

(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
2025年4月3日(03.04.2025)



(10) 国際公開番号

WO 2025/069331 A1

(51) 国際特許分類:
G01C 21/34 (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2023/035487

(22) 国際出願日: 2023年9月28日(28.09.2023)

(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: 日本電信電話株式会社 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) [JP/JP]; 〒1008116 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 (JP).

(72) 発明者: 福田 展和 (FUKUDA, Nobukazu); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT 知的財産センタ内 (JP). 明石 和陽

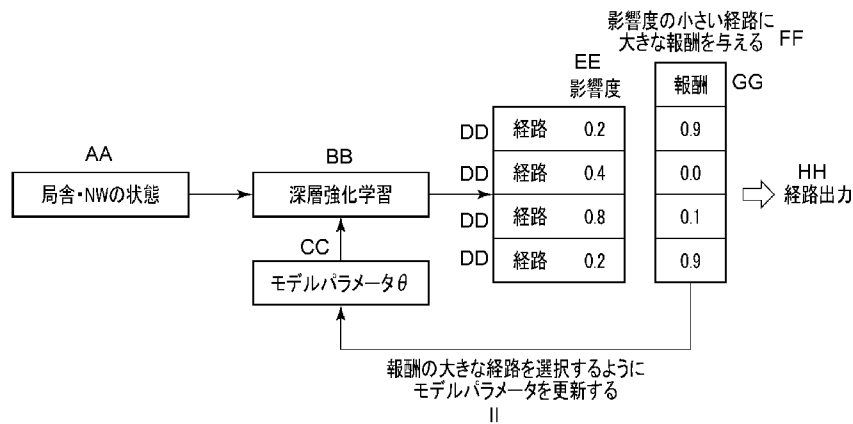
(AKASHI, Kazuaki); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT 知的財産センタ内 (JP). 金井 俊介 (KANAI, Shunsuke); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT 知的財産センタ内 (JP). 田山 健一 (TAYAMA, Kenichi); 〒1808585 東京都武蔵野市緑町3丁目9-1 NTT 知的財産センタ内 (JP).

(74) 代理人: 弁理士法人鈴榮特許総合事務所 (SUZUYE & SUZUYE); 〒1050014 東京都港区芝三丁目23番1号 セレスティン芝三井ビルディング11階 (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,

(54) Title: ROUTE SEARCHING DEVICE, METHOD, AND PROGRAM

(54) 発明の名称: 経路探索装置、方法およびプログラム



AA State of station building/NW
BB Deep reinforcement learning
CC Model parameter θ
DD Route
EE Degree of influence
FF Provide large reward to route having small degree of influence
GG Reward
HH Route output
II Update model parameter to select route having large reward

(57) Abstract: According to one embodiment of the present invention, when searching, by using a machine learning model, for a route for traveling and visiting a plurality of station buildings which constitute a network by means of a plurality of vehicles, a movement target vehicle and station buildings which serve as the destinations of the movement target vehicle are first selected from among the plurality of vehicles and the plurality of station buildings after excluding events already selected in the past. Next, during a movement period in which the selected movement target vehicle moves

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, 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))

to the station buildings, a station building in which a change in the operation state is anticipated is selected, and the degree of influence that is exerted on the network by the change in the operation state of said station building is calculated. Then, the model parameter of the machine learning model is updated by reflecting the calculated degree of influence in the reward of a corresponding route candidate to be searched for by the machine learning model so that the machine learning model selects, on the basis of the reward, a route candidate having a large reward.

(57) 要約: この発明の一態様は、ネットワークを構成する複数の局舎を複数の車両により巡回訪問するための経路を機械学習モデルを用いて探索する際に、先ず前記複数の車両および前記複数の局舎の中から、移動対象の車両とその移動先となる局舎を、過去に選択済みの事象を除外した上で選択する。次に、選択された前記移動対象の車両が前記局舎に移動する移動期間に、前記稼働状態の変化が想定される前記局舎を選択して、この局舎の稼働状態の変化が前記ネットワークに与える影響度を算出する。そして、算出した前記影響度を前記機械学習モデルにより探索される対応する経路候補の報酬に反映し、前記報酬に基づいて前記報酬が大きい経路候補を前記機械学習モデルが選択するように、前記機械学習モデルのモデルパラメータを更新する。

明 細 書

発明の名称：経路探索装置、方法およびプログラム

技術分野

[0001] この発明の一態様は、例えば災害発生時にネットワークサービスが停止した場合に、通信ビルを巡回して通信設備の電源を修復し、ネットワークサービスを復旧させる業務で使用される経路探索装置、方法およびプログラムに関する。

背景技術

[0002] 例えば、地震等による災害の発生に伴い広域停電が発生し、通信事業者が運用する通信ビルにおいて通信設備の電力が枯渇すると、この通信設備を使用するユーザは通信不能な状態に陥る。この状態は、特に役所等の公共性の高い建物に通信サービスを提供している通信ビルで発生すると、災害対応業務に重大な支障を及ぼすため非常に好ましくない。

[0003] そこで、このような場合に備え、通信事業者では被災エリアの複数の通信ビルに対し電源車を派遣して各通信ビルの電源を復旧させる対策が検討されている。この場合、検討課題の重要な事項として、通信サービスが遮断している時間を可能な限り短くするために、電源車の巡回経路をどのように決定するかという事項がある。

[0004] 巡回経路を探索する手法として、非特許文献1および非特許文献2では、深層強化学習を用いて経路生成問題を解く手法が提案されている。これらの技術を用いることで、例えば電源車の巡回問題を、巡回セールスマン問題（TSP：Traveling Salesperson Problem）もしくは運搬経路問題（VRP：Vehicle Routing Problem）として捉え、収容局の非常用電源の枯渇時間を考慮しながら電源車の移動距離を最小化する経路を生成することが可能となる。

先行技術文献

非特許文献

[0005] 非特許文献1: Wouter Kool et al. Attention, learn to solve routing problems! ICLR, 2018.

非特許文献2: Zhao Wang et al. A method of delivering fuel to telecommunication exchange buildings in disaster response. ICAIIC, 2021.

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0006] ところで、巡回経路を探索する場合には、ネットワークが提供する通信サービスへの影響度を考慮する必要がある。通信サービスへの影響度は、各収容局の訪問に要した時間や訪問の順序、ネットワークにおける収容局同士の接続関係に応じて算出される。

[0007] しかし、従来の経路探索手法では、生成された経路に沿って電源車を巡回させたときのネットワークへの影響が考慮されていない。具体的には、電源車が経路を移動している最中に収容局の稼働状態が変化することがあるが、この状態変化によるネットワークへの影響が定量的に評価されていないため、影響度を最小化する経路を探索できない。また、ネットワークのトポロジーすなわち収容局間の接続関係が考慮されていないため、より影響度の小さい経路を探索することができない。

[0008] この発明は上記事情に着目してなされたもので、ネットワークへの影響度を考慮した経路探索を可能にする技術を提供しようとするものである。

課題を解決するための手段

[0009] 上記課題を解決するためにこの発明に係る経路探索装置または経路探索方法の一態様は、ネットワークを構成する複数の局舎を複数の車両により巡回訪問するための経路を機械学習モデルを用いて探索する際に、先ず前記複数の車両および前記複数の局舎の中から、移動対象の車両とその移動先となる局舎を、過去に選択済みの事象を除外した上で選択する。次に、選択された前記移動対象の車両が前記局舎に移動する移動期間に、前記稼働状態の変化が想定される前記局舎を選択して、この局舎の稼働状態の変化が前記ネットワークに与える影響度を算出する。そして、算出した前記影響度を前記機械

学習モデルにより探索される対応する経路候補の報酬に反映し、前記報酬に基づいて前記報酬が大きい経路候補を前記機械学習モデルが選択するように、前記機械学習モデルのモデルパラメータを更新するようにしたものである。

発明の効果

[0010] この発明の一態様によれば、局舎の稼働状態の変化がネットワークに与える影響度を考慮して、このネットワークへの影響度が最も小さくなる経路を探索することを可能にした技術を提供することができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]図1は、この発明の一実施形態に係る経路探索装置が適用されるシステムの一例を示す図である。

[図2]図2は、この発明の一実施形態に係る経路探索装置の機能構成の一例を示すブロック図である。

[図3]図3は、この発明の一実施形態に係る経路探索装置のハードウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図4]図4は、この発明の一実施形態に係る経路探索装置のソフトウェア構成の一例を示すブロック図である。

