮説に含まれるエッジ（図６に示す実線矢印）を、始点となる「開始ノードＩＤ」と、終点となる「終点ノードＩＤ」と、「ルールＩＤ」とを関連付けた情報である。情報８４は、図６に示す、候補仮説に含まれる矛盾エッジ（図６に示す破線矢印）を、矛盾の原因となる「ノードＩＤ」と、矛盾している「ルールＩＤ」とを関連付けた情報である。
【００７４】
なお、図７を表示する場合、情報８３の最終行に対応する推論ルールは適用されないので、図７に示すように表示してもよい（一点鎖線）。また、情報８４に関係する表示（図７の破線）についても、図７に表示しなくてもよい。
【００７５】
次に、ステップＡ７において、出力装置８は、出力情報生成部７から出力可能な形式に変換された出力情報、又はグラフ構造情報、又はそれら両方を受信し、出力情報、又はグラフ構造情報、又はそれら両方に基づいて生成した画像及び音声などを出力する。
【００７６】
［本実施の形態の効果］
以上のように本実施の形態によれば、確率値と閉世界仮説確率値とを用いて、候補仮説の中から観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定できるので、処理効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる。
【００７７】
また、本実施の形態では、従来方式では実現できなかった、解仮説に含まれないクエリ論理式に関する蓋然性も評価に勘案しつつ、探索空間のコントロールを行えることによる効率的な仮説推論を実現できる。
【００７８】
また、真偽値を定める対象を、クエリ論理式の説明に寄与できるものに限定しているため、従来方式よりも解仮説の探索空間を小さくできるので、例えば、Most-specific modelに基づく仮説推論モデルと比較して、仮説推論処理を効率的に実行できる
【００７９】
仮説推論の対象とした論理式集合に対して閉世界仮説を仮定し、すべて真偽値を定めることで、真偽値を恣意的に不明とすることを抑制できるため、Least-specific modelに基づく仮説推論方式よりも候補仮説の蓋然性の評価を精度よく行うことができる。
【００８０】
［プログラム］
本発明の実施の形態におけるプログラムは、コンピュータに、図４に示すステップＡ１からＡ７を実行させるプログラムであればよい。このプログラムをコンピュータにインストールし、実行することによって、本実施の形態における仮説推論装置と仮説推論方法とを実現することができる。この場合、コンピュータのプロセッサは、確率算出部２、閉世界仮説確率算出部３、解仮説決定部４、候補仮説生成部５、候補仮説削除部６、出力情報生成部７として機能し、処理を行なう。
【００８１】
また、本実施の形態におけるプログラムは、複数のコンピュータによって構築されたコンピュータシステムによって実行されてもよい。この場合は、例えば、各コンピュータが、それぞれ、確率算出部２、閉世界仮説確率算出部３、解仮説決定部４、候補仮説生成部５、候補仮説削除部６、出力情報生成部７のいずれかとして機能してもよい。
【００８２】
［物理構成］
ここで、実施の形態におけるプログラムを実行することによって、仮説推論装置を実現するコンピュータについて図９を用いて説明する。図９は、本発明の実施の形態における仮説推論装置を実現するコンピュータの一例を示すブロック図である。
【００８３】

図９に示すように、コンピュータ１１０は、ＣＰＵ１１１と、メインメモリ１１２と、記憶装置１１３と、入力インターフェイス１１４と、表示コントローラ１１５と、データリーダ／ライタ１１６と、通信インターフェイス１１７とを備える。これらの各部は、バス１２１を介して、互いにデータ通信可能に接続される。なお、コンピュータ１１０は、ＣＰＵ１１１に加えて、又はＣＰＵ１１１に代えて、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）、又はＦＰＧＡ（Field-Programmable Gate Array）を備えていてもよい。

【００８４】

ＣＰＵ１１１は、記憶装置１１３に格納された、本実施の形態におけるプログラム（コード）をメインメモリ１１２に展開し、これらを所定順序で実行することにより、各種の演算を実施する。メインメモリ１１２は、典型的には、ＤＲＡＭ（Dynamic Random Access Memory）等の揮発性の記憶装置である。また、本実施の形態におけるプログラムは、コンピュータ読み取り可能な記録媒体１２０に格納された状態で提供される。なお、本実施の形態におけるプログラムは、通信インターフェイス１１７を介して接続されたインターネット上で流通するものであってもよい。

【００８５】

また、記憶装置１１３の具体例としては、ハードディスクドライブの他、フラッシュメモリ等の半導体記憶装置があげられる。入力インターフェイス１１４は、ＣＰＵ１１１と、キーボード及びマウスといった入力機器１１８との間のデータ伝送を仲介する。表示コントローラ１１５は、ディスプレイ装置１１９と接続され、ディスプレイ装置１１９での表示を制御する。

【００８６】

データリーダ／ライタ１１６は、ＣＰＵ１１１と記録媒体１２０との間のデータ伝送を仲介し、記録媒体１２０からのプログラムの読み出し、及びコンピュータ１１０における処理結果の記録媒体１２０への書き込みを実行する。通信インターフェイス１１７は、ＣＰＵ１１１と、他のコンピュータとの間のデータ伝送を仲介する。

