

SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, ME, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称： 情報処理装置、情報処理方法、記憶媒体

技術分野

[0001] 本開示は、情報処理装置、情報処理方法、記憶媒体に関する。

背景技術

[0002] 仮説推論 (Abduction, Abductive reasoning) とは、観測論理式 (Observation) と背景知識 (Background knowledge) を受け取り、個々の候補の良さを実数値で表す関数 (評価関数、Evaluation function) の基で、背景知識と無矛盾かつ、観測論理式を演繹的に導くような論理式 (仮説、Hypotheses) の中で最良のもの (最良仮説、解仮説、Solution hypothesis) を出力するような推論方式である。

[0003] 仮説推論を計算機上で実装するための既存の方式としては、非特許文献 1 に示すような、観測論理式と背景知識から、最良仮説の候補 (候補仮説、Candidate hypotheses) を列挙し、そこから最良仮説を探索する問題を整数線形計画問題などの制約付き組み合わせ最適化問題として等価に変換して、外部のソルバを用いて最良仮説を得る方式が挙げられる。この既存方式においては、各候補仮説が背景知識との無矛盾性を満たすために充足すべき制約 (論理制約、Logical Constraints) は、候補仮説を列挙する際に同時に列挙され、外部ソルバを用いて最適解を探索する際には、対象の制約付き組み合わせ最適化問題における制約として表現されることで、得られる最適解が無矛盾であることが担保される。

[0004] 仮説推論における論理制約を扱うための別の既存方式としては、非特許文献 2 に示すような、候補仮説を列挙する時点では論理制約を列挙せずに、外部ソルバを用いて暫定的な解を得た後に、その解が論理制約に矛盾しているかどうかを判定するような方式が挙げられる。この既存方式においては、論理制約のうち等価関係の間に成り立つ推移律に関する論理制約を対象として、候補仮説を列挙する時点では論理制約の列挙を行わずに、外部ソルバを用

いて暫定的な解を得た後に、その解において成り立つ等価関係について、推移律に関する論理制約に対する無矛盾性を判定し、無矛盾であることが確かめられた場合はその解を最適解として出力する。一方で、何らかの論理制約に矛盾していた場合は、その論理制約を、外部ソルバが解いている制約付き組み合わせ問題における制約として追加し、再び暫定的な解を外部ソルバによって得る。このような手順を最適解が得られるまで繰り返すことによって、特定の種類の論理制約については明示的に列挙することなく、無矛盾な解仮説を得ることができる。このような推論方式はCutting Plane Inferenceと呼ばれる。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1 : Naoya Inoue and Kentaro Inui, "ILP-based Reasoning for Weighted Abduction", Proceedings of AAAI Workshop on Plan, Activity and Intent Recognition, August 2011, pp. 25-32

非特許文献2 : Naoya Inoue and Kentaro Inui, "Large-scale cost-based abduction in full-fledged first-order predicate logic with cutting plane inference", Proceedings of the 13th European conference on Logics in Artificial Intelligence, September 2012, pp. 281-293

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ここで、上述した方式では、Cutting Plane Inferenceの対象となるのは、事前に定められた、特定の種別の論理制約のみである。したがって、Cutting Plane Inferenceの対象にしていない種別の論理制約が大量に列挙されてしまうような事例においては計算速度が著しく低下するという問題があった。一方で、全ての論理制約をCutting Plane Inferenceを対象にすることも考えられるが、その場合も、無矛盾な解が得られるまで何度も外部ソルバを実行して暫定的な解を得る必要があり、これもまた非効率である。

[0007] このため、本開示の目的は、上述した課題である、仮説推論において計算効率低下する、ことを解決することができる情報処理装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0008] 本開示の一形態である情報処理装置は、
観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成する生成部と、
観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定する決定部と、
決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う推論部と、
を備えた、
という構成をとる。

[0009] また、本開示の一形態である情報処理方法は、
観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成し、
観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定し、
決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
という構成をとる。

[0010] また、本開示の一形態であるプログラムは、
観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成し、
観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定し、
決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、

処理をコンピュータに実行させる、
という構成をとる。

発明の効果

[0011] 本開示は、以上のように構成されることにより、仮説推論において計算効率の向上を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図 1 に開示した情報処理装置の構成を示すブロック図である。
[図2]図 1 に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図3]図 1 に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図4]図 1 に開示した情報処理装置による処理の様子を示す図である。
[図5]本開示の実施形態 2 における情報処理装置のハードウェア構成を示すブロック図である。
[図6]本開示の実施形態 2 における情報処理装置の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0013] <実施形態 1>

本開示の第 1 の実施形態を、図 1 乃至図 4 を参照して説明する。図 1 は、情報処理装置の構成を説明するための図であり、図 2 乃至図 4 は、情報処理装置の処理動作を説明するための図である。

[0014] [構成]

本実施形態における情報処理装置は、観測論理式による候補仮説から、背景知識と無矛盾な最良な解を導く仮説推論を行う機能を有する。これにより、本実施形態における情報処理装置は、例えば、背景知識と観測情報を用いた説明生成や状況理解などの用途に適用できる。より具体的には、医療システムや法律相談、リスク検知などを行う自動システムに適用できる。

[0015] 図 1 は、本実施形態における情報処理装置の構成及び処理の流れを示す図である。情報処理装置は、演算装置と記憶装置とを備えた 1 台又は複数台の情報処理装置にて構成される。そして、情報処理装置は、図 1 に示すように

、候補仮説生成部 1、制約処理方式決定部 2、制約列挙部 3、候補仮説変換部 4、最適解探索部 5、無矛盾性判定部 6、を備える。候補仮説生成部 1、制約処理方式決定部 2、制約列挙部 3、候補仮説変換部 4、最適解探索部 5、無矛盾性判定部 6 の各機能は、演算装置が記憶装置に格納された各機能を実現するためのプログラムを実行することにより実現することができる。また、情報処理装置は、記憶装置に、観測論理式 D 1、背景知識 D 2、候補仮説集合 D 3、論理制約集合 D 4、解仮説 D 5、を記憶して構成される。以下、各構成について詳述する。

[0016] 候補仮説生成部 1（生成部）は、観測論理式 D 1 および背景知識 D 2 を入力として受け取り、候補仮説集合 D 3 を出力する。観測論理式 D 1 は、観測情報を表すような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とは、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。背景知識 D 2 は、推論ルールの集合である。推論ルールは一般に一階述語論理におけるホーン節で表される。より具体的には、観測論理式のみからなる候補仮説を初期要素として、候補仮説に対して推論ルールを適用することによって新たな候補仮説を生成する操作を、新たな操作が行えなくなるまで繰り返す。この際に用いる操作については、基本的には既存方式におけるものを採用するが、その他の方法を用いることも可能である。候補仮説集合 D 3 は、候補仮説生成部 1 によって出力される、候補仮説の集合である。候補仮説はそれぞれ、一階述語論理リテラルの連言として表現される。