[図5]図5は、図4に示した経路探索装置の制御部が実行する経路探索処理を含む一連の処理手順と処理内容の一例を示すフローチャートである。

[図6]図6は、図5に示した処理手順のうち経路探索処理の処理手順と処理内容の一例を示すフローチャートである。

[図7]図7は、図6に示した経路探索処理手順のうち報酬計算処理の処理手順と処理内容の一例を示すフローチャートである。

[図8]図8は、図4に示した経路探索処理部の動作例を説明するための図である。

[図9]図9は、図6に示した経路探索処理のうちアクション選択処理の動作例を説明するための図である。

[図10]図10は、図7に示した報酬計算処理の動作例を説明するための図で

ある。

[図11]図 1 1 は、この発明の一実施形態に係る経路探索方法の効果の一例を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照してこの発明に係わる実施形態を説明する。

[0013] [一実施形態]

(構成例)

(1) システム

図 1 はこの発明の一実施形態に係る経路探索装置 S V が適用されるシステムの一例を示す図である。

[0014] 図 1 において、B S 1 ～B S n は通信事業者がネットワークを構成するために配置した収容局（以後局舎と云う）であり、これらの局舎 B S 1 ～B S n により上記ネットワークに加入するユーザに対し通信サービスが提供される。

[0015] また、M S 1 ～M S k は電源車であり、例えば地震災害の発生により局舎 B S 1 ～B S n が利用している商用電源が停電となった場合に、局舎 B S 1 ～B S n を巡回してそれぞれの非常用電源を充電することにより、局舎が備える通信設備の機能、つまり通信サービスを維持するものである。

[0016] (2) 経路探索装置 S V

(2-1) 機能の概要

図 2 は、この発明の一実施形態に係る経路探索装置 S V が備える機能の一例を示すものである。経路探索装置 S V は、主たる機能として、ネットワーク情報管理機能 1 0 0 と、地理情報エンコーダ 2 0 0 と、現在情報エンコーダ 3 0 0 と、G A T (Graph Attention Network) エンコーダ 4 0 0 と、経路探索機能部 5 0 0 とを備えている。

[0017] ネットワーク情報管理機能 1 0 0 は、ネットワークの構成や状態に関する情報（以後ネットワーク情報と云う）を管理するもので、ネットワーク情報には、例えば局舎 B S 1 ～B S n の設置位置およびその接続関係を表すトポ

ロジー情報、各局舎BS1～BSnの稼働状態を表す情報、および電源車MS1～MSkの移動状態を表す情報が含まれる。

[0018] 地理情報エンコーダ200は、上記ネットワーク情報管理機能100から地理情報を入力してエンコードし、その特徴量を出力する。入力される地理情報は、局舎BS1～BSnの設置位置と、局舎BS1～BSn間を電源車MS1～MSkが移動するときの移動時間を表す情報を含む。

[0019] 現在情報エンコーダ300は、上記ネットワーク情報管理機能100からネットワークの現在の状況を表す情報（現在情報）を入力してエンコードし、その特徴量を出力する。現在情報には、例えば、局舎BS1～BSnの稼働状態を表す情報と局舎BS1～BSnの非常用電源が停止するまでの予測時間、および電源車MS1～MSkが局舎BS1～BSn間を移動するための移動時間が含まれる。なお、移動時間には、局舎BS1～BSnにおける電源車MS1～MSkの滞在時間も含まれる。

[0020] GATエンコーダ400は、上記ネットワーク情報管理機能100からネットワークのトポロジー情報を入力してエンコードし、その特徴量を出力する。トポロジー情報は、例えば、局舎BS1～BSnをノードとし、局舎BS1～BSn間の接続をエッジとするグラフにより表される。

[0021] 経路探索機能部500は、上記地理情報エンコーダ200、現在情報エンコーダ300およびGATエンコーダ400からそれぞれ出力される各特徴量を機械学習モデルに入力して、電源車MS1～MSkが局舎BS1～BSnを巡回する経路を探索する。

[0022] より具体的には、先ず移動対象となる電源車とその移動先となる局舎を、過去に選択された事象を排除した上で選択する。次に、選択した電源車の移動期間中における局舎BS1～BSnの状態変化がネットワークに与える影響度を算出して、この影響度を上記機械学習モデルの報酬に反映する。そして、機械学習モデルが上記報酬に基づいてモデルパラメータを更新することにより、上記影響度が最も小さい経路が探索されるようにする。

[0023] (2-2) ハードウェアおよびソフトウェアの構成

経路探索装置 S V は、例えばパーソナルコンピュータにより構成され、例えば通信事業者が運用する管理センタに設置される。なお、経路探索装置 S V は、例えば W e b またはクラウド上に配置されるサーバコンピュータにより構成されてもよい。

[0024] 図 3 および図 4 は、この発明の一実施形態に係る経路探索装置 S V のハードウェア構成およびソフトウェア構成の一例を示すブロック図である。

[0025] 経路探索装置 S V は、例えば中央処理ユニット（Central Processing Unit : C P U）等のハードウェアプロセッサを使用した制御部 1 を備える。そして、この制御部 1 に対し、バス 5 を介して、プログラム記憶部 2 およびデータ記憶部 3 を有する記憶ユニットと、通信インタフェース部（以後通信 I / F 部と記載する） 4 を接続したものとなっている。

[0026] 通信 I / F 部 4 は、制御部 1 の制御の下、例えばインターネットを含むネットワーク（図示省略）により定義される通信プロトコルを使用して、局舎 B S 1 ~ B S n に設けられた管理端末との間、および電源車 M S 1 ~ M S k に搭載された車載端末との間で、それぞれ情報データの送受信を行う。

[0027] プログラム記憶部 2 は、例えば、記憶媒体として H D D（Hard Disk Drive）または S S D（Solid State Drive）等の随時書込みおよび読出しが可能な不揮発性メモリと、R O M（Read Only Memory）等の不揮発性メモリとを組み合わせて構成したもので、O S（Operating System）等のミドルウェアに加えて、この発明の一実施形態に係る各種制御処理を実行するために必要なアプリケーション・プログラムを格納する。

[0028] データ記憶部 3 は、例えば、記憶媒体として H D D または S S D 等の随時書込みおよび読出しが可能な不揮発性メモリと R A M（Random Access Memory）等の揮発性メモリと組み合わせたもので、その記憶領域には、ネットワーク情報記憶部 3 1 と、経路探索モデル記憶部 3 2 とが設けられる。

[0029] ネットワーク情報記憶部 3 1 は、局舎 B S 1 ~ B S n および電源車 M S 1 ~ M S k から取得されたネットワーク情報を記憶するために使用される。ネットワーク情報には、先に述べたように、局舎 B S 1 ~ B S n の設置位置お

よび局舎BS1～BSn間の接続関係を表すトポロジー情報と、各局舎BS1～BSnの稼働状態を表す情報と、電源車MS1～MSkの現在の移動状況を表す情報が含まれる。

[0030] 経路探索モデル記憶部32は、マルチエージェント深層強化学習を採用した機械学習モデルに関するデータを記憶する。このデータには、モデルパラメータが含まれる。

[0031] 制御部1は、この発明の一実施形態に係る処理部として、ネットワーク情報取得処理部11と、地理情報エンコード処理部12と、GATエンコード処理部13と、現在情報エンコード処理部14と、経路探索処理部15と、経路情報出力処理部16とを備える。

[0032] 上記処理部11～16は、何れもプログラム記憶部2に格納されたアプリケーション・プログラムを制御部1のハードウェアプロセッサに実行させることにより実現される。なお、上記処理部11～16の一部または全部は、LSI (Large Scale Integration) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等のハードウェアを用いて実現されてもよい。

[0033] ネットワーク情報取得処理部11は、局舎BS1～BSnの設置位置およびその接続関係を表すトポロジー情報と、各局舎BS1～BSnの現在の稼働状態を表す情報と、電源車MS1～MSkの現在の移動状況を表す情報とを、通信I/F部4を介して取得する。そしてネットワーク情報取得処理部11は、取得した上記各情報をネットワーク情報としてネットワーク情報記憶部31に記憶する。

