



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 32 140 T2** 2006.04.20

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 926 860 B1**

(51) Int Cl.⁸: **H04L 12/56** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 32 140.5**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 309 749.4**

(96) Europäischer Anmeldetag: **27.11.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **30.06.1999**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.11.2005**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **20.04.2006**

(30) Unionspriorität:
9727163 **24.12.1997** **GB**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
DE, FR, GB

(73) Patentinhaber:
Nortel Networks Ltd., St. Laurent, Quebec, CA

(72) Erfinder:
**Mann, Jason Warren, Borehamwood,
Hertfordshire WD6 4TF, GB; White, Anthony
Richard Phillip, Ottawa, Ontario K12 6P9, CA;
Turner, John Ian, Royston, Hertfordshire SG8 7QT,
GB**

(74) Vertreter:
**Patentanwälte Wallach, Koch & Partner, 80339
München**

(54) Bezeichnung: **Verkehrswegesucher in einem Kommunikationsnetz**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Suchen von Routen für Verbindungen über Kommunikationsnetzwerke hinweg, die eine Vielzahl von Knotenelementen umfassen, die durch eine Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen verbunden sind, und insbesondere, jedoch nicht ausschließlich, auf ein Verfahren zum Suchen einer optimierten Routenführung für eine Vielzahl von Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen.

Hintergrund der Erfindung

[0002] Ein übliches leitungsvermittelltes Breitband-Kommunikationsnetzwerk, beispielsweise ein Telefon-Netzwerk oder ein Mobiltelefon-Netzwerk, umfasst eine Vielzahl von Knoten, an denen Knotengeräte oder Knotenausrüstungen vorgesehen sind, wobei die Knoten über eine Vielzahl von Kommunikations-Verbindungsstrecken verbunden sind, wobei die Verbindungsstrecken Verbindungsstrecken-Geräte oder Verbindungsstrecken-Ausrüstungen umfassen. Die Knotenausrüstungen können beispielsweise eine Telekommunikations-Vermittlungseinrichtung umfassen, und die Verbindungsstrecken können eine terrestrische Verbindungsstrecke, beispielsweise eine Lichtleitfaser-Verbindungsstrecke oder Koaxialkabel, oder eine drahtlose Verbindungsstrecke umfassen.

[0003] Es wird ein zunehmender Bereich von Diensten über derartige Netzwerke geliefert, unter Einschluss von beispielsweise Video auf Abruf, Videokonferenzen, Fernunterricht und Internet-Dienste. Derartige Dienste beinhalten die Lieferung unterschiedlicher Verkehrs-Datentypen, beispielsweise Sprachverkehr, Video- oder Computer-Datenverkehr, die unterschiedliche Charakteristiken aufweisen, wobei einige Arten von Verkehr stärker gegenüber Verzögerungen empfindlich sind, als andere, und die unterschiedlichen Verkehrstypen unterschiedliche Bereiche von Bitraten-Anforderungen haben. Diese Dienste können die Lieferung von Daten von einer einzigen Quelle zu einem einzigen Ziel (Punkt-zu-Punkt), von einer einzigen Quelle zu vielen Zielen (Punkt-zu-Mehrpunkt) oder von einer Vielzahl von Quellen zu einer Vielzahl von Zielen (Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt) beinhalten. Derartige Dienste stellen hohe Anforderungen an die Routenführung (routing) von Verbindungen, die diese Dienste über ein Netzwerk unterstützen.

[0004] Übliche Routen-Suchverfahren, wie zum Beispiel der Dijkstra-Algorithmus des kürzesten Pfades, sind in der Lage, eine einzelne Route für eine einzelne Verbindung zu finden (E. W. Dijkstra, „A Note on Two Problems in Connection with Graphs“ Numerische Mathematik 1, Seite 269, 1959). Die Verwendung eines Algorithmus mit einer Routenführung über den kürzesten Pfad auf einer Grundlage von Verbindung für Verbindung kann jedoch zu einer weniger als optimalen Lösung oder sogar zu Routenführungs-Lösungen mit einer starken Überlastung des Netzwerks führen. Zusätzlich gibt es in einem Telekommunikations-Netzwerk andere Zwangsbedingungen als das Auffinden der kürzesten Route, die zu berücksichtigen sind. Beispielsweise kann es nützlich sein, den Verkehr, der durch das Netzwerk aufgrund anderer Verbindungen fließt, und Verbindungsstrecken- und Knoten-Bandbreitenkapazitäten zu berücksichtigen.

[0005] In der WO 96/31969 ist ein Verfahren zur Routenführung von Verkehr von einem Kommunikationsnetzwerk beschrieben, das eine genetische Algorithmus-Suchroutine verwendet, um optimale Sätze von Pfaden zwischen Knoten in einem Netzwerk zur Routenführung von Verkehr auf einer Punkt-zu-Punkt-Verbindungsbasis mit dem Ziel einer weitestgehenden Verringerung der Anzahl von verwendeten Kommunikationskanälen und einer Verringerung der Gefahr zu finden, dass ein Kommunikationssystem nicht in der Lage ist, ein hohes Volumen an Verkehr zu verarbeiten.

[0006] In der WO 96/31969 bildet ein Satz von kürzesten Pfaden die Grundlage für eine anfängliche Folgepopulation des genetischen Algorithmus. Routen werden entsprechend einem Fitness-Kriterium ausgewählt, das eine von einem Benutzer spezifizierte Bewertung einschließt, die auf einer Anzahl von Kanälen, die zur Unterstützung des Verkehrs erforderlich sind, der Nutzung von Verbindungsstrecken, die als eine Anzahl von Verbindungsstrecken dargestellt sind, deren Kapazität überschritten werden könnte, und auf vom Benutzer spezifizierten „Pfadkosten“ beruht die eine Summe von Kosten einer Vielzahl von Verbindungsstrecken eines Pfades zwischen Knoten umfassen. Der Benutzer kann die Fitness-Kriterien durch Ändern der jeweiligen Bewertung ändern, die den Pfadkosten, der Nutzung und der Anzahl der Kanäle gegeben wird, um den genetischen Algorithmus-Prozess kundenspezifisch anzupassen, um diese Kriterien entsprechend einer Bedeutung auszuwählen, wie sie in den von dem Benutzer spezifizierten Bewertungen wiedergegeben ist.

[0007] Die Routenführung des kürzesten Pfades kann, selbst wenn sie durch die genetische Algorithmus-Technik optimiert wird, keine Lösungen für eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Routenführung geben. Weiterhin kann die Routenführung des kürzesten Pfades keine Diensteanforderungen für gemischte Verkehrsdatentypen behandeln.

[0008] Eine Veröffentlichung mit dem Titel „A New Approach to the Degree-Constrained Minimum Spanning Tree Problem Using Gentic Algorithm“ mit der Veröffentlichungsnummer XP10206541 beschreibt ein Verfahren zum Suchen von Routen von Verbindungsstrecken für eine Vielzahl von Kommunikationsverbindungen über ein Netzwerk, das eine Vielzahl von Knotenelementen und Verbindungsstrecken-Elementen umfasst, wobei jede derartige Verbindung ein Quellen-Knotenelement und eine Vielzahl von Ziel-Knotenelementen hat, wobei das Verfahren die folgenden maschinenaufführbaren Schritte umfasst: Zuordnen von zumindest einem Verbindungsstrecken-Kostenwert zu jedem Verbindungsstrecken-Element; für jede Verbindung, deren Route zu führen ist; Auswerten der Routen-Kosten des Durchquerens einer Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen zwischen dem Quellen-Knotenelement und der Vielzahl von Ziel-Knotenelementen; und für alle Verbindungen, deren Route zu führen ist, Auswerten der Gesamtkosten der Routen-Kosten.

Zusammenfassung der Erfindung

[0009] Nutzer von Diensten, die über ein derartiges Kommunikationsnetzwerk geliefert werden, können Anforderungen für Dienste machen, die über das Netzwerk zu übertragen sind, wobei eine Vielzahl von Verbindungen jeweils zwischen einem Quellen-Knoten und einem oder mehreren Zielknoten spezifiziert wird. Derartige Diensteanforderungen spezifizieren üblicherweise keine Route von Knoten und Verbindungsstrecken in dem Netzwerk, die zwischen den Quellen- und Zielknoten gewählt werden sollte.

[0010] Ein Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in dem Suchen oder Auffinden von Routen für Verbindungen, die in einer Diensteanforderung spezifiziert sind, in einer Weise, die eine Vielzahl von Diensteanforderungen gleichzeitig statt eine Diensteanforderung zu einer Zeit berücksichtigt.