【００８７】

また、記録媒体１２０の具体例としては、ＣＦ（Compact Flash（登録商標））及びＳＤ（Secure Digital）等の汎用的な半導体記憶デバイス、フレキシブルディスク（Flexible Disk）等の磁気記録媒体、又はＣＤ－ＲＯＭ（Compact Disk Read Only Memory）などの光学記録媒体があげられる。

【００８８】

なお、本実施の形態における仮説推論装置１は、プログラムがインストールされたコンピュータではなく、各部に対応したハードウェアを用いることによっても実現可能である。更に、仮説推論装置１は、一部がプログラムで実現され、残りの部分がハードウェアで実現されていてもよい。

【００８９】

［付記］

以上の実施の形態に関し、更に以下の付記を開示する。上述した実施の形態の一部又は全部は、以下に記載する（付記１）から（付記１２）により表現することができるが、以下の記載に限定されるものではない。

【００９０】

（付記１）

観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出部と、

前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出部と、

前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、解仮説決定部と、

を有することを特徴とする仮説推論装置。

【００９１】
（付記２）
付記１に記載の仮説推論装置であって
前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、候補仮説削除部と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【００９２】
（付記３）
付記１又は２に記載の仮説推論装置であって
前記解仮説決定部は、前記確率算出部と、前記閉世界仮説確率算出部とに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値を算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とする仮説推論装置。
【００９３】
（付記４）
付記３に記載の仮説推論装置であって
前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、出力情報生成部と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【００９４】
（付記５）
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【００９５】
（付記６）
付記５に記載の仮説推論方法であって、
（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【００９６】
（付記７）
付記５又は６に記載の仮説推論方法であって、
前記（ｃ）のステップにおいて、前記（ａ）及び前記（ｂ）のステップに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値とを算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とする仮説推論方法。
【００９７】
（付記８）
付記７に記載の仮説推論方法であって
（ｅ）前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、ステップ

を有することを特徴とする仮説推論方法。

【００９８】

（付記９）

コンピュータに、

（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、

（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、

（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する最良の説明となる解仮説を決定する、ステップと、

を実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【００９９】

（付記１０）

付記９に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記コンピュータは、

（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ

を実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【０１００】

（付記１１）

付記９又は１０に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

前記（ｃ）のステップにおいて、前記（ａ）及び前記（ｂ）のステップに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値とを算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする

ことを特徴とするプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【０１０１】

（付記１２）

付記１１に記載のプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体であって、

（ｅ）前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、ステップ

を実行させるプログラムを記録したコンピュータ読み取り可能な記録媒体。

【０１０２】

以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記実施の形態に限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、本願発明のスコープ内で当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

【産業上の利用可能性】

【０１０３】

以上のように本発明によれば、処理効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる。本発明は、クエリ論理式と背景知識とを用いた、説明生成、状況理解などが必要な分野において有用である。具体的には、本発明は、医療システム、法律相談、リスク検知などを行う自動システムに適用できる。

【符号の説明】

【０１０４】

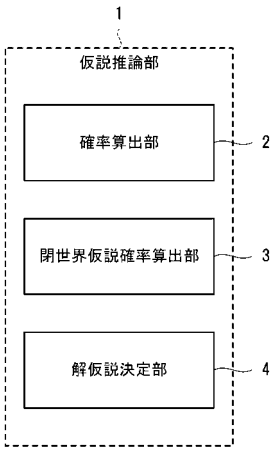
１　仮説推論装置

２　確率算出部

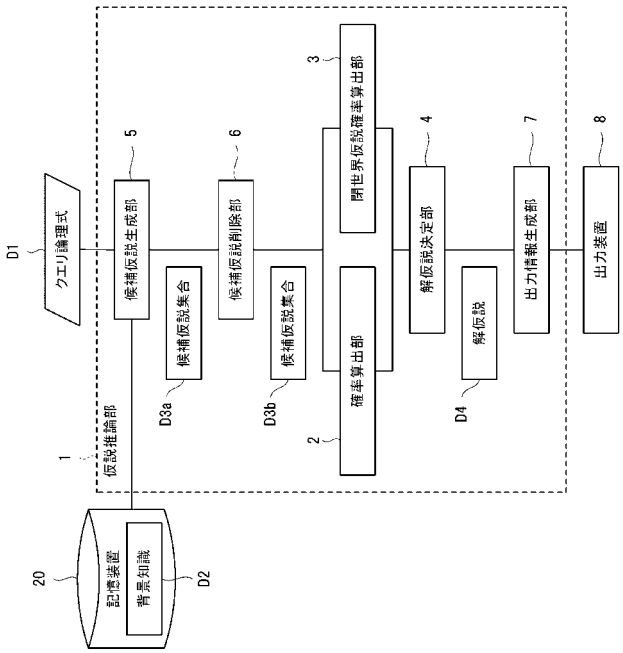
３　閉世界仮説確率算出部

４　解仮説決定部
５　候補仮説生成部
６　候補仮説削除部
７　出力情報生成部
８　出力装置
２０　記憶装置
３１　推論ルール検索部
３２　適用判定部
３３　推論ルール適用部
Ｄ１　クエリ論理式
Ｄ２　背景知識
Ｄ３ａ、Ｄ３ｂ　候補仮説集合
Ｄ４　解仮説
１１０　コンピュータ１１１　ＣＰＵ
１１２　メインメモリ
１１３　記憶装置
１１４　入力インターフェイス
１１５　表示コントローラ
１１６　データリーダ／ライタ
１１７　通信インターフェイス
１１８　入力機器
１１９　ディスプレイ装置
１２０　記録媒体
１２１　バス