[0034] 地理情報エンコード処理部12は、上記ネットワーク情報記憶部31から、局舎BS1～BSnの設置位置と、局舎BS1～BSn間における電源車MS1～MSkの移動時間を表す情報を読み込み、読み込んだ上記各情報をエンコードしてその特徴量を出力する。

[0035] GATエンコード処理部13は、上記ネットワーク情報記憶部31からトポロジー情報を読み込み、読み込んだ上記トポロジー情報をエンコードしてその特徴量を出力する。トポロジー情報は、局舎BS1～BSnをノードと

し局舎BS1～BSn間の接続をエッジとするグラフにより表される。

[0036] 現在情報エンコード処理部14は、上記ネットワーク情報記憶部31から、電源車MS1～MSkの移動中に変化が想定される現在情報を読み込み、読み込んだ上記各情報をエンコードして、その特徴量を出力する。現在情報には、局舎BS1～BSnの現在の稼働状態を表す情報と、局舎BS1～BSn間における電源車MS1～MSkの移動時間を表す情報が含まれる。なお、上記局舎BS1～BSnの稼働状態を表す情報には非常用電源が停止するまでの予測時間が含まれ、また電源車MS1～MSkの移動時間には局舎BS1～BSnにおける滞在時間が含まれる。

[0037] 経路探索処理部15は、経路探索のためのツールとして、例えばマルチエージェント深層強化学習を採用した機械学習モデルを使用する。経路探索処理部15は、上記地理情報エンコード処理部12、GATエンコード処理部13および現在情報エンコード処理部14から出力される各特徴量を、経路探索モデル記憶部32に経路探索モデルとして記憶された上記機械学習モデルに入力し、この機械学習モデルによりネットワークへの影響度が最も小さい経路を探索する。この経路探索処理部15による経路探索処理の一例は、動作例において詳しく説明する。

[0038] 経路情報出力処理部16は、上記経路探索処理部15による経路の探索結果に基づいて、電源車MS1～MSkに通知するための経路情報を生成する。そして、生成した上記経路情報を、通信I/F部4から通知先となる電源車MS1～MSkの車載端末に向け送信する。

[0039] (動作例)

次に、以上のように構成された経路探索装置SVの動作例を説明する。

[0040] 例えば災害の発生に伴い局舎BS1～BSnに障害が発生し、電源車MS1～MSkの巡回訪問が必要になると、経路探索装置SVは巡回訪問するための経路を探索する処理を以下のように実行する。

[0041] 図5は、経路探索装置SVの制御部1が実行する経路探索処理を含む一連の処理手順と処理内容の一例を示すフローチャートである。

[0042] (1) ネットワーク情報の取得

経路探索装置SVの制御部1は、始めにステップS10において、ネットワーク情報取得処理部11の制御の下、例えば通信事業者の管理用データベースから局舎BS1～BSnの設置位置とその接続関係を表すトポロジー情報を通信I/F部4を介して取得し、取得した上記トポロジー情報をネットワーク情報記憶部31に記憶する。なお、上記局舎BS1～BSnの設置位置とトポロジー情報は、平常時に取得してネットワーク情報記憶部31に記憶されるようにしてもよい。

[0043] またネットワーク情報取得処理部11は、障害発生中に、各局舎BS1～BSnからその稼働状態を表す情報を通信I/F部4を介して一定の周期で取得する。さらにネットワーク情報取得処理部11は、電源車MS1～MSkの局舎BS1～BSnにおける滞在時間を含む移動時間を表す情報を取得する。そしてネットワーク情報取得処理部11は、取得した上記稼働状態および移動時間を表す情報を、ネットワーク情報記憶部31に記憶する。

[0044] (2) 地理情報のエンコード

経路探索装置SVの制御部1は、ステップS11において、地理情報エンコード処理部12の制御の下、上記ネットワーク情報記憶部31から局舎BS1～BSnの設置位置と、局舎BS1～BSn間における電源車MS1～MSkの移動時間を表す情報を読み込む。そして、読み込んだ上記各情報をエンコードしてその特徴量を出力する。

[0045] (3) トポロジー情報のエンコード

経路探索装置SVの制御部1は、続いてステップS12において、GATエンコード処理部13の制御の下、上記ネットワーク情報記憶部31からトポロジー情報を読み込む。このとき、トポロジー情報はGATで取り扱うことが可能なように、局舎BS1～BSnをノードとし局舎BS1～BSn間の接続をエッジとするグラフにより表されている。GATエンコード処理部13は、読み込んだ上記トポロジー情報をエンコードしてその特徴量を出力する。

[0046] (4) 現在情報のエンコード

経路探索装置SVの制御部1は、続いてステップS13において、現在情報エンコード処理部14の制御の下、ネットワーク情報記憶部31から、局舎BS1～BSnの現在の稼働状態を表す情報と、局舎BS1～BSn間における電源車MS1～MSkの移動時間を表す情報を読み込む。このとき、上記局舎BS1～BSnの稼働状態を表す情報には、非常用電源が停止するまでの予測時間が含まれる。また電源車MS1～MSkの移動時間には局舎BS1～BSnにおける滞在時間が含まれる。そして現在情報エンコード処理部14は、読み込んだ上記各情報をエンコードして、その特徴量を出力する。

[0047] (5) 経路探索

経路探索装置SVの制御部1は、ステップS14において、経路探索処理部15の制御の下、経路探索処理を以下のように実行する。

[0048] (5-1) 経路探索処理の概要

図8は、経路探索処理部15が実行する経路探索処理の動作の概要を説明するための図である。

[0049] 経路探索処理部15は、上記地理情報エンコード処理部12、GATエンコード処理部13および現在情報エンコード処理部14からそれぞれ出力される各特徴量を、経路探索モデル記憶部32に記憶されている経路探索モデルに入力する。この結果、経路探索モデルは、モデルパラメータに従って深層強化学習を実行し、経路または経路の一部を生成する。

[0050] 一実施形態の経路探索手法では、上記経路を生成する際に経路探索モデルは、マルチエージェント、すなわち複数の電源車MS1～MSkの経路を同時に探索する。そのために経路探索モデルは、電源車MS1～MSkの各々について1ステップごとに、候補に挙がる複数の経路に対応するアクションを評価する。但し、このときモデルパラメータは乱数により初期化される。

[0051] 経路探索処理部15は、続いて上記経路探索モデルによる評価結果をもとに、評価値が高いアクションに対応する電源車とその移動先となる局舎を選

択する。但し、その際過去に選択されたアクションは除外する。次に経路探索処理部15は、選択された上記電源車の移動期間中に発生すると想定される局舎BS1～BSnの稼働状態の変化、例えば非常用電源の停止がネットワークに与える影響度を算出する。そして、上記アクションごとに、算出された上記影響度を反映した報酬を計算する。このとき、報酬は影響度が小さいほど大きな値となるように計算される。

[0052] 経路探索処理部15は、計算された上記報酬の値に基づいて、報酬の大きな経路を経路探索モデルが選択するようにモデルパラメータ θ を更新する。以後、経路探索処理部15は、影響度が予め設定された値以下となる経路が選択されるまで、或いは予め決められた繰り返し回数に達するまで上記更新処理を繰り返す。以上の処理により経路探索モデルはネットワークへの影響度が低い経路を生成するように学習される。

[0053] そして、上記判定条件を満たしたことをステップS15により判定すると、経路探索処理部15は経路探索処理を終了する。

[0054] (5-2) 経路探索処理の具体例

図6は、経路探索処理部15が実行する経路探索処理の処理手順と処理内容の一例を示すフローチャートである。

[0055] (5-2-1) 移動対象の電源車とその移動先の選択

経路探索処理部15は、複数の電源車MS1～MSkの経路を同時に探索するために、先ずステップS141において、1ステップごとに移動対象の電源車と次の移動先（訪問先）となる局舎を選択する。但し、1ステップごとに報酬を計算するために、ある電源車が次の移動先に到着する時刻を、最後に移動した他の電源車の到着時刻より遅くなるように制限する処理を、以下のように実行する。

[0056] 図9は、電源車MS1～MSkと次の移動先となる局舎を選択するための動作例を説明するための図である。

[0057] すなわち、経路探索処理部15は、ステップS142において、局舎BS1～BSnの稼働状態、局舎BS1～BSnの接続関係、および非常用電源

の残り時間等のネットワークの状態を表す特徴量を経路探索モデルに入力する。経路探索モデルは、入力された各特徴量と内部のモデルパラメータに従って各アクションの確率を計算する。そして、経路探索処理部15は、ステップS144において、上記各アクションの中から、計算された確率が最も高いアクションを選択する。