[0011] Ein weiteres Ziel besteht in einem Ausgleich von Verbindungen über das Netzwerk hinweg. Wenn beispielsweise zwei Verbindungen in idealer Weise die gleiche Verbindungsstrecke in einem kürzesten Pfad einschließen würden, dies jedoch entweder dazu führen würde, dass die Verbindungsstrecke überlastet wird, oder dass eine der Verbindungen eine wesentlich längere Route nehmen müsste, so kann es nützlich sein, wenn eine oder beide Verbindungen über geringfügig längere Routen geführt werden, um eine Netzwerk-Überlastung zu vermeiden, wodurch sich eine gleichförmigere Verteilung der Netzwerk-Verbindungsstrecken- und Knoten-Nutzung ergibt.

[0012] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in der Schaffung einer Fähigkeit, bestimmte Knoten oder Verbindungsstrecken in für eine bestimmte Verbindung gefundene Routen einzuschließen oder hiervon auszuschließen, beispielsweise wenn es bekannt ist, dass eine bestimmte Netzwerk-Knotenausrüstung nicht richtig arbeitet, oder aus Sicherheitsgründen.

[0013] Ein weiteres Ziel besteht in der Schaffung einer generischen Routen-Sucheinrichtung, die für leitungsvermittelte Kommunikationssnetzwerke wiederverwendbar ist, die unterschiedliche Transportprotokoll-Typen verwenden.

[0014] In geeigneter Weise weist die Routen-Sucheinrichtung eine modularisierte Ausführungsform auf, die in einer Netzwerk-Steuerung oder einer Netzwerk-Verwaltung installiert werden kann und als ein Server für eine Vielzahl von anderen Netzwerk-Verwaltungsanwendungen wirkt.

[0015] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in der Routenführung von Verbindungen in einem Kommunikationsnetzwerk entsprechend einem Typ des Verkehrs, der zu übertragen ist.

[0016] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in der Verteilung des Verkehrs einer Dienste-Verbindung über eine Vielzahl von Routen.

[0017] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in der Verteilung von Punkt-zu-Mehrpunkt-Verkehr über ein Netzwerk.

[0018] Ein Verfahren gemäß einem ersten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung ist gegenüber der Veröffentlichung XP10206541 dadurch gekennzeichnet, dass für jede Verbindung, deren Route zu führen ist, das

Verfahren die folgenden Schritte einschließt: Auswählen eines Satzes von Knotenelementen des Netzwerkes, die nicht in einem Quellen-Knotenelement oder einer Vielzahl von Ziel-Knotenelementen der Verbindung enthalten sind; und Bestimmen, welche der Knotenelemente in dem genannten Satz Steiner-Vertizes sind.

[0019] Vorzugsweise ist der Satz von Knotenelementen durch eine Bitfolge dargestellt, wobei ein Bit in der Folge einen Wert von 1 hat, wenn das Knotenelement, das es darstellt, als ein Steiner-Vertex markiert ist; und ein Bit in der Folge einen Wert von 0 hat, wenn das Knotenelement, das es darstellt, nicht als ein Steiner-Vertex markiert ist.

[0020] Vorzugsweise umfasst der Schritt der Auswertung eines Routen-Kostenwertes die folgenden Schritte: Erzeugen eines Steiner-Baumes, der Knoten in jeder der Verbindungen, deren Route zu führen ist, und Knoten in dem Satz einschließt, die als Steiner-Vertizes markiert sind; und Addieren der Kosten des Durchquerens jeder Verbindungsstrecke in dem Steiner-Baum; Vorzugsweise wird die Bitfolge unter Verwendung genetischer Algorithmus-Operationen unter Einschluss der Reproduktion, Mutation, Kreuzung und Vereinigung manipuliert.

[0021] Der Kostenwert oder die Kostenwerte, die dem Verbindungsstrecken-Element zugeordnet wird (werden), wird (werden) einem Datentyp zugeordnet, und das Verfahren kann den Schritt der Zuordnung eines Datentyps zu allen oder einigen der Verbindungen umfassen, deren Route zu führen ist.

[0022] Gemäß einem zweiten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird eine Routen-Suchvorrichtung geschaffen, die Einrichtungen zur gerätemäßigen Ausgestaltung des Verfahrens gemäß dem ersten Gesichtspunkt der Erfindung umfasst.

[0023] Gemäß einem dritten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird eine Netzwerk-Steuerung geschaffen, die die Routen-Suchvorrichtung gemäß dem zweiten Gesichtspunkt der Erfindung einschließt.

[0024] Gemäß einem vierten Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird ein Telekommunikations-Netzwerk geschaffen, das eine Netzwerk-Steuerung gemäß dem dritten Gesichtspunkt der Erfindung einschließt.

[0025] Gemäß einem fünften Gesichtspunkt der vorliegenden Erfindung wird ein maschinenlesbares Medium geschaffen, das Computer-Codeeinrichtungen umfasst, die auf einem Prozessor der Netzwerk-Steuerung gemäß dem dritten Gesichtspunkt der Erfindung ausführbar sind, um das Verfahren gemäß dem ersten Gesichtspunkt der Erfindung zu realisieren.

[0026] Verfahren zur Routenführung von Verbindungen gemäß der vorliegenden Erfindung können Anwendungen bei der Netzwerk-Konstruktion haben. Die Simulation einer Anzahl von Verbindungen kann irgendwelche unnötigen Verbindungsstrecken in dem Netzwerk identifizieren, beispielsweise Verbindungsstrecken, die nur geringfügig oder überhaupt nicht genutzt werden. Wichtige Verbindungsstrecken in dem Netzwerk können ebenfalls durch Anwendung üblicher Routenführungs-Algorithmen und Techniken identifiziert werden, beispielsweise stark belastete Verbindungsstrecken oder Verbindungsstrecken, die mögliche Engpässe darstellen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0027] Für ein besseres Verständnis der Erfindung, und um zu zeigen, wie diese praktisch ausgeführt werden kann, werden nunmehr lediglich als Beispiel spezielle Ausführungsformen, Verfahren und Prozesse gemäß der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben, in denen:

[0028] [Fig. 1](#) schematisch ein Breitband-Kommunikationsnetzwerk zeigt, das eine Vielzahl von Knotenausrüstungen, eine Vielzahl von Verbindungsstrecken-Ausrüstungen und eine Netzwerk-Steuerung einschließt;

[0029] [Fig. 2](#) schematisch eine Architektur der Netzwerksteuerung gemäß [Fig. 1](#) unter Einschluss einer Routen-Suchkomponente zeigt;

[0030] [Fig. 3](#) schematisch eine allgemeine Darstellung einer Topologie des in [Fig. 1](#) gezeigten Netzwerkes, reduziert auf eine Vielzahl von Knoten und Verbindungsstrecken, zeigt;

[0031] [Fig. 4](#) eine Architektur der Routen-Suchkomponente gemäß [Fig. 3](#) zeigt, die einen Diensteanforde-

rungs-Vorprozessor, einen Netzwerkdaten-Vor-prozessor, eine Routen-Suchmaschine, einen Auswertungsfunktions-Prozessor, eine graphische Benutzer-Schnittstelle, einen Routendaten-Nachprozessor und Dateneingänge und Ausgänge einschließt, die der Routen-Suchkomponente zugeordnet sind;

[0032] [Fig. 5](#) schematisch die Wechselwirkung einer Routen-Suchmaschine mit einer Netzwerk-Verwaltungsanwendung zeigt;

[0033] [Fig. 6](#) ein Datenflussdiagramm zeigt, das schematisch Datenflüsse und Datenverarbeitungsoperationen in der Routen-Suchmaschine zeigt;

[0034] [Fig. 7](#) schematisch Schritte zeigt, die von der Routen-Suchkomponente ausgeführt werden, die in [Fig. 3](#) gezeigt ist;

[0035] [Fig. 8](#) die generische Darstellung eines Netzwerkes, wie es in [Fig. 3](#) gezeigt ist, kombiniert mit den Elementen zeigt, die von der Routen-Sucheinrichtung verwendet werden;

[0036] [Fig. 9](#) die generische Darstellung eines Netzwerkes, wie es in [Fig. 3](#) gezeigt ist, in Kombination mit den Elementen zeigt, die von der Routen-Sucheinrichtung verwendet werden, unter Einschluss von mehrfachen Kosten;