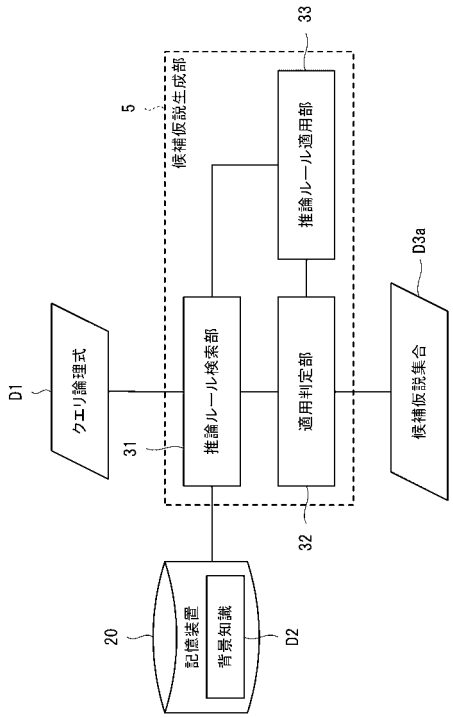
【図１】



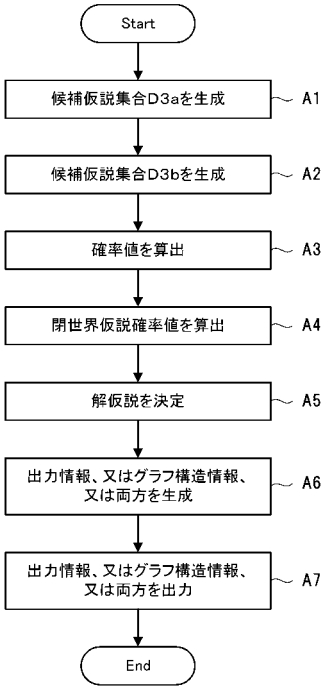
【図２】



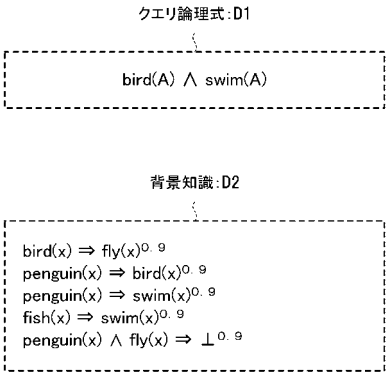
【図３】


33
5
候補仮説生成部
推論ルール適用部
D3a
D1
クエリ論理式
推論ルール検索部
適用判定部
候補仮説集合
31
32
20
記憶装置
背景知識
D2

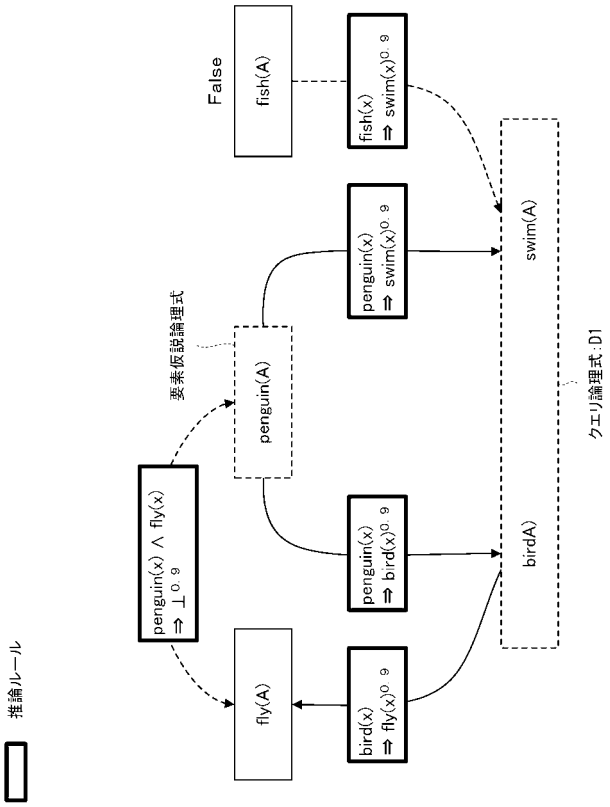
【図４】


Start
候補仮説集合D3aを生成
A1
候補仮説集合D3bを生成
A2
確率値を算出
A3
閉世界仮説確率値を算出
A4
解仮説を決定
A5
出力情報、又はグラフ構造情報、
又は両方を生成
A6
出力情報、又はグラフ構造情報、
又は両方を出力
A7
End

