(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2024年10月3日(03.10.2024)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2024/201796 A1

(51) 国際特許分類:
G06N 7/01 (2023.01) *G06F 18/23* (2023.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/012838

(22) 国際出願日： 2023年3月29日(29.03.2023)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(71) 出願人: 富士通株式会社(**FUJITSU LIMITED**) [JP/JP]; 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 Kanagawa (JP).

(72) 発明者: 上村 健人(**UEMURA, Kento**); 〒2118588 神奈川県川崎市中原区上小田中４丁目１番１号 富士通株式会社内 Kanagawa (JP).

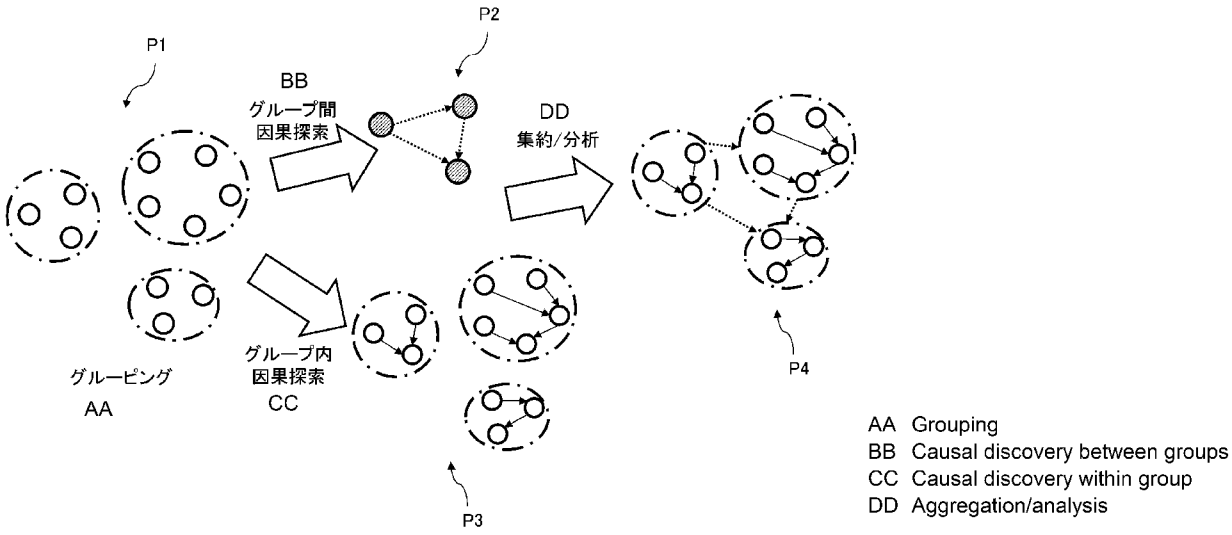
(74) 代理人: 弁理士法人真田特許事務所, 外(**SANADA PATENT FIRM** et al.); 〒1800004 東京都武蔵野市吉祥寺本町１丁目１０番３１号 ＮＭＦ吉祥寺本町ビル８階 Tokyo (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MU, 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, 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,

(54) **Title:** CAUSAL DISCOVERY PROGRAM, CAUSAL DISCOVERY METHOD, AND CAUSAL DISCOVERY DEVICE

(54) 発明の名称： 因果探索プログラム，因果探索方法および因果探索装置



(57) **Abstract:** The present invention involves: classifying a plurality of variables into two or more groups on the basis of a similarity of the variables on a joint distribution; performing causal discovery between representative variables determined for the two or more groups, respectively; performing, for each of the two or more groups, causal discovery between variables included in each group; and outputting a result of the causal discovery between representative variables and a result of the causal discovery between variables included in each group, to thereby enable estimation of a causal relationship between variables even when the number of samples is insufficient relative to the number of variables.

WO 2024/201796 A1

［続葉有］

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：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

(57) 要約：同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類し、２つ以上のグループそれぞれについて決定された代表変数の間の因果探索を行ない、２つ以上のグループそれぞれについて、各グループに含まれる変数の間の因果探索を行ない、代表変数の間の因果探索の結果と各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを出力することにより、変数の数に対してサンプル数が不十分な場合においても、変数間の因果関係を推定できるようにする。

明　細　書

発明の名称 ：

因果探索プログラム，因果探索方法および因果探索装置

技術分野

[0001] 本発明は、因果探索プログラム，因果探索方法および因果探索装置に関する。

背景技術

[0002] 昨今、与えられた変数の観測値から、それらの変数間の因果関係を推定する試みが盛んに行なわれている。

[0003] 因果関係とは、単なる相関関係とは異なり、変数値の変化の関係性を表す。

[0004] 例えば、xとyとに正の（もしくは負の）相関関係がある場合には、xの値が大きい（もしくは小さい）ときに、yの値も大きい（もしくは小さい）となる。

[0005] これに対して、xからyに正の（もしくは負の）因果関係がある場合には、xの値を増やす（もしくは減らす）と、yの値も増える（もしくは減る）。

[0006] なお、上記の例は、相関関係および因果関係がいずれも線形の関係性である場合について示す。非線形の関係性も存在し、その場合は、単に「正の」もしくは「負の」ではなく、その非線形関係に従った関係になる。

[0007] 例えば、データマイニングや機械学習の分析結果に基づき値の変更を伴う施策立案を試みる場合には、相関関係ではなく因果関係が必要となる。具体的には、例えば、製品の不良品率yを下げるためには、どの設計パラメータxをどう変更すればよいか？といった問題に対する推定や、顧客購買率yを上げるためには、どういう営業施策xをその程度打てば良いか？といった問題に対する推定には、因果関係が用いられる。

[0008] データから因果関係を推定することを因果探索といってよい。因果探索のひとつの方法として、変数間の因果関係に何らかの仮定を課し、その仮定を

満たしつつ、最もデータに当てはまる因果関係を観測値から推定することで、所望の変数間の因果関係を求める方法がある。

[0009] 前記因果探索の方法において、変数間の因果関係を表す数式や、直接観測できない潜在変数の分布などに関する仮定をまとめたモデルを構造方程式モデル（Structural Equation Modeling：ＳＥＭ）といってよい。ＳＥＭにおいては、観測変数と因果関係を持つような潜在変数を導入する。

[0010] 代表的なＳＥＭとして、例えば、Linear non-Gaussian acyclic model （ＬｉＮＧＡＭ）やAdditive noise causal model （ＡＮＭ）が知られている。

[0011] ＬｉＮＧＡＭ においては、推定アルゴリズムとして、例えば、ＤｉｒｅｃｔＬｉＮＧＡＭが用いられ、ＡＮＭにおいては、推定アルゴリズムとして、例えば、ＲＥＳＩＴが用いられる。

[0012] ＳＥＭにおいては因果関係は式で表され、例えば、ＬｉＮＧＡＭにおいては因果関係が線形式で表される。また、ＡＮＭにおいては因果関係が加法ノイズモデルの式で表される。

先行技術文献

特許文献

[0013] 特許文献1：特開２０１２－７９７５５号公報

特許文献2：特開２０１２－２２６５７３号公報

特許文献3：米国特許出願公開第２０１０／０２０５１３８号明細書

特許文献4：米国特許出願公開第２０１１／０１１２９９８号明細書

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0014] しかしながら、このような従来の因果探索手法は、観測変数の数や推定すべきモデルパラメータの数などに対してサンプル数（観測値の数）が必要数に満たない場合に適用できない。仮定するＳＥＭの種類や、その具体的な推定アルゴリズムにもよるが、従来の因果探索手法には、例えば、およそ変数

の数に対して１０倍から１００倍程度のサンプル数が必要とされる。

[0015] 従来の因果探索手法においては、特に、サンプル数が必要数に満たない状況下では、推定アルゴリズムの想定外の挙動を引き起こし、正しい推定どころか従来の因果探索手法自体が正しく動かないおそれがある。

[0016] これは、例えば、アルゴリズム内部の反復処理において、徐々に各変数の差が縮退していき、その結果として、サンプル数に依存したある数の変数間の因果関係までしか推定できず、それ以外の変数を区別できなくなることが理由として考えられる。また、因果関係の式モデルのパラメータ数が多いため、少サンプル数下ではモデルへの過適合が起こり、結果として適合残差を元に因果関係を推定するアルゴリズムが機能しないことも理由として考えられる。

[0017] そこで、何らかの方法で事前に変数の数を減らすことが有効であるが、このように変数の数を減らすことは、別の問題を誘発しうる。

[0018] 例えば、サンプル数が変数の数未満（サンプル数＜変数の数）のような状況では、非常に多くの変数を削減する必要があり、仮に削減できたとしても、有用な分析結果とならない恐れがある。

[0019] また、手法の挙動の観点からも、適切な因果関係を推定するためには、できるだけ関係する変数は観測値として含める方が望ましい。

[0020] １つの側面では、本発明は、変数の数に対してサンプル数が不十分な場合においても、変数間の因果関係を推定できるようにすることを目的とする。

課題を解決するための手段

[0021] このため、この因果探索プログラムは、同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類し、前記２つ以上のグループそれぞれについて決定された代表変数の間の因果探索を行ない、前記２つ以上のグループそれぞれについて、各グループに含まれる変数の間の因果探索を行ない、前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを出力する処理をコンピュータに実行させる。

発明の効果

[0022] 一実施形態によれば、変数の数に対してサンプル数が不十分な場合においても、変数間の因果関係を推定することができる。

図面の簡単な説明

[0023] [図1]実施形態の一例としての因果探索装置の構成を模式的に示す図である。

[図2]実施形態の一例としての因果探索装置の機能を実現するコンピュータのハードウェア（ＨＷ）構成例を示すブロック図である。

[図3]実施形態の一例としての因果探索装置のグループ化処理部による階層型クラスタリングを例示する図である。

[図4]実施形態の一例としての因果探索装置のグループ化処理部による処理を示す図である。

[図5]実施形態の一例としての因果探索装置のグループ内因果探索部による因果探索を説明するための図である。

[図6]実施形態の一例としての因果探索装置のグループ内因果探索部の処理を説明するための図である。

[図7]実施形態の一例としての因果探索装置のグループ間因果探索部の処理を説明するための図である。

[図8]実施形態の一例としての因果探索装置の因果関係集約部の処理を説明するための図である。

[図9]実施形態の一例としての因果探索装置の因果関係集約部の処理を説明するための図である。

[図10]実施形態の一例としての因果探索装置の因果関係集約部の処理を説明するための図である。

[図11]実施形態の一例としての因果探索装置の処理を説明するためのフローチャートである。

[図12]実施形態の一例としての因果探索装置による処理の概要を示す図である。

[図13]図１１に示したフローチャートのステップＳ６における処理の変形例を説明するためのフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0024] 以下、図面を参照して本因果探索プログラム，因果探索方法および因果探索装置にかかる実施の形態を説明する。ただし、以下に示す実施形態はあくまでも例示に過ぎず、実施形態で明示しない種々の変形例や技術の適用を排除する意図はない。すなわち、本実施形態を、その趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。また、各図は、図中に示す構成要素のみを備えるという趣旨ではなく、他の機能等を含むことができる。

[0025] （Ａ）構成

図１は実施形態の一例としての因果探索装置１の構成を模式的に示す図である。

[0026] 因果探索装置１は、与えられた変数の観測値（データ）から、それらの変数間の因果関係を推定することで因果探索を行なう情報処理装置である。因果探索装置１をデータ分析装置１といってよい。

[0027] 〔Ａ－１〕ハードウェア構成例

図２は実施形態の一例としての因果探索装置１の機能を実現するコンピュータ１０のハードウェア（ＨＷ）構成例を示すブロック図である。因果探索装置１の機能を実現するＨＷリソースとして、複数のコンピュータが用いられる場合は、各コンピュータが図２に例示するＨＷ構成を備えてよい。

[0028] 図２に示すように、コンピュータ１０は、ＨＷ構成として、例示的に、プロセッサ１０ａ、グラフィック処理装置１０ｂ、メモリ１０ｃ、記憶部１０ｄ、ＩＦ（Interface）部１０ｅ、ＩＯ（Input / Output）部１０ｆ、および読取部１０ｇを備えてよい。

