

(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
2020年1月9日(09.01.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/008513 A1

(51) 国際特許分類:
G06F 17/16 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2018/025140

(22) 国際出願日: 2018年7月3日(03.07.2018)

(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: 日本電気株式会社 (**NEC CORPORATION**) [JP/JP]; 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 木村 圭吾 (**KIMURA Keigo**); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP). 佐々木 耀一 (**SASAKI**

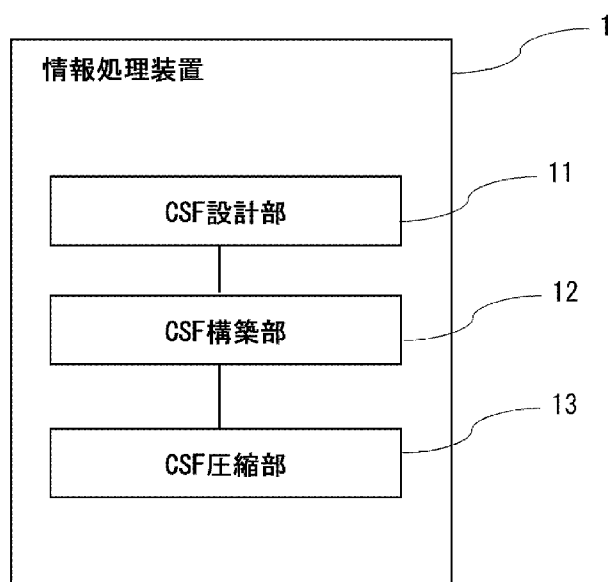
Yoichi); 〒1088001 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社内 Tokyo (JP).

(74) 代理人: 家入 健 (**IEIRI Takeshi**); 〒2210835 神奈川県横浜市神奈川区鶴屋町三丁目3番8 アサヒビルディング5階 響国際特許事務所 Kanagawa (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, 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,

(54) **Title:** INFORMATION PROCESSING DEVICE, TENSOR COMPRESSION METHOD, AND NON-TRANSITORY COMPUTER-READABLE MEDIUM HAVING PROGRAM STORED THEREON

(54) 発明の名称: 情報処理装置、テンソル圧縮方法、及びプログラムが格納された非一時的なコンピュータ可読媒体



1 Information processing device
11 CSF design unit
12 CSF creation unit
13 CSF compression unit

(57) **Abstract:** Provided is an information processing device capable of minimizing tensor data volumes. An information processing device (1) comprises: a compressed sparse fiber (CSF) design unit (11) which sets an order of the axes of an M-th or higher order tensor (where M is a natural number of 3 or more) in order to convert the tensor into CSF-represented

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, TZ, UA,
UG, US, UZ, VC, VN, 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, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, 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, 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))

data; a CSF creation unit (12) which converts the M-th or higher order tensor into CSF-represented data in accordance with the setting by the CSF design unit (11); and a CSF compression unit (13) which compresses the CSF-represented data by substituting a duplicate structure occurring in the CSF-represented data by a substitute structure representing that duplicate structure, and outputs compressed CSF data which is the compressed CSF-represented data, and substitution rule data which represents a substitution rule.

(57) 要約: テンソルのデータ量を抑制することができる情報処理装置を提供する。情報処理装置 (1) は、CSF (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM (ただし、Mは3以上の自然数) 階以上のテンソルの軸の順序を設定するCSF設計部 (11) と、CSF設計部 (11) による設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをCSF表現のデータに変換するCSF構築部 (12) と、前記CSF表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記CSF表現のデータを圧縮し、圧縮された前記CSF表現のデータである圧縮CSFデータと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力するCSF圧縮部 (13) とを有する。

明 細 書

発明の名称：

情報処理装置、テンソル圧縮方法、及びプログラムが格納された非一時的なコンピュータ可読媒体

技術分野

[0001] 本開示は、情報処理装置、テンソル圧縮方法、及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] テンソル（多次元配列）は近年のデータ収集技術の向上と計算機性能の向上から、データ表現として用いられるようになってきた。

テンソルは多次元配列であり、行列の一般化と考えることができる。行列は例えば、文書－単語行列のように、文書と単語の２項関係しか表現することができない。一方でテンソルは文書－単語－時間といった３項関係を表現できる。このように、テンソルは行列よりも多くの情報を表現することが可能である。そのため機械学習やデータマイニングの分野で研究が進んでいる。

[0003] しかし、テンソルによって表現されたデータのマイニングは非常に大きな計算時間がかかる。例えば、テンソル分解と呼ばれるテンソルを複数の行列の積に分解する手法は、各行列の最適化において、テンソルと複数の行列（最適化する行列以外のすべての行列）の積が必要となる。これは非常に大きな計算量であることが知られている。

テンソル分解における大きな計算量が必要とされるのは以下のテンソル－行列積演算である。

[0004] 式（１）：

[数１]

$$P_{i_n j} = \sum_{i_1, \dots, i_{n-1}, \dots, i_{n+1}, \dots, i_M} \chi_{i_1, \dots, i_{n-1}, \dots, i_{n+1}, \dots, i_M} * N_{i_1 j}^{(1)} * \dots * N_{i_{n-1} j}^{(n-1)} * N_{i_{n+1} j}^{(n+1)} * \dots * N_{i_M j}^{(M)}$$

[0005] 式（１）はM階のテンソルについてのテンソル－行列積演算を表す。ここで

、 $N^{(k)}$ はテンソル分解によって得られる行列である。

この演算は $N^{(n)}$ を最適化する際に用いる勾配の計算に必要になり、すべての i_n および j に対して演算を行い P を求める必要がある。

なお、式(1)において、行列 P は、テンソルー行列積演算の演算結果を示す行列、すなわちテンソルー行列積演算の演算結果を格納する行列である。言い換えると、テンソルー行列積の演算結果として行列 P が得られることとなる。式(1)は P の要素ごとの演算方法を示す式である。また、 X はテンソルである。 j および i_n は要素のインデックスを示す。 n はテンソルの軸を示す。例えば、2階のテンソル(すなわち行列)の場合 $n=1$ が行を指し、 $n=2$ が列を指す。3階のテンソルの場合、 $n=3$ は奥行き方向を指す。

[0006] また、近年のテンソルサイズの増加からテンソル自体がメモリに載らずインメモリプロセス(in-memory process)による計算ができないという問題がある。これはテンソルの非零要素はテンソルの軸の分だけインデックス(index)を必要とするためである。例えば、4階のテンソルは (i, j, k, l) といったインデックスを保持する必要がある。これは行列においては (i, j) 成分だけでよい場合と比べて2倍のメモリ使用量になる。

[0007] 非特許文献1はこの問題に対して、テンソルの非零要素のインデックスを木構造で表現することでテンソルのサイズを小さくするCSF(Compressed Sparse Fiber)表現と、その木構造を用いたテンソルー行列積演算アルゴリズムを提案している。木構造によってテンソルー行列積演算は計算が省略される場合がある。しかし、それは主に葉ノードに対する演算のみであるため多くの場合で演算が省略されるわけではない。

[0008] 特許文献1に開示された技術では、非零要素のみを保持するとともに、またテンソルー行列積の効率の良い計算のために、複数の行列形式でデータを表現することで、メモリの削減と計算の高速化を行っている。しかし、メモリの削減は、非零要素のみを保持することによるものであり、非零要素の数も膨大なテンソルには適用が困難である。また、重複した表現を利用するため、非零要素のみを単純に表現する場合よりも大きな計算空間が

必要になる。

[0009] 特許文献2はテンソル分解を圧縮として用いる手法である。しかし、この手法はテンソル分解が実行できる前提の技術である。また、テンソル分解は情報の損失がおこるために、圧縮後のタスクの精度を悪化させる危険性がある。