[0037] [Fig. 10](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt, die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle gemäß [Fig. 4](#) erzeugt wird und die ein Benutzer verwenden kann, um Netzwerkdaten zu schaffen oder zu editieren;

[0038] [Fig. 11](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt, die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle gemäß [Fig. 4](#) erzeugt wird und die ein Benutzer verwenden kann, um Netzwerk-Verbindungsstrecken beschreibende Daten zu editieren;

[0039] [Fig. 12](#) schematisch die Inhalte einer Textdatei zeigt, die in die Routen-Suchmaschine eingegeben werden kann, möglicherweise von den Daten-Editiereinrichtungen, die in den [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) gezeigt sind;

[0040] [Fig. 13](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt, die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle nach [Fig. 4](#) erzeugt wird und die zur Erzeugung von Diensteanforderungs-Daten verwendet werden kann;

[0041] [Fig. 14](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt, die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle nach [Fig. 4](#) erzeugt wird und die zur Betrachtung oder Erzeugung von Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen verwendet werden kann;

[0042] [Fig. 15](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt, die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle nach [Fig. 4](#) erzeugt wird, und die dazu verwendet werden kann, Daten, die Zwangsbedingungen hinsichtlich von Routen darstellen, die für eine spezielle Diensteanforderung gefunden wurden, zu erzeugen oder zu editieren;

[0043] [Fig. 16](#) ein Beispiel einer Datei zeigt, die in die Routen-Sucheinrichtung eingegeben werden kann, und die möglicherweise von den Daten-Editiereinrichtungen nach den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) erzeugt werden kann;

[0044] [Fig. 17](#) ein Beispiel einer Datei zeigt, die in die Routen-Sucheinrichtung eingegeben werden kann und Auswertungsfunktions-bezogene Parameter definiert;

[0045] [Fig. 18](#) schematisch Schritte zeigt, die von der Routen-Suchmaschine ausgeführt werden, unter Einschluss eines Schrittes der Erzeugung einer Darstellung und eines Schrittes der Suche nach einer Lösung;

[0046] [Fig. 19](#) Bitfolgen zeigt, die von dem Schritt der Erzeugung einer Darstellung gemäß [Fig. 18](#) erzeugt werden können;

[0047] [Fig. 20](#) schematisch Schritte zeigt, die von dem Schritt der Suche nach einer Lösung gemäß [Fig. 18](#) ausgeführt werden, unter Einschluss eines Schrittes der Erzeugung einer anfänglichen Population, einer Auswertung der Fitness und eines Schrittes der genetischen Manipulation;

[0048] [Fig. 21](#) schematisch Schritte zeigt, die während des in [Fig. 20](#) gezeigten Schrittes der genetischen

Manipulation auftreten;

[0049] [Fig. 22](#) ein Beispiel einer Ausgangsdatei zeigt, die von der Routen-Suchmaschine erzeugt wird;

[0050] [Fig. 23](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt, die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle nach [Fig. 4](#) erzeugt wird und eine Routenführungs-Tabelle zeigt; und

[0051] [Fig. 24](#) schematisch eine Bildschirmdarstellung zeigt die von der graphischen Benutzer-Schnittstelle nach [Fig. 4](#) erzeugt wird und ein Verbindungsstrecken-Nutzungsdiagramm zeigt.

Ausführliche Beschreibung der besten Art der Ausführung der Erfindung

[0052] Es wird nunmehr in Form eines Beispiels die beste Art beschrieben, die von den Erfindern zur Durchführung der Erfindung in Betracht gezogen wird. In der folgenden Beschreibung werden vielfältige spezielle Einzelheiten angegeben, um ein gründliches Verständnis der vorliegenden Erfindung zu schaffen. Es ist jedoch für den Fachmann ersichtlich, dass die vorliegende Erfindung ohne die Verwendung dieser speziellen Einzelheiten ausgeführt werden kann. In anderen Fällen wurden gut bekannte Verfahren und Strukturen nicht ausführlich beschrieben, um nicht unnötig die vorliegende Erfindung zu Verdecken.

[0053] In [Fig. 1](#) ist schematisch ein leitungsvermittelltes Kommunikationsnetzwerk gezeigt, das eine Vielzahl von Knotenelementen **101** umfasst, die jeweils eine Einheit einer Knoten-Ausrüstung umfassen, beispielsweise eine Vermittlung, sowie eine Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen **102**, die Knotenelemente verbinden, wobei jedes Verbindungsstrecken-Element **102** eine Einheit einer Verbindungsstrecken-Ausrüstung umfasst, beispielsweise erdgebundene oder drahtlose Kommunikations-Verbindungsstrecken. Jede Einheit der Knoten-Ausrüstung kann eine Vielzahl von einzelnen physikalischen Komponenten umfassen. Jede Einheit der Verbindungsstrecken-Ausrüstung kann einen oder eine Vielzahl von physikalischen Komponenten umfassen. Jede Verbindungsstrecken-Ausrüstung kann eine Vielzahl von Kommunikations-Kanälen unterstützen.

[0054] In dieser Beschreibung ist eine „Verbindungsstrecke“ dadurch charakterisiert, dass sie ein Kommunikationspfad zwischen zwei Knoten ohne dazwischen liegende Knoten ist.

[0055] Das Kommunikations-Netzwerk kann Mobil-Telefon-Kommunikationseinrichtungen einschließen, die sich an einem oder mehreren Knoten des Netzwerkes befinden, und ein Knotenelement kann eine Überleiteinrichtung zu einem anderen Netzwerk bilden, beispielsweise eine Überleiteinrichtung für das weltweite Daten-netz.

[0056] Allgemein wird das Kommunikations-Netzwerk eine Vielzahl von unterschiedlichen Arten von Knoten-Ausrüstungen und eine Vielzahl von unterschiedlichen Arten von Verbindungsstrecken-Ausrüstungen umfassen, die von unterschiedlichen Herstellern hergestellt sind und unterschiedliche Betriebsleistungs-Spezifikationen haben. In [Fig. 1](#) werden Verkehrsdaten-Signale entlang der Verbindungsstrecken-Ausrüstung und durch die Knoten-Ausrüstung über einen leitungsvermittelten Pfad zwischen einem Quellen-Knotenelement und einem Ziel-Knotenelement übertragen. Die Verkehrsdaten werden zwischen Quellen und Zielen über eine Vielzahl von Routen über das Netzwerk hinweg übertragen.

[0057] Eine Netzwerk-Steuerung **104** kann an einer Knoten-Ausrüstung **101** angebracht sein, wobei die Netzwerk-Steuerung eine Verwaltungs-Funktionalität zur Verwaltung von Routen oder Verbindungen über das Netzwerk hinweg umfasst. In der besten Ausführungsform umfasst die Netzwerk-Steuerung eine modulare Routen-Suchkomponente, die als ein Server zum Suchen und Auffinden von Routen für Verbindungen als Antwort auf Diensteanforderungen wirkt, die von einer Vielzahl von unterschiedlichen Netzwerk-Verwaltungsanwendungen erzeugt werden. Die Routen-Suchkomponente kann andere Netzwerk-Verwaltungsanwendungen unterstützen, die sich auf der Netzwerk-Steuerung befinden, beispielsweise kann die Routen-Suchkomponente die Netzwerk-Topologie-Konstruktion für Ringe der synchronen digitalen Hierarchie (SDH)/des synchronen optischen Netzwerkes (SONET), oder die Netzwerk-Konstruktion und die Bandbreiten-Bereitstellung unterstützen.

[0058] [Fig. 2](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt eine schematische Darstellung einer Ausführungsform einer Netzwerk-Steuerung. Die Netzwerk-Steuerung umfasst einen Allzweck-Rechner wie zum Beispiel eine Arbeitsstation der Serie **9000** der Firma Hewlett Packard, die einen Speicher **201**, einen Prozessor **202**, ein Betriebssystem **203**, eine Vielzahl von Kommunikations-Ports **204**, über die Daten zu oder von der Knoten-Ausrüstungs-Hardware **205** übertragen werden, eine Verwaltungs-Informationen-Datenbank (MIB) **206**, die Daten

enthält, die die physikalischen Ressourcen eines Netzwerkes beschreiben, beispielsweise Knoten-Ausrüstungstyp, Verbindungsstrecken-Bitraten-Kapazität. Die Netzwerk-Steuerung umfasst weiterhin eine Routen-Suchkomponente **207** zum Lenken von Diensteanforderungen über das Netzwerk, wobei die Routen-Suchkomponente eine Routen-Such-Verwaltung **208** und eine Routen-Suchmaschine **209** umfasst, wobei die Routen-Such-Verwaltung eine oder eine Vielzahl von Vorverarbeitungs-komponenten zur Vorverarbeitung von Daten vor der Eingabe in die Routen-Suchmaschine **209** und eine oder eine Vielzahl von Nachverarbeitungseinrichtungen zur Verarbeitung von Daten nach der Ausgabe von der Routen-Suchmaschine; eine Vielzahl von Netzwerk-Verwaltungsanwendungen **210** zum Verwalten von Diensten über die Netzwerke, und eine graphische Benutzer-Schnittstelle **211** umfasst, die es einem Betreiber ermöglicht, die Betriebsweise der Routen-Suchkomponente zu überwachen und Daten in die Netzwerk-Steuerung einzugeben.

