



(10) **DE 10 2022 112 912 A1 2023.11.23**

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 112 912.8**

(22) Anmeldetag: **23.05.2022**

(43) Offenlegungstag: **23.11.2023**

(51) Int Cl.: **G06F 30/20 (2020.01)**

G06N 10/00 (2022.01)

(71) Anmelder:

**Dr. Ing. h.c. F. Porsche Aktiengesellschaft, 70435
Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:

**Kirschner, Regina, 10405 Berlin, DE; Wilms, Alissa
Helena, 10553 Berlin, DE; Mularski, Marian, 10249
Berlin, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2020 / 0 028 746 A1

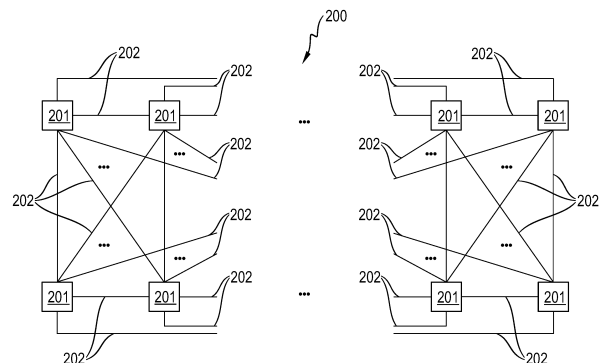
**MÜLLER, Tobias, et al.: Solving Large Steiner
Tree Problems in Graphs for Cost-Efficient Fiber-
To-The-Home Network Expansion. arXiv preprint
arXiv:2109.10617, 2021. URL: [https://arxiv.org/
abs/2109.10617](https://arxiv.org/abs/2109.10617), Stand: 24.11.2021 [abgerufen am
02.02.2023]**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur rechnergestützten Optimierung einer Gebäude- und Anlageninfrastruktur**

(57) Zusammenfassung: Vorrichtung und Verfahren zur rechnergestützten Optimierung einer Gebäude- und Anlageninfrastruktur, wobei Parameter eines Optimierungsproblems insbesondere an einer Schnittstelle empfangen werden, abhängig von den Parametern eine Lösung des Optimierungsproblems insbesondere mit einer Recheneinrichtung bestimmt wird, und die Lösung insbesondere an der Schnittstelle ausgegeben wird, wobei das Optimierungsproblem durch einen Graphen (200) repräsentiert wird, dessen Knoten (201) je einen Raum oder eine Maschine repräsentieren, wobei eine Kante (202) zwischen zwei Knoten (201) des Graphen (200) eine mögliche Leitung insbesondere für Elektrizität, Wasser, Abwasser, Heizungszulauf und/oder Heizungsrücklauf, repräsentiert, wobei die Lösung wenigstens zwei Knoten (201) des Graphen und eine diese verbindende Kante (202) umfasst, wobei die Lösung mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung eines kürzesten Pfades oder mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung eines minimalen Spannbaums bestimmt wird, der auf dem Graphen (200) ausgeführt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und ein Verfahren zur rechnergestützten Optimierung einer Gebäude- und Anlageninfrastruktur.

[0002] WO 2019 064 050 A1 offenbart ein Verfahren und System zur Lösung eines Mengenproblems unter Verwendung von Quantum Annealing zur Abstandsoptimierung, sowie dessen Verwendung.

[0003] Durch das Verfahren gemäß des unabhängigen Anspruchs 1 wird eine Gebäude- oder Anlageninfrastruktur mit gegenüber herkömmlichen Verfahren signifikant geringerer Anzahl an Rechenoperationen optimiert.