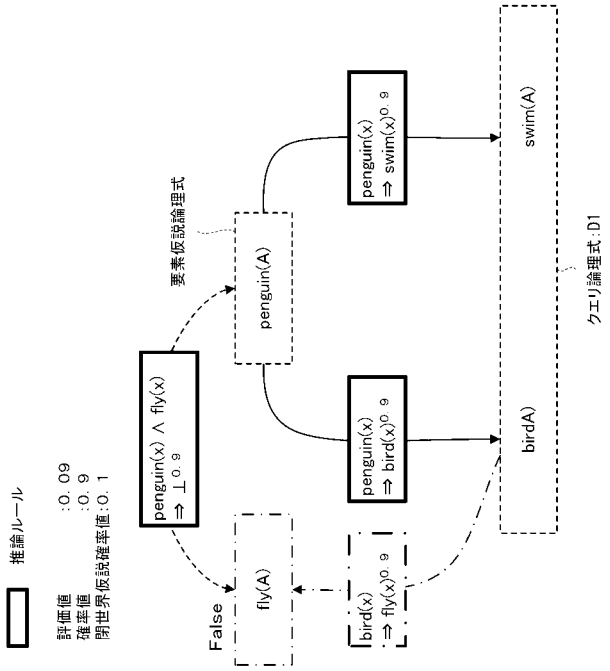
【図５】


クエリ論理式:D1
bird(A) ∧ swim(A)
背景知識:D2
bird(x) ⇒ fly(x)0.9
penguin(x) ⇒ bird(x)0.9
penguin(x) ⇒ swim(x)0.9
fish(x) ⇒ swim(x)0.9
penguin(x) ∧ fly(x) ⇒ ⊥0.9

【図６】


False
fish(A)
fish(x) ⇒ swim(x)0.9
penguin(x) ⇒ swim(x)0.9
swim(A)
要素仮説論理式
penguin(A)
クエリ論理式:D1
penguin(x) ∧ fly(x) ⇒ ⊥0.9
penguin(x) ⇒ bird(x)0.9
birdA)
fly(A)
bird(x) ⇒ fly(x)0.9
推論ルール

【図７】



【図８】

81

ノードID	論理式
0	bird(A)
1	swim(A)
2	fly(A)
3	penguin(A)
4	fish(A)

82

ルールID	推論ルール
0	bird(x) ⇒ fly(x)^0.9
1	penguin(x) ⇒ bird(x)^0.9
2	penguin(x) ⇒ swim(x)^0.9
3	fish(x) ⇒ swim(x)^0.9
4	penguin(x) ∧ fly(x) ⇒ ⊥^0.9

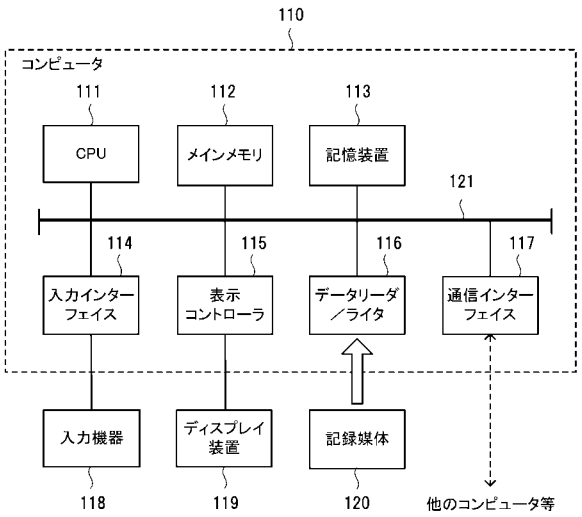
83

ルールID	始点ノードID	終点ノードID
0	2	0
1	0	3
2	1	3
3	1	4

84

ルールID	ノードID	ノードID
4	2	3

【図９】



【手続補正書】
【提出日】令和3年2月15日(2021.2.15)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出手段と、
前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出手段と、
前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、解仮説決定手段と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【請求項２】
請求項１に記載の仮説推論装置であって
前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、候補仮説削除手段と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【請求項３】
請求項１又は２に記載の仮説推論装置であって
前記解仮説決定手段は、前記確率算出手段と、前記閉世界仮説確率算出手段とに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値を算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とする仮説推論装置。
【請求項４】
請求項３に記載の仮説推論装置であって
前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、出力情報生成手段と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【請求項５】
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【請求項６】
請求項５に記載の仮説推論方法であって、
（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【請求項７】
コンピュータに、