[0059] Es gibt Unterschiede zwischen unterschiedlichen Telekommunikationssystemen. Unterschiedliche Arten von Kommunikationsnetzwerken, beispielsweise Netzwerke mit der asynchronen Übertragungs-Betriebsart (ATM) oder der synchronen Digitalhierarchie (SDH) haben unterschiedliche technische Eigenschaften, können jedoch auf einer einfachen Ebene als eine graphische Darstellung von Knoten und Verbindungsstrecken dargestellt werden. Entsprechend der besten Ausführungsform können derartige Unterschiede aufgelöst werden, um die Verwendung eines generischen Routenführungs-Moduls zu ermöglichen, das für einen Bereich von Telekommunikationssystemen geeignet ist, indem:

- explizit Instanzen innerhalb einer generischen Routen-Sucheinrichtung berücksichtigt werden und spezielle Routenführungs-Strategien über die Verwendung von Parametern aufgerufen werden;
- eine „Umsetzung“ zu und von einem generischen Routenführungs-Modell auf die Anforderungen, Zwangsbedingungen und Beschränkungen eines bestimmten Netzwerk-Systems vorgesehen wird.

[0060] Die Routen-Suchkomponente **207** stellt möglicherweise keinen Echtzeit-Routenführungs-Mechanismus bereit, arbeitet jedoch, um Routenführungs-Strategien über das Netzwerk als Antwort auf eine Vielzahl von Diensteanforderungen zu entwickeln und zu optimieren, die von den anderen Netzwerk-Diensteanwendungen **210** erzeugt werden. Die Routenführungs-Strategien, die von der Routen-Suchkomponente **207** erzeugt werden, werden zur Erzeugung von Routenführungs-Tabellen zur Verwendung durch übliche Echtzeit-Routenführungs-Anwendungen innerhalb des Netzwerkes verwendet.

[0061] Ein Überblick über ein generisches Routenführungs-System, mit dem sich die Routen-Suchkomponente befasst, wird nunmehr anhand der [Fig. 3](#) beschrieben, die ein Beispiel einer generischen Darstellung eines Kommunikationsnetzwerkes zeigt, wie es beispielsweise in [Fig. 1](#) gezeigt ist. Die generische Netzwerk-Darstellung wird als eine Topologie-Darstellung betrachtet, die eine Vielzahl von Knoten **301** umfasst, die durch eine Vielzahl von Verbindungsstrecken **302** miteinander verbunden sind. Irgendeine Knotenelement-Ausrüstung **101** kann durch einen Knoten **301** dargestellt werden. Irgendeine Verbindungsstrecken-Ausrüstung **102** kann durch eine Verbindungsstrecke **302** zwischen zwei Knoten dargestellt werden. Die Verbindungsstrecken können einseitig gerichtet oder zweiseitig gerichtet sein, in Abhängigkeit davon, ob Mitteilungen über die Verbindungsstrecke in einer beziehungsweise zwei Richtungen zu einer vorgegebenen Zeit übertragen werden können. Jeder Knoten und jede Verbindungsstrecke haben eine vorgegebene endliche Bitraten-Übertragungskapazität.

[0062] Netzwerk-Diensteanwendungen, die auf der Netzwerk-Steuerung oder auf anderen Arbeitsstationen laufen, die mit dem Netzwerk verbunden sind, können eine Anzahl von Diensteanforderungen bilden, die als Verbindungen zwischen bestimmten Knoten realisiert werden müssen. Eine Diensteanforderung kann zum Entstehen einer oder einer Vielzahl von Verbindungsanforderungen führen. Jede Verbindungsanforderung führt zu Anforderungen für Quellen- und Zielverbindungen, die über das Netzwerk gelenkt werden müssen, um Datenverkehr zu übertragen, der den angeforderten Dienst umfasst. Die Diensteanforderungen können die Art von Datenverkehr angeben, der zu übertragen ist, beispielsweise Daten oder Sprache, einen Quellen-Knoten und einen oder mehrere Ziel-Knoten.

[0063] In dieser Beschreibung bedeutet der Ausdruck „Verbindung“ eine leitungsvermittelte Zuteilung von physikalischen Ressourcen zwischen einem Quellen-Knoten und einem oder mehreren Ziel-Knoten.

[0064] Der Ausdruck „Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung“ bezeichnet eine leitungsvermittelte Verbindung zwischen einem Quellen-Knoten und einer Vielzahl von Ziel-Knoten, und der Ausdruck „Punkt-zu-Mehrpunkt“ ist entsprechend zu betrachten.

[0065] Der Ausdruck „Mehrpunkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung“ bezeichnet eine leitungsvermittelte Verbindung zwischen einer Vielzahl von Quellen-Knoten und einer Vielzahl von Ziel-Knoten, und der Ausdruck „Mehr-

punkt-zu-Mehrpunkt" soll entsprechend betrachtet werden.

[0066] In dieser Beschreibung umfasst eine „Route“ einen Pfad über eine Verbindungsstrecke oder eine Vielzahl von Verbindungsstrecken zwischen einem Quellen-Knoten und zumindest einem Ziel-Knoten. Eine Route kann eine Sammlung von Verbindungsstrecken umfassen, die für Mehrpunkt-Verbindungsanforderungen verwendet werden (einen „Baum“). Ein Pfad umfasst eine Sammlung von Verbindungsstrecken von einem einzigen Quellen-Knoten zu einem einzigen Ziel-Knoten. Ein Baum umfasst eine Verbindung von Verbindungsstrecken zwischen mehrfachen Quellen und/oder mehrfachen Zielen. Eine „Route“ kann entweder ein Pfad oder ein Baum sein, in Abhängigkeit von der Verbindungsanforderung. In jedem Fall umfasst die Route eine Sammlung von Verbindungsstrecken. Es können verschiedene Routen zwischen einem Quellen-Knoten und einem Ziel-Knoten oder einem Satz von Ziel-Knoten verfügbar sein. Eine einzelne Verbindung kann eine einer Vielzahl von Routen nehmen.

[0067] Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden Diensteanforderungen von der Routen-Suchkomponente **207** empfangen, die Routen zu angeforderten Verbindungen entsprechend spezieller Kriterien zuordnen kann, wie zum Beispiel die Vermeidung einer Überlastung irgendeiner speziellen Verbindungsstrecke oder eines Knotens, oder sie kann versuchen, so viele Knoten/Verbindungsstrecken in dem Netzwerk zu verwenden, wie dies zu einer vorgegebenen Zeit möglich ist. Jeder Verbindungsstrecke werden zugehörige Kostenwerte zugeordnet, die durch die Bezugsziffern C1-C12 in der Nähe der Mitte der Verbindungsstrecken-Leitungen **302** in der allgemeinen Topologie-Ansicht nach [Fig. 3](#) bezeichnet sind. Die Zuordnung von Kosten zu Verbindungsstrecken für ein Netzwerk ist von dem Benutzer spezifizierbar. Alle Kosten können über das Netzwerk hinweg gleichförmig sein, oder komplexere Kosten oder Kostenwerte können den Verbindungsstrecken zugeordnet werden, die sich beispielsweise auf die Verbindungsstrecken-Nutzung durch Verbindungen beziehen. Die Kosten können auch für unterschiedliche Verkehrstypen veränderlich sein, die sich beispielsweise aus Sprache- oder Datenverbindungen ergeben. Die Routen-Suchkomponente arbeitet derart, dass sie Routen findet, die minimale Gesamtkosten für Verbindungen aufweisen, deren Route zwischen Knoten in dem Netzwerk zu führen ist, so dass Routen gefunden werden, die beispielsweise eine geringere Verzögerung erfahren oder eine schnellere und zuverlässigere Übertragung haben.