[0004] Das Verfahren zur rechnergestützten Optimierung der Gebäude- und Anlageninfrastruktur sieht vor, dass Parameter eines Optimierungsproblems insbesondere an einer Schnittstelle empfangen werden, abhängig von den Parametern eine Lösung des Optimierungsproblems insbesondere mit einer Recheneinrichtung bestimmt wird, und die Lösung insbesondere an der Schnittstelle ausgegeben wird, wobei das Optimierungsproblem durch einen Graphen repräsentiert wird, dessen Knoten je einen Raum oder eine Maschine repräsentieren, wobei eine Kante zwischen zwei Knoten des Graphen eine mögliche Leitung insbesondere einer Infrastruktur vorzugsweise für Elektrizität, Wasser, Abwasser, Heizungszulauf, Heizungsrücklauf, Klimaanlage, Kühlung, Telekommunikation und/oder Internet repräsentiert, wobei die Lösung wenigstens zwei Knoten des Graphen und eine diese verbindende Kante umfasst, wobei die Lösung mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung eines kürzesten Pfades oder mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung eines minimalen Spannbaums bestimmt wird, der auf dem Graphen ausgeführt wird. Die Lösung stellt ein Vorschlag für eine optimale Anordnung der Leitung in der Infrastruktur dar.

[0005] Vorzugsweise wird zur Bestimmung der Lösung mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung des kürzesten Pfades, je Knoten eine binäre Variable bestimmt, die angibt, ob der Knoten an einer Position im kürzesten Pfad ist oder nicht.

[0006] Vorzugsweise werden abhängig von der Lösung die Knoten des kürzesten Pfades ausgegeben. Diese Lösung umfasst den kürzesten Pfad durch den zwei Räumen oder Maschinen mit Leitungen mit minimalen Kosten verbunden sind.

[0007] Vorzugsweise wird zur Bestimmung der Lösung mit dem Quanten- oder dem Quanten-

Annealing-Algorithmus zur Bestimmung des minimalen Spannbaums je Kante eine binäre Variable bestimmt, die angibt, ob die Kante zwischen zwei Knoten angeordnet ist oder nicht. Diese Lösung umfasst den minimalen Spannbaum durch den Räume oder Maschinen mit Leitungen mit minimalen Kosten verbunden sind.

[0008] Vorzugsweise werden abhängig von der Lösung die Knoten des minimalen Spannbaums ausgegeben. Diese Lösung umfasst die Pfade, durch die die Räume oder Maschinen mit Leitungen mit minimalen Kosten angeschlossen sind.

[0009] Es kann vorgesehen sein, dass das Optimierungsproblem abhängig von einer quadratisch unbeschränkten binären Optimierungsfunktion definiert ist, wobei die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion abhängig von den binären Variablen definiert ist, wobei wenigstens eine binäre Variable abhängig von einem der Parameter des Optimierungsproblems gewichtet ist, wobei Werte der binären Variablen bestimmt werden, die die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion minimieren oder für die die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion kleiner ist als für andere Werte der binären Variablen.

[0010] Die Vorrichtung zur rechnergestützten Optimierung einer Gebäude- und Anlageninfrastruktur, ist ausgebildet das Verfahren auszuführen. Dadurch wird eine rechnergestützte Optimierung mit gegenüber herkömmlichen Verfahren signifikant geringeren Rechenressourcen ermöglicht.

[0011] Die Vorrichtung umfasst vorzugsweise eine Recheneinrichtung und eine Schnittstelle, wobei die Schnittstelle ausgebildet ist, Parameter des Optimierungsproblems zu empfangen, wobei die Recheneinrichtung ausgebildet ist, abhängig von den Parametern eine Lösung des Optimierungsproblems zu bestimmen, und wobei die Schnittstelle ausgebildet ist, die Lösung auszugeben.

[0012] Weitere vorteilhafte Ausführungsformen sind der folgenden Beschreibung und der Zeichnung entnehmbar. in der Zeichnung zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Infrastruktur,

Fig. 2 einen Graphen, der die Infrastruktur repräsentiert,

Fig. 3 eine Vorrichtung zur rechnergestützten Optimierung der Infrastruktur,

Fig. 4 ein Verfahren zur rechnergestützten Optimierung der Infrastruktur.

[0013] In **Fig. 1** ist eine schematische Darstellung einer Infrastruktur 100 wiedergegeben.