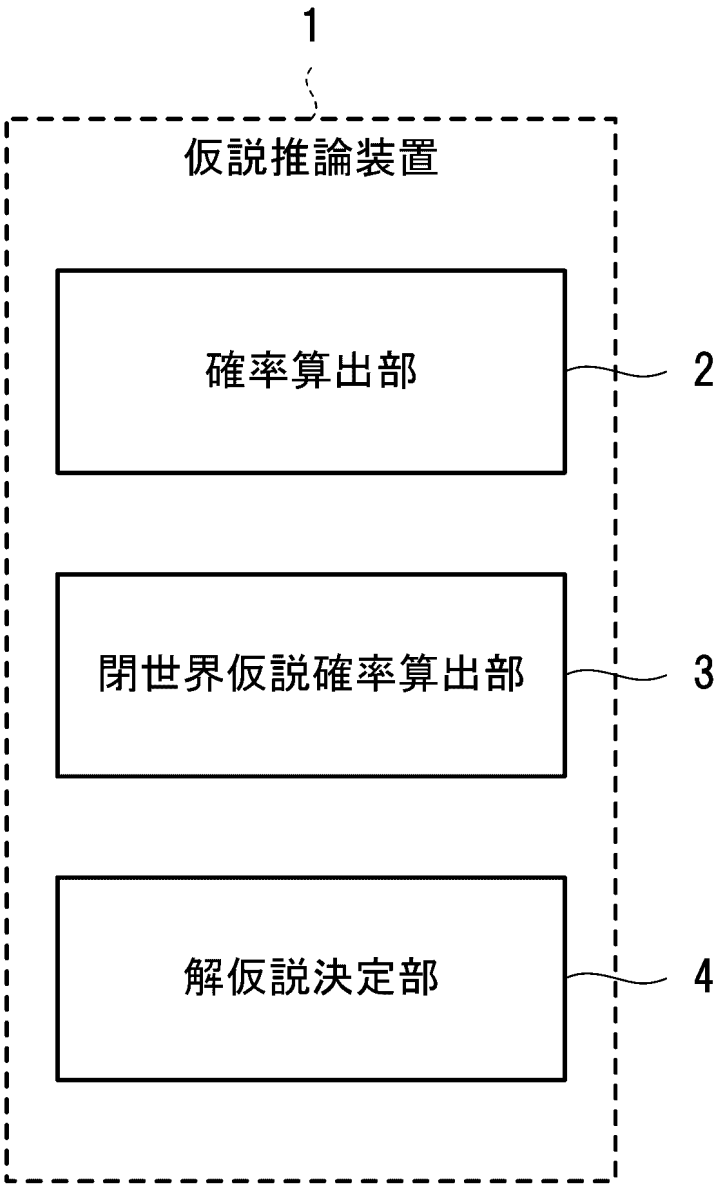
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を実行させるプログラム。
【請求項８】
請求項７に記載のプログラムであって、
前記コンピュータは、
（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ
を実行させるプログラム。
【請求項９】
請求項７又は８に記載のプログラムであって、
前記（ｃ）のステップにおいて、前記（ａ）及び前記（ｂ）のステップに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値とを算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とするプログラム。
【請求項１０】
請求項９に記載のプログラムであって、
（ｅ）前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、ステップ
を実行させるプログラム。
【手続補正３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０００１
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０００１】
本発明は、仮説推論を実行する仮説推論装置、仮説推論方法に関し、更には、これらを実現するためのプログラムに関する。
【手続補正４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０００９
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０００９】
本発明の目的の一例は、仮説推論処理の効率を低下させることなく、クエリ論理式に真偽値を割り当てることができる仮説推論装置、仮説推論方法、及びプログラムを提供することにある。
【手続補正５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００１０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００１０】
上記目的を達成するため、本発明の一側面における仮説推論装置は、

観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出部と、
前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出部と、
前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、解仮説決定部と、
を有することを特徴とする。
【手続補正６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００１１
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００１１】
また、上記目的を達成するため、本発明の一側面における仮説推論方法は、
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を有することを特徴とする。
【手続補正７】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００１２
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００１２】
更に、上記目的を達成するため、本発明の一側面におけるプログラムは、
コンピュータに、
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を実行させることを特徴とする。
【手続補正８】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００６０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００６０】
具体的には、ステップＡ１において、まず、候補仮説生成部５の推論ルール検索部３１は、候補仮説集合Ｄ３ａに対して適用可能な推論ルールを背景知識Ｄ２から検索する。例えば、推論ルール「ｐｅｎｇｕｉｎ（ｘ）⇒ｓｗｉｍ（ｘ）」に対しては、「ｘ＝Ａ」と代入することで、推論ルールの後件と候補仮説の一部が一致するので、この推論ルールは後ろ向きに適用可能なものとして選択する。また、推論ルール「ｂｉｒｄ（ｘ）⇒ｆｌｙ（ｘ）」も同様に「ｘ＝Ａ」と代入することで、推論ルールの前件と候補仮説の一部が一致するので、この推論ルールは前向きに適用可能なものとして選択される。

【手続補正９】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００９０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００９０】
（付記１）
観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、確率算出部と、
前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、閉世界仮説確率算出部と、
前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、解仮説決定部と、
を有することを特徴とする仮説推論装置。
【手続補正１０】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００９４
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００９４】
（付記５）
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を有することを特徴とする仮説推論方法。
【手続補正１１】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００９８
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００９８】
（付記９）
コンピュータに、
（ａ）観測情報と知識情報とを用いて生成した候補仮説それぞれについて、前記候補仮説が前記観測情報に対する説明となる確率値を算出する、ステップと、
（ｂ）前記候補仮説について、閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が定まった一階述語論理リテラルに対する説明となる閉世界仮説確率値を算出する、ステップと、
（ｃ）前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを用いて、前記候補仮説の中から前記観測情報に対する説明となる解仮説を決定する、ステップと、
を実行させるプログラム。
【手続補正１２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００９９
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００９９】