[0068] [Fig. 4](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt eine schematische Darstellung einer Architektur der hohen Ebene der Routen-Suchkomponente **207** und zugehörige Eingangs- und Ausgangsdaten, die von der Routen-Suchkomponente verarbeitet werden. Die Routen-Suchmaschine **209** umfasst vorzugsweise einen Speicher und einen Prozessor, der einen oder mehrere Routen-Such-Algorithmen ausführt. Die Routen-Such-Verwaltung **208** umfasst eine Diensteanforderungs-Vorverarbeitungseinrichtung **400**; eine Netzwerkdaten-Vorverarbeitungseinrichtung **401**; einen Auswertungsfunktions-Prozessor **402**; und eine Routendaten-Nachverarbeitungseinrichtung **303**. Jede der Diensteanforderungs-Vorverarbeitungseinrichtungen, Netzwerkdaten-Vorverarbeitungseinrichtungen; Auswertungsfunktions-Prozessoren und Routendaten-Nachverarbeitungseinrichtungen kann ein Prozesselement und einen Bereich einer Datenspeicher-Einrichtung umfassen, die mit Hilfe eines Algorithmus zur Durchführung der Datenverkehrs-Vorverarbeitung, der Netzwerkdaten-Vorverarbeitung, von Auswertungsfunktionen beziehungsweise der Routendaten-Nachverarbeitung konfiguriert sind.

[0069] Externe Netzwerkverwaltungs-Anwendungen unter Einschluss von Dienste-Verwaltungsfunktionen senden Diensteanforderungen an die Routen-Such-Verwaltung **208**, und die Routen-Such-Verwaltung antwortet durch Zurückliefern einer Routenführungs-Strategie zur Realisierung dieser Dienste. Die Routenführungs-Strategie wird in Form von Routenführungs-Tabellendaten **410** erzeugt, die eine Vielzahl von Routen beschreiben, die einer Vielzahl von Verbindungen zugeteilt sind. Die Routen-Suchmaschine **209** empfängt Eingangsdaten von einem Diensteanforderungs-Vorprozessor **400**, einem Netzwerkdaten-Vorprozessor **401** und einem Auswertungsfunktions-Prozessor **402**, und gibt Daten an den Routendaten-Nachprozessor **403** ab. Die Vorprozessoren **400**, **401** und **402** sind so konfiguriert, dass sie Daten von externen Verwaltungsanwendungen in eine generische Form umwandeln, die für eine Eingabe in die Routen-Suchmaschine **209** geeignet ist. Die Routen-Suchmaschine kann weiterhin Daten zu und von einer graphischen Benutzer-Schnittstelle (GUI) **211** übertragen, die es einem Benutzer ermöglicht, eine visuelle Darstellungs-Ansicht von Verbindungen und Routen zu erhalten, die von den Verbindungen verwendet werden, die von der Routen-Suchmaschine zugeordnet werden oder von dieser zuzuordnen sind.

[0070] Der Diensteanforderungs-Vorprozessor und der Netzwerkdaten-Vorprozessor geben als Eingänge Diensteanforderungs-Daten, Netzwerktopologie-Daten und Vermittlungsdefinitions-Daten in einem realisierungsspezifischen Format ein und wandeln diese Daten in ein Format um, das generisch und nicht spezifisch für irgendwelche proprietären Ausrüstungstypen oder Transportprotokolle ist. Die Routen-Suchmaschine **209** verarbeitet die generischen Daten, die von den Vorprozessoren erzeugt werden, um generische Ausgangsda-

ten zu erzeugen, die von dem Routendaten-Nachprozessor **403** vor der Speicherung auf der MIB verarbeitet werden.

[0071] Der Diensteanforderungs-Vorprozessor, der Netzwerk-Vorprozessor und der Routendaten-Nachprozessor werden als produktspezifische Komponenten realisiert, das heißt sie sind auf eine Art der Knotenausrüstung, beispielsweise Vermittlung MIB, und so weiter konfiguriert, die proprietär ist, und die kundenspezifisch bei jeder Installation angepasst werden kann. Die Routen-Suchmaschine **401** und der Auswertungs-Prozessor **404** sind jedoch generisch und von Installation zu Installation wiederverwendbar.

[0072] Die Diensteanforderungen **407**, die Netzwerk-Topologiedaten **408**, die Vermittlungs-Definitionsdaten **412**, die Routenführungs-Zieldaten **409**, die Routenführungs-Tabellen **410** und die Routenführungs-Statistiken **411** können auf einer Verwaltungs-Informations-Datenbank **206** gespeichert werden und sind für eine Vielzahl von anderen Netzwerk-Verwaltungs-Anwendungen zugänglich, die sich auf der Netzwerk-Steuerung oder an irgendeiner anderen Stelle in dem Netzwerk befinden. Auf der Verwaltungs-Informations-Datenbank gespeicherte Daten können für bestimmte proprietäre Netzwerk-Elemente spezifisch sein, oder sie können für bestimmte Transportmechanismen spezifisch sein, z.B. ATM, SDH, SONET.

[0073] Der Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** empfängt Eingangs-Diensteanforderungs-Daten in der Form einer Liste von Diensteanforderungen **407** von einer externen Anwendung. Typischerweise kann eine Diensteanforderung folgendes angeben:

- einen Verkehrsdatentyp, beispielsweise Sprache, Video, Computererzeugte Daten
- einen Quellen-Knoten und einen oder eine Vielzahl von Ziel-Knoten, die zu verbinden sind
- eine erforderliche Bitraten-Kapazität (entweder Spitzenwert oder Mittelwert) zwischen den Quellen-Knoten und jedem Ziel-Knoten
- annehmbare Zellenverluste und Verzögerungs-Schwellenwerte
- eine Zeit und Dauer, zu der eine Übertragung der Verkehrsdaten erforderlich ist
- eine Anzahl von Routen und die Aufteilung von Verkehr zwischen diesen Routen.

[0074] Der Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** wandelt die Diensteanforderungen **407** in ein generisches Datenformat um, das für die Eingabe in die Routen-Suchmaschine **209** geeignet ist. Die Eingangs-Diensteanforderungs-Daten **407** können für einzelne Vermittlungsarten oder Transportprotokoll-Typen spezifisch sein. Der Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** wandelt die Diensteanforderungs-Daten um, um Verkehrsmatrix-Daten für jeden Verkehrstyp zu erzeugen. Diese Matrizen werden durch den Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** in generische Diensteanforderungen umgewandelt, die in die Routen-Suchkomponente **207** eingegeben werden, um die Routenführung über das Netzwerk zu bewirken.

[0075] Der Netzwerkdaten-Vorprozessor **401** empfängt Eingangsdaten, die das Netzwerk **408** beschreiben, von der Verwaltungs-Informations-Datenbank **206**. Die Netzwerkdaten beschreiben die Verbindungsmöglichkeiten und die Topologie von Knoten und Verbindungsstrecken des Netzwerkes. Die Netzwerkdaten können Vermittlungs-Definitionsdaten **412** enthalten, die die Charakteristiken von Netzwerk-Knotenelementen beschreiben, wie zum Beispiel die Bandbreiten-Kapazität. Die Netzwerk-Topologie kann folgendes einschließen:

- Knoten-Namen, deren Bitraten-Kapazitäten (Spitzenwert oder Mittelwert) und deren Zellen-Verarbeitungszeiten
- Verbindungsstrecken-Namen, deren Bitraten-Kapazitäten (Spitzenwert oder Mittelwert) und Kostenwerte für jeden Verkehrstyp, dessen Route zu führen ist
- Verbindungsstrecken-Statusdaten, die die Menge an Bitraten-Kapazität beschreiben, die bereits von vorhandenen Diensteanforderungen verbraucht ist
- Knoten-Statusdaten, die die Menge an Bitraten-Kapazität beschreiben, die bereits von vorhandenen Diensteanforderungen verbraucht ist.

[0076] Der Netzwerkdaten-Vorprozessor **403** wandelt die Eingangs-Netzwerkdaten in ein generisches Format um, das für die Routen-Suchkomponente **207** geeignet ist. Der Netzwerkdaten-Vorprozessor **403** empfängt die Netzwerkdaten **408** unter Einschluss von Vermittlungs-Definitionsdaten **412**, die eine Form aufweisen können, die für einzelne proprietäre Vermittlungen und Verbindungsstrecken-Ausrüstungen spezifisch ist, und er erzeugt generische Netzwerk-Graph-Daten, die in die generische Routen-Suchmaschine **209** eingegeben werden. Weil die Netzwerkdaten **408** vermittlungsspezifische Informationen einschließen, wird diese vermittlungsspezifische Information durch den Netzwerkdaten-Vorprozessor **401** in ein generisches Format umgewandelt. Ein Beispiel einer vermittlungsspezifischen Information ist ein Bitraten-Kapazität einer Vermittlung.