[0014] Die Infrastruktur 100 ist z.B. eine Gebäude- oder Anlageninfrastruktur. Die Infrastruktur 100 umfasst Räume 101. Die Räume 101 sollen im Beispiel mit Elektrizität versorgt werden.

[0015] In Fig. 2 ist ein Graph 200 dargestellt, der die Infrastruktur 100 repräsentiert. Den Räumen 101 ist je ein Knoten 201 des Graphen 200 zugeordnet.

[0016] Mögliche elektrische Leitungen zwischen Räumen sind im Graphen 200 als Kanten 202 dargestellt, die je zwei Knoten 201 verbindet.

[0017] Je Kante 202 ist ein Gewicht vorgesehen, welches Kosten repräsentiert, die entstehen würden, wenn eine elektrische Leitung zwischen den beiden Räumen 101 verlegt würde, die durch die beiden Knoten 201 repräsentiert werden, welche diese Kante 202 verbindet. Kanten 202, die Knoten 201 verbinden, die Räume 101 repräsentieren zwischen denen keine elektrische Leitung gelegt werden darf, erhalten beispielsweise ein im Vergleich zu den anderen Kanten sehr hohes Gewicht. Die Kosten einer Kante 202 werden beispielsweise aufgrund einer Entfernung zwischen den Räumen 101 bestimmt, welche durch die Knoten 201 repräsentiert werden, die diese Kante 202 verbindet.

[0018] In Fig. 3 ist eine Vorrichtung 300 zur rechnergestützten Optimierung der Infrastruktur 100 schematisch dargestellt.

[0019] Die Vorrichtung 300 umfasst eine Recheneinrichtung 301 und eine Schnittstelle 302.

[0020] Die Schnittstelle 302 ist z.B. eine Benutzerschnittstelle, die es ermöglicht, Parameter eines Optimierungsproblems einzugeben und eine Lösung des Optimierungsproblems auszugeben. Die Parameter sind im Beispiel durch den Graphen 200 und die Kosten für die Infrastruktur 100 bestimmt oder bestimmbar. Beispielsweise umfassen die Parameter je Kante deren Kosten und eine Angabe, die den Start und den Endknoten der Kante definieren.

[0021] Die Recheneinrichtung 301 ist im Beispiel ausgebildet, die Lösung des Optimierungsproblems zu bestimmen.

[0022] Die Schnittstelle 302 kann auch eine Rechnerschnittstelle sein, die ausgebildet ist, die Parameter ein- und die Lösung auszugeben.

[0023] Die Recheneinrichtung 301 ist ausgebildet, das im folgenden beschriebene Verfahren auszuführen, wobei das Optimierungsproblem gelöst wird.

[0024] Die Recheneinrichtung 301 ist beispielsweise eine Quanten-Annealing Maschine oder simuliert diese.

[0025] In einer ersten Ausführung des Verfahrens wird eine Lösung des Optimierungsproblems gefunden, durch die ein vorgegebener Raum 101 mit möglichst geringen Kosten ausgehend von einem anderen vorgegebenen Raum 101 mit Elektrizität versorgt wird.

[0026] In einer zweiten Ausführung des Verfahrens wird eine Lösung des Optimierungsproblems gefunden, durch die die Räume 101 mit möglichst geringen Kosten mit Elektrizität versorgt werden.

[0027] In Fig. 4 sind Schritte im Ablauf des Verfahrens ist für beide Ausführungen dargestellt.

[0028] In einem Schritt 401 werden die Parameter des Optimierungsproblems insbesondere an der Schnittstelle 302 empfangen.

[0029] Anschließend wird ein Schritt 402 ausgeführt.

[0030] Im Schritt 402 wird die Lösung des Optimierungsproblems insbesondere mit der Recheneinrichtung 301 bestimmt. Die Lösung umfasst wenigstens zwei Knoten 201 des Graphen und eine diese verbindende Kante 202.

[0031] Die Lösung wird mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus bestimmt, der auf dem Graphen 200 ausgeführt wird.