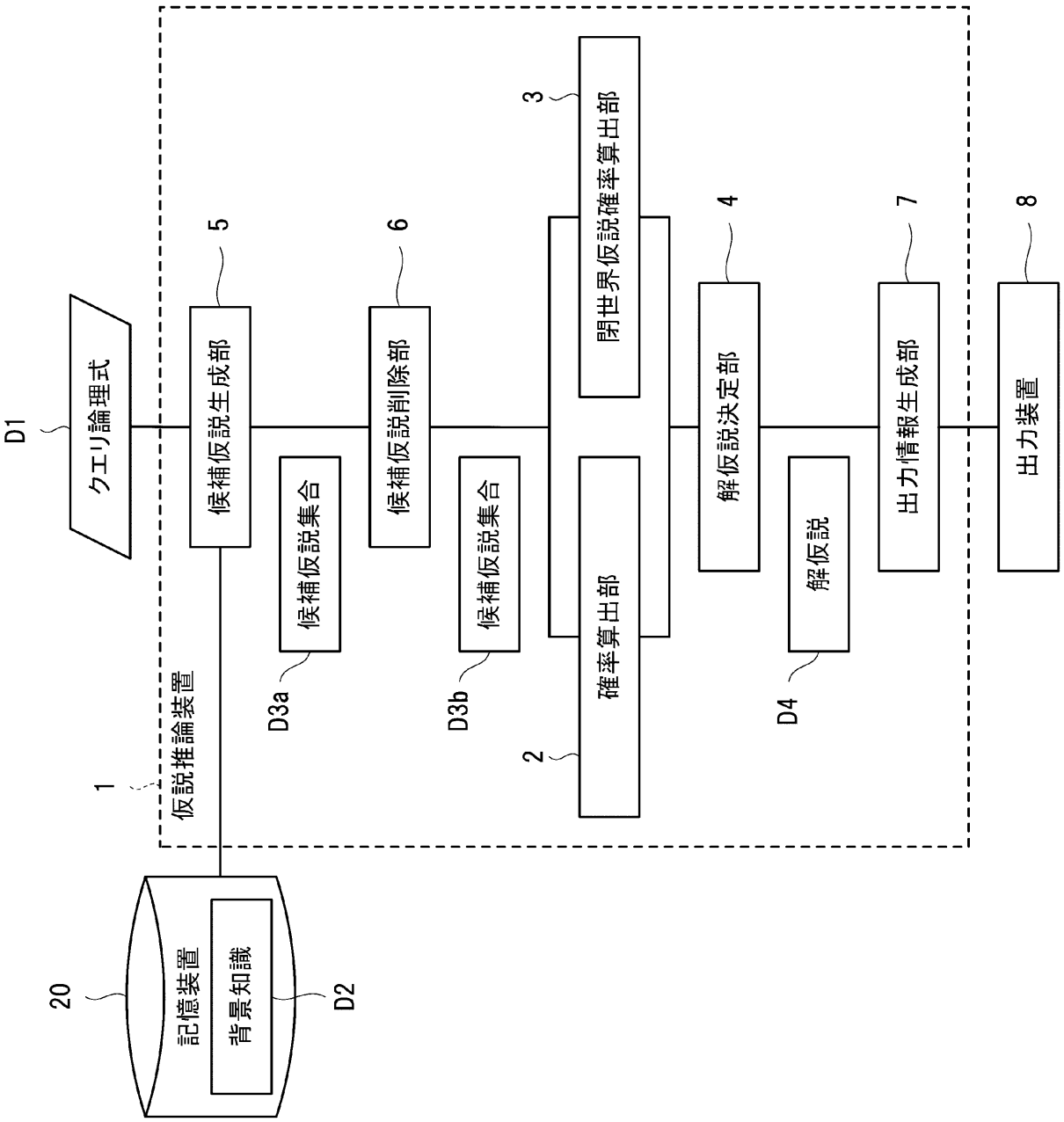
（付記１０）
付記９に記載のプログラムであって、
前記コンピュータは、
（ｄ）前記候補仮説から、一つの前記観測情報としか依存関係を持たない一階述語論理リテラルを有する候補仮説を削除する、ステップ
を実行させるプログラム。
【手続補正１３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１００
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１００】
（付記１１）
付記９又は１０に記載のプログラムであって、
前記（ｃ）のステップにおいて、前記（ａ）及び前記（ｂ）のステップに確率的仮説推論モデルを適用して、前記確率値と、前記閉世界仮説確率値とを算出した場合、前記確率値と前記閉世界仮説確率値とを乗算し、乗算した値が最大となる前記候補仮説を前記解仮説とする
ことを特徴とするプログラム。
【手続補正１４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】０１０１
【補正方法】変更
【補正の内容】
【０１０１】
（付記１２）
付記１１に記載のプログラムであって、
前記プログラムが、前記コンピュータに、
（ｅ）前記閉世界仮説を仮定することにより、新たな真偽値が偽と定まった前記観測情報、又は、前記閉世界仮説確率値、又は、その両方を、出力装置に出力するための出力情報を生成する、ステップ
を実行させる命令を含むプログラム。
【手続補正１５】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図１
【補正方法】変更
【補正の内容】