先行技術文献

特許文献

[0010] 特許文献1：特開2016-139391号公報

特許文献2：特表2005-514683号公報

非特許文献

[0011] 非特許文献1：Smith, S., Ravindran, N., Sidiropoulos, N. D., & Karypis, G. “SPLATT: Efficient and parallel sparse tensor-matrix multiplication”, In 2015 IEEE International Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS), pp. 61-70, May 2015.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0012] したがってテンソルをメモリに格納できるようにする新規な技術が依然として求められている。

[0013] 本開示の目的は、テンソルのデータ量を抑制することができる情報処理装置、テンソル圧縮方法、及びプログラムを提供することにある。

課題を解決するための手段

[0014] 本開示にかかる情報処理装置は、CSF (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM（ただし、Mは3以上の自然数）階以上のテンソルの軸の順序を設定するCSF設定部と、前記CSF設定部による設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをCSF表現のデータに変換するCSF構築部と、前記CSF表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記CSF表現のデータを圧縮

し、圧縮された前記C S F表現のデータである圧縮C S Fデータと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力するC S F圧縮部とを有する。

[0015] また、本開示にかかるテンソル圧縮方法では、C S F (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM (ただし、Mは3以上の自然数) 階以上のテンソルの軸の順序を設定し、前記設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをC S F表現のデータに変換し、前記C S F表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記C S F表現のデータを圧縮し、圧縮された前記C S F表現のデータである圧縮C S Fデータと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力する。

[0016] また、本開示にかかるプログラムは、C S F (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM (ただし、Mは3以上の自然数) 階以上のテンソルの軸の順序を設定するC S F設定ステップと、前記C S F設定ステップでの設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをC S F表現のデータに変換するC S F構築ステップと、前記C S F表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記C S F表現のデータを圧縮し、圧縮された前記C S F表現のデータである圧縮C S Fデータと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力するC S F圧縮ステップとをコンピュータに実行させる。

発明の効果

[0017] 本開示により、テンソルのデータ量を抑制することができる情報処理装置、テンソル圧縮方法、及びプログラムを提供することができる。

図面の簡単な説明

[0018] [図1]第1の実施の形態の情報処理装置の構成例を示すブロック図である。

[図2]C S Fの例を示す図である。

[図3]第1の実施の形態及び第2の実施の形態の情報処理装置のハードウェア構成を示す図である。

[図4]第1の実施の形態のテンソル圧縮装置の動作を示すフローチャートである。

[図5]CSFの頻出部分構造を置換した例を示す図である。

[図6]第2の実施の形態の圧縮テンソル一行列積演算装置の構成例を示すブロック図である。

[図7]第2の実施の形態の圧縮テンソル一行列積演算装置の動作例を示すフローチャートである。

発明を実施するための形態

[0019] 以下では、本開示の実施の形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。各図面において、同一又は対応する要素には同一の符号が付されており、説明の明確化のため、必要に応じて重複説明は省略される。

[0020] <第1の実施の形態>

<構成の説明>

図1は本実施の形態1にかかるテンソル圧縮装置としての情報処理装置1の構成を示すブロック図である。また、図2はCSFの例を示す図である。図2に示す木構造において、各軸がテンソルの階層に対応しており、ノードラベル（各ノード内に記載された数字）は、テンソルの非零要素のインデックスを示している。テンソル圧縮装置としての情報処理装置1は、図1に示されるように、CSF設計部11とCSF構築部12とCSF圧縮部13とを備える。

[0021] CSF設計部11は、M階以上のテンソルの非零要素インデックスを表現するCSFを構築するための前段階の処理として、CSFの構築方法を設定する。CSFは図2で示すように、木の深さが軸に対応する。例えば、軸の数が3つの場合、図2に示すように、深さ0のノード、深さ1のノード、及び深さ2のノードから構成されるCSFの構築が可能である。つまり、CSFの構築方法は、軸の組み合わせ分だけ存在する。したがって、具体的には、CSF設計部11はこのCSFの軸の組み合わせ順序を設定する。この軸の設定順序はユーザーの任意の方法を用いてよい。例えば、あらかじめ入力さ

れたテンソルの軸の順番でもよいし、各軸の次元の大きさを昇順にソートしたものでもよい。このように、CSF設計部11は、CSF表現のデータにテンソルを変換するためにM（ただし、Mは3以上の自然数）階以上のテンソルの軸の順序を設定する。なお、CSF設計部11は、CSF設定部と称されてもよい。

[0022] CSF構築部12は、CSF設計部11により設定されたCSFの構築における軸の順序を用いて入力であるテンソルの非零要素のインデックスからCSFを構築する。CSFは軸の順序を定めると構造は一意に定まる。そのため、どのように構築を行ってもよい。例えば、CSF構築部12は、上述した非特許文献1に記載した手法により、CSFを構築する。このように、CSF構築部12は、CSF設計部11による設定にしたがい、M階以上のテンソルをCSF表現のデータに変換する。

[0023] CSF圧縮部13はCSF構築部12により構築されたCSFを圧縮する。CSFの圧縮は頻出部分構造を置換する圧縮方法を用いる。たとえば、そのような置換方法の一つに文法圧縮と呼ばれる圧縮方法がある。文法圧縮とは、圧縮した結果とは別に、辞書と呼ばれる補助データ構造を保持し、この辞書に置換方法を記述することで、高い圧縮率を実現する圧縮方法である。CSF圧縮部13は、文法圧縮に限らず、他の公知の技術を用いることが可能である。ただし、辞書を用いることで完全に情報を復元できるような圧縮をおこなう圧縮方法を用いることが望ましいが、その限りではない。なお、頻出部分構造は、CSFの木構造において、所定の回数以上（ただし、少なくとも2回以上）出現する部分木である。頻出部分構造は、重複構造と称されてもよい。このように、CSF圧縮部13は、CSF表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することによりCSF表現のデータを圧縮する。そして、CSF圧縮部13は、圧縮されたCSF表現のデータである圧縮CSFデータと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータ（辞書）とを出力する。

[0024] 尚、情報処理装置1は、例えば、図3に示すように、プロセッサ50と、

メモリ 51 と、記憶装置 52 とを備える、これらの構成により、処理を実行する。プロセッサ 50 は、例えば、マイクロプロセッサ、MPU (Micro Processor Unit)、又は CPU (Central Processing Unit) などであってもよい。メモリ 51 は、例えば、揮発性メモリ又は不揮発性メモリによって構成されるメモリである。記憶装置 52 は、例えばハードディスクドライブ、ソリッドステートドライブなどのストレージである。

[0025] 記憶装置 52 には、図 1 に示した各構成要素を実現するための 1 以上の命令を含むコンピュータプログラムが記憶されている。そして、プロセッサ 50 は、記憶装置 52 からコンピュータプログラムをメモリ 51 へ読み込み、当該コンピュータプログラムを実行する。これによりプロセッサ 50 は、CSF 設計部 11、CSF 構築部 12 および CSF 圧縮部 13 の機能を実現する。

[0026] 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)、Compact Disc Read Only Memory (CD-ROM)、CD-R、CD-R/W、半導体メモリ (例えば、マスク ROM、Programmable ROM (PROM)、Erasable PROM (EPROM)、フラッシュ ROM、Random Access Memory (RAM)) 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。

[0027] 情報処理装置 1 は、例えば、記憶装置 52 に予め記憶されたテンソル (すなわち、圧縮前のテンソルのデータ) について圧縮処理を行う。情報処理装

置 1 は C S F 圧縮部 1 3 によって圧縮されたテンソルおよび補助データ構造である辞書をメモリ 5 1 に保存してもよいし、情報処理装置 1 の外部の装置へ出力してもよい。

[0028] 図 4 は本実施の形態 1 にかかる情報処理装置 1 が実施するテンソル圧縮方法の流れを説明するためのフローチャートである。まず C S F 設計部 1 1 は、M 階のテンソルの非零要素インデックスをすべて受けとり、C S F の軸の順序をあらかじめ定めた基準によって決定する（ステップ S 1 0 1）。次に C S F 構築部 1 2 は C S F 設計部 1 1 によって得られた C S F 構造（すなわち、軸の順序）に基づいて M 階のテンソルの非零要素から C S F を構築する（ステップ S 1 0 2）。そして、C S F 圧縮部 1 3 は、C S F 構築部 1 2 で構築された C S F の頻出部分構造を予め定められた圧縮方法で圧縮する（ステップ S 1 0 3）。