[0032] In der ersten Ausführung wird z.B. mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus ein kürzester Pfad oder ein billigster Pfad bestimmt. Die erste Ausführung zielt darauf ab, zwei Räume 101 mit minimalen Kosten zu verbinden.

[0033] Beispielsweise wird das Optimierungsproblem wie in A Panoply of Quantum Algorithms, arXiv: quant-ph/0606127 beschrieben abhängig vom Graphen 200 formuliert und gelöst.

[0034] Beispielsweise wird das Optimierungsproblem wie in Solving the Network Shortest Path Problem on a Quantum Annealer, DOI: 10.1109/TQE.2020.3021921 beschrieben abhängig vom Graphen 200 formuliert und gelöst.

[0035] Beispielsweise wird das Optimierungsproblem wie in Quantum algorithms for shortest paths problems in structured instances, arXiv: 1410.6220 beschrieben abhängig vom Graphen 200 formuliert und gelöst.

[0036] Für die Knoten 201 wird im Beispiel je eine binäre Variable bestimmt, die angibt, ob der Knoten 201 an einer Position im kürzesten Pfad ist oder nicht.

[0037] Die Lösung wird in einem Fall abhängig von den binären Variablen bestimmt, die eine quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion, QUBO, die abhängig von den binären Variablen und den Gewichten für die Kanten definiert ist, minimieren. Dies stellt eine optimale Lösung dar.

[0038] Die Lösung wird in einem anderen Fall abhängig von den binären Variablen bestimmt, für die eine quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion, QUBO, die abhängig von den binären Variablen definiert ist, kleiner ist als für andere binäre Variablen. Statt der optimalen Lösung kann vorgesehen sein, eine suboptimale Lösung zu verwenden, die ausreichend niedrige Kosten aufweist.

[0039] In der zweiten Ausführung wird z.B. mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus ein minimaler Spannbaum bestimmt. Die zweite Ausführung zielt darauf ab, die Räume 101 in einem Netzwerk mit Leitungen mit minimalen Kosten zu verbinden.

[0040] Beispielsweise wird das Optimierungsproblem wie in Spanning Tree Calculations on D-Wave 2 Machines, M.A. Novotny et al 2016 J. Phys.: Conf. Ser. 681 012005 beschrieben abhängig vom Graphen 200 formuliert und gelöst.

[0041] Beispielsweise wird das Optimierungsproblem wie in Quantum Speedup for the Minimum Steiner Tree Problem, arXiv: 1904.03581 beschrieben abhängig vom Graphen 200 formuliert und gelöst.

[0042] Zur Bestimmung der Lösung mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung des minimalen Spannbaums wird im Beispiel für die Kanten 202 je eine binäre Variable ausgewertet wird, die angibt, ob die Kante 202 zwischen zwei Knoten 201 angeordnet ist oder nicht.

[0043] Die Lösung wird in einem Fall abhängig von den binären Variablen bestimmt, die eine quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion, QUBO, die abhängig von den binären Variablen definiert ist, minimieren. Dies stellt eine optimale Lösung dar.

[0044] Die Lösung wird in einem anderen Fall abhängig von den binären Variablen bestimmt, für die eine quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion, QUBO, die abhängig von den binären Variablen definiert ist, kleiner ist als für andere binäre Variablen. Statt der optimalen Lösung kann vorgesehen sein, eine suboptimale Lösung zu verwenden, die ausreichend niedrige Kosten aufweist.

[0045] Die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion, QUBO, ist im Beispiel abhängig von den Parametern definiert, die je Kante deren

Kosten und die Angabe, zum Start und zum Endknoten der Kante definieren. Die Kosten einer Kante bestimmen im Beispiel das Gewicht, mit dem eine jeweilige binäre Variable in der Optimierungsfunktion gewichtet ist.

[0046] Anschließend wird ein Schritt 403 ausgeführt.

[0047] Im Schritt 403 wird die Lösung insbesondere an der Schnittstelle 302 ausgegeben. In der ersten Ausführung kann auch vorgesehen sein, dass abhängig von der Lösung die Knoten 201 des kürzesten Pfades ausgegeben werden. In der zweiten Ausführung kann auch vorgesehen sein, dass abhängig von der Lösung die Knoten 201 des minimalen Spannbaums ausgegeben werden.