[0077] Der Auswertungsfunktions-Prozessor **402** empfängt eine Darstellung der Routenführungs-Zieldaten

409, die von einem Benutzer eingegeben werden. Der Auswertungsfunktions-Prozessor **402** wird von den genetischen Algorithmen der Routen-Suchmaschine dazu verwendet, die Effizienz/Fitness eines bestimmten Satzes von Routen zu quantifizieren, die für die Diensteanforderungen gefunden werden, die er empfängt. Der Auswertungsfunktions-Vorprozessor **402** empfängt Routen-Zieldaten **409**, die Routenführungs-Ziele höherer Ebene beschreiben, die von einem Netzwerk-Betreiber spezifiziert werden. Derartige Routenführungs-Ziele höherer Ebene können Daten umfassen, die Zwangsbedingungen für die Routenführung beschreiben. Der Auswertungsfunktions-Vorprozessor **402** ordnet Fitness-Daten möglichen Routenführungs-Strategien zu, die in den Routenführungs-Zieldaten **409** spezifiziert sind. Die zugeordneten Fitness-Daten werden von der Routen-Suchmaschine beim Aufsuchen möglicher Routen über das Netzwerk verwendet.

[0078] Die Routen-Suchmaschine **209** erzeugt Routendaten, die eine Liste von Routen für die Diensteanforderungen beschreiben. Die Routen-Ausgangsdaten werden zu einem Routendaten-Nachprozessor **403** übertragen, der die Routendaten in eine Routenführungs-Tabelle **410** umwandelt. Die Routen-Such-Maschine **209** erzeugt Routendaten in einem generischen Format für jeden Knoten in dem Netzwerk. Der Routendaten-Nachprozessor **403** wandelt die ein generisches Format aufweisenden Routendaten in eine produktspezifische Routenführungstabelle um, die von dem Netzwerk-Vermittlungen verwendet werden kann. Die Routenführungstabellen-Daten sind für eine Verbindungs-Steuerkomponente der Knotenausstattungs-Vermittlungen zugänglich, um die Verbindungen zu realisieren. Die Routen-Suchmaschine **209** gibt weiterhin Routen-Statistikdaten **411** ab. Ein Benutzer kann die von der Routen-Suchkomponente gefundenen Routen durch Inspizieren der Routen-Statistikdaten **411** betrachten und auswerten, die auf der MIB **206** gespeichert sind.

[0079] Die Routen-Statistikdaten **411** können Daten einschließen, die folgendes beschreiben:

- Nutzung des Netzwerkes sowohl hinsichtlich der Nutzung von Verbindungsstrecken, Vermittlungen und als auch der Gesamtnutzung nach der Erfüllung der Diensteanforderungen
- Unterschied in einem Zustand des Netzwerkes von einem Zustand unter den vorhergehenden Routenführungs-Strategien
- Verteilung von Verkehr über berechnete Routen.

[0080] Die Routen-Suchmaschine **209** ist so konfiguriert, dass sie auf der Grundlage von generischen Netzwerkdaten arbeitet, die von den Diensteanforderungs-Vorprozessor **404**, dem Netzwerk-Daten-Vorprozessor **401** und dem Auswertungsfunktions-Prozessor **402** erzeugt werden. Die Routen-Suchmaschine **209** arbeitet entsprechend einem Algorithmus, der eine Künstliche-Intelligenz-Suchtechnik ausführt. Bei der besten vorliegenden Ausführungsform arbeitet die Routen-Suchmaschine entsprechend einem genetischen Algorithmus, obwohl als eine alternative ein simulierter Verstärkungs-Algorithmus oder eine Kombination eines genetischen Algorithmus und eines simulierten Temperungs-Algorithmus von der Suchmaschine angewandt werden kann. In der besten hier beschriebenen Ausführungsform wird eine Realisierung des genetischen Algorithmus beschrieben, wobei das bekannte GAMeter Tool Kit verwendet wird („The GAMeter Tool Kit“ J Mann, A Kapsalis und G D Smith; in Applications in Modern Heuristic Techniques, V J Rayward-Smith (Herausgeber) Kapitel 12, Seiten 195–209, Alfred Waller 1995).

[0081] Durch Strukturieren der Routen-Suchkomponente **207** in die Verwaltungs-Komponente **208** und die generische Routen-Suchmaschine **209** können die Such-Algorithmen der Routen-Suchmaschinen-Komponente ohne die Verwendung irgendeiner problemspezifischen Kenntnis arbeiten. Der Such-Algorithmus optimiert seine Suche nach Routen entsprechend den Fitness-Daten, die von dem Auswertungsfunktions-Prozessor **402** erzeugt werden. Durch Trennen der Suchmaschine von den Auswertungskriterien, die von dem Auswertungsfunktions-Prozessor **402** erzeugt werden, kann eine Modularisierung und Verallgemeinerung erzielt werden, wodurch Verbesserungen an dem Such-Algorithmus unabhängig von dem Diensteanforderungs-Vorprozessor **400**, dem Netzwerkdaten-Vorprozessor **403** oder dem Auswertungsfunktions-Prozessor **402** durchgeführt werden können.

[0082] Die vorliegende [Fig. 5](#) beschreibt schematisch die Routen-Suchkomponente **207** und Beispiele von Wechselwirkungen mit einer Netzwerk-Verwaltungs-Anwendung **500**. Die Netzwerk-Verwaltungs-Anwendung **500** kommuniziert mit der Routen-Suchkomponente **207** über eine Serie von Setze-, Hole- und Befehlssignalen (Setze Anforderung, Setze Antwort, Hole Anforderung, Hole Antwort, Befehlsanforderung, Befehlsantwort), wie dies in [Fig. 5](#) gezeigt ist. Netzwerkdaten werden von der Verwaltungsanwendung zu der Routen-Suchkomponente geleitet, was es der Routen-Suchkomponente ermöglicht, Kenntnisse über das Netzwerk zu erhalten, über das die Netzwerk-Verwaltungs-Anforderungen für den Einsatz eines Dienstes stellt. Die Routen-Suchkomponente **207** findet einen optimierten Satz von Routen zur Ausführung des Dienstes und liefert diese Routen beschreibende Daten an die Verwaltungsanwendung **500** in Form von Routenführungs-Tabellen-Daten **410** zurück. Die Routen-Suchkomponente **207** bestimmt die optimalen Routen gemäß einem

Satz von Vorgabeparametern. Die Vorgabeparameter werden in der Routen-Suchkomponente **207** und der Verwaltungsanwendung **500** gespeichert, oder ein Benutzer kann die Vorgabeparameter mit Hilfe der Befehls-Anforderungssignale aktualisieren, abfragen oder ändern.

[0083] In der folgenden Beschreibung wird die Realisierung eines genetischen Algorithmus der Routen-Suchkomponente **207** beschrieben. Es ist verständlich, dass in anderen Ausführungsformen der Erfindung die genetische Algorithmus-Suchmaschine durch andere eine Künstliche-Intelligenz-Technik anwendende Suchmaschinen ersetzt werden kann, beispielsweise eine simulierte Temperungs-Suchmaschine oder eine Kombination aus einer Suchmaschine mit einem genetischen Algorithmus und einer Suchmaschine mit einer simulierten Temperung.