[0029] プロセッサ１０ａは、種々の制御や演算を行なう演算処理装置の一例であり、制御部に相当する。プロセッサ１０ａは、コンピュータ１０内の各ブロックとバス１０ｊで相互に通信可能に接続されてよい。なお、プロセッサ１０ａは、複数のプロセッサを含むマルチプロセッサであってもよいし、複数のプロセッサコアを有するマルチコアプロセッサであってもよく、或いは、マルチコアプロセッサを複数有する構成であってもよい。

[0030] プロセッサ１０ａとしては、例えば、ＣＰＵ、ＭＰＵ、ＡＰＵ、ＤＳＰ、ＡＳＩＣ、ＦＰＧＡ等の集積回路（ＩＣ；integrated circuit）が挙げられる。なお、プロセッサ１０ａとして、これらの集積回路の２以上の組み合わせが用いられてもよい。ＣＰＵはCentral Processing Unitの略称であり、ＭＰＵはMicro Processing Unitの略称である。ＡＰＵはAccelerated Processing Unitの略称である。ＤＳＰはDigital Signal Processorの略称であり、ＡＳＩＣはApplication Specific ICの略称であり、ＦＰＧＡはField-Programmable Gate Arrayの略称である。

[0031] グラフィック処理装置１０ｂは、ＩＯ部１０ｆのうちのモニタ等の出力装置に対する画面表示制御を行なう。グラフィック処理装置１０ｂとしては、種々の演算処理装置、例えば、ＧＰＵ（Graphics Processing Unit）、ＡＰＵ、ＤＳＰ、ＡＳＩＣ又はＦＰＧＡ等の集積回路（ＩＣ）が挙げられる。

[0032] メモリ１０ｃは、種々のデータやプログラム等の情報を格納するＨＷの一例である。メモリ１０ｃとしては、例えばＤＲＡＭ（Dynamic Random Access Memory）等の揮発性メモリ、および、ＰＭ（Persistent Memory）等の不揮発性メモリ、の一方または双方が挙げられる。

[0033] 記憶部１０ｄは、種々のデータやプログラム等の情報を格納するＨＷの一例である。記憶部１０ｄとしては、ＨＤＤ（Hard Disk Drive）等の磁気ディスク装置、ＳＳＤ（Solid State Drive）等の半導体ドライブ装置、不揮発性メモリ等の各種記憶装置が挙げられる。不揮発性メモリとしては、例えば、フラッシュメモリ、ＳＣＭ（Storage Class Memory）、ＲＯＭ（Read Only Memory）等が挙げられる。

[0034] 記憶部１０ｄは、コンピュータ１０の各種機能の全部若しくは一部を実現するプログラム１０ｈ（因果探索プログラム）を格納してよい。

[0035] 例えば、因果探索装置１のプロセッサ１０ａは、記憶部１０ｄに格納されたプログラム１０ｈをメモリ１０ｃに展開して実行することにより、後述する因果探索装置１を構成する各部としての機能を実現できる。また、記憶部１０ｄは、因果探索装置１を構成する各部が処理の過程で生成する各種デー

タを記憶してもよい。

[0036] ＩＦ部１０ｅは、本コンピュータ１０と他のコンピュータとの間の接続及び通信の制御等を行なう通信ＩＦの一例である。例えば、ＩＦ部１０ｅは、イーサネット（登録商標）等のＬＡＮ（Local Area Network）、或いは、ＦＣ（Fibre Channel）等の光通信等に準拠したアダプタを含んでよい。当該アダプタは、無線及び有線の一方又は双方の通信方式に対応してよい。

[0037] 例えば、因果探索装置１は、ＩＦ部１０ｅ及びネットワークを介して、他の情報処理装置と相互に通信可能に接続されてよい。なお、プログラム１０ｈは、当該通信ＩＦを介して、ネットワークからコンピュータ１０にダウンロードされ、記憶部１０ｄに格納されてもよい。

[0038] ＩＯ部１０ｆは、入力装置、及び、出力装置、の一方又は双方を含んでよい。入力装置としては、例えば、キーボード、マウス、タッチパネル等が挙げられる。出力装置としては、例えば、モニタ、プロジェクタ、プリンタ等が挙げられる。また、ＩＯ部１０ｆは、入力装置及び表示装置が一体となったタッチパネル等を含んでもよい。出力装置は、グラフィック処理装置１０ｂに接続されてよい。

[0039] 読取部１０ｇは、記録媒体１０ｉに記録されたデータやプログラムの情報を読み出すリーダの一例である。読取部１０ｇは、記録媒体１０ｉを接続可能又は挿入可能な接続端子又は装置を含んでよい。読取部１０ｇとしては、例えば、ＵＳＢ（Universal Serial Bus）等に準拠したアダプタ、記録ディスクへのアクセスを行なうドライブ装置、ＳＤカード等のフラッシュメモリへのアクセスを行なうカードリーダ等が挙げられる。なお、記録媒体１０ｉにはプログラム１０ｈが格納されてもよく、読取部１０ｇが記録媒体１０ｉからプログラム１０ｈを読み出して記憶部１０ｄに格納してもよい。

[0040] 記録媒体１０ｉとしては、例示的に、磁気／光ディスクやフラッシュメモリ等の非一時的なコンピュータ読取可能な記録媒体が挙げられる。磁気／光ディスクとしては、例示的に、フレキシブルディスク、ＣＤ（Compact Disc）、ＤＶＤ（Digital Versatile Disc）、ブルーレイディスク、ＨＶＤ（Hol

ographic Versatile Disc）等が挙げられる。フラッシュメモリとしては、例示的に、ＵＳＢメモリやＳＤカード等の半導体メモリが挙げられる。

[0041] 上述したコンピュータ１０のＨＷ構成は例示である。従って、コンピュータ１０内でのＨＷの増減（例えば任意のブロックの追加や削除）、分割、任意の組み合わせでの統合、または、バスの追加若しくは削除等は適宜行なわれてもよい。

[0042] 〔Ａ－２〕機能構成例

図１に示すように、因果探索装置１は、例示的に、グループ化処理部１０１，グループ代表変数生成部１０２，グループ内因果探索部１０３，グループ間因果探索部１０４および因果関係集約部１０５としての機能を備えてよい。これらの機能は、コンピュータ１０のハードウェア（図２参照）により実現されてよい。

[0043] グループ化処理部１０１は、複数の変数についての同時分布上での類似性に基づき、複数の変数を因果関係の観点から類似するものどうしを集めて、２つ以上のグループ（変数群）に分類することで、グルーピング（クラスタリング）を行なう。

[0044] グループ化処理部１０１においては、理想的には、真の因果関係の上で同一視してもよいものをまとめることが望ましい。仮定するＳＥＭやその推定手法に依存するが、できるだけまとめても影響が少ない変数をまとめることが望ましい。例えば、同じ原因変数（群）と結果変数（群）とつながっている変数群を一つのグループにまとめたり、他の変数の原因にも結果にもなってない独立な変数群を一つのグループにまとめることが望ましい。

[0045] しかしながら、推定前の段階で真の因果関係はわからないので、このようなグルーピングを実現することは難しい。

[0046] そこで、本因果探索装置１においては、グループ化処理部１０１は、変数の同時分布の違いに基づいて、真の因果関係を推定してグループ化を実現する。

[0047] ここで、変数の同時分布が類似している変数群は、因果関係の上で類似し

ていると推測できる。そこで、ある２変数x,yについて、これらの変数を入れ替えたときの同時分布の変化の度合いで類似性を定めることができる。例えば、p(x,y,z,w)と、変数x,yを入れ替えたp(y,x,z,w)とが似ている場合に、これらのxとyとは同時分布の観点から類似していると判断してよい。

[0048] グループ化処理部１０１は、ある２変数(x,y)について、これらの変数を入れ替えたとき(y,x)の同時分布の変化の度合いで類似性を定める処理で、複数の変数を２つ以上のグループに分類する処理を実現する。

[0049] グループ化処理部１０１は、複数の変数の中から選択した２つ以上の変数による変数群に対して、その分布p(x,y,z)に対して、この変数群中の一部(x,y)を入れ替えた分布 p(y,x,z)の同時分布上における変化の度合いに応じて、類似性を定めるのである。

[0050] グループ化処理部１０１は、２変数ずつの類似度を最初に計算し、階層型クラスタリング等をしてよい。

[0051] 以下に、３変数(x, y, z)の場合を例に、グループ化処理部１０１による分布の類似性に基づくグループ化手法を説明する。

[0052] グループ化処理部１０１は、２変数組(x,y)ごとに類似度を計算する。

[0053] ここで、元の分布p(x,y,z)と、対象のペア(x,y)を入れ替えた分布p(y,x,z)との差を類似度（逆類似度）とする。以下、s=[x,y,z], t=[y,x,z]と表す。

[0054] グループ化処理部１０１は、例えば、サンプル間の値の差に基づく第１の手法を用いて類似度を求めてよい。

[0055] 第１の手法においては、グループ化処理部１０１は、サンプルiごとの値の差分の総和を以下の式（１）を用いて算出する。この第１の手法によれば、他の変数との作用が考慮されないが、単純で計算コストがよい。

[0056] [数1]

$$\text{サンプルiごとの値の差分の総和 } \sum_i \left\| \boldsymbol{t}^{(i)} - \boldsymbol{s}^{(i)} \right\|^2 = \sum_i 2\left(x^{(i)} - y^{(i)}\right)^2 \quad \cdots (1)$$

また、グループ化処理部１０１は、正規分布とのずれに基づく第２の手法を用いて類似度を求めてよい。

[0057] 第２の手法においては、グループ化処理部１０１は、各分布が正規分布に

従うとした場合のズレの値を計算し、２分布間での値の差を利用してよい。ズレの値は、正規性の確認手順や検定を用いて計算してよい。

[0058] ズレの値の差は、ズレの値（もしくはそれを複数種類並べたベクトル）間の二乗誤差等で計算してよい。

[0059] グループ化処理部１０１は、例えば、元の分布p(x,y,z)と正規分布とのズレの値と、元の分布p(x,y,z)に対して対象のペア(x,y)を入れ替えた分布 p(y,x,z)と正規分布とのズレの値との差が所定の閾値以下である場合に、分布p(x,y,z)と分布 p(y,x,z)とは同時分布の観点から類似していると判断してよい。

[0060] 本第２の手法によれば、多くの因果探索手法が正規分布からのずれを手掛かりとするため、その情報を明に利用することで、より因果探索の観点から適した類似度となる。

[0061] さらに、グループ化処理部１０１は、算出した類似度に基づいて、複数の変数に対する階層型クラスタリングを行なう。

[0062] 図３は実施形態の一例としての因果探索装置１のグループ化処理部１０１による階層型クラスタリングを例示する図である。

[0063] この図３において、縦軸は類似度を示しており、変数x,y,zを類似度に基づいてクラスタリングする例を示している。

[0064] グループ化処理部１０１は、２変数毎の類似度に基づき階層型クラスタリングを行なっておくことで、後続する処理（詳細は後述）において所望の変数の数が決まった際に、それに合わせたクラスタリングを実現する。

[0065] 図４は実施形態の一例としての因果探索装置１のグループ化処理部１０１による処理を示す図である。

[0066] この図４において、符号Ａはグルーピング前の複数の変数を、符号Ｂはグルーピング後の複数の変数を、それぞれ示している。

[0067] 図４中において、実線の白抜き丸はそれぞれ変数を示しており、この図４においては、グループ化処理部１０１が１１個の変数を３つのグループ（一点鎖線参照）にグループ分けする例を示している。

[0068] また、グループ化処理部１０１は、生成した複数のグループにおいて、グループに含まれる変数の数が閾値以上の場合に、当該グループに含まれる複数の変数に対して、再度グルーピングを行なってよい。これにより、１つのグループ内に含まれる変数の数を閾値未満にすることができる。

[0069] グループ化処理部１０１は、複数の変数をグループ分けすることで、各変数に対して当該変数が属するグループに関する情報を設定してよい。また、このようなグループ分けの情報は、記憶部１０ｄの所定の記憶領域等に記憶される。