【図１】



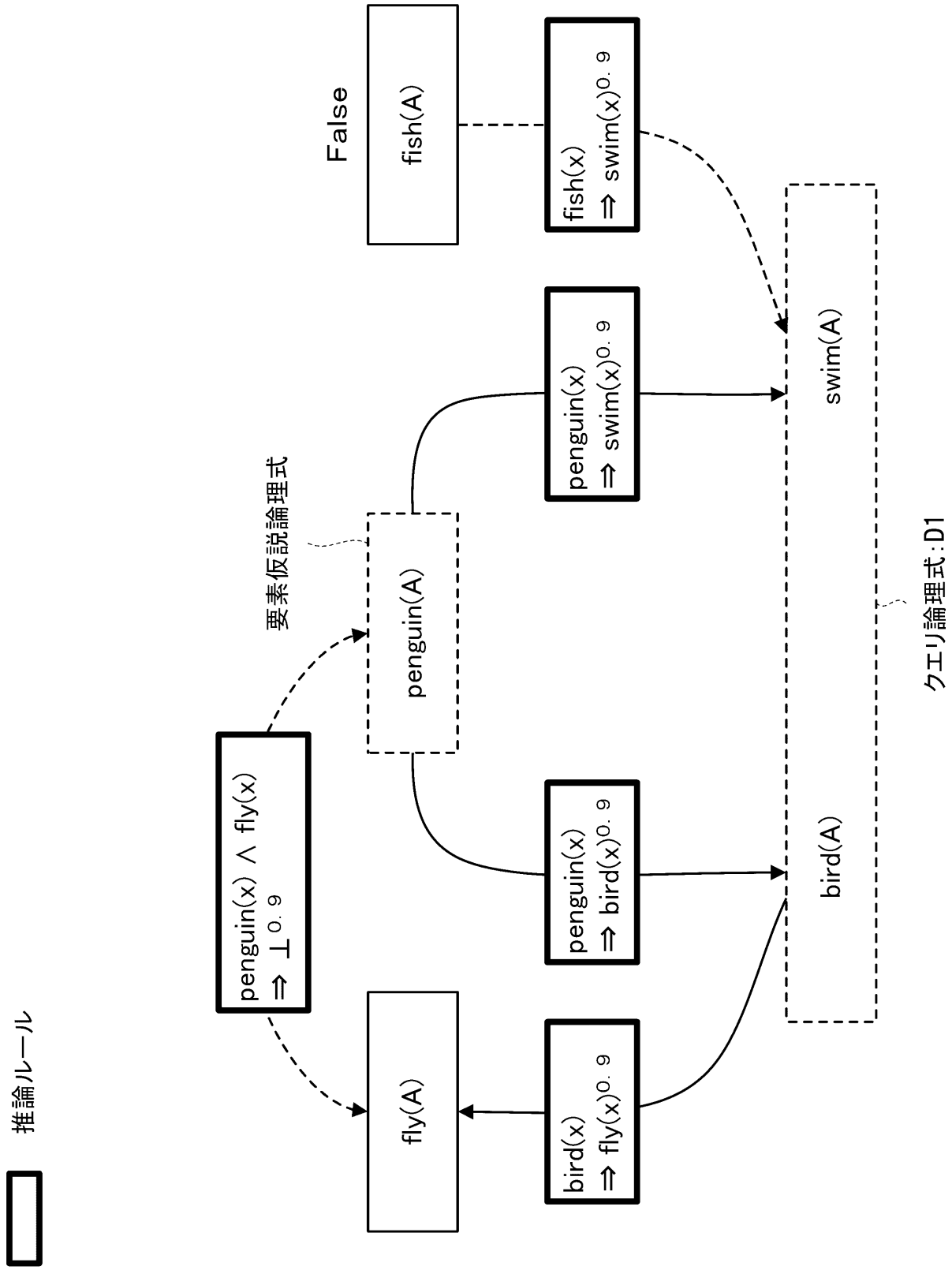
【手続補正１６】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図２
【補正方法】変更
【補正の内容】