[0048] Das Verfahren zur rechnergestützten Optimierung der Infrastruktur 100 ist nicht auf Elektrizität beschränkt. Für Wasser- oder Abwasserleitungen, Heizungszu- und -rückläufe, und/oder Verbindungen zwischen verschiedenen Maschinen im selben Raum 101 oder in verschiedenen der Räume 101 wird das Verfahren genauso ausgeführt.

[0049] Die Infrastruktur 100 ist nicht auf Gebäude- oder Anlageninfrastruktur mit Räumen 101 beschränkt. Die Infrastruktur 100 kann eine Fertigungshalle oder ein Kraftwerk mit unterschiedlichen Maschinen sein, die mit Leitungen verbunden werden sollen.

[0050] Es kann vorgesehen sein, dass der Graph 200 Kanten 202 für verschiedene Leitungen insbesondere einer Infrastruktur umfasst, z.B. Leitungen für Elektrizität, Wasser, Abwasser, Heizungszulauf, Heizungsrücklauf, Klimaanlage, Kühlung, Telekommunikation und/oder Internet. Die Knoten 201, die durch eine Kante 202 verbunden werden, repräsentieren in diesem Fall einen Raum 101 oder eine Maschine.

[0051] Es kann vorgesehen sein, mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus für verschiedene Gewerke einer Infrastruktur, insbesondere für Leitungen für unterschiedliche Zwecke wie Elektrizität, Wasser, Abwasser, Heizungszulauf, Heizungsrücklauf, Klimaanlage, Kühlung, Telekommunikation und/oder Internet, eine gemeinsame oder je eine Gewerk- oder Zweck-spezifische Lösung zu bestimmen. Es kann vorgesehen sein, diese Lösung oder diese Lösungen, d.h. die Resultate des Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus, gegenseitig noch mit einem klassischen Optimierungsverfahren, d.h. unabhängig vom Quanten- und Quanten-Annealing-Algorithmus zu optimieren.

[0052] Die Vorrichtung 300 ist entsprechend des verwendeten Verfahrens angepasst, dieses auszuführen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- WO 2019064050 A1 [0002]

Patentansprüche

1. Verfahren zur rechnergestützten Optimierung einer Gebäude- und Anlageninfrastruktur, **dadurch gekennzeichnet**, dass Parameter eines Optimierungsproblems insbesondere an einer Schnittstelle (302) empfangen werden (401), abhängig von den Parametern eine Lösung des Optimierungsproblems insbesondere mit einer Recheneinrichtung (301) bestimmt wird (402), und die Lösung insbesondere an der Schnittstelle (302) ausgegeben wird (403), wobei das Optimierungsproblem durch einen Graphen (200) repräsentiert wird, dessen Knoten (201) je einen Raum (101) oder eine Maschine repräsentieren, wobei eine Kante (202) zwischen zwei Knoten (201) des Graphen (200) eine mögliche Leitung insbesondere einer Infrastruktur vorzugsweise für Elektrizität, Wasser, Abwasser, Heizungszulauf, Heizungsrücklauf, Klimaanlage, Kühlung, Telekommunikation und/oder Internet, repräsentiert, wobei die Lösung wenigstens zwei Knoten (201) des Graphen und eine diese verbindende Kante (202) umfasst, wobei die Lösung mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung eines kürzesten Pfades oder mit einem Quanten- oder einem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung eines minimalen Spannbaums bestimmt wird, der auf dem Graphen (200) ausgeführt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung der Lösung mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung des kürzesten Pfades, je Knoten (201) eine binäre Variable ausgewertet wird, die angibt, ob der Knoten (201) an einer Position im kürzesten Pfad ist oder nicht.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass abhängig von der Lösung die Knoten (201) des kürzesten Pfades ausgegeben werden (403).

4. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Bestimmung der Lösung mit dem Quanten- oder dem Quanten-Annealing-Algorithmus zur Bestimmung des minimalen Spannbaums je Kante (202) eine binäre Variable ausgewertet wird, die angibt, ob die Kante (202) zwischen zwei Knoten (201) angeordnet ist oder nicht.

5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass abhängig von der Lösung die Knoten (201) des minimalen Spannbaums ausgegeben werden (403).

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Optimierungsproblem abhängig von einer quadratisch unbeschränkten binären Optimierungsfunktion definiert

ist, wobei die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion abhängig von den binären Variablen definiert ist, wobei wenigstens eine binäre Variable abhängig von einem der Parameter des Optimierungsproblems gewichtet ist, wobei Werte der binären Variablen bestimmt werden, die die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion minimieren oder für die die quadratische unbeschränkte binäre Optimierungsfunktion kleiner ist als für andere Werte der binären Variablen.

7. Vorrichtung (300) zur rechnergestützten Optimierung von Gebäude- und Anlageninfrastruktur, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (300) ausgebildet ist das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 auszuführen.

8. Vorrichtung (300) nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (300) eine Recheneinrichtung (301) und eine Schnittstelle (302) umfasst, wobei die Schnittstelle (302) ausgebildet ist, Parameter des Optimierungsproblems zu empfangen, wobei die Recheneinrichtung (301) ausgebildet ist, eine Lösung des Optimierungsproblems zu bestimmen, und wobei die Schnittstelle (302) ausgebildet ist, die Lösung auszugeben.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