[0058] 但し、上記アクションの選択に先立ち経路探索処理部15は、ステップS143において、1ステップごとに、ある電源車が次の移動先に到着する時刻を、最後に移動した他の電源車が移動先に到着した時刻より遅くなるように制限する。すなわち、各アクションのうち過去の事象に相当するアクションを選択対象から除外する。

[0059] 例えば、図9の例では、時刻 t_A において電源車MS1が局舎BS1から局舎BS4に移動した後のステップでは、電源車MS2が局舎BS1に移動する事象は過去の事象であるため除外される。従って、この例では、時刻 t_A 以降のアクションの中から、例えば電源車MS1が局舎BS4から局舎BS2に移動するアクションが選択される。

[0060] (5-2-2) 報酬の計算

経路探索処理部15は、上記移動対象の電源車とその移動先に対応するアクションが選択されると、次にステップS145において、選択された上記アクションに対する報酬を以下のように計算する。

[0061] 図7は報酬計算処理の処理手順と処理内容の一例を示すフローチャート、図10はその動作例を説明するための図である。

[0062] すなわち、経路探索処理部15は、先ずステップS1451において、上記アクションにおける電源車の移動期間を算出する。例えば、図10の例では、電源車MS1が局舎BS4に移動した時刻 t_A から当該電源車MS1が次の局舎BS2に移動する時刻 $t_A + t_{4 \rightarrow 2}$ までを移動期間として算出する。

[0063] 経路探索処理部15は、続いてステップS1452において、局舎BS1～BSnの稼働状態を表す情報をもとに、上記電源車の移動期間に非常用電源が停止すると予測される局舎をすべて選択する。例えば図10の例では、

非常用電源が停止すると予測される局舎として局舎BS5が選択される。なお、上記移動期間中に、例えば他の電源車からの電源供給を受けて非常用電源が復旧すると予想される局舎がある場合には、この局舎も選択される。

[0064] 経路探索処理部15は、続いてステップS1453において、上記移動期間におけるネットワークの状態を、電源車MS1が局舎BS4に移動した時刻 t_A から局舎BS5の非常用電源が停止するまでの期間($t_A \sim t'$)における状態“045”と、非常用電源が停止した時刻 t' から電源車MS1が局舎BS2に移動する時刻 $t_A + t_{4 \rightarrow 2}$ までの期間($t' \sim t_A + t_{4 \rightarrow 2}$)における状態“04”とに分ける。そして、これらの状態の各々について、当該各状態がネットワークに与える影響度を計算する。影響度は、例えば通信が行えなくなる加入者数をもとに定量化された値として算出されるが、これに限らない。

[0065] 経路探索処理部15は、次にステップS1454において、上記状態ごとに算出された各影響度をもとに、上記移動期間の全期間における述べ影響度を算出する。述べ影響度は、例えば上記各状態においてそれぞれ算出された各影響度を時間積分した値として算出される。経路探索処理部15は、次にステップS1455において、算出された上記述べ影響度を反映した報酬値を算出する。例えば、述べ影響度の負数を報酬とする。すなわち、経路探索処理部15は、算出された上記影響度が大きいほど上記報酬が小さくなるように報酬を計算する。

[0066] 上記報酬が算出されると経路探索処理部15は、続いてステップS146において、上記報酬の値に基づいて、報酬の大きな経路を経路探索モデルが選択するようにモデルパラメータ θ を更新する処理を実行する。

[0067] (6) 経路情報の送信

経路探索装置SVの制御部1は、最後にステップS16において、経路情報出力処理部16の制御の下、上記経路探索処理部15により得られた経路探索結果をもとに、電源車MS1～MS k に通知するための経路情報を生成し、生成した経路情報を通信I/F部4から対応する電源車MS1～MS k

の車載端末に向け送信する。経路情報としては、例えば地図データ上に行き先の局舎の識別情報を表示した情報が用いられる。

[0068] (効果)

以上述べたように一実施形態では、経路探索モデルを用いて電源車MS 1～MS kの巡回訪問する経路を探索する際に、まず1ステップごとに、移動対象の電源車と次の移動先となる局舎を、過去のステップにおいて選択された事象を除外した上で選択する。次に、選択した上記電源車が移動先となる局舎に移動する期間中において発生する局舎BS 1～BS nの稼働状態の変化が、ネットワークに与える影響度を算出し、算出した影響度を反映した報酬を算出する。そして、算出した報酬に基づいて、経路探索モデルが報酬の大きい経路を選択するようにモデルパラメータ θ を更新する処理を繰り返し実行する。

[0069] 従って、一実施形態に係る経路探索装置SVによれば、局舎BS 1～BS nの稼働状態の変化がネットワークに与える影響度を考慮して、このネットワークへの影響度が最も小さくなる経路を探索することが可能となる。

[0070] 図11は、この発明の一実施形態による効果の一例を、従来技術である非特許文献1に記載されたMA手法および非特許文献2に記載されたPPT手法と、実験により比較した図である。

[0071] この実験では、ある1つの都道府県下の複数の局舎により構成されるネットワークにおいて、ランダムに選んだ10箇所または20箇所の局舎で停電が発生したと仮定し、この状態で停電した上記局舎を電源車がそれぞれの手法で生成された経路に従い巡回して、すべての局舎の停電が復旧するまでの述べ影響度を評価したものである。

[0072] この実験結果から明らかなように、停電が10箇所の局舎で発生した場合および20箇所の局舎で発生した場合のいずれにおいても、従来技術であるMA手法およびPPT手法よりネットワークに対する影響度を低減することができ、特に停電箇所が20箇所の場合には述べ影響度を85.0%低減することができた。

[0073] また、上記影響度を算出する際に、上記電源車の移動期間におけるネットワークの状態を非常用電源が停止した局舎を境界として複数の状態に分け、これらの状態ごとに部分的な影響度を算出し、算出された部分的な各影響度を時間積分することで上記移動期間の全期間における述べ影響度を算出するようにしている。このため、電源車の移動期間におけるネットワークへの影響度を的確に算出することができる。

[0074] さらに一実施形態では、トポロジー情報を、局舎BS1～BSnをノードとし局舎BS1～BSn間の接続をエッジとするグラフにより表し、このトポロジー情報をGATエンコーダによりエンコードすることによりトポロジー情報の特徴量を得るようにしている。このため、経路探索モデルにおいて、局舎間の接続関係が適切に反映された経路探索を行うことができる。

[0075] [その他の実施形態]

経路探索装置SVの機能構成やそれを実現するためのハードウェアおよびソフトウェアの構成、経路探索処理における一連の処理手順と処理内容、経路探索モデルを構成するニューラルネットワークの種類やその動作アルゴリズム等については、この発明の要旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施可能である。

[0076] 以上、この発明の実施形態を詳細に説明してきたが、前述までの説明はあらゆる点においてこの発明の例示に過ぎない。この発明の範囲を逸脱することなく種々の改良や変形を行うことができることは言うまでもない。つまり、この発明の実施にあたって、実施形態に応じた具体的構成が適宜採用されてもよい。

[0077] 要するにこの発明は、上記実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより種々の発明を形成できる。例えば、実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。さらに、異なる実施形態に亘る構成要素を適宜組み合わせてもよい。

符号の説明

- [0078] S V…経路探索装置
- BS 1 ～ BS n…局舎
- MS 1 ～ MS k…電源車
- 1 0 0…ネットワーク情報管理機能
- 2 0 0…地理情報エンコーダ
- 3 0 0…現在情報エンコーダ
- 4 0 0…G A Tエンコーダ
- 5 0 0…経路探索機能部
- 1…制御部
- 2…プログラム記憶部
- 3…データ記憶部
- 4…通信 I / F 部
- 5…バス
- 1 1…ネットワーク情報取得処理部
- 1 2…地理情報エンコード処理部
- 1 3…G A Tエンコード処理部
- 1 4…現在情報エンコード処理部
- 1 5…経路探索処理部
- 1 6…経路情報出力処理部
- 3 1…ネットワーク情報記憶部
- 3 2…経路探索モデル記憶部

請求の範囲

[請求項1]