[0070] グループ代表変数生成部１０２は、グループ化処理部１０１が設定した複数のグループのそれぞれに対して代表変数を設定する。

[0071] 代表変数は、当該代表変数が属するグループを代表する変数であり、グループ毎に１つの代表変数が設定される。

[0072] グループ代表変数生成部１０２は、例えば、以下に示す第１の代表変数設定方法と第２の代表変数設定方法との２つの手法のうちいずれかの手法を用いて代表変数を設定してよい。

[0073] 第１の代表変数設定方法においては、グループ代表変数生成部１０２は、グループ内の１つの変数を代表変数として設定する。

[0074] 例えば、変数の値に明確な意味があるなど、新たに変数を作ることで解釈等が難しくなる場合に、グループ代表変数生成部１０２は、第１の代表変数設定方法を用いて代表変数を設定することが望ましい。

[0075] 例えば、グループ代表変数生成部１０２は、グループ内における因果の順序の最上流変数を代表変数としてよい。この場合、グループ代表変数生成部１０２は、後述するグループ内因果探索部１０３に予めグループ内の因果探索を実施させ、当該因果探索の結果として得られたグループ内の変数間の因果の順序に基づき、最上流の変数を代表としてよい。

[0076] 下流の変数は上流の変数からの影響を受けるが、逆はそうではないので、最上流の変数を代表変数として用いることで、当該代表変数が他の変数から受ける悪影響を低減することができる。

[0077] また、最上流の変数が複数検出された場合には、グループ代表変数生成部１０２は、これらの複数の最上流の変数の中から任意の１つの変数を選択して、代表変数として設定してよい。

[0078] なお、グループ内における因果の順序は、後述するグループ内因果探索部１０３による因果探索の結果から取得することができる。

[0079] 第２の代表変数設定方法においては、グループ代表変数生成部１０２は、グループ内の変数群から新たに代表変数を生成する。

[0080] 例えば、変数が類似した意味を有する場合や連続値の測定値である場合など、平均処理や中央値の算出処理などを行なっても変数の解釈が可能な場合には、第２の代表変数設定方法を用いて代表変数を設定することが望ましい。

[0081] 例えば、グループ代表変数生成部１０２は、グループ内に含まれる複数の変数（変数群）の平均値や中央値を算出して代表変数として設定してよい。

[0082] また、グループ内において最上流の変数が複数検出された場合には、グループ代表変数生成部１０２は、これらの複数の最上流変数の平均値や中央値を算出して代表変数として設定してよい。

[0083] グループ代表変数生成部１０２が設定した代表変数の情報は、記憶部１０ｄの所定の記憶領域等に記憶される。

[0084] グループ内因果探索部１０３は、グループ化処理部１０１が設定した複数のグループのそれぞれに対して、各グループを構成する変数群に対して因果探索を行なう。

[0085] 因果探索では，変数間の因果関係に何らかの仮定を課し、その仮定を満たしつつ、最もデータに当てはまる因果関係を観測値から推定することで、所望の変数間の因果関係を求める。

[0086] 図５は実施形態の一例としての因果探索装置１のグループ内因果探索部１０３による因果探索を説明するための図である。

[0087] 図５に示す例において、符号Ａは３つの変数x1～x3についての観測値を示し、符号Ｂは符号Ａに示す観測値から推定した、変数x1～x3についての因果

関係を例示する。この図５の符号Ｂにおいては、因果関係を変数間を接続する矢印で示す。

[0088] 各グループの変数群に対する因果探索は、既知の手法を用いて行なうことができ、その詳細な説明は省略する。

[0089] 図６は実施形態の一例としての因果探索装置１のグループ内因果探索部１０３の処理を説明するための図である。

[0090] この図６において、符号Ａはグルーピングされた複数の変数を示しており、実線の白抜き丸で示される複数の変数が、一点鎖線の丸で示す複数のグループのいずれかに含まれている。また、符号Ｂは各グループのそれぞれにおいて因果探索を行なった状態を示しており、各グループ内において、複数の変数間が因果探索の結果得られた因果関係を示す矢印で連結されている。

[0091] グループ内因果探索部１０３が行なった因果探索の結果を示す情報は、記憶部１０ｄの所定の記憶領域等に記憶される。

[0092] グループ間因果探索部１０４は、グループ代表変数生成部１０２が設定した複数の代表変数間の因果探索を行なう。

[0093] 複数の代表変数は、それぞれグループを代表する値である。従って、グループ間因果探索部１０４が代表変数間において行なう因果探索は、複数のグループ間において因果探索を行なうことと同意である。

[0094] グループ間因果探索部１０４はグループ内因果探索部１０３と同様の既知の手法を用いて、複数のグループ間における因果探索を行なってよい。複数の代表変数に対する因果探索は、既知の手法を用いて行なうことができ、その説明は省略する。

[0095] 図７は実施形態の一例としての因果探索装置１のグループ間因果探索部１０４の処理を説明するための図である。

[0096] この図７において、符号Ａは、図６の符号Ａと同様に、グルーピングされた複数の変数を示している。また、符号Ｂは符号Ａに示した複数のグループの各代表変数（斜線を付した丸参照）に対して因果探索を行なった状態を示しており、複数の代表変数（グループ）間が因果探索の結果得られた因果関

係を示す点線矢印で連結されている。

[0097] グループ間因果探索部１０４が行なった因果探索の結果を示す情報は、記憶部１０ｄの所定の記憶領域等に記憶される。

[0098] 因果関係集約部１０５は、グループ内因果探索部１０３が各グループを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のグループ間に対して行なった因果探索の結果とを集約する。これにより、因果関係集約部１０５は、階層型の推定された因果関係を生成する。

[0099] 図８は実施形態の一例としての因果探索装置１の因果関係集約部１０５の処理を説明するための図である。

[0100] この図８において、符号Ａはグループ間因果探索部１０４による因果探索結果を示す。また、符号Ｂはグループ内因果探索部１０３による因果探索結果を示す。符号Ｃは、符号Ａに示したグループ間因果探索部１０４による因果探索結果と、符号Ｂに示したグループ内因果探索部１０３による因果探索結果とを集約した例を示す。

[0101] 因果関係集約部１０５は、例えば、グループ内因果探索部１０３によって行なわれた各グループ内の因果探索の結果に基づいて、グループ内における因果の順序の最下流の変数に、当該グループの下流側のグループにおける因果の順序の最上流の変数をつなげる処理を、各グループに対してそれぞれ行なうことで、因果探索の結果の集約を行なってよい。なお、上流側のグループと下流側のグループとは、グループ間因果探索部１０４の因果探索の結果得られる因果の順序に基づいて判断することができる。

[0102] 以下、因果の順序における最下流の変数を最下流変数といってよく、因果の順序における最上流の変数を最上流変数といってよい。

[0103] 図９は実施形態の一例としての因果探索装置１の因果関係集約部１０５の処理を説明するための図である。

[0104] この図９において、符号Ａは、２つのグループ（符号Ｐ１，Ｐ２参照）の各変数に対する、グループ内因果探索部１０３による因果探索結果と、グル

ープ間因果探索部１０４による因果探索結果とを示す。この符号Ａにおいては、グループ内における因果探索の結果得られた因果関係を実線矢印で示し、グループ間に対する因果探索の結果得られた因果関係を点線で示す。

[0105] また、符号Ｂは、符号Ａに示したグループ内因果探索部１０３による因果探索結果とグループ間因果探索部１０４による因果探索結果とを集約した例を示す。

[0106] この図９に符号Ｂで示す例においては、上流側のグループ（符号Ｐ１参照）内における最下流変数（符号Ｐ３参照）に、当該グループ（符号Ｐ１参照）の下流側のグループ（符号Ｐ２参照）における最上流変数（符号Ｐ４参照）をつなげることで、因果探索結果の集約を行なっている。

[0107] 因果関係集約部１０５は、例えば、グラフ上において変数間に矢印を引くことで、これらの変数をつなげ、これらのつないだ変数間がどのような式に従う因果関係になっているかをモデル等を用いて規定（推定）してよい。使用するモデルとして、例えば、ＬｉＮＧＡＭのような線形モデルを用いてもよく、また、ＡＮＭのような非線形モデルを用いてもよく、種々変形して実施することができる。因果関係集約部１０５は、当該矢印に対して因果関係の式を割り当てる。

[0108] 例えば、上流側のグループと下流側のグループとの間に線形関係がある場合において、これらの上流側のグループの変数と下流側のグループの変数とをつなぐ際には、因果関係集約部１０５は、グラフ上で変数間に矢印を引き、この矢印が示す因果関係の式として線形式を割り当ててよい。

[0109] 一例として、上流グループαと下流グループβがα→βとして推定されている場合において、このとき、β＝５．０×α＋ｅのような、係数５の線形関係にあると推定されているとする。これらαとβにそれぞれ含まれる変数ｘとｙをつなぎたいとしたときに、一つの方法としては，グラフ上でｘからｙに矢印をつなぎ、かつその矢印が示す因果関係の式として，ｙ＝５．０×ｘ＋ｅ１のように、係数５の線形式を割り当てる。

[0110] なお、下流側のグループにおいて、当該グループ内における最上流変数が

複数ある場合には、これら最上流変数のそれぞれに対して、上流側のグループ内における最下流の１つ以上の変数をつなげてよい。すなわち、上流側のグループ内における最下流変数から、下流側のグループの複数の最上流変数に対して因果関係の分配を行なってよい。

[0111] この分配においては、グラフ構造だけでなく因果関係の関数まで推定されている場合に、因果関係に基づいて値を伝播させる処理において、複数の因果関係に値を分配させる。例えば、上流を変化させたときの影響を分析し，下流にその変化の度合いを分配する。

[0112] 分配は、例えば、因果関係の式を用いて分配する手法を用いてもよく、また、分析時に影響の伝播の度合いを分配する手法を用いてもよく、適宜、変形して実施することができる。分析時に影響の伝播の度合いを分配させる手法においては、分析時に、上流変数の変化分を適宜分割して、下流に流すように分析を行なう。

[0113] また、上流側のグループにおいて、当該グループ内における最下流変数が複数ある場合には、これら最下流変数のそれぞれから、下流側のグループ内における１つ以上の最上流の変数をつなげてよい。すなわち、上流側のグループ内における複数の最下流変数から、下流側のグループの最上流変数に対して因果関係の集中を行なってよい。

[0114] また、因果関係集約部１０５は、因果探索結果の集約方法の他の例として、グループ内因果探索部１０３によって行われた各グループ内の因果探索の結果に基づいて、グループ内における全ての変数に、当該グループの下流側のグループにおける全ての変数をつなげる処理を、各グループに対してそれぞれ行なってよい。

[0115] 図１０は実施形態の一例としての因果探索装置１の因果関係集約部１０５の処理を説明するための図であり、因果探索結果の集約方法の他の例を示す。

[0116] この図１０において、符号Ａは、図９の符号Ａと同様に、２つのグループ（符号Ｐ１，Ｐ２参照）の各変数に対する、グループ内因果探索部１０３に

よる因果探索結果と、グループ間因果探索部１０４による因果探索結果とを示す。この符号Ａにおいては、グループ内における因果探索の結果を実線矢印で示し、グループ間に対する因果探索の結果を点線で示す。

[0117] また、符号Ｂは、符号Ａに示したグループ内因果探索部１０３による因果探索結果と、グループ間因果探索部１０４による因果探索結果とを集約した例を示すものであり、図９に示した手法とは異なる手法を用いて集約する例を示す。

[0118] この図１０に符号Ｂで示す例においては、上流側のグループ（符号Ｐ１参照）内における全ての変数に、当該グループ（符号Ｐ１参照）の下流側のグループ（符号Ｐ２参照）における全ての変数をそれぞれつなげることで、因果探索結果の集約を行なっている。

[0119] なお、因果関係集約部１０５による、グループ内因果探索部１０３が各グループを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のグループ間に対して行なった因果探索の結果との集約は必ずしも行なう必要はない。すなわち、因果探索結果の集約は、必要に応じて行なえばよく、不要な場合には行なわなくともよい。