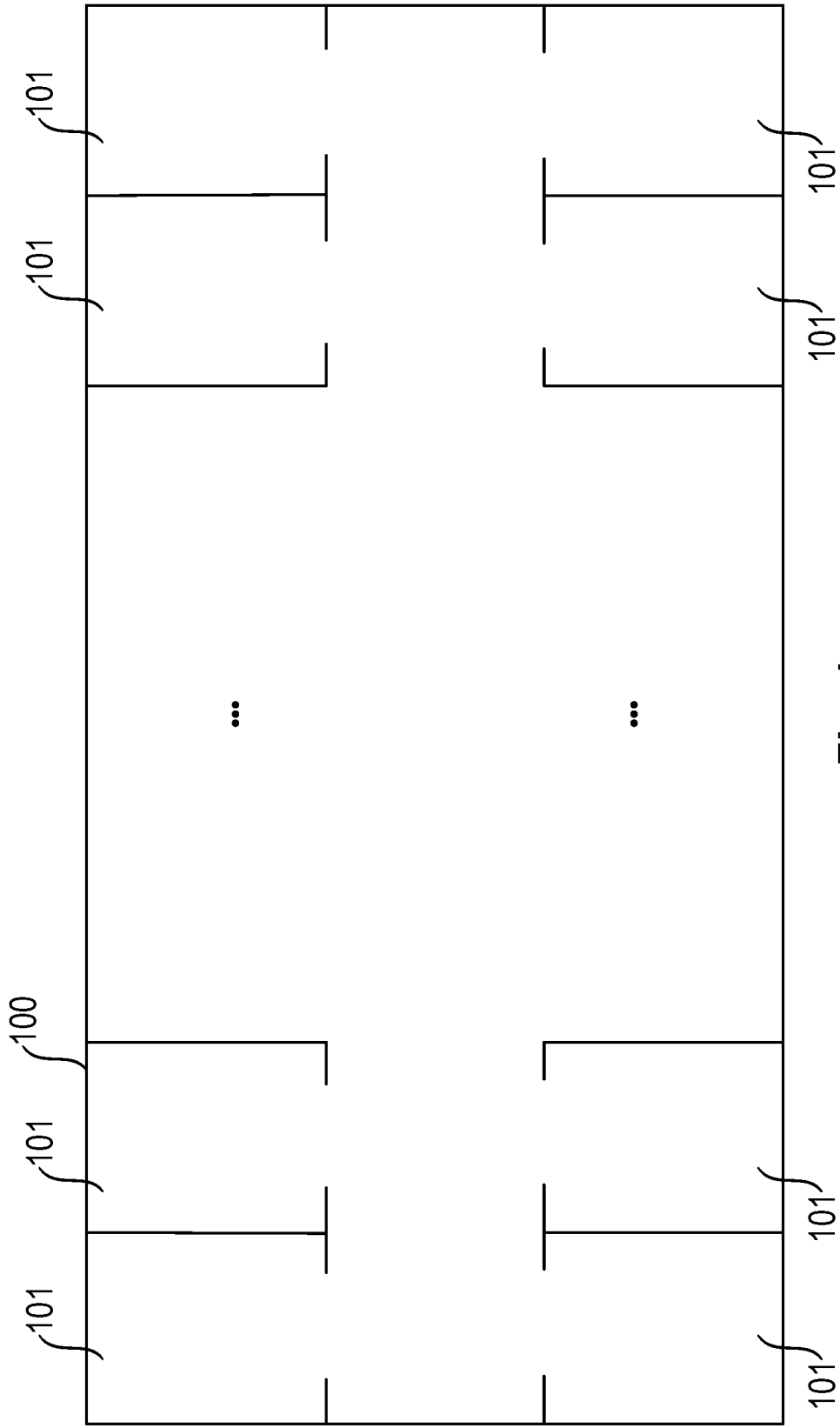


Fig. 1

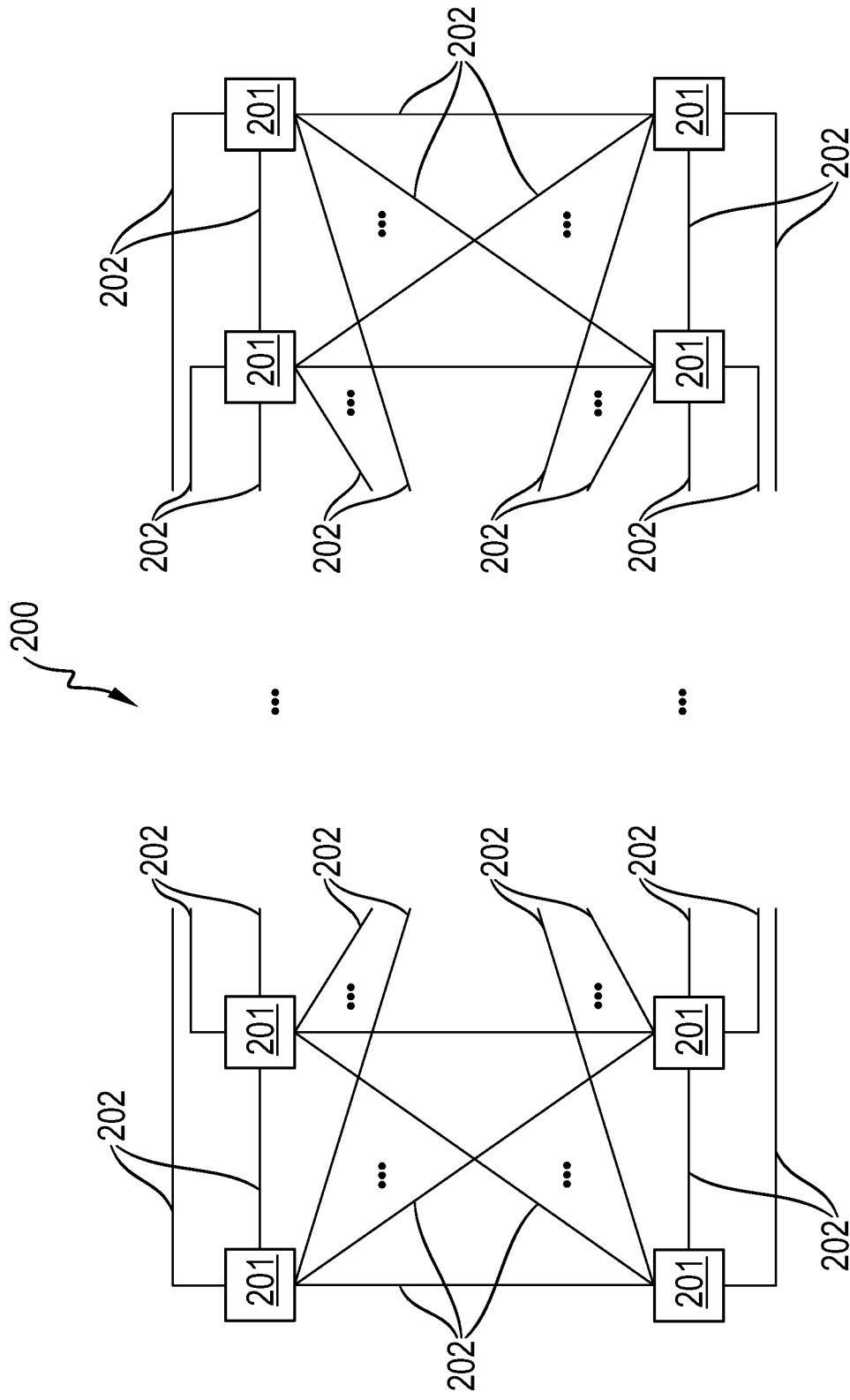


Fig. 2