[0084] In der vorliegenden [Fig. 6](#) ist ein Datenfluss-Diagramm von Daten innerhalb der Routen-Suchkomponente **207** gezeigt. Die Routen-Suchkomponente **207** umfasst eine Vielzahl von Datenverarbeitungs-Elementen, die jeweils einen Prozessor und einen zugehörigen Bereich einer Speichereinrichtung umfassen, die jeweils die spezifischen Prozesse ausführen, wie sie schematisch in [Fig. 6](#) gezeigt sind. Daten werden zwischen Prozessoren übertragen, wie dies in [Fig. 6](#) gezeigt ist. Das Symbol *, das mehreren der Prozesse in [Fig. 6](#) zugeordnet ist, zeigt an, dass es einen Datenfluss von Steuerparameter-Daten **612** zu dem Berechnungsprozess **603** für den kürzesten Pfad, zu dem Prozess **604** zur Erzeugung einer anfänglichen Population, zu dem Prozess **605** zur Routenerzeugung, zu dem genetischen Manipulationsprozess **606**, zu dem Populations-Reproduktionsprozess **607**, zu dem Populations-Vereinigungsprozess **608**, zu dem Fitness-Auswertungsprozess **402** und dem Steiner-Baum-Produktionsprozess **610** gibt. Die Funktionen jedes der Prozesse sind wie folgt. Der Maschinen-Steuerprozessor **600** steuert den Aufruf aller anderen Prozesse innerhalb der generischen Routen-Suchmaschine **209**. Der Profil-Erzeugungsprozess **601** liest eine Datei, die Daten enthält, die die Netzwerk-Topologie und die Verkehrs-Anforderungs-Information beschreibt, und verarbeitet sie zu einer internen Darstellung des Netzwerkes und der Verkehrsanforderungen, sowohl für Punkt-zu-Punkt als auch für Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen, die von einer Anwendung an das Netzwerk gestellt werden. Ein Netzwerk-Datei-Ausgang von dem Netzwerk-Daten-Vorprozessor **401** wird in den Profil-Erzeugungsprozess **601** eingegeben. Steuerparameter-Daten **611**, die Parameter beschreiben, wie zum Beispiel Bewertungs-Koeffizienten, die einen Fitness-Auswertungsprozess **609** zugeordnet sind, der auf dem Auswertungsfunktions-Prozessor **402** abläuft, werden ebenfalls in dem Profil-Erzeugungsprozess **601** eingegeben. Der Darstellungs-Erzeugungsprozess **602** verarbeitet Verkehrsanforderungs-Darstellungsdaten **612**, Netzwerk-Darstellungsdaten **613**, die von dem Profil-Erzeugungsprozess **601** abgegeben werden, und ausgewählte Steuerparameter-Daten **611**, um eine Anzahl von Bits zu berechnen, die von dem genetischen Algorithmus benötigt werden, um einen Routenführungs-Entscheidungsraum darzustellen, aus dem generische Routenführungs-Lösungen gefunden werden.

[0085] Die Netzwerk-Darstellungsdaten **603** speichern zwei „Ansichten“ des Netzwerkes. Erstens kann eine Graph-Ansicht des Netzwerkes, auf der Algorithmen, beispielsweise der Algorithmus des kürzesten Pfades oder Algorithmen des minimalen Spannbaumes ablaufen können, in den Netzwerk-Darstellungsdaten **613** gespeichert. Zweitens wird eine Ansicht des Netzwerkes, die eine Umsetzung auf externe Knoten- und Verbindungsstrecken-Namen ermöglicht, gespeichert. Diese Ansicht wird während der Netzwerk-Daten-Analyse erzeugt, und sie wird hauptsächlich während der Erzeugung von Routen verwendet. Die für die Netzwerk-Darstellungsdaten **613** gespeicherte Information schließt folgendes ein:

- Orte
- Verbindungsstrecken
- Verbindungsstrecken-Kosten
- Graphen.

[0086] Orte können die folgenden Attribute haben:

- Geographische Position
- Name
- Kapazität, das heißt Verkehrsmenge, die durch einen Knoten fließen kann.

[0087] Verbindungsstrecken haben die folgenden Attribute:

- Verbindungsstrecken-Identifikation
- Quellen-Knoten und Port-Nummer
- Ziel-Knoten und Port-Nummer
- derzeitige Belastung, das heißt eine Last vor der Routenführung der Verkehrsanforderungen
- Gesamtbelastung, das heißt eine Last nach der Routenführung der Verkehrsanforderungen

[0088] Verbindungsstrecken-Kosten haben die folgenden Attribute:

- Verbindungsstrecken-Identifikation
- Routenführungs-Kosten.

[0089] Die Verbindungsstrecken-Kosteninformation wird für alle Verkehrstypen in den Verkehrsanforderungen gespeichert, die eine Routenführung benötigen.

[0090] Graphen haben die folgenden Attribute:

- Anzahl der Knoten
- Grad jedes Vertex oder Scheitelpunktes.

[0091] Der Prozess **603** zur Berechnung des kürzesten Pfades verarbeitet einen bekannten Yen-Lawler-Algorithmus anhand der Netzwerk-Darstellungsdaten **603** und der Verkehrsanforderungs-Darstellungsdaten **612** und gibt Daten **616** für den kürzesten Pfad aus, die eine ganzzahlige Anzahl k von kürzesten Pfaden für jede Diensteanforderung **407** umfassen, die in die Routen-Suchkomponente **207** eingegeben wird. Eine den genetischen Algorithmus verwendende Suchroutine wird durch den Prozessor **604** zur Erzeugung der anfänglichen Population, den Prozessor **606** zur genetischen Manipulation, den Prozessor **607** zur Populations-Reproduktion, den Populations-Vereinigungsprozessor **608** und den Fitness-Auswertungsprozessor **609** realisiert. Im allgemeinen sind Prozesse für einen genetischen Algorithmus im Stand der Technik gut bekannt und beinhalten die Darstellung eines Problems als eine Serie von Bits oder Bytes von Daten in eine feste Länge aufweisenden Bitfolgen. Populationen von einer feste Länge aufweisenden Bitfolge werden geändert, kombiniert, mutatiert und miteinander überkreuzt, und optimierte Bitfolgen werden entsprechend eines Fitness-Kriteriums ausgewählt. In der besten Ausführungsform werden Routen über ein Netzwerk von Knoten und Verbindungsstrecken durch Bitfolgen von Eins- und Null-Werten dargestellt, die mutiert und kombiniert werden, um optimale Routen entsprechend den Routenführungs-Zielen **409** zu finden, die in eine Fitness-Auswertungsfunktion eingegeben werden, die von den Auswertungsfunktions-Prozessor **402** betrieben wird. Der Prozessor **604** für die Erzeugung der anfänglichen Population verarbeitet einen Teil des genetischen Algorithmus, berechnet eine Größe eines Routenführungs-Entscheidungsraumes, aus dem Routen zu finden sind, und erzeugt eine anfängliche Population von Bitfolgendaten, die Routen über das Netzwerk hinweg darstellen. Unter der Größe eines Entscheidungsraumes wird eine Anzahl von möglichen unterschiedlichen Routen verstanden (die jeweils durch eine entsprechende jeweilige Bitfolge dargestellt sind). Die Bitfolgen in der anfänglichen Population beschreiben zufällig zugeordnete Routen über das Netzwerk. Wahlweise kann eine anfängliche Bitfolgen-Population, in der alle kürzesten Pfade über das Netzwerk zugeordnet sind, erzeugt werden. Bei der Erzeugung der anfänglichen Population von Bitfolgen gibt der Prozess **604** für die Erzeugung der anfänglichen Population Darstellungs-Definitionsdaten **614** ein, die von dem Darstellungs-Erzeugungsprozess **602** erzeugt wurden, und er wird entsprechend verschiedener Steuerparameter betrieben, die in den Steuerparameter-Daten **611** spezifiziert sind. Eine derzeitige Population von Bitfolgen, die durch derzeitige Populationsdaten **615** dargestellt ist, wird in den Populations-Reproduktions-Prozess **607** eingegeben. Der Populations-Reproduktions-Prozess **607** nimmt die derzeitige Population an und reproduziert die Population von Bitfolgen auf der Grundlage der Werte von verschiedenen Steuerparametern, die in den Steuerparameter-Daten **611** spezifiziert sind, sowie proportional zu einer „Fitness“ der einzelnen Bitfolgen der Population von Bitfolgen, um eine Zwischen-Population von Bitfolgen zu erzeugen, die durch Zwischen-Populationsdaten **618** dargestellt sind. Die Fitness-Kriterien sind in Fitness-Daten **619** spezifiziert, die in den Populations-Reproduktions-Prozess **607** eingegeben werden. Der genetische Manipulations-Prozess **606** gibt die Zwischen-Populationsdaten, die eine Zwischen-Population von Bitfolgen umfassen, ein, wendet einen bekannten Mutations- und Kreuzungsprozess an und erzeugt damit eine manipulierte Population von Bitfolgen. Dieser Prozess mischt die Bitfolgen, die in der Zwischen-Population enthalten sind. Die derzeitige Population, die Zwischen-Population und die manipulierte Population werden durch den Populations-Vereinigungsprozess **608** entsprechend der Parameter vereinigt, die in den Steuerparameter-Daten **611** spezifiziert sind, sowie entsprechend Fitness-Werten jedes Mitgliedes der Population, wie dies durch den Fitness-Auswertungsprozess **609** bestimmt wird, der Fitness-Daten **619** abgibt. Der Fitness-Auswertungsprozess **609** gibt Daten-Bitfolgen ein, die Populations-Mitglieder von den derzeitigen, Zwischen- und Manipulierten Populations-Daten umfassen, dekodiert sie durch die Verwendung der Information für den kürzesten Pfad und den Steiner-Baum, und simuliert die Routenführung von Verkehr unter Verwendung der Netzwerk-Darstellungsdaten auf der Grundlage Mitglieder der derzeitigen Population, der Zwischen-Population und der manipulierten Population. Eine Fitness-Funktion wird entsprechend von Steuerparametern ausgewertet, die in den Steuerparameter-Daten spezifiziert sind, wie dies weiter unten beschrieben wird. Ein Fitness-Wert für jedes Populations-Mitglied wird erzeugt. Der Steiner-Baum-Erzeugungsprozessor **610** gibt Bitfolgen ein, die Routen darstellen, die eine derzeitige Population umfassen, die in Form von derzeitigen Populations-Daten **615** dargestellt sind, und berechnet Steiner-Bäume für jede einzelne Bitfolge. Dieser Prozess dekodiert die einzelnen Bitfolgen, die Populations-Mitglieder umfassen, die anzeigen, wel-