[0120] 例えば、ユーザは、複数の変数に対する因果探索の結果を１つの因果関係（グラフ）として出力することを希望する場合には、予めその旨の設定入力を行ない、その入力結果をフラグとして記憶部１０ｄの所定の記憶領域等に記憶してよい。

[0121] 因果関係集約部１０５は、このフラグを参照することで、グループ内因果探索部１０３による因果探索結果と、グループ間因果探索部１０４による因果探索結果とを集約するか否かを判断してよい。

[0122] 因果関係集約部１０５により集約された因果探索結果、もしくは、グループ内因果探索部１０３による因果探索結果とグループ間因果探索部１０４による因果探索結果とは、ユーザに対して提示されてよい。これらの因果探索結果は、例えば、図示しないモニタ等の出力装置に出力することでユーザに提示してもよい。

[0123] ユーザは提示された因果探索結果に基づき、例えば、階層型構造で表される因果関係上でそのまま分析を行なってよい。

[0124] （Ｂ）動作

上述の如く構成された実施形態の一例としての因果探索装置１の処理を、図１２を参照しながら図１１に示すフローチャート（ステップＳ１～Ｓ１０）に従って説明する。

[0125] なお、図１２は、実施形態の一例としての因果探索装置１による処理の概要を示す図である。図１２中において、実線の白抜き丸はそれぞれ変数を示しており、この図１２においては、グループ化処理部１０１が１１個の変数に対してデータ分析を行なう例を示している。

[0126] ステップＳ１において、因果探索装置１は、分析対象の複数のデータ（観測値）の読み込みを行なう。読み込まれたデータは、記憶部１０ｄの所定の記憶領域等に記憶される。

[0127] ステップＳ２において、因果探索装置１は、変数の数に対してサンプル数が十分あるかを確認する。例えば、因果探索装置１は、サンプル数が変数の数に基づいて予め設定される閾値以上であるかを判断することで、サンプル数が十分あるかを判断してよい。例えば、閾値＝変数の数であってよい。

[0128] サンプル数が閾値未満の場合、すなわち、サンプル数が十分にない場合には（ステップＳ２のＮＯルート参照）、ステップＳ３に移行する。

[0129] ステップＳ３において、グループ化処理部１０１が、複数の変数についての同時分布上での類似性に基づき、複数の変数を因果関係の観点から類似する複数のグループに分類することで、グルーピングを行なう（図１２の符号Ｐ１参照）。

[0130] ステップＳ４において、グループ代表変数生成部１０２が、グループ化処理部１０１が設定した複数のグループのそれぞれに対して代表変数を設定する。

[0131] ステップＳ５において、グループ間因果探索部１０４が、グループ代表変数生成部１０２が設定した複数の代表変数間の因果探索を行なう。すなわち

、グループ間因果探索部１０４は、複数のグループ間において因果探索（グループ間因果探索）を行なう（図１２の符号Ｐ２参照）。その後、処理はステップＳ７に移行する。

[0132] また、ステップＳ６において、グループ内因果探索部１０３が、グループ化処理部１０１が設定した複数のグループのそれぞれに対して、各グループを構成する変数群に対して因果探索（グループ内因果探索）を行なう（図１２の符号Ｐ３参照）。

[0133] なお、ステップＳ４，Ｓ５の処理と、ステップＳ６の処理とはいずれを先に行なってもよい。また、これらのステップＳ４，Ｓ５の処理と、ステップＳ６の処理とを並行して実施してもよく、適宜変更して実施することができる。

[0134] ステップＳ７において、因果関係集約部１０５は、グループ内因果探索部１０３が各グループを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のグループ間に対して行なった因果探索の結果とを集約する必要があるかを確認する。

[0135] 例えば、因果関係集約部１０５は、ユーザが複数の変数に対する因果探索の結果を１つの因果関係（グラフ）として出力するか否かを示すフラグを参照することで、因果探索の結果を集約する必要があるかを確認する。

[0136] ステップＳ７における確認の結果、因果探索の結果を集約する必要がある場合には（ステップＳ７のＹＥＳルート参照）、ステップＳ８に移行する。

[0137] ステップＳ８において、因果関係集約部１０５は、グループ内因果探索部１０３が各グループを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のグループ間に対して行なった因果探索の結果とを集約する（図１２の符号Ｐ４参照）。

[0138] また、ステップＳ７における確認の結果、因果探索の結果を集約する必要がない場合には（ステップＳ７のＮＯルート参照）、ステップＳ８をスキップしてステップＳ９に移行する。

[0139] 一方、ステップＳ２における確認の結果、サンプル数が十分にある場合、

すなわち、データ数が閾値以上の場合には、ステップＳ１０に移行する。

[0140] ステップＳ１０においては、全てのデータを用いて変数に対する因果探索を行なう。因果探索装置１はステップＳ１において読み込んだ全てのデータを用いて変数の因果探索を行なう。このステップＳ１０において、本因果探索装置１は、既知の因果探索手法を用いて因果探索を行なってよい。その後、ステップＳ９に移行する。

[0141] ステップＳ９において、因果探索結果が出力され、ユーザに提示される。例えば、グループ内因果探索部１０３が各グループを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のグループ間に対して行なった因果探索の結果とが出力される。この際、因果関係集約部１０５が因果探索結果の集約を行なった場合には、これらの因果探索結果は、集約された状態で出力される。

[0142] また、因果関係集約部１０５が因果探索結果の集約を行っていない場合には、これらの因果探索結果は、集約されない状態で出力される。その後、処理を終了する。

[0143] （Ｃ）効果

このように、本発明の一実施形態としての因果探索装置１によれば、グループ化処理部１０１が、複数の変数を因果関係の観点から類似するものどうしを集めて、２つ以上のグループ（変数群）に分類することで、グルーピングを行なう。そして、グループ内因果探索部１０３が、グループ化処理部１０１が設定した複数のグループのそれぞれに対して、各グループを構成する変数群に対して因果探索を行なう。

[0144] これにより、グループ内因果探索部１０３が因果探索を行なう対象の変数を削減し、サンプル数が少ない場合であっても推定精度を低下させることなく因果探索を実現することができる。

[0145] また、グループ間因果探索部１０４が、グループ代表変数生成部１０２が設定した複数の代表変数間の因果探索を行なう。そして、因果関係集約部１０５が、グループ内因果探索部１０３が各グループを構成する変数群に対し

て行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のグループ間に対して行なった因果探索の結果とを集約する。

[0146] これにより、全変数に対する因果探索の分析処理を１つの因果関係（グラフ）として取得することができる。

[0147] なお、全変数に対する因果探索の分析処理を１つの因果関係（グラフ）として取得する必要がない場合には、グループ内因果探索部１０３による各グループを構成する変数群に対する因果探索を分析に利用すればよい。

[0148] また、グループ代表変数生成部１０２が各グループのそれぞれに対して代表変数を設定し、グループ間因果探索部１０４が、これらの代表変数に対して因果探索を行なう。これにより、複数のグループ間における因果探索を容易に実現することができる。

[0149] グループ化処理部１０１が、変数の同時分布の類似性に基づき、因果関係の観点から類似する変数どうしをグループ化することで、複数の変数のグルーピングを行なうことで、因果探索の推定精度を低下させることなく、複数の変数のグルーピングを行なうことができる。

[0150] グループ化処理部１０１が、サンプル間の値の差に基づく第１の手法を用いて類似度を求めることで、少ない計算コストでグルーピングを行なうことができる。

[0151] また、グループ化処理部１０１が、正規分布とのずれに基づく第２の手法を用いて類似度を求めることで、より因果探索の観点から適したグルーピングを行なうことができる。

[0152] （Ｄ）その他

そして、開示の技術は上述した実施形態に限定されるものではなく、本実施形態の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。本実施形態の各構成および各処理は、必要に応じて取捨選択することができ、あるいは適宜組み合わせてもよい。

[0153] 上述した実施形態において、グループ内因果探索部１０３が各グループ内の変数に対して因果探索を行なう際に、当該グループ内において依然として

サンプル数が少ないケースも考えられる。

[0154] その場合に、当該グループ内の変数に対して、グループ化処理部１０１が更なるグループ化を行なってもよい。グループ内の変数を更にグルーピングして作成した複数のグループをサブグループといってよい。また、グループを複数のサブグループにグループ分けすることをサブグループ化といってよい。

[0155] そして、グループ内因果探索部１０３およびグループ間因果探索部１０４が、サブグループ内外の因果探索，および、必要に応じて因果関係集約部１０５による集約処理を行なってよい。

[0156] また、これらの処理は再帰的に行なってよい。すなわちこれらの処理の結果、さらに依然としてサンプルが少ないサブグループができたとして、そのサブグループに対して再度、上記処理を適用してよい。

[0157] 図１１に示したフローチャートのステップＳ６における処理の変形例を、図１３に示すフローチャート（ステップＳ２１～Ｓ３０）に従って説明する。

[0158] ステップＳ２１においては、グループ化処理部１０１が生成した全てのグループに対して、ステップＳ３０までの制御を繰り返し実施するループ処理を開始する。

[0159] ステップＳ２２において、グループ内因果探索部１０３は、サンプル数が十分あるかを確認する。例えば、因果探索装置１は、サンプル数がグループ内の変数の数に基づいて予め設定される閾値以上であるかを判断することで、サンプル数が十分あるかを判断してよい。例えば、閾値＝変数の数であってよい。

[0160] サンプル数が閾値未満の場合、すなわち、サンプル数が十分にない場合には（ステップＳ２２のＮＯルート参照）、ステップＳ２３に移行する。

[0161] ステップＳ２３において、グループ化処理部１０１が、グループ内因果探索部１０３からの指示に従って、複数の変数についての同時分布上での類似性に基づき、複数の変数を因果関係の観点から類似する複数のサブグループ

に分類することで、グルーピングを行なう。

[0162] ステップＳ２４において、グループ代表変数生成部１０２が、グループ内因果探索部１０３からの指示に従って、グループ化処理部１０１が設定した複数のサブグループのそれぞれに対して代表変数を設定する。

[0163] ステップＳ２５において、グループ間因果探索部１０４が、グループ内因果探索部１０３からの指示に従って、グループ代表変数生成部１０２が設定した複数の代表変数間の因果探索を行なう。その後、処理はステップＳ２７に移行する。

[0164] また、ステップＳ２６において、グループ内因果探索部１０３が、グループ化処理部１０１が設定した複数のサブグループのそれぞれに対して、各サブグループを構成する変数群に対して因果探索を行なう。

[0165] なお、ステップＳ２４，Ｓ２５の処理と、ステップＳ２６の処理とはいずれを先に行なってもよい。また、これらのステップＳ２４，Ｓ２５の処理と、ステップＳ２６の処理とを並行して実施してもよく、適宜変更して実施することができる。

[0166] ステップＳ２７において、因果関係集約部１０５は、グループ内因果探索部１０３からの指示に従って、グループ内因果探索部１０３が各サブグループを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のサブグループ間に対して行なった因果探索の結果とを集約する必要があるかを確認する。

[0167] 例えば、因果関係集約部１０５は、ユーザが複数の変数に対する因果探索の結果を１つの因果関係（グラフ）として出力するか否かを示すフラグを参照することで、因果探索の結果を集約する必要があるかを確認する。

[0168] ステップＳ２７における確認の結果、果探索の結果を集約する必要がある場合には（ステップＳ２７のＹＥＳルート参照）、ステップＳ２８に移行する。

[0169] ステップＳ２８において、因果関係集約部１０５は、グループ内因果探索部１０３からの指示に従って、グループ内因果探索部１０３が各サブグルー

プを構成する変数群に対して行なった因果探索の結果と、グループ間因果探索部１０４が複数のサブグループ間に対して行なった因果探索の結果とを集約する。

[0170] また、ステップＳ２７における確認の結果、果探索の結果を集約する必要がない場合には（ステップＳ２７のＮＯルート参照）、ステップＳ２８をスキップしてステップＳ３０に移行する。