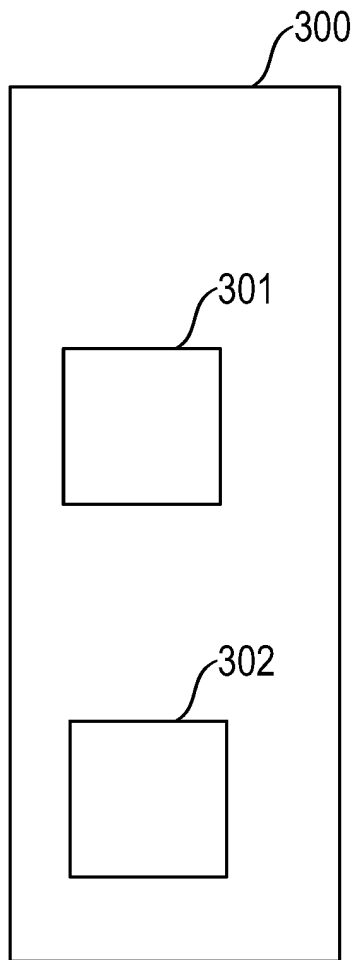


Fig. 3

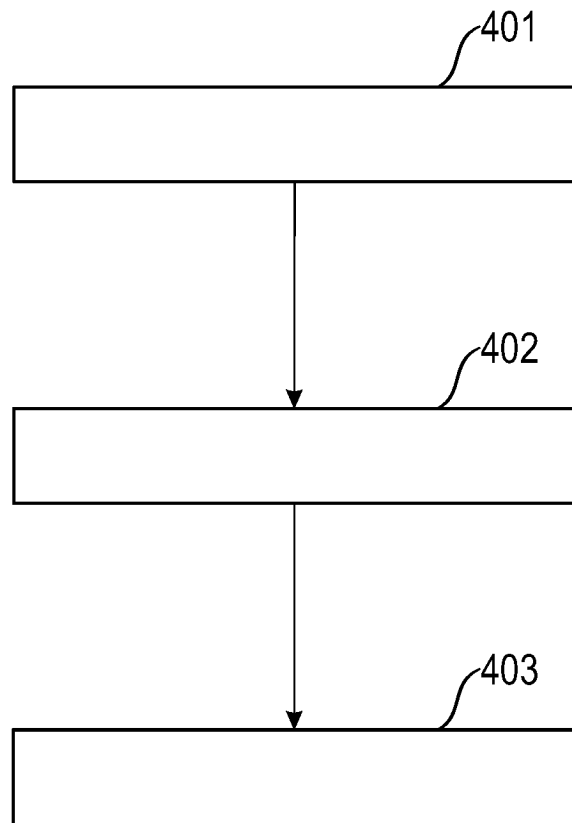


Fig. 4