[0029] このように、本実施の形態により、テンソルを圧縮することが可能である。すなわち、テンソルの C S F 表現を直接用いるのではなく、C S F の圧縮表現と補助データ構造である辞書を用いることでデータの表現を行う。

[0030] 尚、本実施の形態で対象とするテンソルとしては、例えば、知識グラフと呼ばれるデータがあげられる。知識グラフは（主語（Subject）、述語（Predicate）、目的語（Object））のトリプレット（triplet）で表現されるもので、Subject は Object の Predicate である場合に、1 を持ちそうでないときに 0 を持つ。そのため Subject, Predicate, Object を各軸として、インデックスを与えることによって、知識グラフは 3 階のテンソルで表現される。そのため、本実施の形態にかかる情報処理装置 1 は知識グラフ圧縮装置と呼ぶこともできる。

[0031] <具体例 1>

具体例を用いて、本実施の形態 1 にかかるテンソル圧縮装置としての情報処理装置 1 の動作を説明する。

まず、圧縮の対象となるテンソルの非零要素インデックスは以下であるものとする。また、テンソルのサイズは (2, 3, 3) であるとする。

[0032] 式 (2) :

[数2]

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 3 \\ 1 & 2 & 2 \\ 1 & 2 & 3 \\ 1 & 3 & 1 \\ 1 & 3 & 2 \\ 2 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & 2 \\ 2 & 2 & 3 \\ 2 & 3 & 1 \end{pmatrix}$$

[0033] これに対して、CSF設計部11は任意の基準によって、構築の構造、すなわち軸の順序を決定する。本具体例では、軸の次元の大きさが降順になるようにソートされた軸の順を採用する。CSFは節、または、根において、木の深さが浅ければ浅いほどインデックスが共有されて一つのノードで表現される。そのため、インデックスの種類が少なければ少ないほど共有される可能性が高まる。つまり、CSFにおける表現に必要なメモリ使用量が減る可能性が高いといえる。

[0034] よって式 (2) で表現されているテンソルの場合は、3-2-1 (または2-3-1) がCSFの構造として選ばれる。ここで、3-2-1は、式 (2) において左から3番目に記載されているインデックスに対応する軸、左から2番目に記載されているインデックスに対応する軸、左から1番目に記載されているインデックスに対応する軸、という軸の順序を示す。

[0035] 次にCSF構築部12はCSF設計部11で選ばれた構造3-2-1と式 (2)

のテンソルから図2のようなCSFを構築する。

[0036] 次にCSF圧縮部13はCSF構築部12で構築されたCSFの圧縮を行う。本説明では、理解を容易にするため、葉ノードにおける頻出部分構造のみを置き換える手法を説明する。

[0037] 図2のCSFの葉ノードにおける頻出部分構造はラベル”1”とラベル”2”の同時出現である。そのため、CSF圧縮部13はこの部分構造をラベル”a”が記述された新しいノードへと置換する。そして図5のような新たなCSFを得る。これが圧縮されたCSFである。そして、置換した情報、すなわち置換ルールを示すデータ（置換ルールデータ）を、辞書に以下のように保存する。

[0038] 式(3)：

[数3]

$$a \rightarrow [1, 2]$$

[0039] これによって、2つのノードが1つのノードに置換される。この置換が4回出現するため、ノード数が8個から4個に圧縮されており、また、辞書の置換ルール（式(3)）は3つの数(a, 1, 2)で表現できるため、合計で8個のデータによる表現から7個のデータによる表現へと圧縮がなされていることがわかる。なお、上記例では、2つのノードが1つのノードに置換されるが、3以上のノードが1つのノードに置換されてもよい。

[0040] CSF圧縮部13はこのように頻出部分構造をすべて列挙し、置換によって全体のデータ数が減る場合にのみ置換を行う。置換を行った後再度頻出部分構造を列挙し、置換によって全体のデータ数を減らすことが可能な頻出部分構造を再び置換する。この動作を例えば、置換によるデータ数の削減ができなくなるまで行う。なお、圧縮効率を上げるためにはこのように可能な限り置換を繰り返すことが好ましいが、CSF圧縮部13はデータ数を減らすことが可能な頻出部分構造が残存した状態で置換処理を終了してもよい。CSF圧縮部13によるこのような処理により圧縮を行うことができる。

[0041] 上記説明では、葉ノードにおける頻出部分構造のみを置換する例を示した

が、節ノードや根ノードを含めた任意の頻出部分構造に対して圧縮を考えることができる。すなわち、部分木に対しても圧縮を行うことができる。ただし、置換対象の部分構造は、その部分構造に子ノードが一つもついていない状態である必要がある。なぜなら、CSFは多分木であるためである。仮に子ノードがついている部分構造を置換した場合に、その子ノードが置換前のどのノードの子ノードであるか一意に定まらないためである。

[0042] 以上、実施の形態1について説明した。実施の形態1にかかる情報処理装置1によれば、CSF圧縮部13によりCSFのデータ数が削減される。このため、テンソルのデータ量を抑制することができる。したがって、例えば、機械学習又はデータ解析などの所定の処理をテンソルを用いて行う装置に搭載された限られた容量のメモリに、当該テンソルを格納することができる。

[0043] <実施の形態2>

本実施の形態では、実施の形態1にかかるテンソル圧縮装置で圧縮されたテンソルと複数の行列との積の演算を行う、圧縮テンソルー行列積演算装置としての情報処理装置2について説明する。すなわち、本実施の形態では、式(1)で表現された演算を、圧縮されたテンソルを用いて演算する圧縮テンソルー行列積演算装置について説明する。

[0044] 図5は、本実施の形態にかかる圧縮テンソルー行列積演算装置としての情報処理装置2構成を示すブロック図である。情報処理装置2は、圧縮テンソル取得部21と、行列取得部22と、演算指定部23と、辞書演算部24と、辞書演算結果保持部25と、圧縮CSF演算部26とを有する。なお、情報処理装置2は、実施の形態1にかかる情報処理装置1を含む情報処理装置であってもよい。

[0045] 圧縮テンソル取得部21はテンソル圧縮装置としての情報処理装置1によって圧縮されたテンソルを取得する構成要素である、具体的には、圧縮テンソル取得部21は圧縮されたCSFと補助データ構造である辞書を取得する。圧縮テンソル取得部21は例えば、メモリ51又は記憶装置52に記憶さ

れた、圧縮されたCSF及び辞書を読み出す。

[0046] 行列取得部22は圧縮されたテンソルとの積を演算する($M-1$)個の行列を取得する。すなわち、行列取得部22は演算対象の行列を取得する。行列取得部22は例えば、メモリ51又は記憶装置52に記憶された行列を読み出す。

[0047] 演算指定部23は、テンソルと行列との積の演算において、行列取得部22によって取得された($M-1$)個の行列をどの軸にどのように演算するかを指定する。テンソルと行列との積では、行列同士の積において右からかけるか左からかけるかといった指定が必要であるのと同様に、どの軸方向からかけるのかを指定する必要がある。そのため、あらかじめどの軸に対してどの行列との積を演算するかを指定する必要がある。演算指定部23は、例えば演算を定義する予め設定された定義情報に従って指定する。

[0048] 辞書演算部24は、補助データ構造である辞書に従って置換された頻出部分構造について、式(1)の演算で必要な演算を予め計算する構成要素である。辞書演算部24は、置換前の頻出部分構造で示されるインデックスに対応する行列要素を用いて、テンソル×行列積を演算するための演算(以下、サブ演算と称す)を行う。