[0171] 一方、ステップＳ２２における確認の結果、サンプル数が十分にある場合、すなわち、データ数が閾値以上の場合には（ステップＳ２２のＹＥＳルート参照）、ステップＳ２９に移行する。

[0172] ステップＳ２９においては、全てのデータを用いて変数に対する因果探索を行なう。因果探索装置１は、このステップＳ２９において、本因果探索装置１は、既知の因果探索手法を用いて因果探索を行なってよい。その後、ステップＳ３０に移行する。

[0173] ステップＳ３０において、ステップＳ２１に対応するループ端処理が実施される。ここで、全グループに対しての処理が完了すると、本フローが終了する。

[0174] また、上述した開示により本実施形態を当業者によって実施・製造することが可能である。

符号の説明

[0175] １ 因果探索装置

１０ コンピュータ

１０ａ プロセッサ

１０ｂ グラフィック処理装置

１０ｃ メモリ

１０ｄ 記憶部

１０ｅ ＩＦ部

１０ｆ ＩＯ部

１０ｇ 読取部

１０ｈ　　プログラム

１０ｉ　　記録媒体

１０ｊ　　バス

１０１　　グループ化処理部

１０２　　グループ代表変数生成部

１０３　　グループ内因果探索部

１０４　　グループ間因果探索部

１０５　　因果関係集約部

請求の範囲

[請求項1] 同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類し、

前記２つ以上のグループそれぞれについて決定された代表変数の間の因果探索を行ない、

前記２つ以上のグループそれぞれについて、各グループに含まれる変数の間の因果探索を行ない、

前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを出力する

処理をコンピュータに実行させることを特徴とする因果探索プログラム。

[請求項2] 前記同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類する処理は、

ある２変数について、これらの変数を入れ替えたときの同時分布の変化の度合いで類似性を定める処理を含むことを特徴とする請求項１に記載の因果探索プログラム。

[請求項3] 前記同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類する処理は、

各分布が正規分布に従うとした場合のズレの値を計算し、２分布間での値の差に基づいて類似性を定める処理を含むことを特徴とする請求項１に記載の因果探索プログラム。

[請求項4] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合して、前記複数の変数全体に対する因果探索の結果を出力する、

処理を前記コンピュータに実行させることを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の因果探索プログラム。

[請求項5] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合する処理は、

前記代表変数の間の因果探索の結果において上流のグループに属する変数のうち最下流の変数と、当該上流のグループの下流のグループに属する変数のうち最上流の変数とをつなげる処理を含むことを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の因果探索プログラム。

[請求項6] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合する処理は、

前記代表変数の間の因果探索の結果において上流のグループに属する全ての変数と、当該上流のグループの下流のグループに属する全ての変数とをつなげる処理を含むことを特徴とする請求項１～３のいずれか１項に記載の因果探索プログラム。

[請求項7] 同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類し、

前記２つ以上のグループそれぞれについて決定された代表変数の間の因果探索を行ない、

前記２つ以上のグループそれぞれについて、各グループに含まれる変数の間の因果探索を行ない、

前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを出力する

処理をコンピュータが実行することを特徴とする因果探索方法。

[請求項8] 前記同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類する処理は、

ある２変数について、これらの変数を入れ替えたときの同時分布の変化の度合いで類似性を定める処理を含むことを特徴とする請求項７に記載の因果探索方法。

[請求項9] 前記同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類する処理は、

各分布が正規分布に従うとした場合のズレの値を計算し、２分布間での値の差に基づいて類似性を定める処理を含むことを特徴とする請

求項７に記載の因果探索方法。

[請求項10] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合して、前記複数の変数全体に対する因果探索の結果を出力する、

処理を前記コンピュータが実行することを特徴とする請求項７～９のいずれか１項に記載の因果探索方法。

[請求項11] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合する処理は、

前記代表変数の間の因果探索の結果において上流のグループに属する変数のうち最下流の変数と、当該上流のグループの下流のグループに属する変数のうち最上流の変数とをつなげる処理を含むことを特徴とする請求項７～９のいずれか１項に記載の因果探索方法。

[請求項12] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合する処理は、

前記代表変数の間の因果探索の結果において上流のグループに属する全ての変数と、当該上流のグループの下流のグループに属する全ての変数とをつなげる処理を含むことを特徴とする請求項７～９のいずれか１項に記載の因果探索方法。

[請求項13] 同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類し、

前記２つ以上のグループそれぞれについて決定された代表変数の間の因果探索を行ない、

前記２つ以上のグループそれぞれについて、各グループに含まれる変数の間の因果探索を行ない、

前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを出力する

処理を実行する制御部を含むことを特徴とする因果探索装置。

[請求項14] 前記同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上の

グループに分類する処理は、

ある２変数について、これらの変数を入れ替えたときの同時分布の変化の度合いで類似性を定める処理を含むことを特徴とする請求項１３に記載の因果探索装置。

[請求項15] 前記同時分布上での変数の類似性に基づき複数の変数を２つ以上のグループに分類する処理は、

各分布が正規分布に従うとした場合のズレの値を計算し、２分布間での値の差に基づいて類似性を定める処理を含むことを特徴とする請求項１３に記載の因果探索装置。

[請求項16] 前記制御部が、

前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合して、前記複数の変数全体に対する因果探索の結果を出力する、

処理を実行することを特徴とする請求項１３～１５のいずれか１項に記載の因果探索装置。

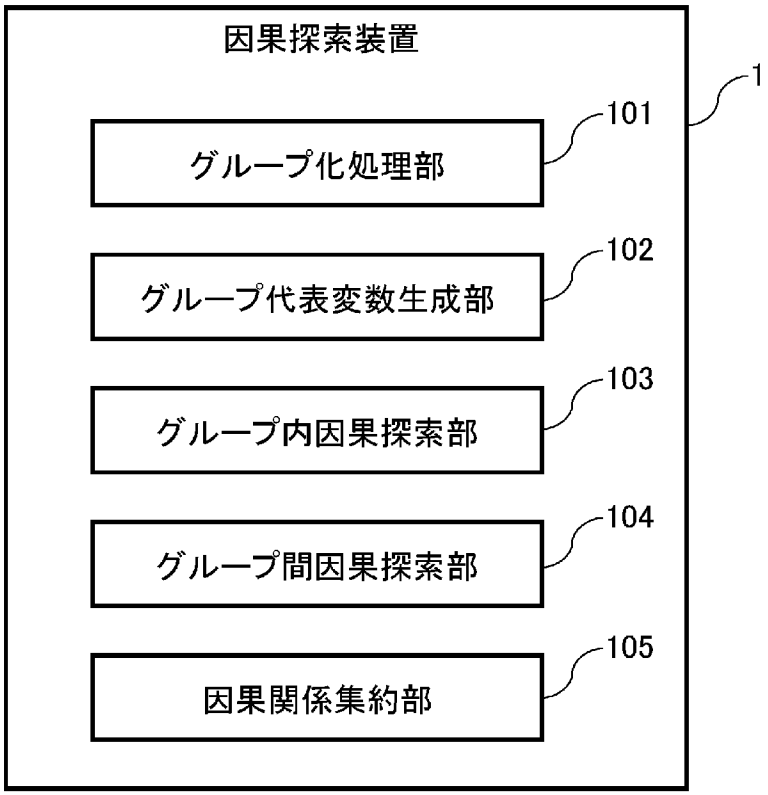
[請求項17] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合する処理は、

前記代表変数の間の因果探索の結果において上流のグループに属する変数のうち最下流の変数と、当該上流のグループの下流のグループに属する変数のうち最上流の変数とをつなげる処理を含むことを特徴とする請求項１３～１５のいずれか１項に記載の因果探索装置。

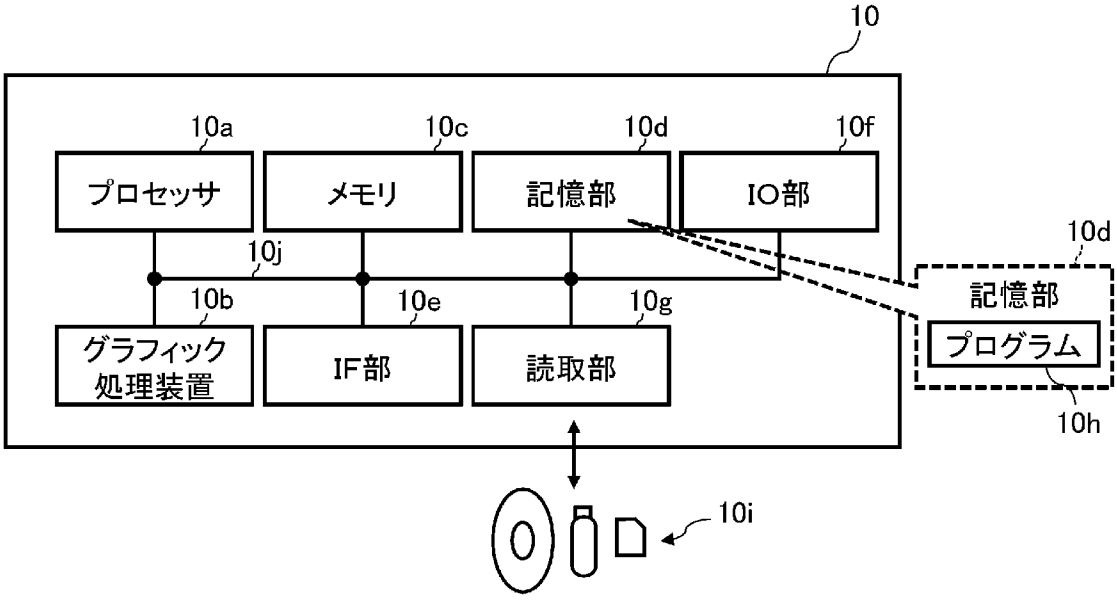
[請求項18] 前記代表変数の間の因果探索の結果と前記各グループに含まれる変数の間の因果探索の結果とを結合する処理は、

前記代表変数の間の因果探索の結果において上流のグループに属する全ての変数と、当該上流のグループの下流のグループに属する全ての変数とをつなげる処理を含むことを特徴とする請求項１３～１５のいずれか１項に記載の因果探索装置。

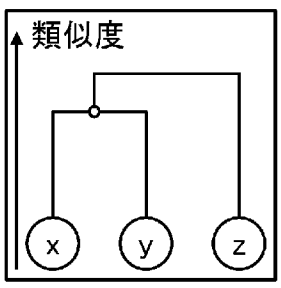
[図1]