ネットワークを構成する複数の局舎を複数の車両により巡回訪問するための経路を、機械学習モデルを用いて探索する経路探索装置であって、

複数の前記局舎の接続関係および稼働状態を表す情報と、前記車両の移動状態を表す情報とを含むネットワーク情報を取得するネットワーク情報取得処理部と、

前記ネットワーク情報から抽出される特徴量を前記機械学習モデルに入力して、複数の前記車両が複数の前記局舎を巡回訪問する経路を探索する経路探索処理部と、

前記経路の探索結果に基づいて経路情報を生成して出力する出力処理部と

を具備し、

前記経路探索処理部は、

複数の前記車両および複数の前記局舎の中から、移動対象の車両とその移動先となる局舎を、過去に選択済みの事象を除いた上で選択する第1の処理部と、

選択された移動対象の前記車両が前記局舎に移動する移動期間に、前記稼働状態の変化が想定される前記局舎を選択する第2の処理部と、

選択された前記局舎の前記稼働状態の変化が前記ネットワークに与える影響度を算出し、算出した前記影響度を、前記機械学習モデルにより探索される対応する経路候補の報酬に反映する第3の処理部と、

前記報酬に基づいて、前記報酬が大きい経路候補を前記機械学習モデルが選択するように、前記機械学習モデルのモデルパラメータを更新する第4の処理部と

を備える経路探索装置。

- [請求項2] 前記ネットワーク情報取得処理部は、前記ネットワークの構成を表す情報として、複数の前記局舎をノードとしノード間の接続をエッジとするグラフにより表されるトポロジー情報を取得する、請求項1に記載の経路探索装置。
- [請求項3] 前記第2の処理部は、前記稼働状態の変化が想定される前記局舎として、非常用電源が停止する局舎を選択する、請求項1に記載の経路探索装置。
- [請求項4] 前記第3の処理部は、前記移動期間を、前記局舎の前記稼働状態が変化するまでの第1の期間と、前記局舎の前記稼働状態が変化した後の第2の期間とに分け、前記第1の期間および前記第2の期間のそれぞれについて前記ネットワークに対する部分影響度を算出し、算出された各部分影響度を時間軸方向に合成して前記移動期間の全期間における述べ影響度を算出する、請求項1に記載の経路探索装置。
- [請求項5] 前記第3の処理部は、算出された前記影響度が大きいほど前記報酬が小さくなるように前記報酬を計算する、請求項1に記載の経路探索装置。
- [請求項6] 情報処理装置が実行する経路探索方法であって、
ネットワークを構成する複数の局舎の接続関係および稼働状態を表す情報と、複数の車両の移動状態を表す情報とを含むネットワーク情報を取得する過程と、
前記ネットワーク情報から抽出される特徴量を機械学習モデルに入力して、複数の前記車両が複数の前記局舎を巡回訪問する経路を探索する過程と、
前記経路の探索結果に基づいて経路情報を生成して出力する過程とを具備し、
前記経路を探索する過程は、
複数の前記車両および複数の前記局舎の中から、移動対象の車両とその移動先となる局舎を、過去に選択済みの事象を除外した上で選

択する過程と、

選択された前記移動対象の車両が前記局舎に移動する移動期間に、前記稼働状態の変化が想定される前記局舎を選択する過程と、

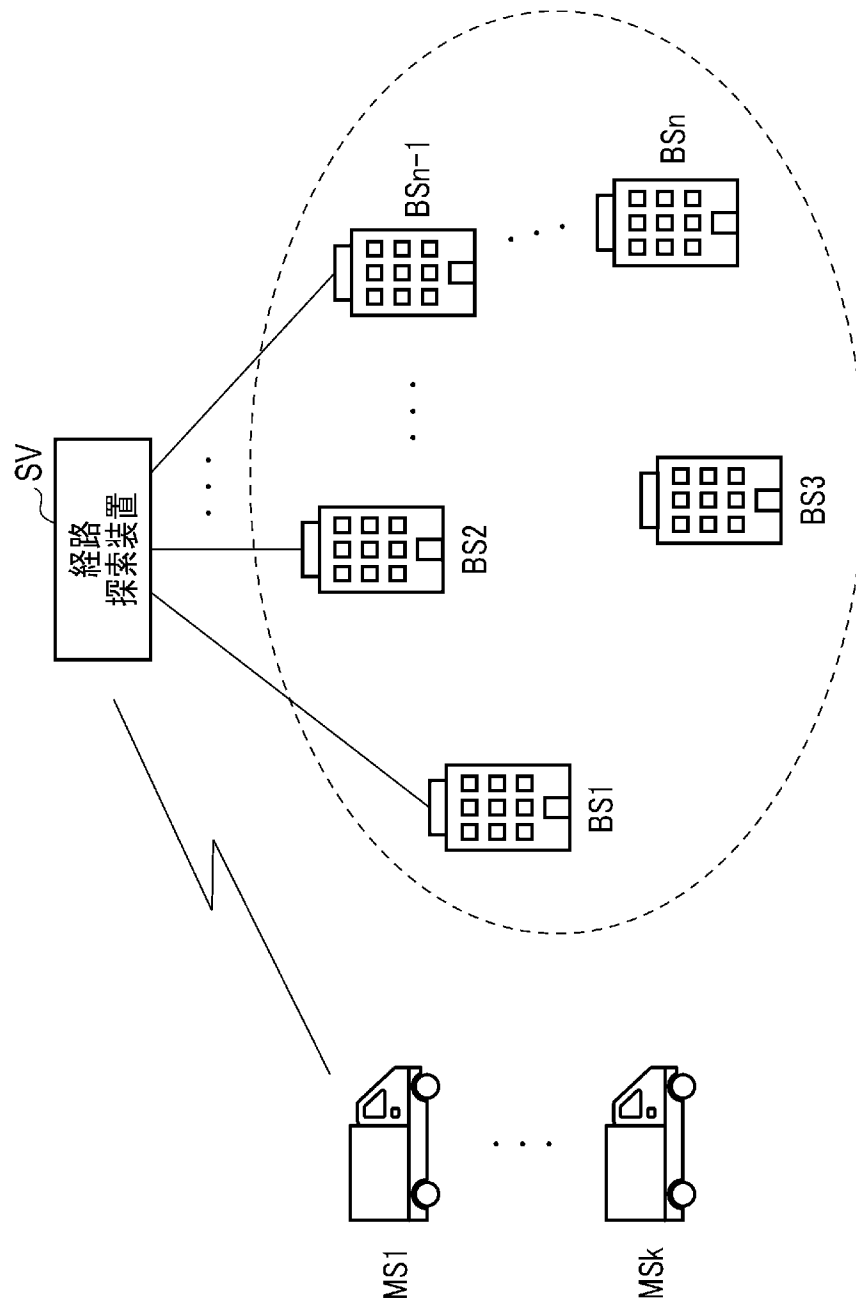
選択された前記局舎の前記稼働状態の変化が前記ネットワークに与える影響度を算出し、算出した前記影響度を、前記機械学習モデルにより探索される対応する経路候補の報酬に反映する過程と、