[0049] 辞書演算結果保持部25は、辞書演算部24による演算で得られた演算結果を保持する構成要素である。より詳細には、辞書演算結果保持部25は、置換される前の頻出部分構造に対する演算結果を置換された新たなノードに対して紐づけて保持する。換言すると、辞書演算結果保持部25は、置換される前の頻出部分構造に対するサブ演算の結果を、置換後の新たなノードに対するサブ演算の結果として保持する。これによって、置換された新たなノードに対する演算を求められた場合に、この辞書演算結果保持部25から演算結果を呼び出すことが可能になり、繰り返し同じ計算を行わずに済むために、計算回数を削減することができる。

[0050] 圧縮CSF演算部26は、圧縮されたCSFに対し探索と演算を実行する構成要素である。圧縮CSF演算部26は、根ノードから順に探索し、CS

Fに対する演算を行う。圧縮CSF演算部26は、演算指定部23の指定により演算対象として選ばれなかった軸がCSFのどの深さに対応するかに応じて演算方法を変化させて演算を行う。具体的には、圧縮CSF演算部26は、選ばれなかった軸が根ノードに対応する場合、所定の第1の演算方法により演算し、葉ノードに対応する場合、所定の第2の演算方法により演算し、節ノードに対応する場合、所定の第3の演算方法により演算する。

[0051] 図6は本実施の形態2にかかる情報処理装置2が実施する圧縮テンソル-行列積演算方法の流れを説明するためのフローチャートである。

[0052] まず圧縮テンソル取得部21は演算対象である圧縮されたテンソルを取得する（ステップS201）。

次に、行列取得部22は演算対象である行列を取得する（ステップS202）。

次に演算指定部23は、どの軸にどの行列の積の演算を行うかを指定する（ステップS203）。

[0053] ステップS203の後、行列の各列に対して、すなわち式(1)におけるPのj番目のベクトルに対して以下の動作（ステップS204からステップS207）を行う。

[0054] まず、辞書演算部24で、すべての頻出部分構造に対して、テンソル-行列積を演算するためのサブ演算をおこなう（ステップS204）。

そして、ステップS204で得られたすべての演算結果を辞書に記載された置換後の新たなノードに紐づけて辞書演算結果保持部25に保存する（ステップS205）。

次に、圧縮CSF演算部26は、演算指定部23の指定により演算対象として選ばれなかった軸がCSFのどの深さに対応するかに応じて演算方法を変化させ、根ノードから順にCSFに対する演算を行う（ステップS206）。

圧縮CSF演算部26は、ステップ205の演算結果をPのj番目の要素に代入する（ステップS207）。すなわち、圧縮CSF演算部26は、Pのj

番目のベクトルについての演算結果を保存する。

この一連の動作（S 2 0 4 から S 2 0 7）は、すべてのベクトルに対して実行されるまで、ベクトル毎に繰り返される。S 2 0 4 から S 2 0 7 をすべてのベクトルに行うことで圧縮テンソル－行列積が得られる。

[0055] <具体例 2>

本具体例では、実施の形態 2 にかかるテンソル－行列積演算装置による演算例を説明する。本具体例では、具体例 1 で示した圧縮されたテンソルに対する演算を考える。行列については、様々な場合の説明のため、一般化したものにより説明する。また、簡単のため、行列の列の数は 1 であるとする。すなわち、 $j=1$ とする。そのため、本具体例では、テンソル－ベクトル積演算と同じ演算を扱うこととなる。ただし、列毎の演算は変わらないため、これは容易にテンソル－行列積演算に一般化可能である。

[0056] 求めるテンソル－行列積は、入力によって異なる演算方法が必要になる。

入力は $(M-1)$ 個の行列であるため、必ず一つの軸が、行列との積の演算対象とはならない。この軸 n が（1）根ノードに対応する軸か（すなわち、 $n=1$ であるか）、（2）葉ノードに対応する軸か（すなわち、 $n=M$ であるか）、（3）節ノードに対応する軸か（すなわち、 $1 < n < M$ であるか）、によって演算方法が異なる。

[0057] ここで、図 4 の C S F の深さに対応するインデックスを次のように定義する。すなわち、根ノードに対応するインデックスを i_1 とし、節ノードに対応するインデックスを i_2 とし、葉ノードに対応するインデックスを i_3 とする。また、根ノードに対応する軸に対応する行列を A とし、節ノードに対応する軸に対応する行列を B とし、葉ノードに対応する軸に対応する行列を C とする。

[0058] 上述したケース（1）からケース（3）に対する挙動について順に、図 5 の圧縮された C S F および式（3）で表現される辞書が得られた場合に対して説明をする。

ケース（1）の場合に求めるテンソル－行列積の要素演算は以下のものになる。

[0059] 式（４）：

[数4]

$$P_{i_1 j} = \sum_{i_2, i_3} x_{i_1 i_2 i_3} * B_{i_2 j} * C_{i_3 j}$$

[0060] ここで、j=1のため、以降ではjの記述を省略する。また、ここでテンソルはバイナリである。本具体例では、P₁の演算方法を示す。まず、辞書演算部24は、式（３）で表される置換ルールに対して、この置換ルールに対応する演算を行う。式（３）で表される置換ルールにおいて置換前のインデックスは、“１”と“２”であり、葉ノードに対応する行列はCであるため、この置換ルールに対する辞書演算部24の演算結果は(C₁+C₂)である。よって、辞書演算結果保持部25はa=(C₁+C₂)という結果を保持する。すなわち、辞書演算結果保持部25は、“a”と、(C₁+C₂)の演算結果とを紐付けて保持する。

[0061] 圧縮CSF演算部26はP₁を求めるために、対応する根ノード、すなわち図5における深さ0にあるラベル“１”のノードから深さ優先探索の要領で処理を実行する。まず、探索は、左の子ノードに進み、続いて、２段目のラベル“１”のノードに進む。次に、探索は、２段目のラベル“１”の子ノードであるラベル“a”のノードへ進む。ここで、このラベル“a”ノードの深さがM-1であるため、子ノードは存在しない。そのため、ノードが、値を親ノードに返していくよう圧縮CSF演算部26は処理を行う。ここで、子ノードが存在しないノードが置換されたノードであった場合に、辞書演算結果保持部25から、そのノードに対応する演算結果が獲得され、この演算結果が親ノードに返される。そのため、２段目のラベル“１”のノードはラベル“a”のノードから(C₁+C₂)を受けとる。子ノードを持っているノードが値を返す時は、そのノードに対応する行列の要素と、すべての子ノードから受け取った結果の和との積の演算結果を親ノードに値を返す。この例ではラベル“a”のノード以外のノードがないため、２段目のラベル“１”のノードに対応する要素B₁と子ノードから受け取った(C₁+C₂)の積であるB₁(C₁+C₂)を親ノードに返す。

[0062] 辞書演算部24はn=Mではないときに、呼ばれたノードに対する演算を行う

。具体的には、上述の通り、この例ではラベル” a” のノードが呼ばれると、式（３）の置換ルールより、aはラベル” 1” とラベル” 2” に対応しているため、辞書演算部 2 4 は要素 C_1 と要素 C_2 の和を演算結果として出力する。この演算は、ラベル” 1” のノードとラベル” 2” のノードに対する式（４）における演算に対応する。

辞書演算結果保持部 2 5 はこの演算結果を $a=(C_1+C_2)$ として保持し、２段目のラベル” 1” のノードは返値として、 (C_1+C_2) を得る。そして、圧縮 C S F 演算部 2 6 は、 $B_1(C_1+C_2)$ の演算を行う。そして、１段目（深さ 0）のノードに $B_1(C_1+C_2)$ の値が返される。

次に、圧縮 C S F 演算部 2 6 は、１段目のラベル” 1” についての次の子ノード（右側の子ノード）である２段目のラベル” 3” のノードに対して同様の操作を行う。

２段目のラベル” 3” のノードの探索後、同様に、探索はラベル” a” のノードへとすすむ。ラベル” a” のノードは (C_1+C_2) を返し、２段目のラベル” 3” のノードは $B_3(C_1+C_2)$ を返す。

最後に、圧縮 C S F 演算部 2 6 は、１段目のラベル” 1” のノードがすべての子ノードから得た結果の和を算出する。この算出結果が P_1 と同じものになる。