因果探索装置
1
101
グループ化処理部
102
グループ代表変数生成部
103
グループ内因果探索部
104
グループ間因果探索部
105
因果関係集約部

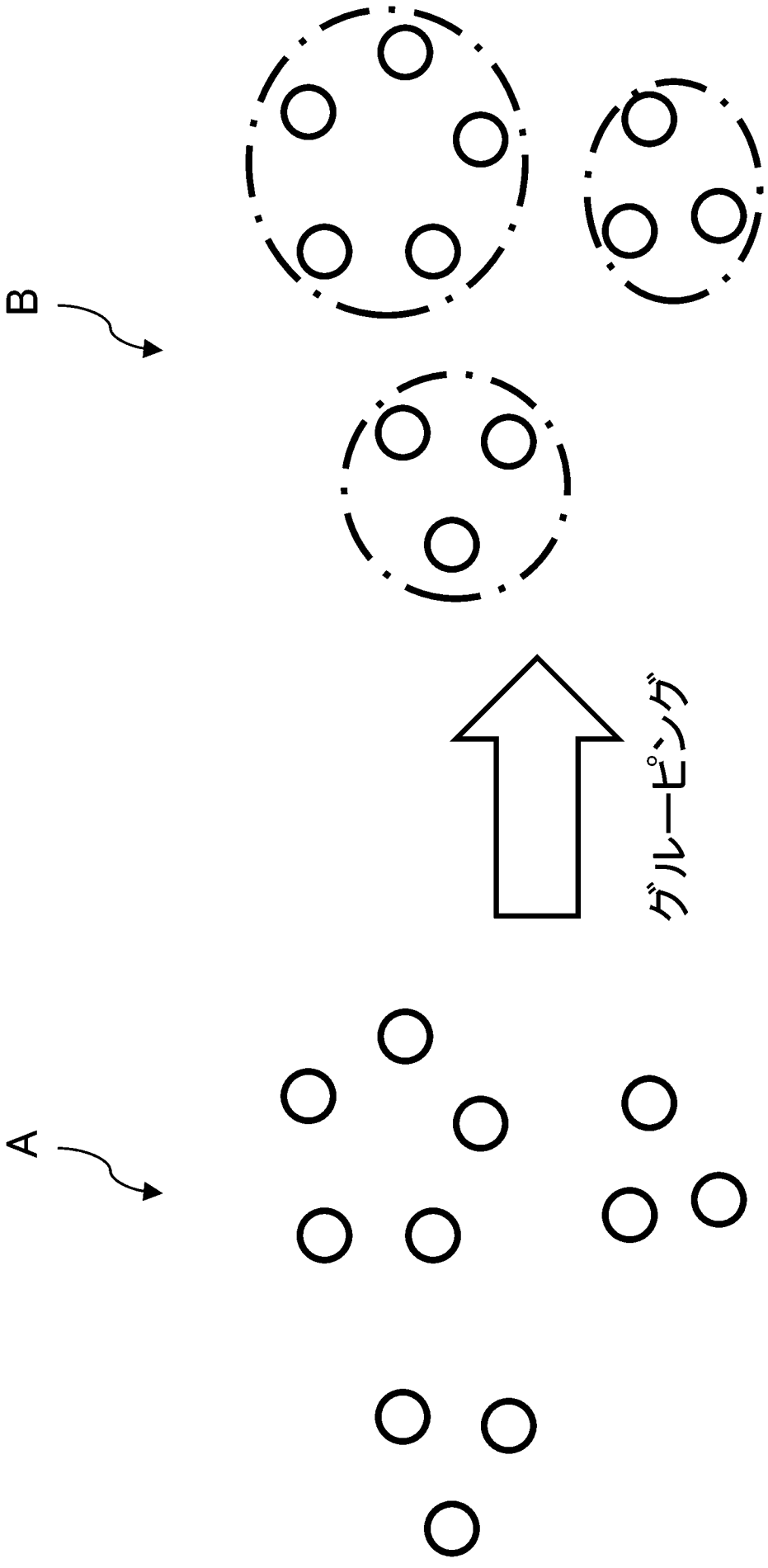
[図2]


10
10a
プロセッサ
10c
メモリ
10d
記憶部
10f
IO部
10j
10b
グラフィック処理装置
10e
IF部
10g
読取部
10d
記憶部
プログラム
10h
10i

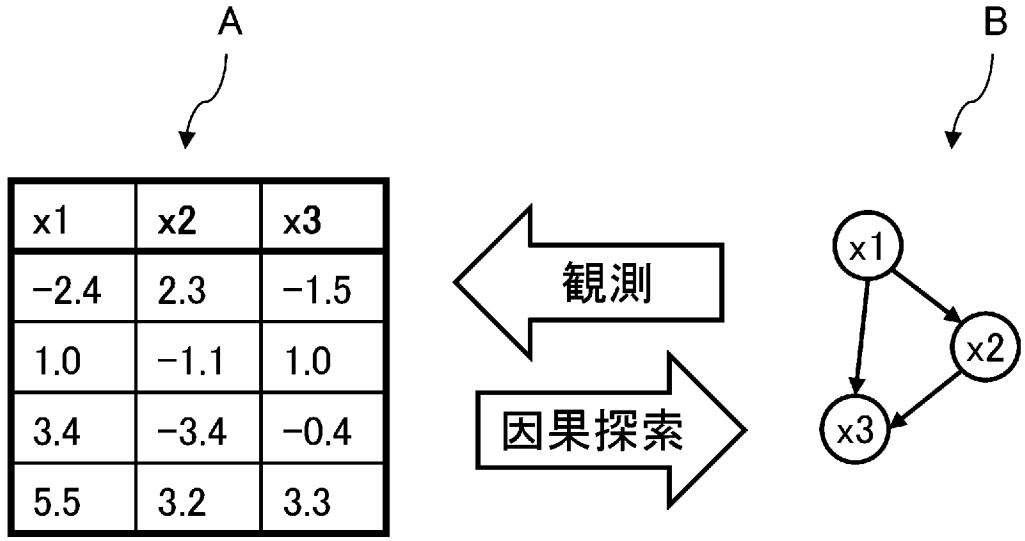
[図3]


類似度
x
y
z

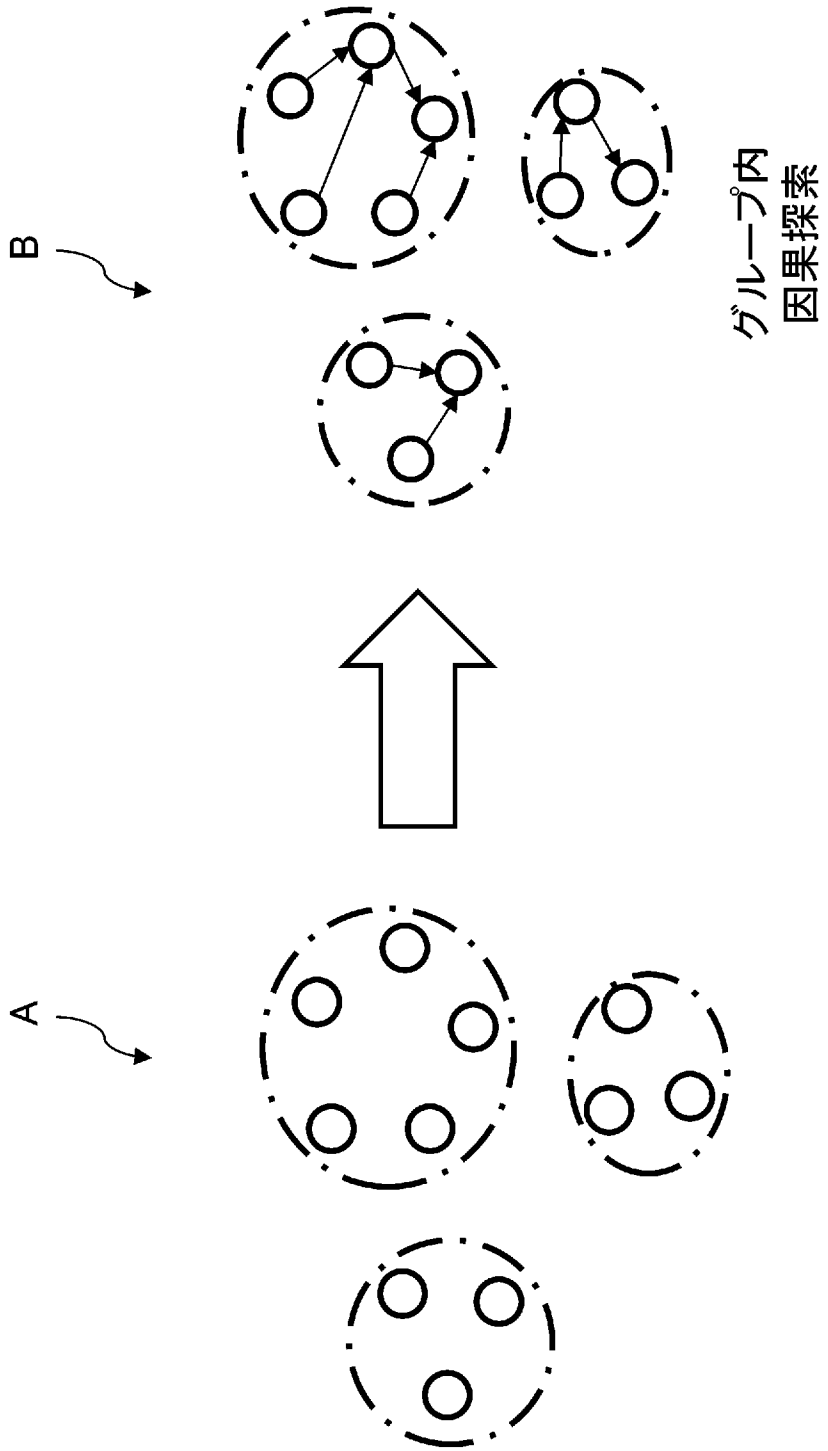
[図4]



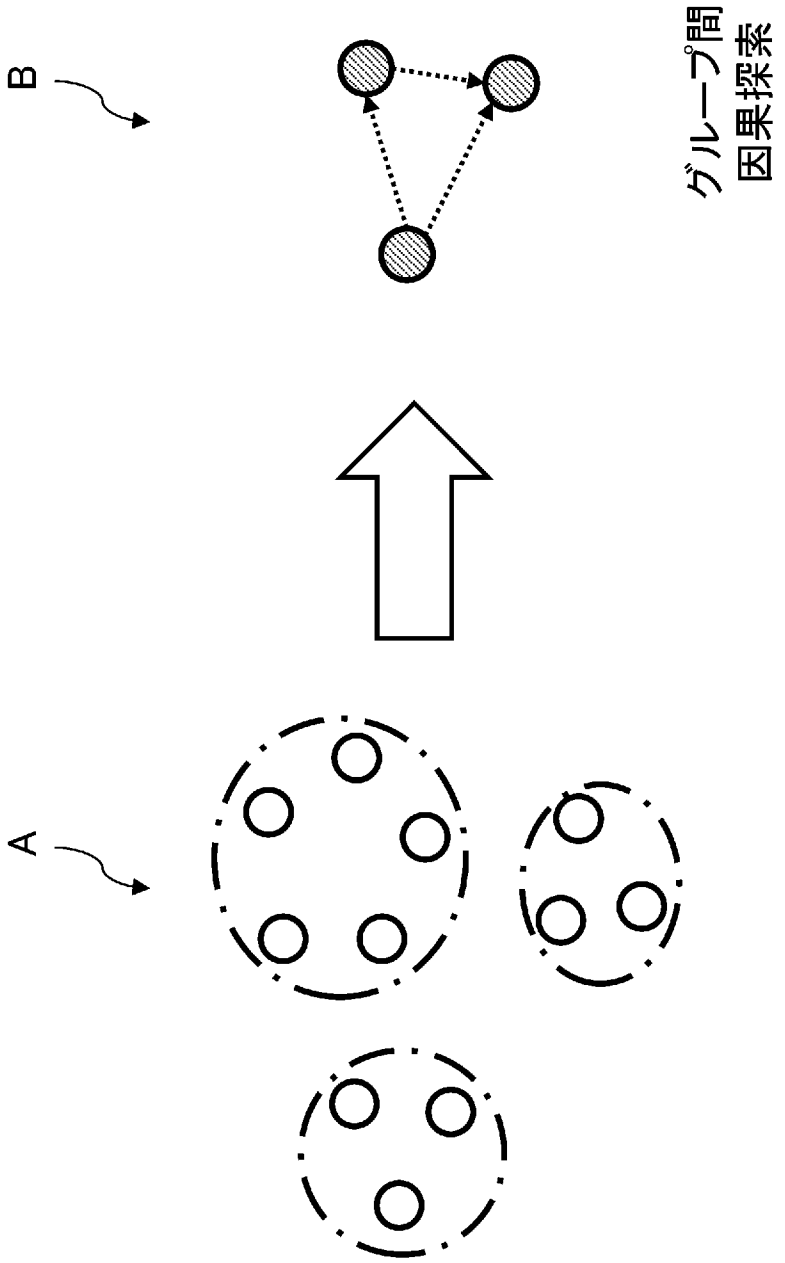
[図5]