前記報酬に基づいて、前記報酬が大きい経路候補を前記機械学習モデルが選択するように、前記機械学習モデルのモデルパラメータを更新する過程と

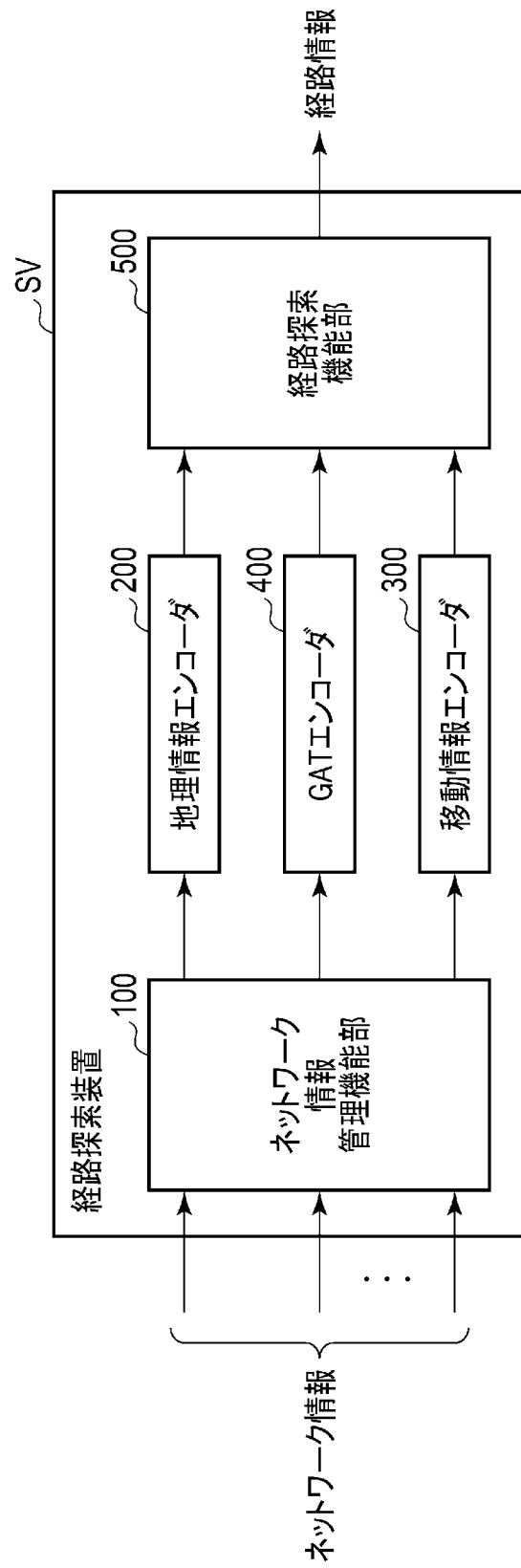
を備える経路探索方法。

[請求項7] 請求項1乃至5のいずれかに記載の経路探索装置が備える前記ネットワーク情報取得処理部および前記経路探索処理部が行う処理の少なくとも1つを、前記経路探索装置が備えるプロセッサに実行させるプログラム。

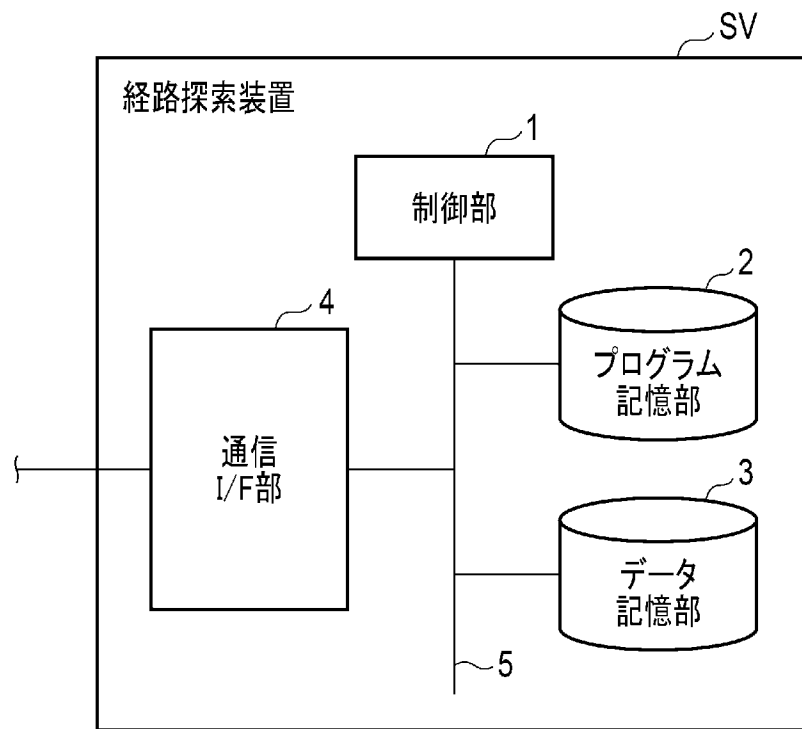
[図1]



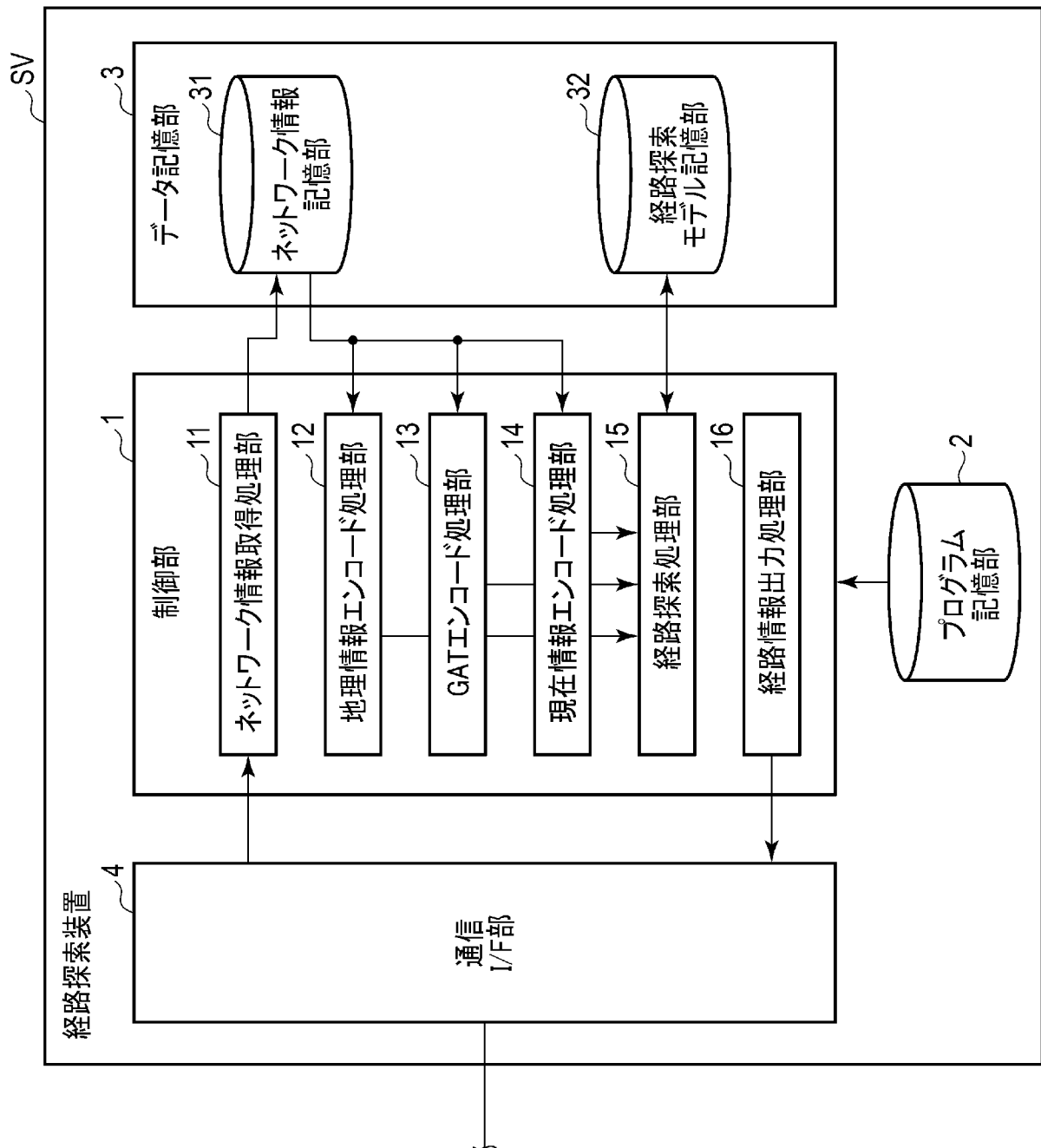
[図2]