【図２】



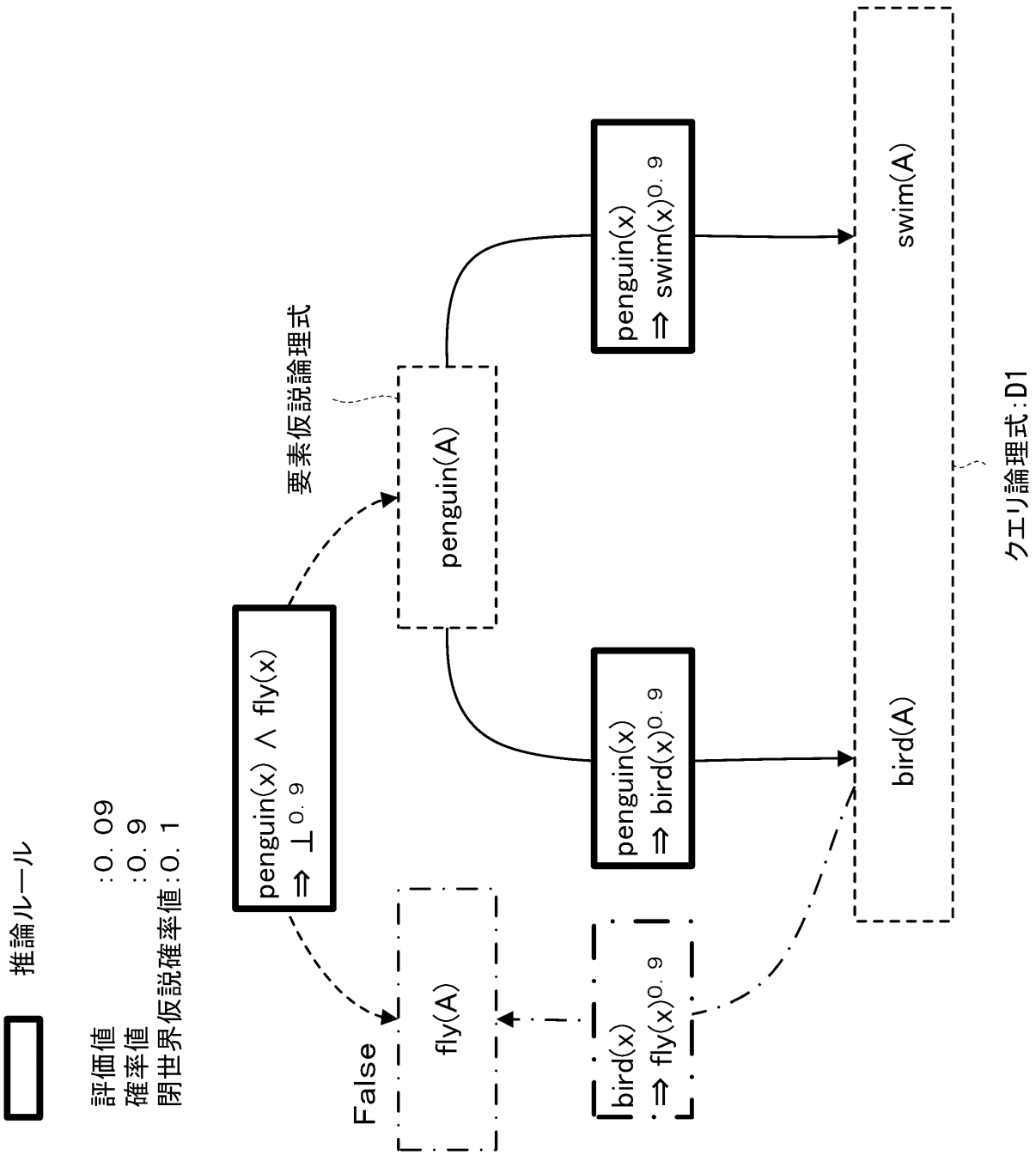
【手続補正１７】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図６
【補正方法】変更
【補正の内容】

【図６】



【手続補正１８】
【補正対象書類名】図面
【補正対象項目名】図７
【補正方法】変更
【補正の内容】

【図７】


推論ルール
評価値 :0.09
確率値 :0.9
閉世界仮説確率値:0.1
penguin(x) ∧ fly(x)
⇒ ⊥0.9
要素仮説論理式
penguin(A)
penguin(x)
⇒ swim(x)0.9
penguin(x)
⇒ bird(x)0.9
swim(A)
bird(A)
クエリ論理式:D1
False
fly(A)
bird(x)
⇒ fly(x)0.9

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/031624

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int. Cl. G06N5/04(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int. Cl. G06N5/04

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2018
Registered utility model specifications of Japan 1996-2018
Published registered utility model applications of Japan 1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	藤本和則ほか, ルールの論理的構造に着目した結論の"尤もらしさ"の定量化, 情報処理学会論文誌, 15 August 1995, vol. 36, no. 8, pp. 2071-2074 (FUJIMOTO, Kazunori et al. A New Approach to Quantitate "Likelihood" of Conclusions Using Logical Structures of Rules. IPSJ SIG Technical Report.)	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
14.11.2018	27.11.2018
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2015)

国際調査報告	国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０３１６２４

A.　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G06N5/04(2006.01)i

B.　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G06N5/04

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C.　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
A	藤本　和則ほか，ルールの論理的構造に着目した結論の“尤もらしさ”の定量化，情報処理学会論文誌，1995.08.15，第36巻／第8号，pp. 2071-2074	1-12

☐　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
１４．１１．２０１８	２７．１１．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先	特許庁審査官（権限のある職員）	5B	3652
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	塚田　肇 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３５４５		

様式ＰＣＴ／ＩＳＡ／２１０（第２ページ）（２０１５年１月）

（注）この公表は、国際事務局（ＷＩＰＯ）により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願（日本語実用新案登録出願）の国際公開の効果は、特許法第１８４条の１０第１項(実用新案法第４８条の１３第２項）により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。