[0063] ここで、ラベル” a” についての圧縮がされていない場合について考える。

この場合、各２段目のノードにおいて、各子ノードから C_1 と C_2 を受け取り、 C_1+C_2 を計算することになる。そのため、 C_1+C_2 の演算は２回行う必要がある。これに対し、ラベル” a” についての圧縮が行われ、かつ、辞書演算結果保持部 2 5 においてラベル” a” についての演算結果が保持されている場合、 C_1+C_2 の演算は辞書演算部 2 4 による１回の演算で済む。このことから本実施の形態では演算回数が少なくなっていることがわかる。

[0064] 次にケース（２）の場合（ $n=M$ の場合）について例を示す。

この場合に求めるテンソル－行列積の要素演算は以下になる。

[0065] 式（５）：

[数5]

$$P_{i_3j} = \sum_{i_1, i_2} \chi_{i_1 i_2 i_3} * A_{i_1j} * B_{i_2j}$$

[0066] 残念ながら、この場合は計算量の改善は得られない。なぜなら、式（5）には C_1 や C_2 が出現しないためである。計算量の削減のため、辞書演算部24および辞書演算結果保持部25は指定された軸に応じては演算および保持を行わないとしてもよい。

[0067] この場合もケース（1）の場合と同様に、圧縮CSF演算部26は、深さ優先探索の要領で処理を行う。しかし、ケース（1）の場合とは異なり、圧縮CSF演算部26は、探索で辿ってきた値を子ノードへと伝播させる。

[0068] ケース1の説明と同様に1段目にラベル”1”のノードを有する木について説明する。

まず1段目のラベル”1”のノードはこのラベルで示されるインデックスに対応する要素である A_1 を左の子ノードである2段目のラベル”1”のノードに送る。

次に、圧縮CSF演算部26は、2段目のラベル”1”のノードで示されるインデックスに対応する値 B_1 と親ノードから送られた値を掛け算する。そして得られた値 $A_1 * B_1$ を子ノードである3段目のノード（ラベル”a”のノード）へ送る。3段目のノード（ラベル”a”のノード）は置換によって得られたものなので、ここで圧縮CSF演算部26は親ノードから受け取った値をそれぞれ、圧縮されたノードが持つインデックスに対応する、演算結果を格納する行列の要素に足し合わせるという動作を行う。具体的には、圧縮CSF演算部26は $P_1 += A_1 * B_1$ と $P_2 += A_1 * B_1$ の演算を行う。なお、 P_1 及び P_2 の初期値は0である。

このような処理をすべての1段目のノードに対して実行することで、式（5）の演算が可能である。

[0069] 最後にケース（3）の場合について説明する。これはケース（1）とケース（2）の複合によって解くことができる。

ケース（３）の場合に求めるテンソル－行列積の要素演算は以下である。

[0070] 式（６）：

[数6]

$$P_{i_2j} = \sum_{i_1, i_3} \mathcal{X}_{i_1 i_2 i_3} * A_{i_1j} * C_{i_3j}$$

[0071] ケース（３）では、圧縮CSF演算部26は、 $i < n$ となるような i 段目のノードまでケース（２）の挙動と同様に値を子ノードへと送り、 $i = n$ となるときに、それまでの探索で得た値を保持し、ケース（１）の挙動に切り替えるという方法で演算を行う。

[0072] 具体的に、 $n=2$ のときの例をしめす。ケース１及びケース２の説明と同様に１段目にラベル”１”のノードを有する木についての演算方法を示す。

１段目のラベル”１”のノードは $i=1 < n=2$ のため、このノードに対応する値 A_1 を子ノードである２段目のラベル”１”のノードへと渡すよう圧縮CSF演算部26は処理する。次に２段目のラベル”１”のノードが一旦親ノードから送られてきた値を保持するよう圧縮CSF演算部26は処理を行う。そして、圧縮CSF演算部26は、子ノードへと値は送らずに探索を進める。ここでケース（１）と同様に、圧縮CSF演算部26は、ラベル” a ”についてのサブ演算結果の値である (C_1+C_2) を辞書演算部24から獲得し、２段目のラベル”１”のノードへとこの値を返すよう処理する。なお、このとき、辞書演算部24によるサブ演算結果は、辞書演算結果保持部25に保持される。２段目のラベル”１”のノードはこのノードが示すインデックスに対応する要素である P_1 に、親ノードから送られてきた値 A_1 と子ノードから送られてきた値 (C_1+C_2) を掛け算したものを、足し合わせる。具体的には、圧縮CSF演算部26は $P_1 + A_1(C_1+C_2)$ を演算する。なお、 P_1 の初期値は０である。

このような処理をすべてのノードに対して同様に行うことで、式（６）の演算を実現することができる。ケース（３）ではケース（１）と同様に辞書演算結果保持部25の結果を利用できるため、計算回数が減らすことができる。

[0073] 以上、実施の形態2について説明した。なお、演算指定部23、辞書演算部24、辞書演算結果保持部25、及び圧縮CSF演算部26は、積演算部と称されてもよい。したがって、本実施の形態にかかる情報処理装置2においては、積演算部が、圧縮CSFデータ及び置換ルールデータと、 $(M-1)$ 個の行列とに基づいて、圧縮CSFデータで表されるテンソルと $(M-1)$ 個の行列との積を演算する。このため、本実施の形態にかかる情報処理装置2によれば、圧縮されたCSFと行列とのテンソルー行列積演算を行うことができる。また、特に、この積演算部は、置換ルールデータを用いて、テンソルと行列との積の演算するための所定の演算を行う辞書演算部24（第1の演算部）と、その演算結果を保持する辞書演算結果保持部25とを有する。そして、更に、この積演算部は、辞書演算結果保持部25が保持する演算結果を利用して、テンソルと行列との積の演算を行う圧縮CSF演算部（第2の演算部）を有する。このような構成によれば、計算コストを抑制することができる。すなわち、CSFの圧縮における置換対象となったノードについてのサブ演算結果を辞書演算結果保持部25に保持することで当該サブ演算の計算回数を減らすことができ、計算コストを抑制することができる。したがって、本実施の形態によれば、大規模なテンソルと行列との積の計算コストを抑制することができる。

なお、情報処理装置2は、さらに、積演算部により算出されるテンソルと行列の積演算結果を用いて機械学習処理を行う学習部を備えてもよいし、積演算部により算出されるテンソルと行列の積演算結果を用いたデータ解析を行うデータ解析部を備えてもよい。

[0074] 以上、実施の形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は上記によって限定されるものではない。本願発明の構成や詳細には、発明のScope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。

符号の説明

- [0075] 1 情報処理装置
2 情報処理装置

- 1 1 C S F 設計部
- 1 2 C S F 構築部
- 1 3 C S F 圧縮部
- 2 1 圧縮テンソル取得部
- 2 2 行列取得部
- 2 3 演算指定部
- 2 4 辞書演算部
- 2 5 辞書演算結果保持部
- 2 6 圧縮C S F 演算部
- 5 0 プロセッサ
- 5 1 メモリ
- 5 2 記憶装置

請求の範囲

- [請求項1] C S F (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM (ただし、Mは3以上の自然数) 階以上のテンソルの軸の順序を設定するC S F 設定部と、
- 前記C S F 設定部による設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをC S F 表現のデータに変換するC S F 構築部と、
- 前記C S F 表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記C S F 表現のデータを圧縮し、圧縮された前記C S F 表現のデータである圧縮C S F データと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力するC S F 圧縮部と
- を有する情報処理装置。
- [請求項2] 前記圧縮C S F データと前記置換ルールデータとを取得する圧縮テンソル取得部と、
- (M-1) 個の行列を取得する行列取得部と、
- 前記圧縮テンソル取得部が取得した前記圧縮C S F データ及び前記置換ルールデータと、前記行列取得部が取得した前記(M-1) 個の行列とに基づいて、前記圧縮C S F データで表されるテンソルと前記(M-1) 個の行列との積を演算する積演算部と
- を有する請求項1に記載の情報処理装置。
- [請求項3] 前記積演算部は、
- 前記置換ルールデータを用いて、前記テンソルと前記行列との積の演算するための所定の演算を行う第1の演算部と、
- 前記第1の演算部による演算結果を保持する演算結果保持部と、
- 前記演算結果保持部が保持する前記演算結果を利用して、前記テンソルと前記行列との積の演算を行う第2の演算部と
- を有する請求項2に記載の情報処理装置。
- [請求項4] 前記C S F 圧縮部は、文法圧縮によって前記C S F 表現のデータを