[0017] 制約処理方式決定部 2（決定部）は、候補仮説集合 D 3 に含まれる候補仮説それぞれにおいて充足すべき論理制約について、その処理方式を決定する。ここで、論理制約の処理方式としては、上述した非特許文献 1 に記載のような、論理制約を仮説候補と共に事前列挙する第一の処理方式と、非特許文献 2 に記載のような、候補仮説の論理制約に対する無矛盾性を事後判定する第二の処理方式と、が設定されている。そして、制約処理方式決定部 2 は、観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した上界に応じて、仮説推論を行う際における論理制約を

、上記のどちらか一方の処理方式で処理するかを決定する。このとき、制約処理方式決定部 2 は、論理制約について算出した論理制約の数の上界が設定された閾値未満である場合には第一の処理方式を決定し、論理制約について算出した論理制約の数の上界が設定された閾値以上である場合には第二の処理方式を決定する。つまり、制約処理方式決定部 2 は、論理制約の数が予め設定された基準により少ないと判断された場合には、論理制約を事前列挙する第一の処理方式を採用することを決定し、論理制約の数が予め設定された基準により多いと判断された場合には、論理制約を事前列挙せずに事後判定する第二の処理方式を採用することを決定する。

[0018] ここで、制約処理方式決定部 2 は、論理制約の数の上界を、例えば以下のようにして算出する。まず、制約処理方式決定部 2 は、観測論理式に含まれる一階述語論理リテラルについて 1 つずつ着目し、着目する一階述語論理リテラルに関連するまとめられた論理制約の集合の数の上界を算出する。このとき、制約処理方式決定部 2 は、着目する一階述語論理リテラルを含む背景知識と観測論理式内の一階述語論理リテラルとに基づいて上界を算出する。例えば、制約処理方式決定部 2 は、着目する一階述語論理リテラルを含む背景知識を特定し、特定した背景知識に含まれる一階述語論理リテラルに対応する観測論理式内の一階述語論理リテラルの組み合わせの数に基づいて上界を算出する。なお、制約処理方式決定部 2 による論理制約の数の上界を算出する方法の詳細については後述する。

[0019] 制約列挙部 3（推論部）は、候補仮説集合 D 3 に含まれる候補仮説それぞれについて、その候補仮説が充足すべき論理制約を列挙する。つまり、制約列挙部 3 は、上述した制約処理方式決定部 2 により論理制約について第一の処理方式で処理すると決定した場合に、論理制約を列挙する。そして、制約列挙部 3 は、列挙された論理制約を論理制約集合 D 4 に格納する。論理制約集合 D 4 は、各候補仮説が充足すべき論理制約の集合である。各論理制約は一般に、候補仮説を構成する一階述語論理リテラルのうち、充足してはならない組み合わせの連言として表現される。

[0020] 候補仮説変換部 4（推論部）は、候補仮説集合 D 3 および制約集合 D 4 を入力として受け取り、候補仮説集合の中から、全ての制約を満たす最良の候補仮説を選び出すような手続きと等価な、制約付き組み合わせ最適化問題を出力する。この際の変換手順については、基本的には上述したような既存の方式におけるものを用いるが、その他の方法を用いることも可能である。

[0021] 最適解探索部 5（推論部）は、入力として候補仮説変換部 4 が生成した制約付き組み合わせ最適化問題を受け取り、外部ソルバを用いてそれに対する最適解を探索する。この解は、制約付き組み合わせ最適化問題に対する最適解ではあるが、全ての論理制約を考慮した解ではないため、この解によって選ばれる候補仮説は、仮説推論にとっては暫定的な解仮説として扱われる。

[0022] 無矛盾性判定部 6（推論部）は、最適解探索部 5 によって得られた暫定解について、制約処理方式決定部 2 において上述した第二の処理方式と決定された論理制約つまり Cutting Plane Inference の対象となった論理制約を充足しているかどうかを判定する。もし暫定解がこれらの論理制約の全てを充足する場合は、この解を解仮説 D 5 として出力する。一方で充足されない論理制約が存在する場合は、その論理制約を論理制約集合 D 4 に追加した上で、再び最適解探索部 5 へと処理をループさせる。このループは、全ての論理制約を充足する解が得られるか、最終的に全ての論理制約が論理制約集合 D 4 に追加されるまで繰り返される。なお、最良仮説 D 5 は、候補仮説集合 D 3 に含まれる候補仮説のうち、満たすべき論理制約を全て充足し、かつ評価関数の基で最良のものである。

[0023] [動作]

次に、上述した情報処理装置の動作を、図 1 を参照して説明する。

[0024] まず、候補仮説生成部 1 は、例えば非特許文献 1 に基づく方法によれば、観測論理式のみからなる候補仮説を初期状態として、適用可能な操作を一つ選び適用することによって新たな候補仮説を生成する。ここで行える操作とは、後ろ向き推論（Backward chaining）と単一化（Unification）の二つである。後ろ向き推論とは、既存の候補仮説に対して、背景知識に含まれるル

ールを後ろ向きに適用する操作であり、ルールの後件（右辺、帰結）と候補仮説中のリテラルとを対応させ、そこに前件（左辺、前提）に対応するリテラルを加えた仮説を、新たな候補仮説として生成する。単一化とは、既存の候補仮説における、同じ述語を持つリテラル対を対象として、それらが同一となるような引数間の等価関係を加えた仮説を、新たな候補仮説として生成する。候補仮説生成部 1 によって生成された候補仮説は候補仮説集合 D 3 に格納する。なお、候補仮説の生成例については、後の具体例の説明にて図 2 及び図 3 を参照して説明する。

[0025] 続いて、制約処理方式決定部 2 は、候補仮説集合 D 3 に含まれる候補仮説それぞれにおいて充足すべき論理制約について、その処理方式を決定する。この処理は、より具体的には、その論理制約を制約列挙部 3 で列挙するか、あるいは、その論理制約を列挙せずに Cutting Plane Inference の対象として無矛盾性判定部 6 で判定するか、を決定する。この際の判定基準においては任意の方法を用いてよいが、基本的にはその論理制約を列挙した場合の数の上界を評価し、その値が何らかの閾値を超えているかどうかによって決定する。なお、論理制約の上界の評価例については、後の具体例の説明にて図 2 及び図 3 を参照して説明する。

[0026] 続いて、制約列挙部 3 は、各候補仮説について充足すべき論理制約を列挙する。この処理は、基本的には上述した既存の方法と同様に、候補仮説に含まれる各リテラルと、背景知識に含まれる各ルールについて、ルールに矛盾するようなリテラルの組み合わせを探索することによって実現される。列挙した論理制約は論理制約集合 D 4 に格納する。

[0027] 続いて、候補仮説変換部 4 は、候補仮説集合 D 3 および論理制約集合 D 4 から、対応する制約付き組み合わせ最適化問題を出力する。例えば、非特許文献 1 に基づく方法によれば、出力される制約付き組み合わせ最適化問題は整数線形計画問題として表されるが、それ以外のもの、例えば重み付き充足最大化問題などとして表してもよい。組み合わせ最適化問題における変数は、候補仮説におけるリテラルの有無に対応しており、組み合わせ最適化問題