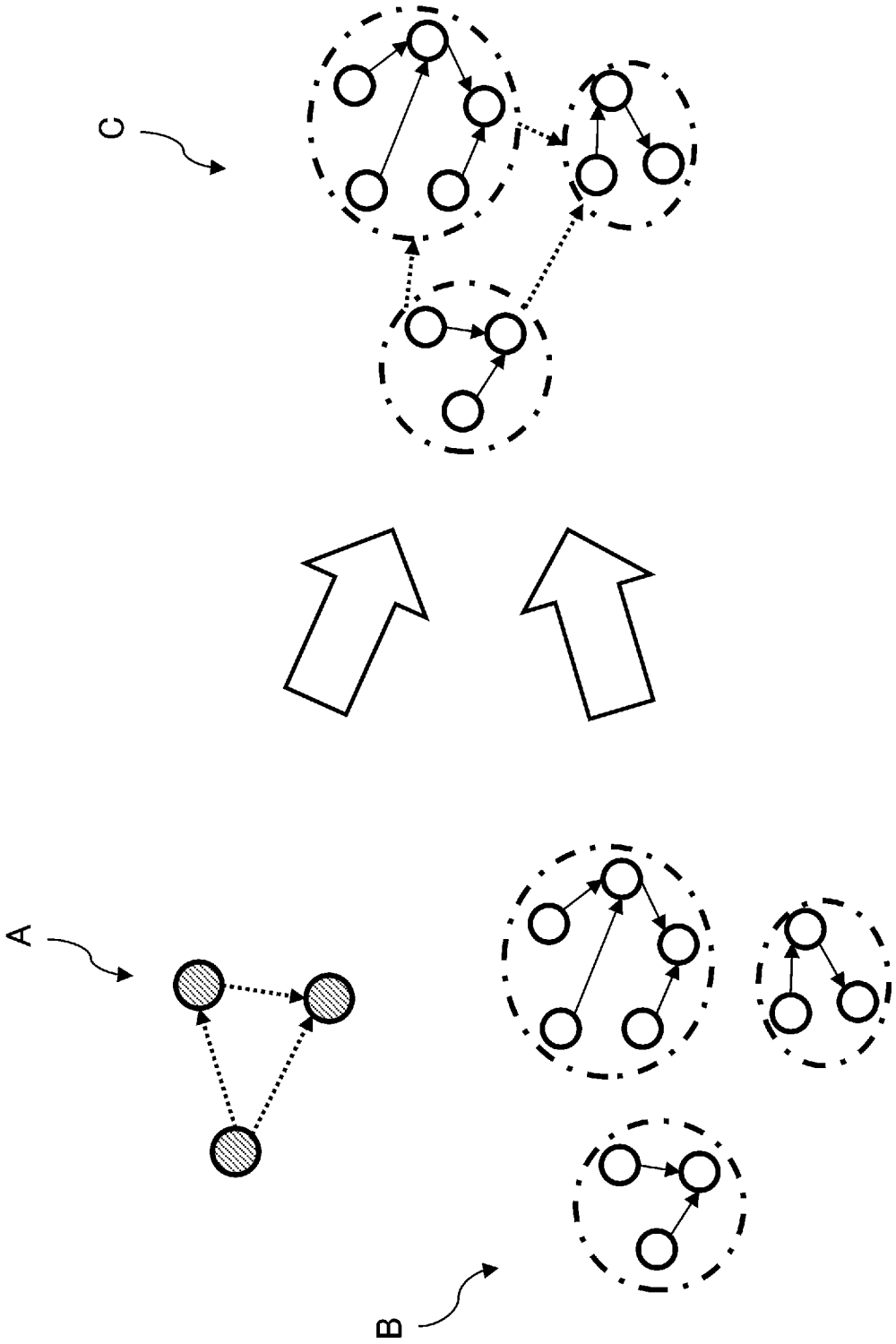
[図6]



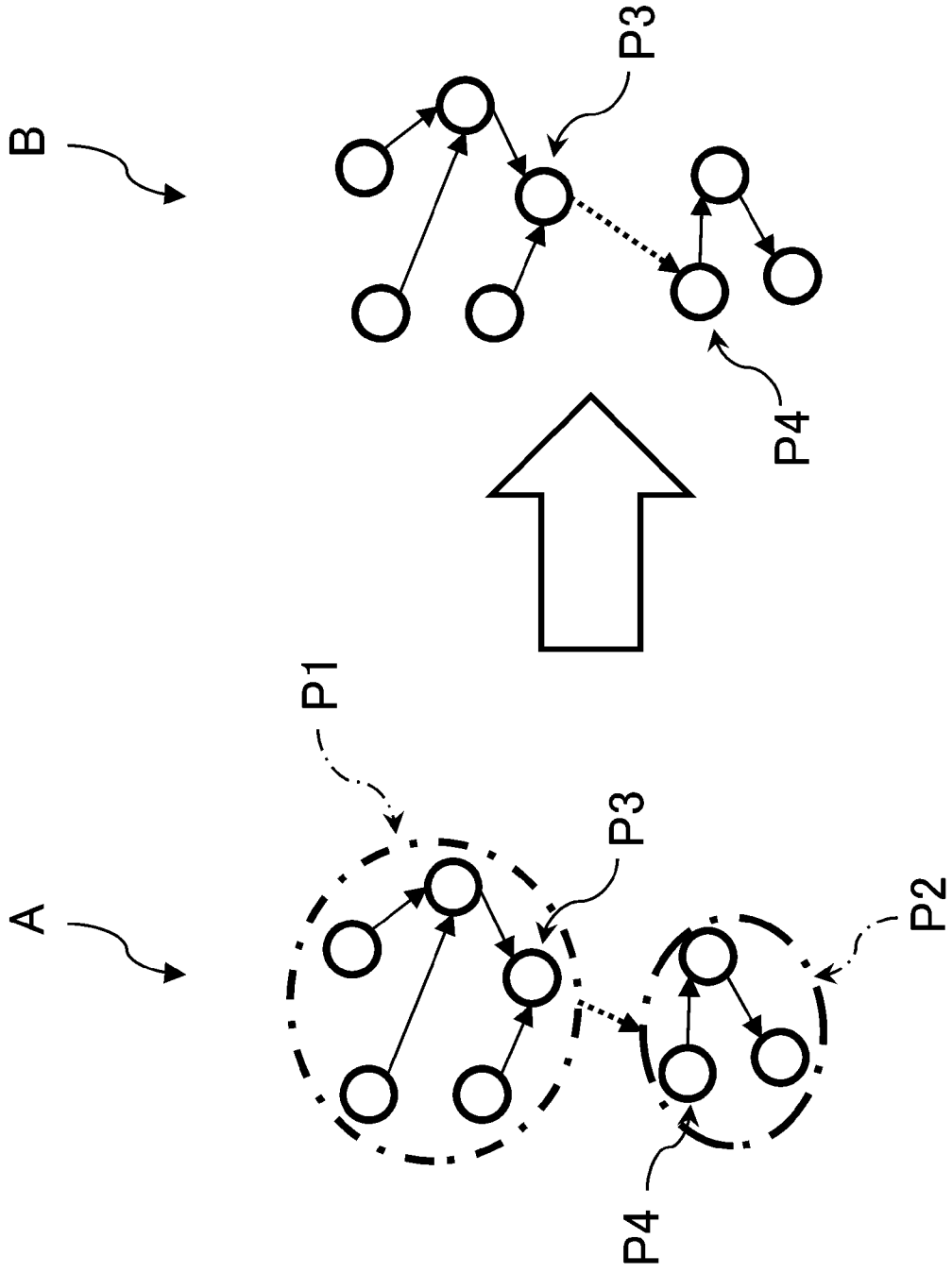
[図7]



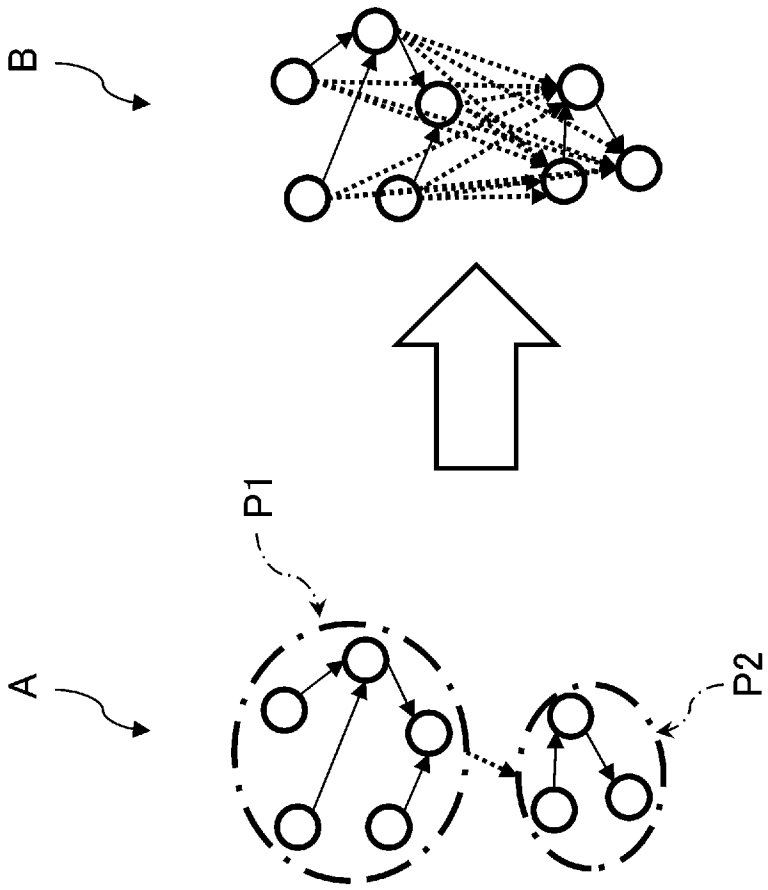
[図8]



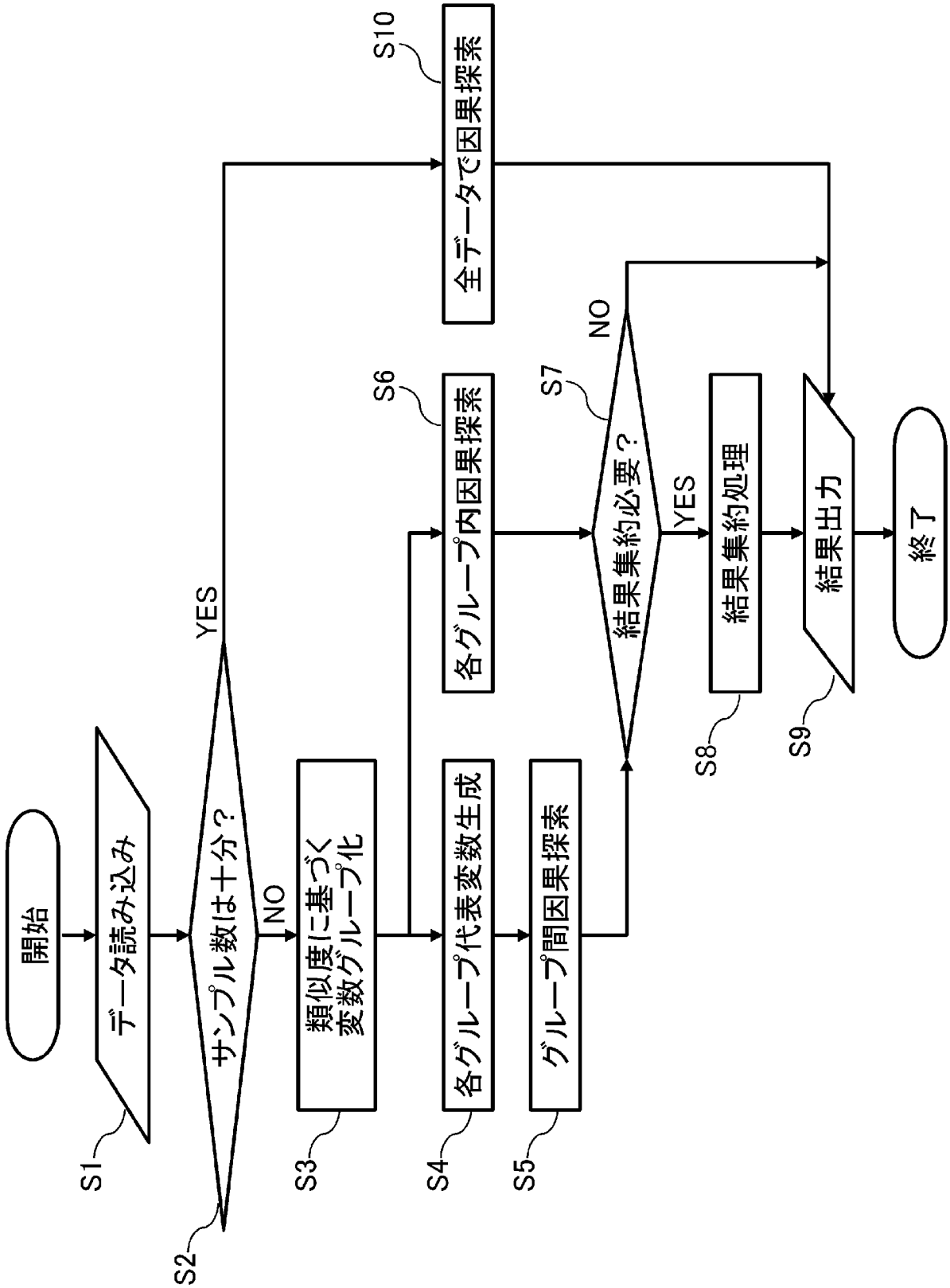
[図9]