圧縮し、前記圧縮C S F データと、前記置換ルールを表すデータである辞書を出力する

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

[請求項5] 前記テンソルは、知識グラフである

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の情報処理装置。

[請求項6] C S F (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM (ただし、Mは3以上の自然数) 階以上のテンソルの軸の順序を設定し、

前記設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをC S F 表現のデータに変換し、

前記C S F 表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記C S F 表現のデータを圧縮し、圧縮された前記C S F 表現のデータである圧縮C S F データと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力する

テンソル圧縮方法。

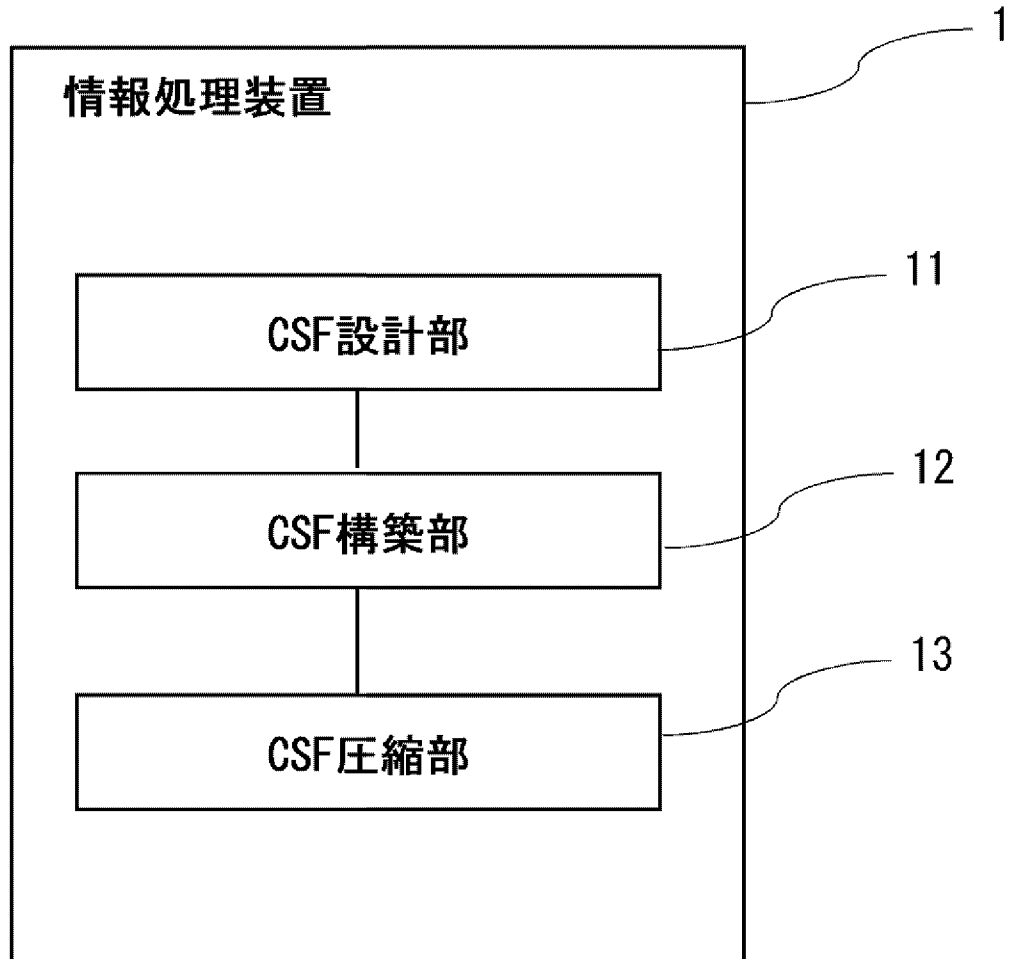
[請求項7] C S F (Compressed Sparse Fiber) 表現のデータにテンソルを変換するためにM (ただし、Mは3以上の自然数) 階以上のテンソルの軸の順序を設定するC S F 設定ステップと、

前記C S F 設定ステップでの設定にしたがい、前記M階以上のテンソルをC S F 表現のデータに変換するC S F 構築ステップと、

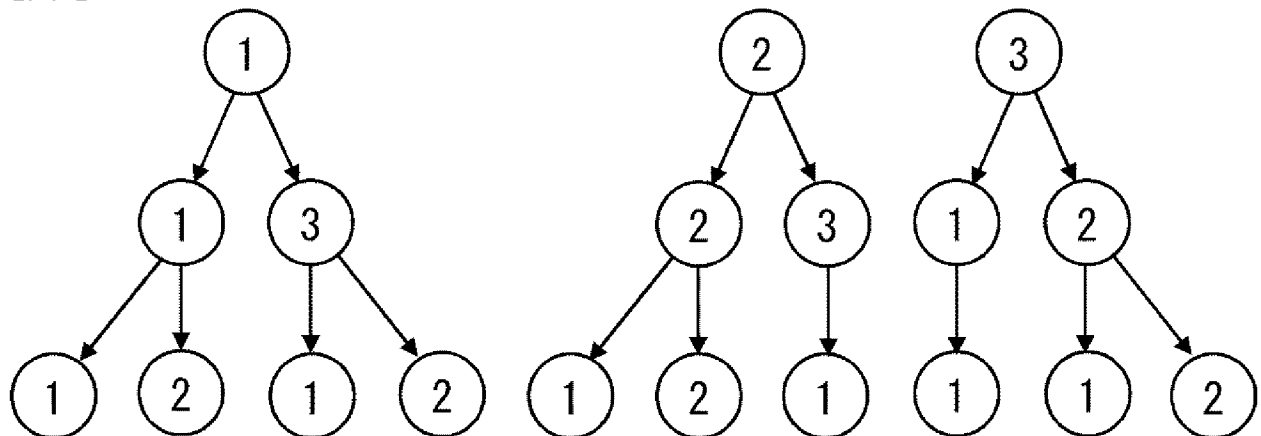
前記C S F 表現のデータに現れる重複構造を、当該重複構造を表す代替構造に置換することにより前記C S F 表現のデータを圧縮し、圧縮された前記C S F 表現のデータである圧縮C S F データと、置換ルールを示すデータである置換ルールデータとを出力するC S F 圧縮ステップと