における制約は、候補仮説における論理制約や評価関数に起因した前提条件などを表すために用いられる。また組み合わせ最適化問題における目的関数は、仮説推論における評価関数と等価になるように設計される。

[0028] 続いて、最適解探索部 5 は、候補仮説集合 D 3 の中から暫定的な解仮説を探索して出力する。この処理は候補仮説変換部 4 が出力する問題の種別に応じた外部ソルバを用いることで実現される。非特許文献 1 に基づく方法によれば、整数線形計画問題のソルバを用いて最適解を得て、その最適解に対応する候補仮説を暫定的な解仮説として用いる。

[0029] 続いて、無矛盾性判定部 6 は、最適解探索部 5 によって得られた暫定解について、制約処理方式決定部 2 においてCutting Plane Inferenceの対象となった論理制約を充足しているかどうかを判定する。もし暫定解がこれらの論理制約の全てを充足する場合は、この解を最良仮説 D 5 として出力する。一方で充足されない論理制約が存在する場合は、その論理制約を論理制約集合 D 4 に追加した上で、再び最適解探索部 5 へと処理をループさせる。このループは、全ての論理制約を充足する解が得られるか、最終的に全ての論理制約が論理制約集合 D 4 に追加されるまで繰り返される。

[0030] [具体例]

次に、具体例を用いて上述した情報処理装置の動作を説明する。ここでは、図 2 に示すような観測論理式および背景知識に対して仮説推論を行う場合を考える。

[0031] まず、候補仮説生成部 1 において、観測論理式と背景知識から、候補仮説集合を生成する。より具体的には、観測論理式のみからなる候補仮説を初期状態として、図 3 に示すように、後ろ向き推論操作および単一化操作を適用していくことで、候補仮説集合を構築していく。このようにして、図 3 に示すような候補仮説が生成される。

[0032] 次に、制約処理方式決定部 2 において、個々の候補仮説が充足すべき論理制約について、処理方式を決定する。このとき、論理制約は、何らかの基準で定められた纏まりごとに処理方式が決定される。例えば、候補仮説に含ま

れるリテラルをその出現順によってソートした後、「特定のリテラルを含み、そのリテラルの出現以前に出現したリテラルのみで構成された論理制約」を一つの纏まりとして列挙していく場合、図3が示す候補仮説に対する論理制約は、図4に示すような纏まりで処理される。このとき、制約処理方式決定部2は、個々の纏まりごとにその列挙数の上界を概算し、その値によってそれら論理制約の纏まりをどのように扱うかを決定する。

[0033] ここで、例えば、上界値が8以上のものをCutting Plane Inferenceの対象として扱うこととし、リテラルpenguin(b)に関する論理制約の処理方式を決定する場合を考える。このとき、図2に示す背景知識において、述語penguinを含む推論ルールは、 $\text{penguin}(x) \rightarrow \neg \text{fly}(x)$ および $\text{penguin}(x) \wedge \text{swallow}(x) \rightarrow \perp$ の二つである。したがって、ここでの論理制約の列挙数の上界は、これらの推論ルールのそれぞれに矛盾するリテラルの組み合わせの上界の和である。例えば、 $\text{penguin}(x) \rightarrow \neg \text{fly}(x)$ に矛盾するリテラルの組み合わせの上界は、考慮すべきリテラルにおいて述語penguinおよび述語flyを持つリテラルの組み合わせの数として計算することができるので、ここでは $1 \times 3 = 3$ となる。同様に $\text{penguin}(x) \wedge \text{swallow}(x) \rightarrow \perp$ に矛盾するリテラルの組み合わせの上界は、述語penguinを持つリテラルが3つ、述語swallowを持つリテラルが2つであるので、 $2 \times 3 = 6$ となる。したがって、リテラルpenguin(b)に関する論理制約の個数の上界は9であり、上で定めた閾値8を超えていることから、これらの論理制約は列挙せずに、Cutting Plane Inferenceの対象となる。

[0034] 次に、制約列挙部3において、前記制約処理方式決定部において事前列挙の対象となった論理制約の纏まりについて、具体的なリテラルの組み合わせを列挙する。図3に示す候補仮説に対する論理制約は、図4に示すように列挙される。

[0035] 候補仮説変換部4では、候補仮説集合D3に含まれ、かつ論理制約集合D4に含まれる組み合わせを満たさないような候補仮説の中で、最良の仮説を探索するような手続きを、制約付き組み合わせ最適化問題として表現して出

力する。非特許文献 1 の方法によれば、最良の仮説を探索する手続きを、等価な整数線形計画問題として表現する。

[0036] 最適解探索部 5 では、前記候補仮説変換部から制約付き組み合わせ最適化問題を入力として受け取り、最良仮説を探索して出力する。非特許文献 1 の方法によれば、整数線形計画問題を入力として受け取り、外部の整数線形計画問題ソルバを用いて解くことで、最良仮説の探索を行う。

[0037] 無矛盾性判定部 6 では、前記最適解探索部 5 で得られた最良仮説に対して、前記制約処理方式決定部においてCutting Plane Inferenceの対象となった論理制約に矛盾していないかどうかの判定を行い、無矛盾であればその仮説を解仮説 D 5 として出力する。一方、矛盾する論理制約が見つかった場合は、その論理制約を論理制約集合 D 4 に追加した上で、処理を前記最適解探索部 5 へループさせる。例えば、図 2 に示す入力に対する最良仮説として、 $bird(a) \wedge fly(a) \wedge bird(b) \wedge !fly(b) \wedge penguin(c) \wedge swallow(d) \wedge swallow(a) \wedge (a=d) \wedge swallow(b) \wedge (b=d)$ という仮説が得られた場合を考える。これに対して無矛盾性判定部 6 は、図 4 に示す論理制約の纏まり (9) (10) に対して仮説が矛盾していないかどうかを判定する。まず、リテラル $penguin(b)$ に関する論理制約 (9) については、仮説にこのリテラルが含まれていないことから、無矛盾であることが自明である。次にリテラル $swallow(b)$ に関する論理制約 (10) については、このリテラルが最良仮説に含まれる他のリテラルとの間で推論ルールに矛盾する組み合わせが存在しないかどうかを判定することで無矛盾性の検証を行う。この場合は、 $swallow(b) \wedge !fly(b)$ の組み合わせが推論ルールに矛盾するので、この組み合わせを論理制約として論理制約集合 D 4 に追加した上で、再び最適解探索部 5 へ処理をループさせる。

[0038] [効果]

以上のように、上述した情報処理装置によると、まず、第一の効果として、論理制約ごとの処理方式を、状況に応じて適切なものを選択できる。その理由は、個々の論理制約を列挙する前に、列挙される数の上界などを評価することによって、Cutting Plane Inferenceの対象とすべきかどうかを判定す