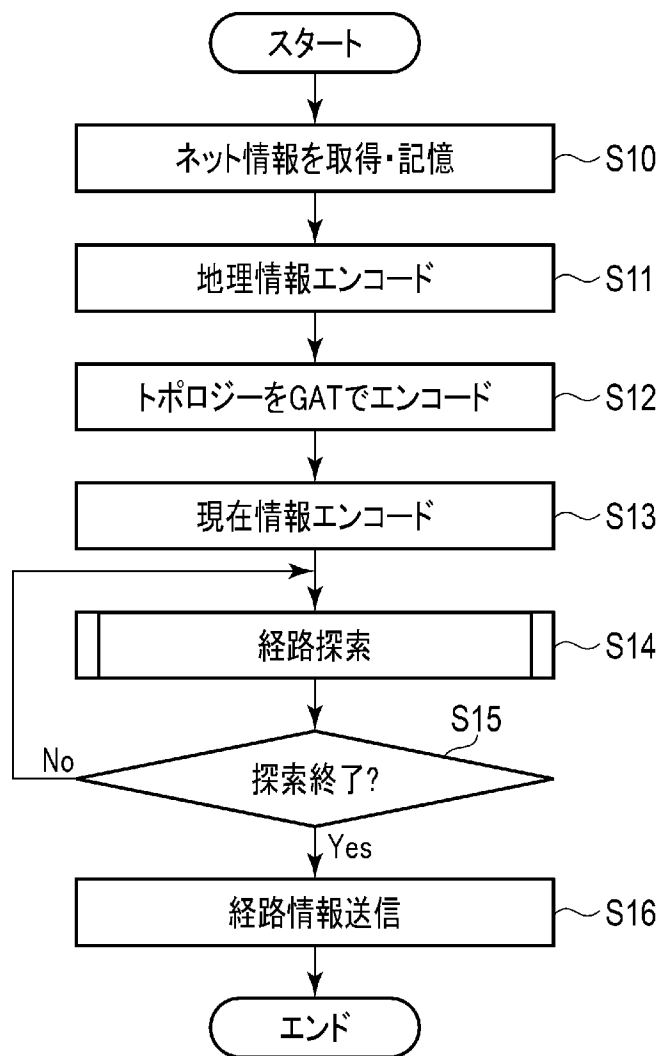
[図3]



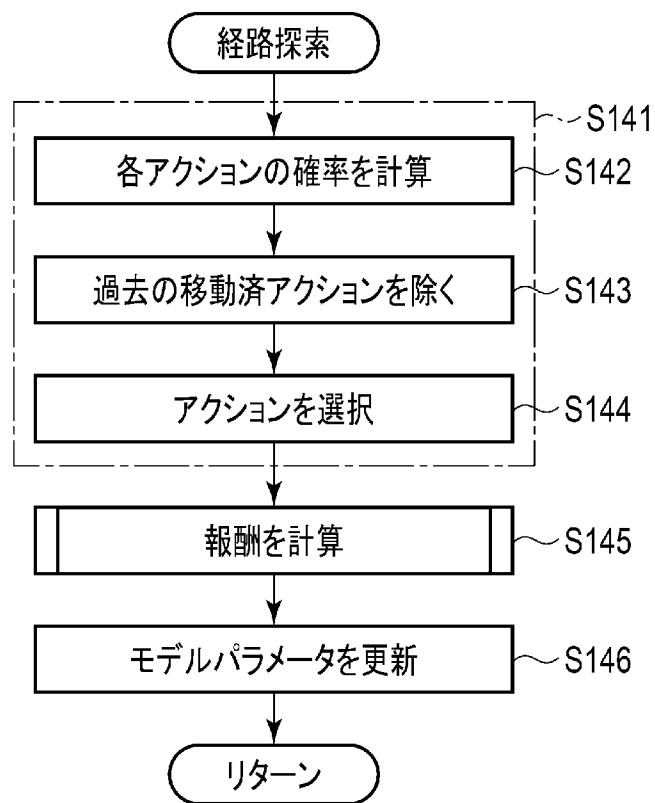
[図4]



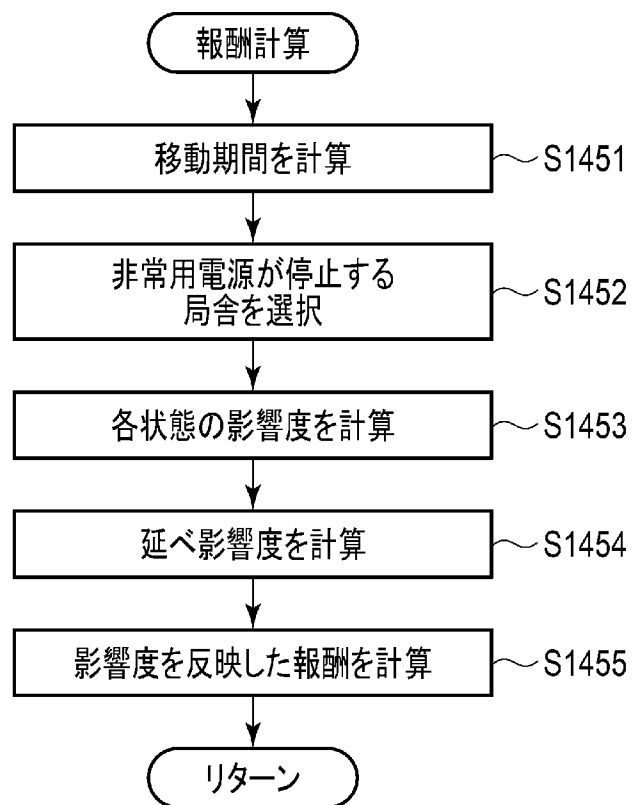
[図5]



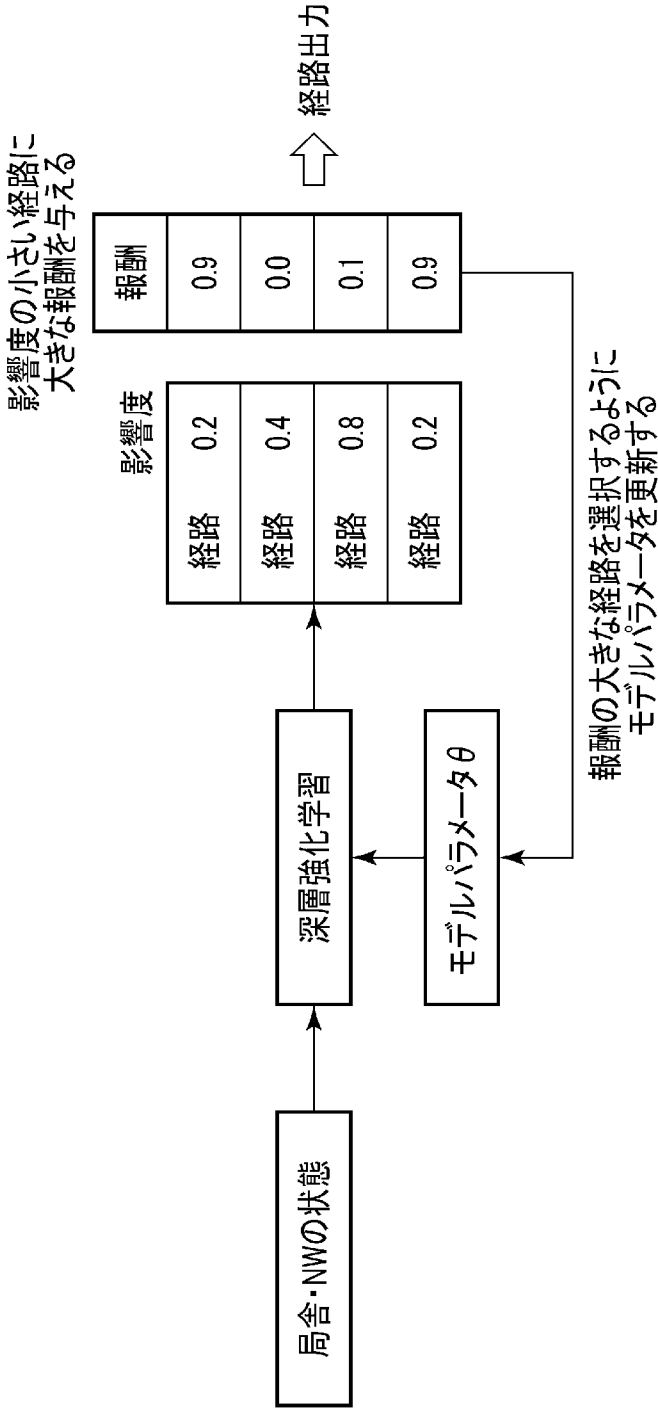
[図6]