をコンピュータに実行させるプログラムが格納された非一時的なコンピュータ可読媒体。

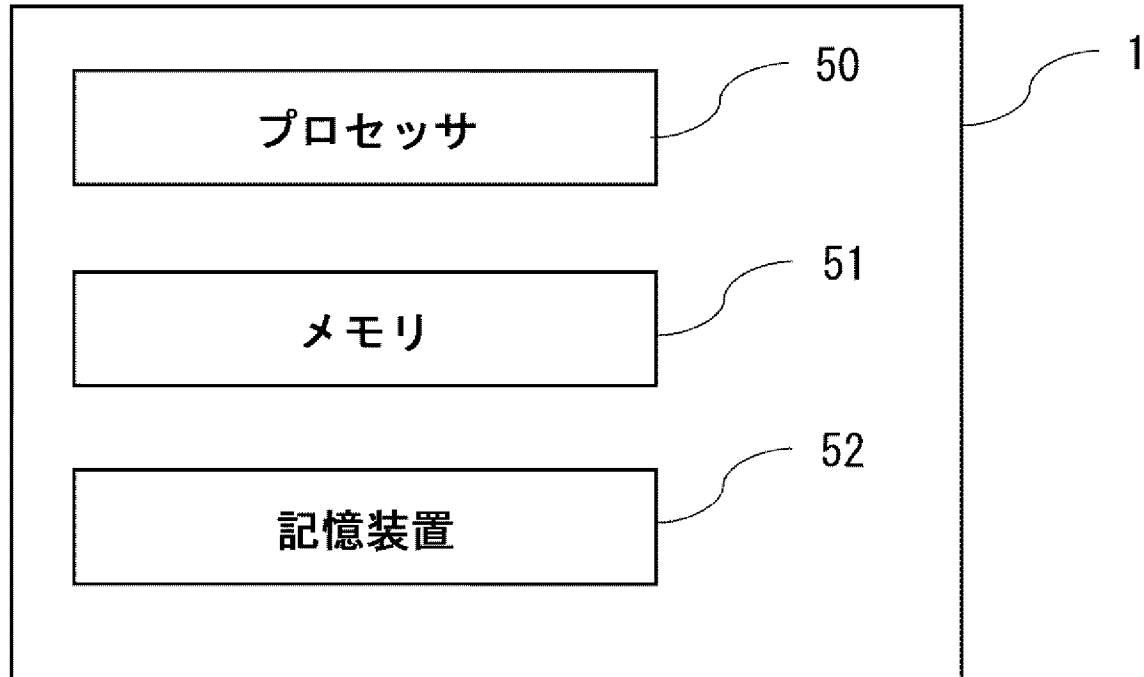
[図1]



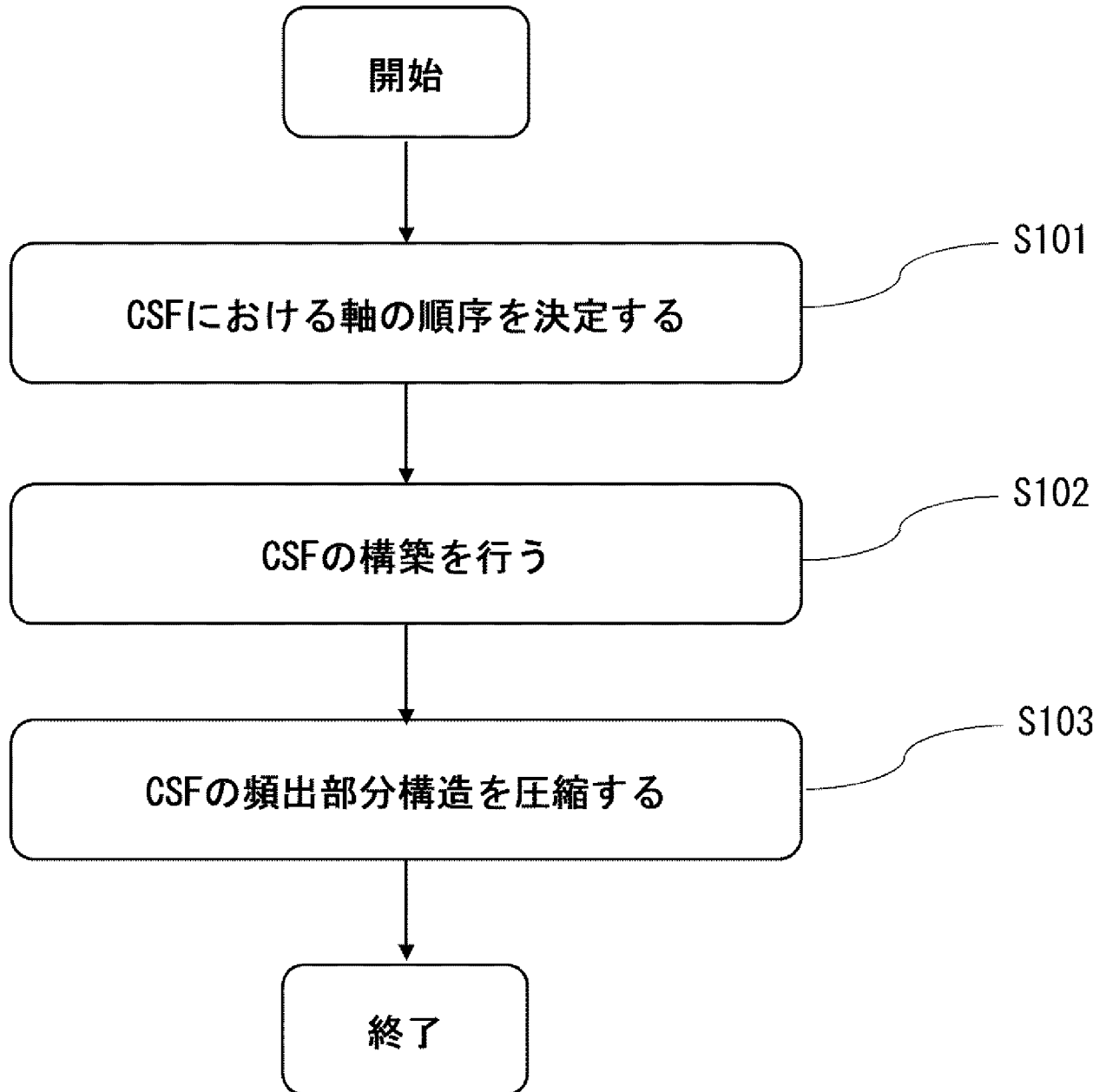
[図2]



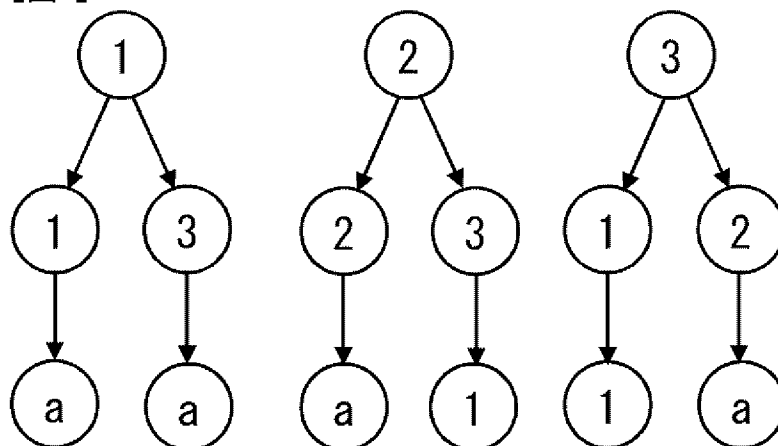
[図3]