ることができるためである。経験的に、列挙される論理制約の数が多いほどCutting Plane Inferenceの恩恵が強くなるため、列挙数の上界を判定基準として対象を選別することで、Cutting Plane Inferenceの恩恵を強く得られるような論理制約のみをその対象にすることができる。

[0039] 第2の効果は、仮説推論における推論処理を、メモリ・計算時間の両面において既存の方式よりも効率的に行えることである。その理由は、上述した第1の効果により、列挙される数が多くなるような論理制約についてはCutting Plane Inferenceの対象となるので、本来多大なメモリ・計算時間が費やされるはずだったその論理制約を明示的に列挙する処理が、行わなくても済むようになるためである。

[0040] 第3の効果は、仮説推論全体の手続きを、メモリ・計算時間の両面において既存の方式よりも効率的に行えることである。その理由は、上述した第2の効果により、論理制約を列挙するのにかかるメモリおよび計算時間が削減されるほか、第2の効果により、ソルバに与えられる制約付き組み合わせ最適化問題における制約の数が削減されることで、外部ソルバによって最適解を探索する手続きにおけるメモリおよび計算時間が削減されるためである。

[0041] <実施形態2>

次に、本開示の第2の実施形態を、図5乃至図6を参照して説明する。図5乃至図6は、実施形態2における情報処理装置の構成を示すブロック図である。なお、本実施形態では、上述した実施形態で説明した情報処理装置の構成の概略を示している。

[0042] まず、図5を参照して、本実施形態における情報処理装置100のハードウェア構成を説明する。情報処理装置100は、一般的な情報処理装置にて構成されており、一例として、以下のようなハードウェア構成を装備している。

・CPU (Central Processing Unit) 101 (演算装置)

・ROM (Read Only Memory) 102 (記憶装置)

- ・ R A M (R a n d o m A c c e s s M e m o r y) 1 0 3 (記憶装置)
- ・ R A M 1 0 3 にロードされるプログラム群 1 0 4
- ・ プログラム群 1 0 4 を格納する記憶装置 1 0 5
- ・ 情報処理装置外部の記憶媒体 1 1 0 の読み書きを行うドライブ装置 1 0 6
- ・ 情報処理装置外部の通信ネットワーク 1 1 1 と接続する通信インタフェース 1 0 7
- ・ データの入出力を行う入出力インタフェース 1 0 8
- ・ 各構成要素を接続するバス 1 0 9

[0043] なお、図 5 は、情報処理装置 1 0 0 である情報処理装置のハードウェア構成の一例を示しており、情報処理装置のハードウェア構成は上述した場合に限定されない。例えば、情報処理装置は、ドライブ装置 1 0 6 を有さないなど、上述した構成の一部から構成されてもよい。また、情報処理装置は、上述した C P U の代わりに、 G P U (G r a p h i c P r o c e s s i n g U n i t) 、 D S P (D i g i t a l S i g n a l P r o c e s s o r) 、 M P U (M i c r o P r o c e s s i n g U n i t) 、 F P U (F l o a t i n g p o i n t n u m b e r P r o c e s s i n g U n i t) 、 P P U (P h y s i c s P r o c e s s i n g U n i t) 、 T P U (T e n s o r P r o c e s s i n g U n i t) 、 量子プロセッサ、マイクロコントローラ、又は、これらの組み合わせなどを用いることができる。

[0044] そして、情報処理装置 1 0 0 は、プログラム群 1 0 4 を C P U 1 0 1 が取得して当該 C P U 1 0 1 が実行することで、図 6 に示す生成部 1 2 1 と決定部 1 2 2 と推論部 1 2 3 とを構築して装備することができる。なお、プログラム群 1 0 4 は、例えば、予め記憶装置 1 0 5 や R O M 1 0 2 に格納されており、必要に応じて C P U 1 0 1 が R A M 1 0 3 にロードして実行する。また、プログラム群 1 0 4 は、通信ネットワーク 1 1 1 を介して C P U 1 0 1

に供給されてもよいし、予め記憶媒体 110 に格納されており、ドライブ装置 106 が該プログラムを読み出して CPU 101 に供給してもよい。但し、上述した生成部 121 と決定部 122 と推論部 123 とは、かかる手段を実現させるための専用の電子回路で構築されるものであってもよい。

[0045] 上記生成部 121 は、観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成する。

[0046] 上記決定部 122 は、観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した上界に応じて仮説推論を行う際における論理制約の処理方式を決定する。例えば、決定部 122 は、算出した上界に応じて、論理制約を事前に列挙する第一の前記処理方式と、候補仮説の論理制約に対する無矛盾性を事後判定する第二の処理方式と、のうち、いずれか一方の処理方式を決定する。このとき、決定部 122 は、観測論理式に含まれる述語毎に、かかる述語を含む背景知識と観測論理式とに基づいて上界を算出する。

[0047] 上記推論部 123 は、決定された処理方式にて論理制約を処理して候補仮説に対する仮説推論を行う。

[0048] 本開示は、以上のように構成されることにより、候補仮説に対する仮説推論を行う際における論理制約ごとの処理方式を、状況に応じて適切なものを選択できる。その結果、仮説推論における計算効率の向上を図ることができる。

[0049] なお、上述したプログラムは、様々なタイプの非一時的なコンピュータ可読媒体 (non-transitory computer readable medium) を用いて格納され、コンピュータに供給することができる。非一時的なコンピュータ可読媒体は、様々なタイプの実体のある記録媒体 (tangible storage medium) を含む。非一時的なコンピュータ可読媒体の例は、磁気記録媒体 (例えばフレキシブルディスク、磁気テープ、ハードディスクドライブ)、光磁気記録媒体 (例えば光磁気ディスク)、CD-ROM (Read Only Memory)、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ (例えば、マスク ROM、PROM (Programmable

ROM)、E P R O M (Erasable P R O M)、フラッシュ R O M、R A M (Random Access Memory))を含む。また、プログラムは、様々なタイプの一時的なコンピュータ可読媒体(transitory computer readable medium)によってコンピュータに供給されてもよい。一時的なコンピュータ可読媒体の例は、電気信号、光信号、及び電磁波を含む。一時的なコンピュータ可読媒体は、電線及び光ファイバ等の有線通信路、又は無線通信路を介して、プログラムをコンピュータに供給できる。

[0050] 以上、上記実施形態等を参照して本開示を説明したが、本開示は、上述した実施形態に限定されるものではない。本開示の構成や詳細には、本開示の範囲内で当業者が理解しうる様々な変更をすることができる。また、上述した生成部121と決定部122と推論部123との機能のうちの少なくとも一以上の機能は、ネットワーク上のいかなる場所に設置され接続された情報処理装置で実行されてもよく、つまり、いわゆるクラウドコンピューティングで実行されてもよい。

[0051] <付記>

上記実施形態の一部又は全部は、以下の付記のようにも記載されうる。以下、本開示における情報処理装置、情報処理方法、プログラムの構成の概略を説明する。但し、本開示は、以下の構成に限定されない。

(付記1)

観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成する生成部と、

観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定する決定部と、

決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う推論部と、
を備えた情報処理装置。

(付記2)