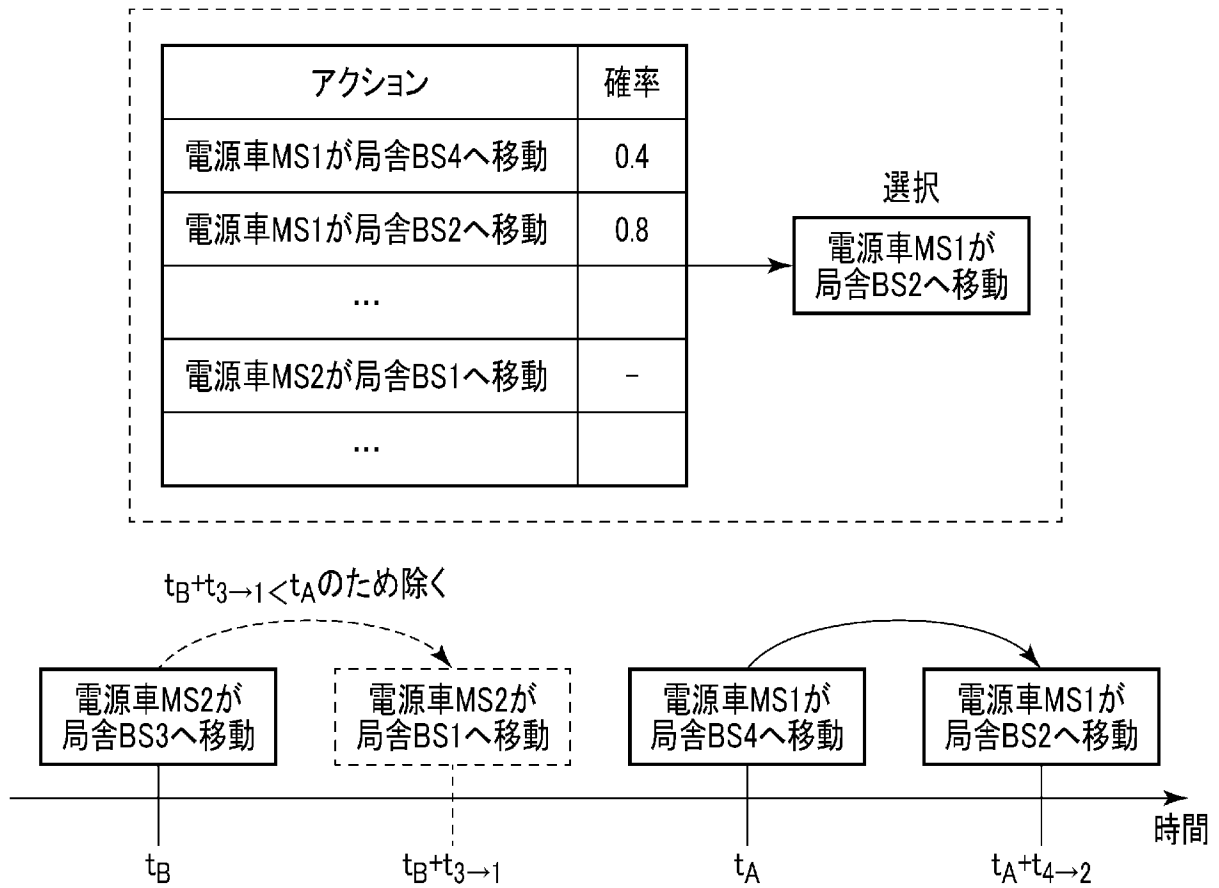
[図7]



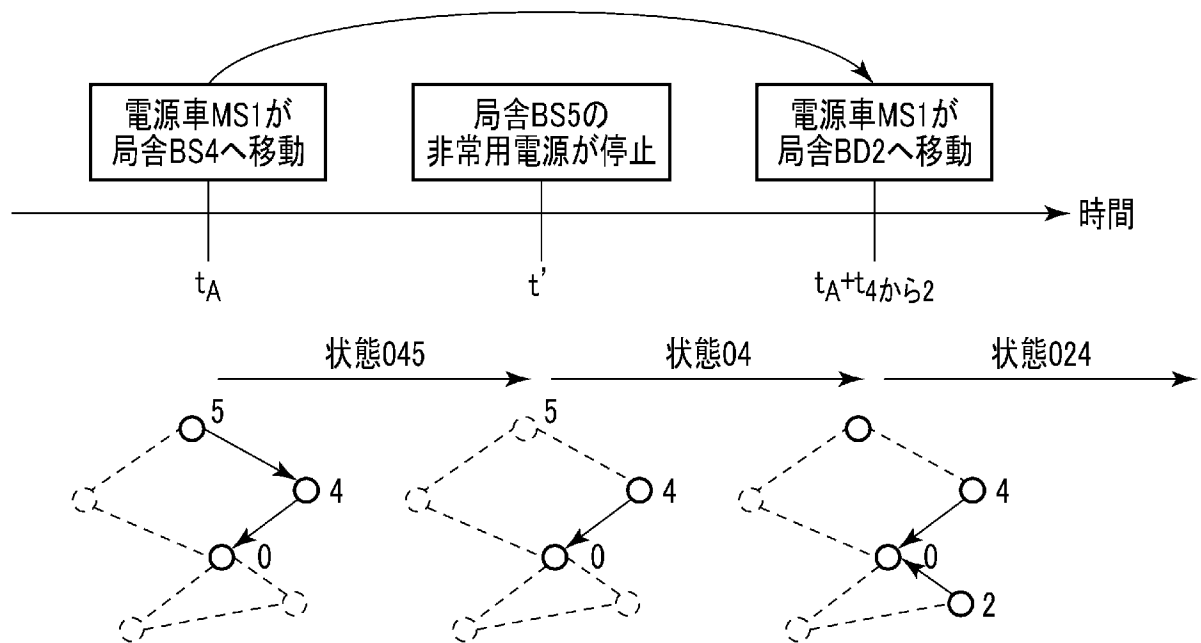
[図8]



[図9]



[図10]



[図11]

停電数	10	20
MA	401.75	929.16
PPT	175.32	580.01
発明手法	50.44	86.76

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2023/035487

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**G01C 21/34**(2006.01)i

FI: G01C21/34

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)

G01C21/34

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.
X	CN 115759557 A (UNIV NANJING SCIENCE & TECH) 07 March 2023 (2023-03-07) paragraphs [0002]-[0004], [0008]-[0011], [0017], [0124]-[0125], [0129], fig. 2	1-3, 5-7
A	paragraphs [0002]-[0004], [0008]-[0011], [0017], [0124]-[0125], [0129], fig. 2	4
A	WO 2022/259298 A1 (NIPPON TELEGRAPH AND TELEPHONE CORPORATION) 15 December 2022 (2022-12-15) paragraphs [0033], [0044]-[0045]	4
A	JP 2015-41976 A (HITACHI, LTD.) 02 March 2015 (2015-03-02) paragraphs [0042]-[0044]	4



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

08 December 2023

Date of mailing of the international search report

19 December 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/JP2023/035487

Patent document cited in search report			Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
CN	115759557	A	07 March 2023	(Family: none)	
WO	2022/259298	A1	15 December 2022	(Family: none)	
JP	2015-41976	A	02 March 2015	US 2015/0055453	A1
					paragraphs [0072]-[0074]

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01C 21/34(2006.01)i FI: G01C21/34										
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）） G01C21/34 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 <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922 - 1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996 - 2023年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994 - 2023年</td> </tr> </table> 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）			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
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									
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								
X	CN 115759557 A (UNIV NANJING SCIENCE & TECH) 07.03.2023 (2023 - 03 - 07) 段落[0002]-[0004], [0008]-[0011], [0017], [0124]-[0125], [0129], 図2	1-3, 5-7								
A	段落[0002]-[0004], [0008]-[0011], [0017], [0124]-[0125], [0129], 図2	4								
A	WO 2022/259298 A1 (日本電信電話株式会社) 15.12.2022 (2022 - 12 - 15) 段落[0033], [0044]-[0045]	4								
A	JP 2015-41976 A (株式会社日立製作所) 02.03.2015 (2015 - 03 - 02) 段落[0042]-[0044]	4								
☐ 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。										
<table border="0"> <tr> <td> * 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 </td> <td> “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 </td> </tr> </table>			* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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						
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技术水準を示すもの “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 08.12.2023		国際調査報告の発送日 19.12.2023								
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） 西畑 智道 3Z 1955 電話番号 03-3581-1101 内線 3395								

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/JP2023/035487

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
CN	115759557	A	07.03.2023	(ファミリーなし)	
WO	2022/259298	A1	15.12.2022	(ファミリーなし)	
JP	2015-41976	A	02.03.2015	US 2015/0055453 A1	
				段落[0072]-[0074]	