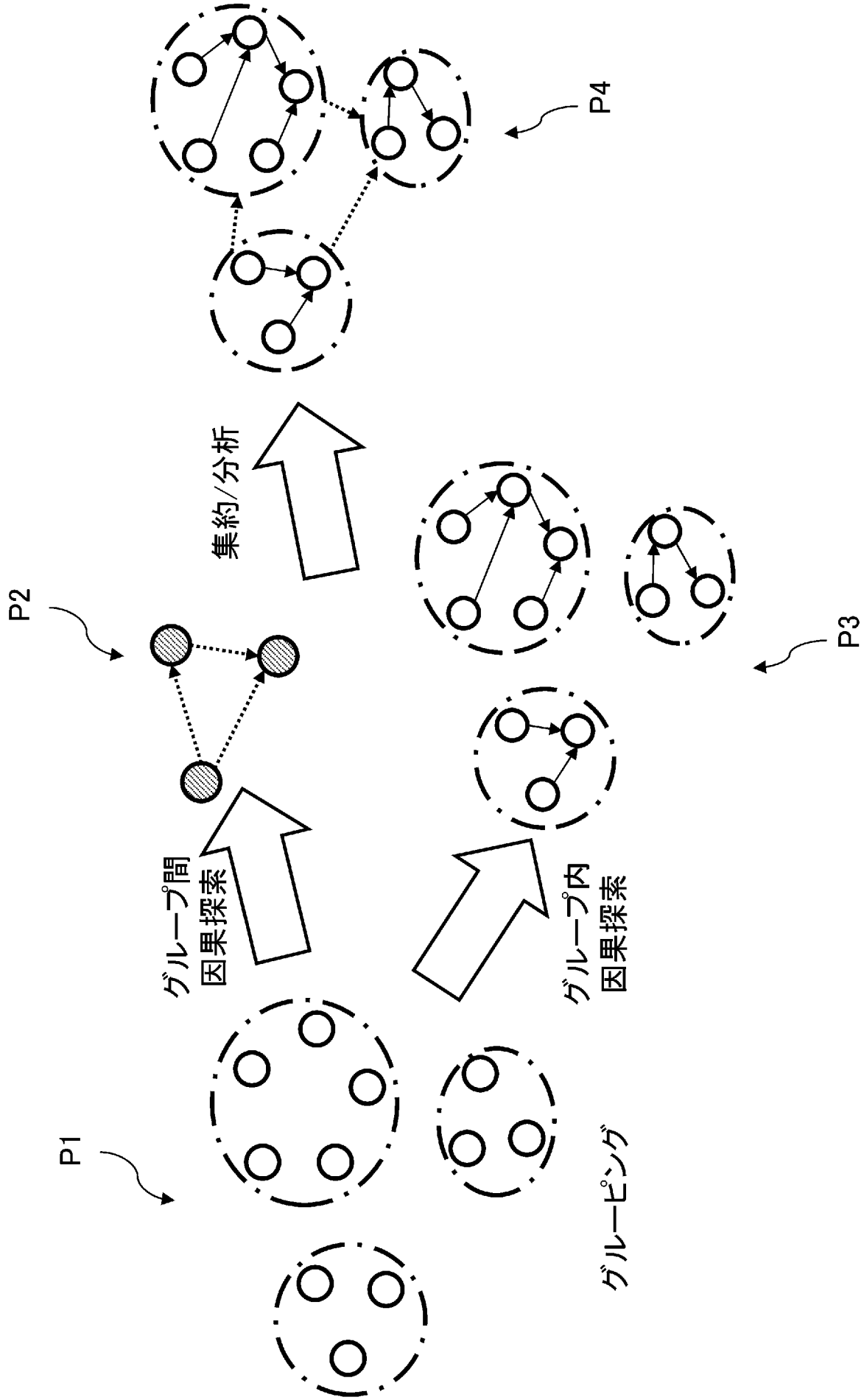
[図10]



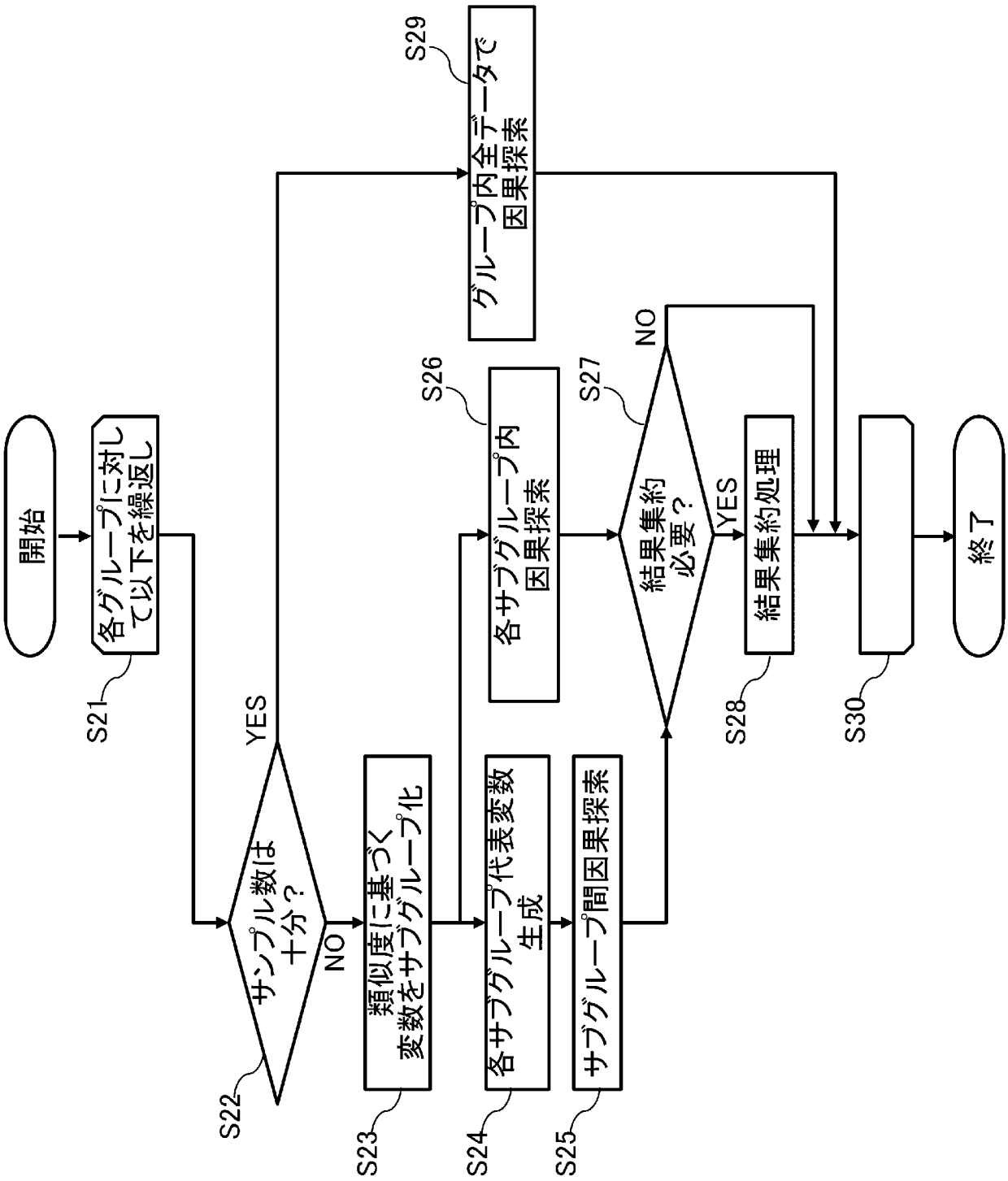
[図11]


開始
データ読み込み
S1
サンプル数は十分？
S2
YES
NO
類似度に基づく
変数グループ化
S3
各グループ代表変数生成
S4
グループ間因果探索
S5
全データで因果探索
S10
各グループ内因果探索
S6
結果集約必要？
S7
NO
YES
結果集集約処理
S8
結果出力
S9
終了

[図12]



[図13]


開始
各グループに対して以下を繰返し
S21
サンプル数は十分？
YES
NO
S22
類似度に基づく変数をサブグループ化
S23
各サブグループ代表変数生成
S24
サブグループ間因果探索
S25
各サブグループ内因果探索
S26
グループ内全データで因果探索
S29
結果集約必要？
S27
NO
YES
結果集約処理
S28
S30
終了

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/012838

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06N 7/01(2023.01)i; ***G06F 18/23***(2023.01)i
FI: G06N7/01; G06F18/23

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)

G06N3/00-99/00; G06F18/23

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	YUAN, Tao et al. Deep causal mining for plant-wide oscillations with multilevel Granger causality analysis. 2016 American Control Conference (ACC) [online]. IEEE. 01 August 2016, pp. 5056-5061, [retrieved on 06 June 2023], Internet:<URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/7526155>, <DOI: 10.1109/ACC.2016.7526155> section II "New proposed multilevel granger causality analysis framework"	1-18
A	JP 2019-145160 A (NEC CORPORATION) 29 August 2019 (2019-08-29) claims 1-4, paragraphs [0020]-[0077], fig. 1-8	1-18
A	JP 2022-29347 A (FUJITSU LIMITED) 17 February 2022 (2022-02-17) paragraph [0004]	1-18

☐ 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
06 June 2023	**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/JP2023/012838

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2019-145160 A	29 August 2019	US 2020/0041988 A1 claims 1-4, paragraphs [0036]-[0093], fig. 1-8 WO 2018/073960 A1	
JP 2022-29347 A	17 February 2022	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/012838

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））
G06N 7/01(2023.01)i; G06F 18/23(2023.01)i
FI: G06N7/01; G06F18/23

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））
G06N3/00-99/00; G06F18/23

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	YUAN, Tao et al., Deep causal mining for plant-wide oscillations with multilevel Granger causality analysis, 2016 American Control Conference (ACC) [online], IEEE, 2016.08.01, pp.5056-5061, [検索日 2023.06.06], インターネット：<URL: https://ieeexplore.ieee.org/document/7526155>, <DOI: 10.1109/ACC.2016.7526155> Section II "New proposed multilevel granger causality analysis framework"	1-18
A	JP 2019-145160 A（日本電気株式会社）29.08.2019（2019-08-29） 請求項1-4、[0020]-[0077]，図1-8	1-18
A	JP 2022-29347 A（富士通株式会社）17.02.2022（2022-02-17） [0004]	1-18

☐ 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	国際調査報告の発送日
06.06.2023	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）
山本　俊介 5B 5087
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/JP2023/012838

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-145160 A	29.08.2019	US 2020/0041988 A1 Claims 1-4, [0036]-[0093], FIGs.1-8 WO 2018/073960 A1	
JP 2022-29347 A	17.02.2022	（ファミリーなし）	