付記1に記載の情報処理装置であって、

前記決定部は、算出した前記上界に応じて、前記論理制約を事前に列挙する第一の前記処理方式と、前記候補仮説の前記論理制約に対する無矛盾性を事後判定する第二の前記処理方式と、のうち、いずれか一方の前記処理方式を決定する、
情報処理装置。

(付記 3)

付記 2 に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、算出した前記上界の値が予め設定された閾値未満である場合に、前記第一の処理方式を決定し、算出した前記上界の値が前記閾値以上である場合に、前記第二の処理方式を決定する、
情報処理装置。

(付記 4)

付記 1 乃至 3 のいずれかに記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、前記観測論理式に含まれる述語に基づいてまとめられた前記論理制約の集合毎に前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界の数に応じて前記論理制約の集合毎に前記処理方式を決定し、
前記推論部は、前記論理制約の集合毎に決定した前記処理方式にて当該集合内の前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理装置。

(付記 5)

付記 1 乃至 4 のいずれかに記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、前記観測論理式に含まれる述語毎に、当該述語に関連する前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界に応じて前記論理制約の前記処理方式を決定し、
前記推論部は、前記述語毎に決定した前記処理方式にて当該述語に関連する前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理装置。

(付記 6)

付記 5 に記載の情報処理装置であって、

前記決定部は、前記観測論理式に含まれる前記述語毎に、当該述語を含む前記背景知識と前記観測論理式とに基づいて前記上界を算出する、
情報処理装置。

(付記 7)

付記 6 に記載の情報処理装置であって、

前記決定部は、前記観測論理式に含まれる前記述語毎に、当該述語を含む前記背景知識を特定し、特定した前記背景知識に含まれる前記述語に対応する前記観測論理式内の前記述語の組み合わせの数に基づいて前記上界を算出する、
情報処理装置。

(付記 8)

観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成し、

観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定し、

決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理方法。

(付記 9)

付記 8 に記載の情報処理方法であって、

算出した前記上界に応じて、前記論理制約を事前に列挙する第一の前記処理方式と、前記候補仮説の前記論理制約に対する無矛盾性を事後判定する第二の前記処理方式と、のうち、いずれか一方の前記処理方式を決定する、
情報処理方法。

(付記 10)

付記 8 又は 9 に記載の情報処理方法であって、

前記観測論理式に含まれる述語に基づいてまとめられた前記論理制約の集

合毎に前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界の数に応じて前記論理制約の集合毎に前記処理方式を決定し、

前記論理制約の集合毎に決定した前記処理方式にて当該集合内の前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理方法。

(付記 1 1)

付記 8 乃至 1 0 のいずれかに記載の情報処理方法であって、

前記観測論理式に含まれる述語毎に、当該述語に関連する前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界に応じて前記論理制約の前記処理方式を決定し、

前記述語毎に決定した前記処理方式にて当該述語に関連する前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理方法。

(付記 1 2)

観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成し、

観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定し、

決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、

処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記憶したコンピュータにて読み取り可能な記憶媒体。

符号の説明

- [0052] 1 候補仮説生成部
2 制約処理方式決定部
3 制約列挙部
4 候補仮説変換部
5 最適探索部

6 無矛盾性判定部

D 1 観測論理式

D 2 背景知識

D 3 候補仮説集合

D 4 論理制約集合

D 5 解仮説

1 0 0 情報処理装置

1 0 1 C P U

1 0 2 R O M

1 0 3 R A M

1 0 4 プログラム群

1 0 5 記憶装置

1 0 6 ドライブ装置

1 0 7 通信インタフェース

1 0 8 入出力インタフェース

1 0 9 バス

1 1 0 記憶媒体

1 1 1 通信ネットワーク

1 2 1 生成部

1 2 2 決定部

1 2 3 推論部

請求の範囲

- [請求項1] 観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成する生成部と、
観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定する決定部と、
決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う推論部と、
を備えた情報処理装置。
- [請求項2] 請求項1に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、算出した前記上界に応じて、前記論理制約を事前に列挙する第一の前記処理方式と、前記候補仮説の前記論理制約に対する無矛盾性を事後判定する第二の前記処理方式と、のうち、いずれか一方の前記処理方式を決定する、
情報処理装置。
- [請求項3] 請求項2に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、算出した前記上界の値が予め設定された閾値未満である場合に、前記第一の処理方式を決定し、算出した前記上界の値が前記閾値以上である場合に、前記第二の処理方式を決定する、
情報処理装置。
- [請求項4] 請求項1に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、前記観測論理式に含まれる述語に基づいてまとめられた前記論理制約の集合毎に前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界の数に応じて前記論理制約の集合毎に前記処理方式を決定し、
前記推論部は、前記論理制約の集合毎に決定した前記処理方式にて当該集合内の前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理装置。

- [請求項5] 請求項 1 に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、前記観測論理式に含まれる述語毎に、当該述語に関連する前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界に応じて前記論理制約の前記処理方式を決定し、
前記推論部は、前記述語毎に決定した前記処理方式にて当該述語に関連する前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理装置。
- [請求項6] 請求項 5 に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、前記観測論理式に含まれる前記述語毎に、当該述語を含む前記背景知識と前記観測論理式とに基づいて前記上界を算出する、
情報処理装置。
- [請求項7] 請求項 6 に記載の情報処理装置であって、
前記決定部は、前記観測論理式に含まれる前記述語毎に、当該述語を含む前記背景知識を特定し、特定した前記背景知識に含まれる前記述語に対応する前記観測論理式内の前記述語の組み合わせの数に基づいて前記上界を算出する、
情報処理装置。
- [請求項8] 観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成し、
観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定し、
決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、
情報処理方法。
- [請求項9] 請求項 8 に記載の情報処理方法であって、
算出した前記上界に応じて、前記論理制約を事前に列挙する第一の

前記処理方式と、前記候補仮説の前記論理制約に対する無矛盾性を事後判定する第二の前記処理方式と、のうち、いずれか一方の前記処理方式を決定する、

情報処理方法。

[請求項10]

請求項8に記載の情報処理方法であって、

前記観測論理式に含まれる述語に基づいてまとめられた前記論理制約の集合毎に前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界の数に応じて前記論理制約の集合毎に前記処理方式を決定し、

前記論理制約の集合毎に決定した前記処理方式にて当該集合内の前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、

情報処理方法。

[請求項11]

請求項8に記載の情報処理方法であって、

前記観測論理式に含まれる述語毎に、当該述語に関連する前記論理制約の数の前記上界を算出し、算出した前記上界に応じて前記論理制約の前記処理方式を決定し、

前記述語毎に決定した前記処理方式にて当該述語に関連する前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、

情報処理方法。

[請求項12]