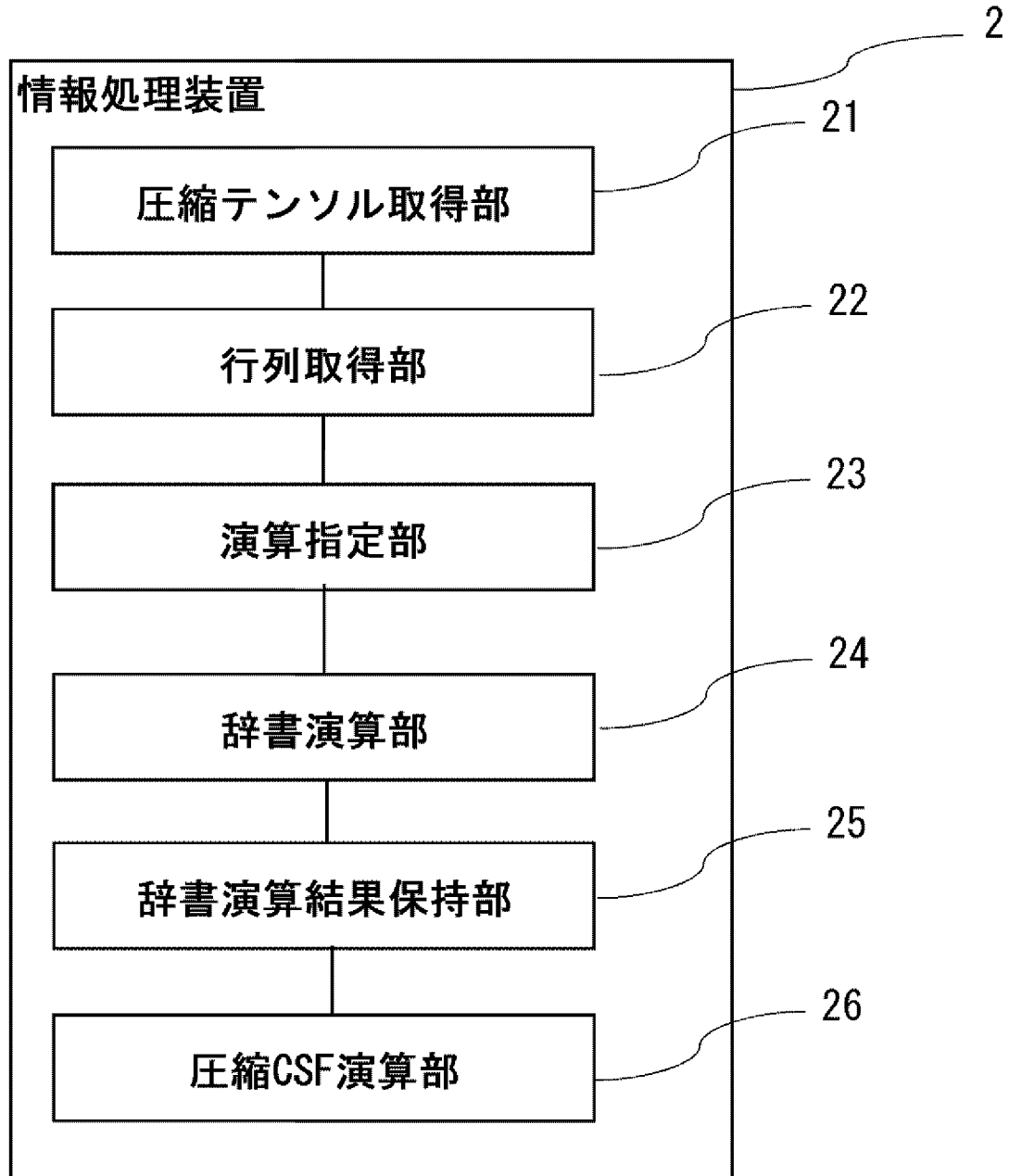
[図4]



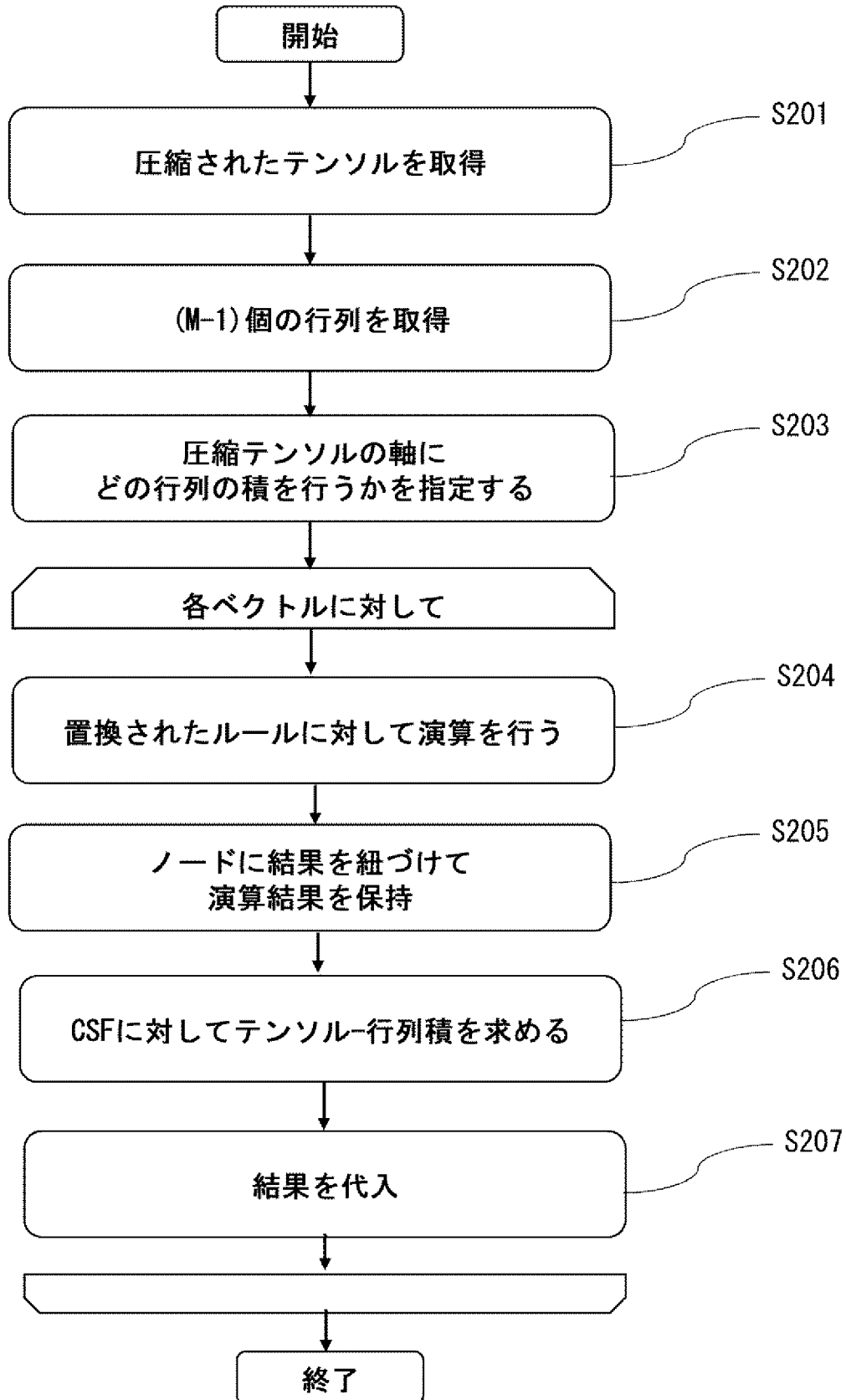
[図5]



[図6]



[図7]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2018/025140

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G06F17/16 (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. G06F17/16

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	SMITH, Shaden et al., Tensor-Matrix Products with a Compressed Sparse Tensor, Proceedings of the 5th Workshop on Irregular Applications: Architectures and Algorithms Article No. 5 [online], 15 November 2015 [retrieved on 10 September 2018], Retrieved from the Internet: <URL: https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2833183 >, ISBN:978-1-4503-4001-4, <doi:10.1145/2833179.2833183>, pages 1-7	1-7

☐ 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

"I" 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
10 September 2018 (10.09.2018)

Date of mailing of the international search report
18 September 2018 (18.09.2018)

Name and mailing address of the ISA/
Japan Patent Office
3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,
Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC））

Int.Cl. G06F17/16(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. G06F17/16

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	SMITH, Shaden et al., Tensor-Matrix Products with a Compressed Sparse Tensor, Proceedings of the 5th Workshop on Irregular Applications: Architectures and Algorithms Article No. 5 [online], 2015.11.15 [retrieved on 2018.09.10], Retrieved from the Internet: <URL: https://dl.acm.org/citation.cfm?id=2833183 > ISBN:978-1-4503-4001-4, <doi:10.1145/2833179.2833183>, Pages1-7	1-7

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 | 「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 |
| 「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 | 「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 |
| 「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） | 「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 |
| 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 | 「&」 同一パテントファミリー文献 |
| 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | |

国際調査を完了した日

10.09.2018

国際調査報告の発送日

18.09.2018

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（ISA/J P）

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官（権限のある職員）

田中 幸雄

5 B

9191

電話番号 03-3581-1101 内線 3545