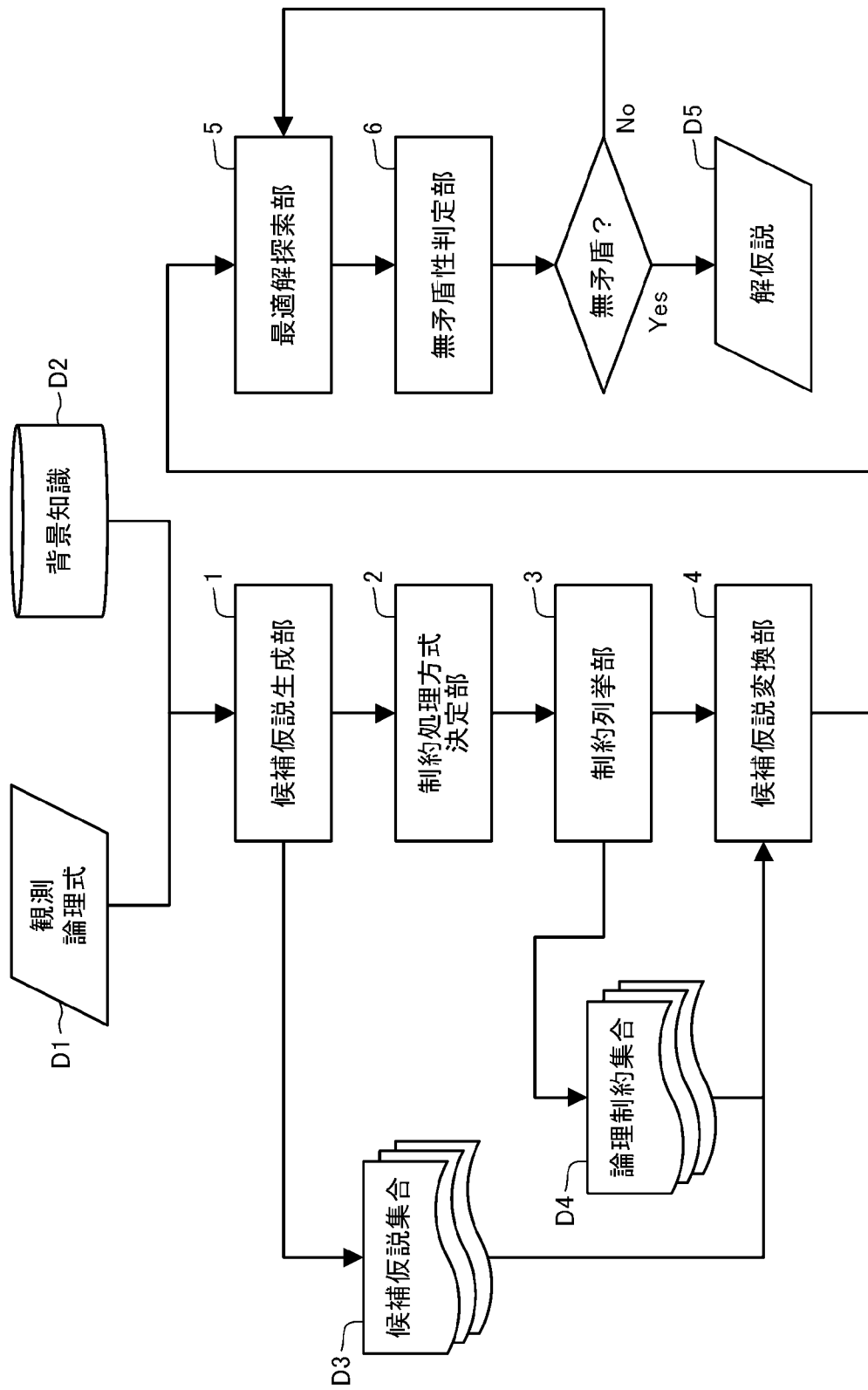
観測論理式及び背景知識に基づいて候補仮説を生成し、

観測論理式及び背景知識に基づいて前記候補仮説が充足すべき論理制約の数の上界を算出し、算出した前記上界に応じて仮説推論を行う際における前記論理制約の処理方式を決定し、

決定された前記処理方式にて前記論理制約を処理して前記候補仮説に対する仮説推論を行う、

処理をコンピュータに実行させるためのプログラムを記憶したコンピュータにて読み取り可能な記憶媒体。

[図1]



[図2]

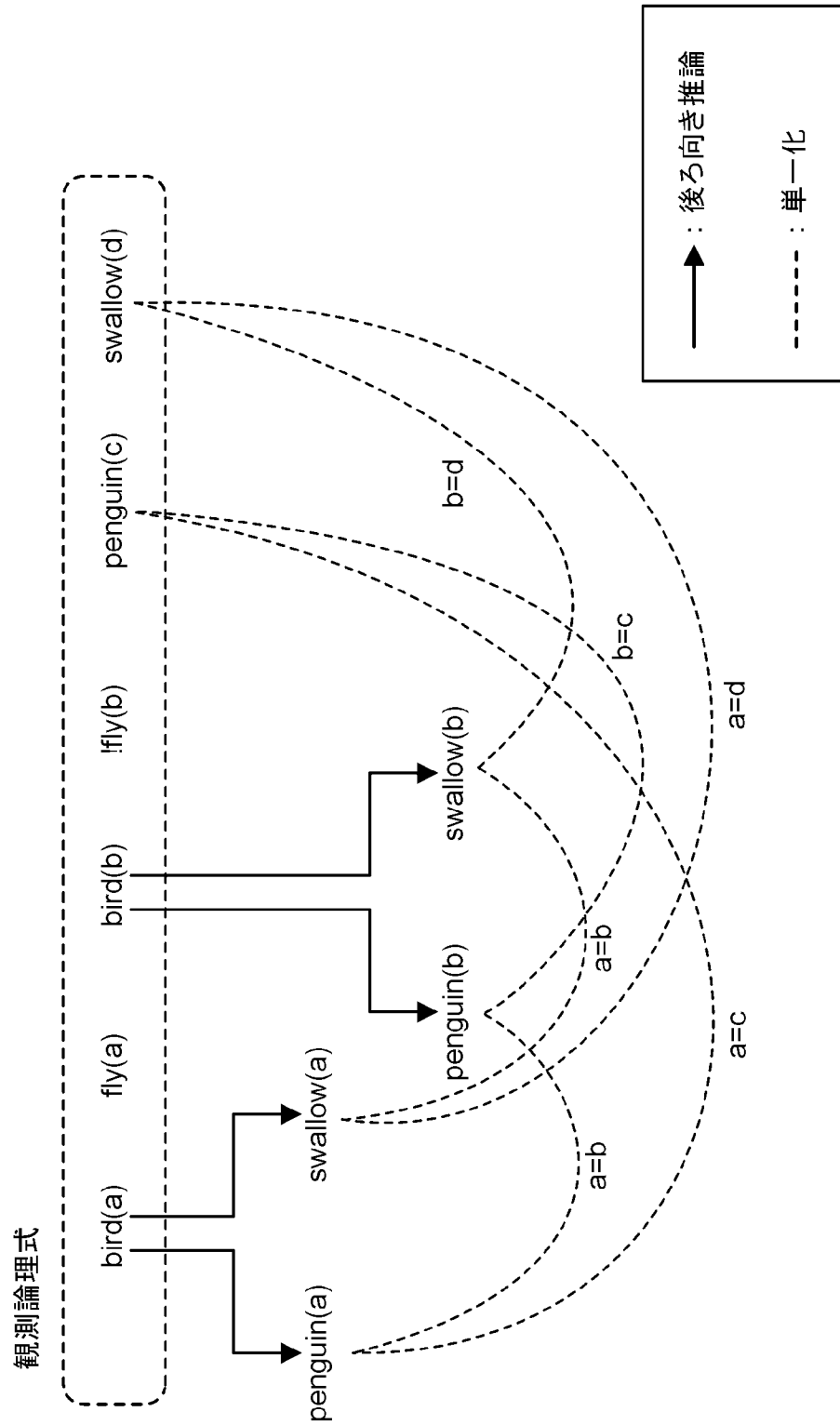
背景知識

$$\begin{aligned} & \text{penguin}(x) \rightarrow \text{bird}(x) \\ & \text{swallow}(x) \rightarrow \text{bird}(x) \\ & \text{penguin}(x) \rightarrow \neg \text{fly}(x) \\ & \text{swallow}(x) \rightarrow \text{fly}(x) \\ & \text{penguin}(x) \wedge \text{swallow}(x) \rightarrow \perp \end{aligned}$$

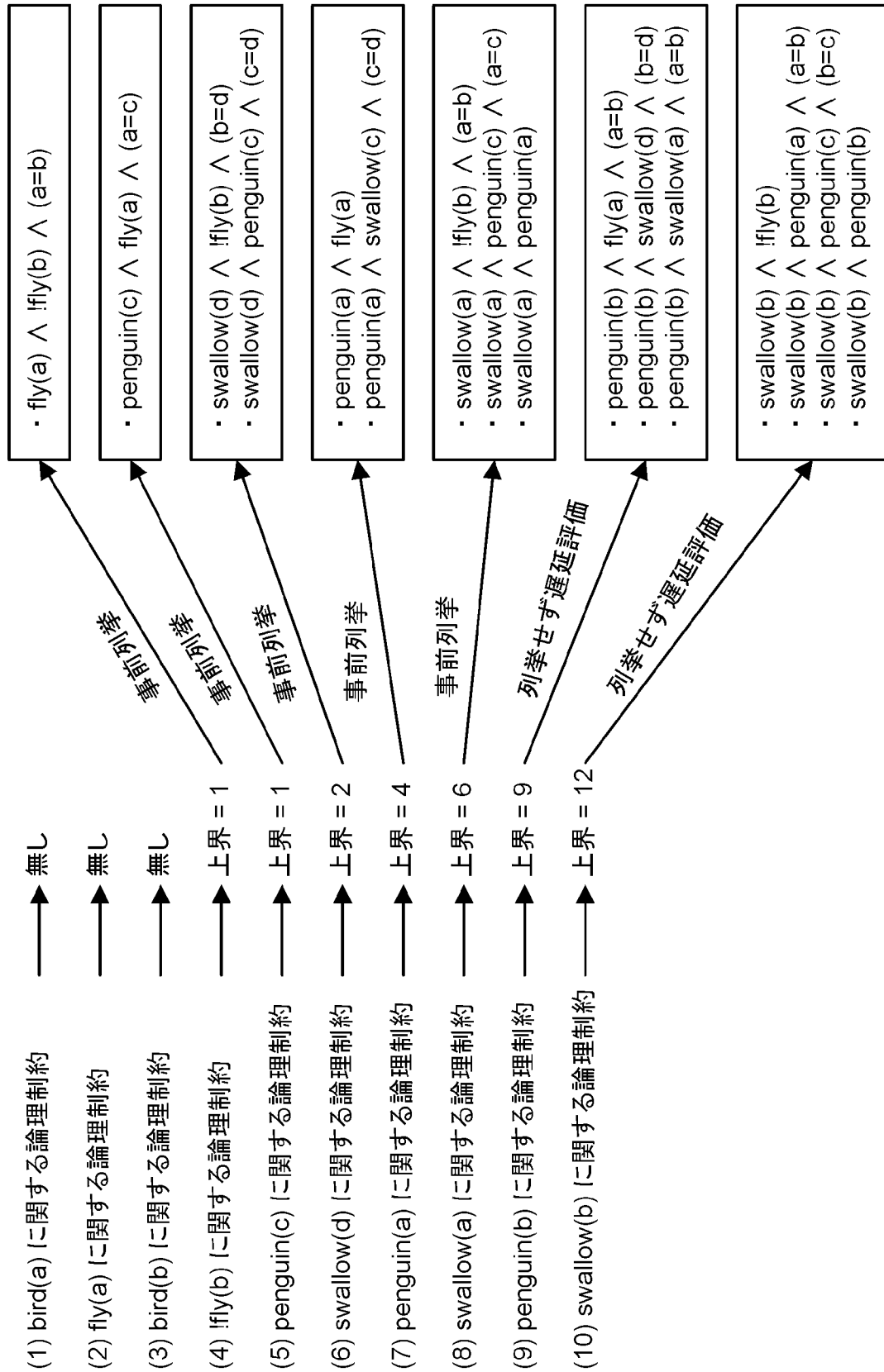
観測論理式

$$\begin{aligned} & \text{bird}(a) \wedge \text{fly}(a) \wedge \\ & \text{bird}(b) \wedge \neg \text{fly}(b) \wedge \\ & \text{penguin}(c) \wedge \text{swallow}(d) \end{aligned}$$

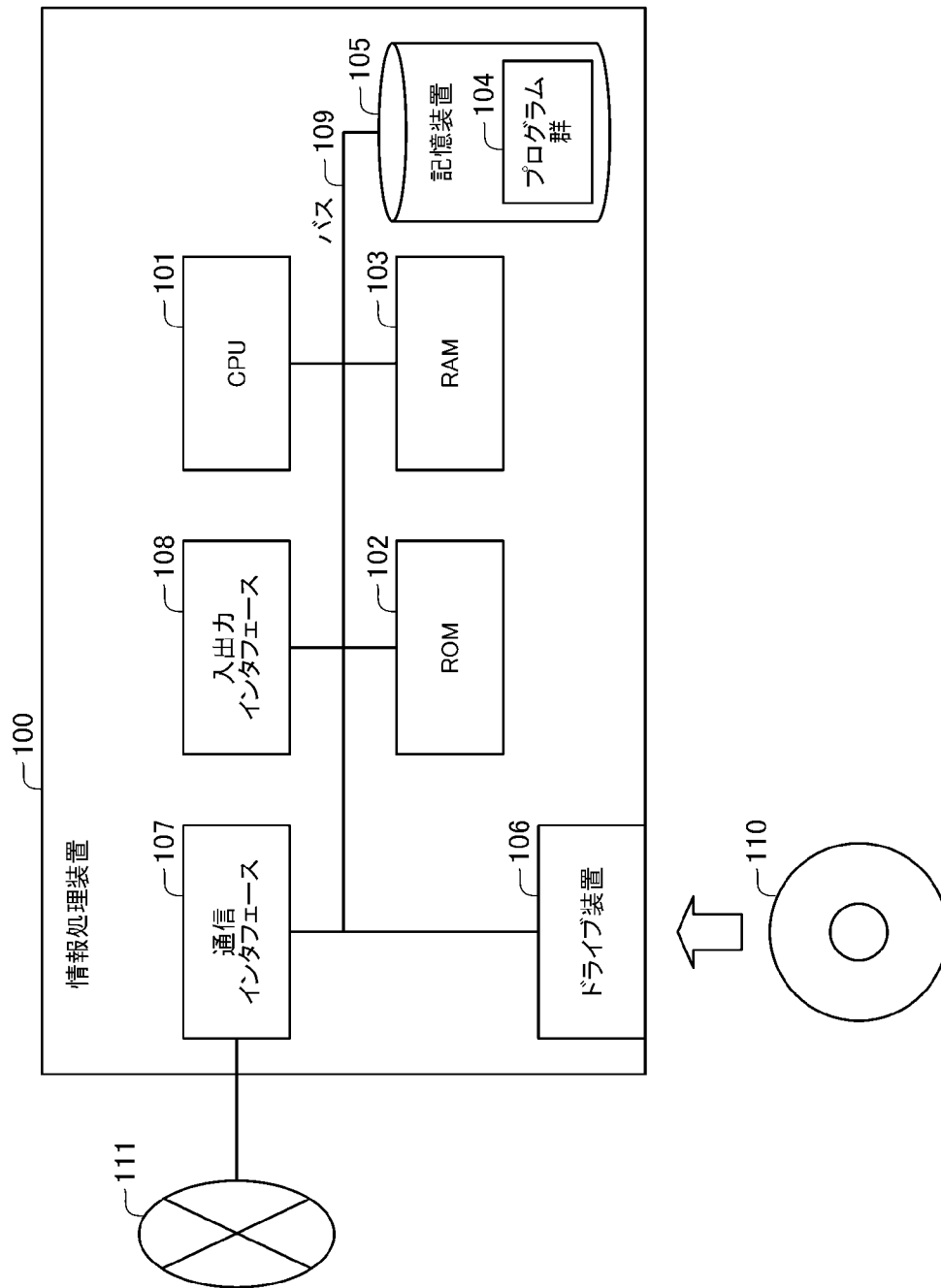
[図3]



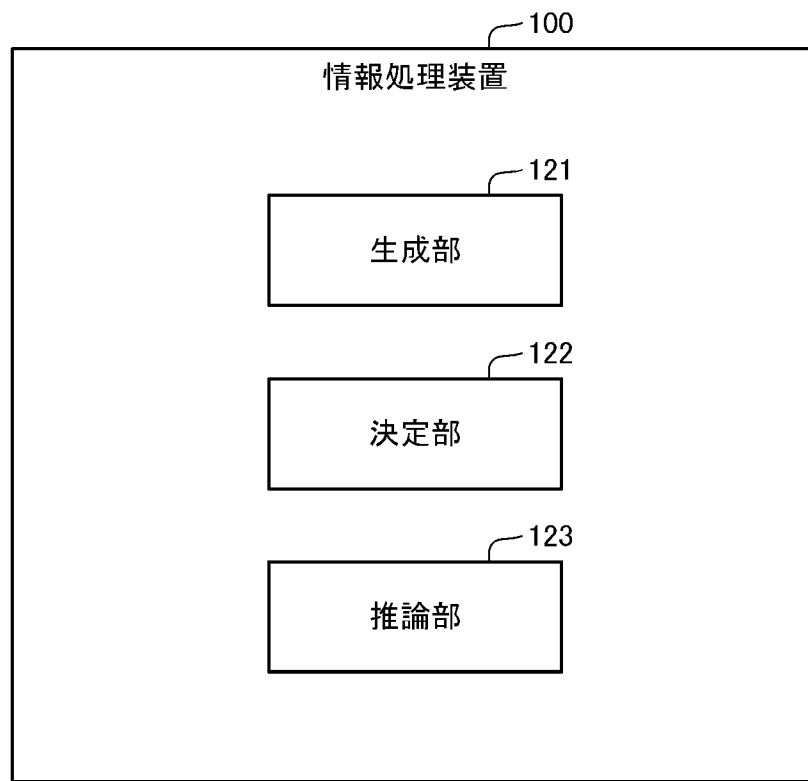
[図4]



[図5]



[図6]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/012632

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G06N 5/04**(2023.01)i

FI: G06N5/04

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)

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 1971-2023
 Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
 Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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	WO 2021/245726 A1 (NEC CORPORATION) 09 December 2021 (2021-12-09) entire text, all drawings	1-12
A	WO 2022/049706 A1 (NEC CORPORATION) 10 March 2022 (2022-03-10) entire text, all drawings	1-12
A	WO 2022/180729 A1 (NEC CORPORATION) 01 September 2022 (2022-09-01) entire text, all drawings	1-12
A	山本 風人 ほか, 機能的なリテラルを含む公理体系における仮説推論の効率化, 自然言語処理, 2016, vol. 23, no. 3, pp. 267-298, ISSN 1340-7619, (YAMAMOTO, Kazeto et al. Boosting Abductive Reasoning with Functional Literals. Journal of natural language processing.) entire text, all drawings	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

30 May 2023

Date of mailing of the international search report

13 June 2023

Name and mailing address of the ISA/JP

Japan Patent Office (ISA/JP)
 3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915
 Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2023/012632

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO	2021/245726	A1	09 December 2021	(Family: none)	
WO	2022/049706	A1	10 March 2022	(Family: none)	
WO	2022/180729	A1	01 September 2022	(Family: none)	

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G06N 5/04(2023.01)i FI: G06N5/04		
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）） 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 1971-2023年 日本国実用新案登録公報 1996-2023年 日本国登録実用新案公報 1994-2023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	WO 2021/245726 A1（日本電気株式会社）09.12.2021（2021-12-09） 全文、全図	1-12
A	WO 2022/049706 A1（日本電気株式会社）10.03.2022（2022-03-10） 全文、全図	1-12
A	WO 2022/180729 A1（日本電気株式会社）01.09.2022（2022-09-01） 全文、全図	1-12
A	山本 風人 ほか、機能的なリテラルを含む公理体系における仮説推論の効率化、自然言語処理、2016、第23巻、第3号、pp. 267-298、ISSN 1340-7619 全文、全図	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抵触するものではなく、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 30.05.2023	国際調査報告の発送日 13.06.2023	
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号	権限のある職員（特許庁審査官） 北川 純次 5B 3650 電話番号 03-3581-1101 内線 3545	

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2023/012632

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO	2021/245726	A1	09.12.2021	(ファミリーなし)	
WO	2022/049706	A1	10.03.2022	(ファミリーなし)	
WO	2022/180729	A1	01.09.2022	(ファミリーなし)	