che der Graph-Knoten in den Steiner-Baum einzuschließen sind. Der Prim-Algorithmus wird dazu verwendet, einen minimalen Spannbaum für die Graph-Knoten zu berechnen, die in dem Steiner-Baum für jedes Bitfolgen-Populations-Mitglied enthalten sind. Ein bekannter Spannbaum umfasst einen Teil-Graphen eines verbundenen Graphen. Dieser Teil-Graph ist ein Baum und beinhaltet alle die Knoten des Graphs. Ein minimaler Spannbaum ist ein bewerteter Spannbaum, der aus einem bewerteten Graph derart gebildet ist, dass die reellen Zahlen, die jedem Rand beim Summieren zugeordnet sind, insgesamt nicht größer als die entsprechende Summe für irgendeinen anderen Spannbaum sind, der für den Teil-Graphen definiert ist. Der Routen-Erzeugungsprozess **605** wählt periodisch optimale Populations-Mitgliedsfolgen aus der derzeitigen Population aus, mit einer Periode, die durch den Benutzer in den Steuerparameter-Daten **611** spezifiziert werden kann, und er dekodiert die Bitfolgen in Routen-Informationen für Punkt-zu-Punkt- und Punkt-zu-Mehrpunkt-Diensteanforderungen. Diese Information wird als Textinformation gedruckt und steht einem Benutzer über eine graphische Benutzerschnittstelle **211** zur Verfügung.

[0092] Es werden nunmehr weitere Einzelheiten beschrieben, wie die Routen-Suchkomponente **207** durch eine externe Netzwerk-Verwaltungsanwendung **500** gesteuert wird. Wie dies anhand der [Fig. 5](#) beschrieben wurde sendet eine externe Netzwerk-Verwaltungsanwendung Befehle an die Routensuch-Komponente **207**, wie zum Beispiel Holen, Setzen, Ausführen oder Befehl, und Argumente dieser Befehle steuern die Ausführung der Routen-Suchkomponente **207**. Die Holen- und Setzen-Befehle ermöglichen eine allgemeine Wechselwirkung mit Steuerparameter-Daten **611** unter der Steuerung des Maschinen-Steuerprozesses **600**. Die Befehls-Anweisung bewirkt, dass die Suchmaschine eine Suche nach optimalen Routen beginnt. Die genetische Algorithmus-Suchmaschine steht mit dem Darstellungs-Erzeugungsprozess **602** und dem Prozess **603** zum Berechnen des kürzesten Pfades in Wechselwirkung, um:

- die erforderliche Größe der Bitfolgen-Darstellung (in Bits) zu berechnen, und
- Pfade für jede Punkt-zu-Punkt-Verkehrsanforderung zu berechnen, aus denen Routen gewählt werden.

[0093] Der Darstellungs-Erzeugungsprozess und der Prozess zur Berechnung des kürzesten Pfades sind Vorverarbeitungs-Schritte bei dem Routen-Auswahlprozess. Jedesmal wenn die Verwaltungsanwendung **500** einen Satz von neuen Routenführungs-Lösungen anfordert, werden der Darstellungs-Erzeugungsprozess und der Prozess der Berechnung des kürzesten Pfades in einer Initialisierungsphase vor der Operation der Suche nach Routen betrieben.

[0094] An jeder von der genetischen Algorithmus-Suchmaschine ausgeführte Suche ist nach der Initialisierungsphase ein Zyklus von Prozessen beteiligt. Das folgende Beispiel bezieht sich auf die genetische Algorithmus-Realisierung, die hier als die beste Ausführungsform dargeboten wird. Eine derzeitige Population von Datenfolgen, die durch den anfänglichen Populations-Erzeugungsprozess **604** erzeugt wurden, wird als derzeitige Populations-Daten **615** in den Fitness-Auswertungsprozess **609** eingegeben. Der Fitness-Auswertungsprozess **609** erzeugt Fitness-Daten **619**, die der laufenden oder derzeitigen Population von Bitfolgen entsprechen. Die Fitness-Daten und die derzeitigen Populationsdaten werden von den Populations-Reproduktionsprozess verwendet, um eine Zwischen-Population von Bitfolgen zu erzeugen, die als Zwischen-Populations-Daten **618** abgegeben werden. Die Fitness jeder Bitfolge der Zwischen-Population wird durch den Fitness-Auswertungs-Prozess **609** ausgewertet, was zu Fitness-Daten **619** führt, die einen Fitness-Wert für jede Folgen beschreiben, die die Zwischen-Population von Folgen bildet. Die Fitness der manipulierten Population von Folgen, die durch die manipulierten Populations-Daten **617** dargestellt sind, wird durch den Fitness-Auswertungsprozess **609** ausgewertet, was zu Fitness-Daten **619** führt, die eine Fitness jeder Folge der manipulierten Population darstellen. Daten, die die drei Populationen von Folgen beschreiben, das heißt die derzeitige Population, die Zwischen-Population und die manipulierte Population, werden zusammen mit Fitness-Wert-Daten, die jeder Folge der derzeitigen Zwischen- und manipulierten Populationen entsprechen, in den Populations-Vereinigungsprozess **608** eingegeben, der eine neue derzeitige Population von Folgen erzeugt, die durch die derzeitigen Populations-Daten **615** dargestellt sind, auf der Grundlage einer Auswahl der fittesten Folgen von jeder der derzeitigen, Zwischen- und manipulierten Population. Der Zyklus wird durch den Routen-Erzeugungsprozess **605** abgeschlossen, der eine Vielzahl von Routen auf der Grundlage von einem oder mehreren der fittesten Folgen der derzeitigen Population berechnet und diese berechneten Routen an die Netzwerk-Verwaltungsanwendung **500** als Routen-Tabellen **400** zurückliefert, nachdem zunächst die Ausgangs-Routendaten in dem Routendaten-Nachprozessor **403** auf eine Form umgewandelt wurden, die für die Eingabe in die Verwaltungsanwendung **500** geeignet ist. Die Erzeugung neuer Routen unterliegt den Bedingungen von Steuerparametern, die in den Steuerparameter-Daten **611** gespeichert sind, die von der Netzwerk-Verwaltungsanwendung **500** spezifiziert sind. Die Erzeugung neuer Routen-Daten endet, wenn der Populations-Reproduktionsprozessor **607** feststellt, dass eine vorgegebene Anzahl von Auswertungen, die in den Steuerparameter-Daten **611** spezifiziert ist, ausgeführt wurden. Die Routen-Suchkomponente **207** wartet dann auf weitere Befehle von der Netzwerk-Verwaltungsanwendung **500**, bevor weitere Routen-Tabellendaten erzeugt werden.

[0095] In dem vorstehenden Prozess verwendet der Fitness-Auswertungsprozess **609** Daten für den kürzesten Pfad und Steiner-Baum-Daten um Fitness-Parameter den Folgen-Mitgliedern der Populationen zuzuordnen. Während die Information des kürzesten Pfades lediglich einmal als Antwort auf eine Anforderung für eine Routenermittlung von der Netzwerk-Verwaltungsanwendung **500** erzeugt wird, werden Steiner-Baum-Daten für jedes Mitglied jeder Population erzeugt. Somit wird die Steiner-Baum-Erzeugung für eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Diensteanforderung aufgerufen.

[0096] Unter erneuter Bezugnahme auf die vorliegende [Fig. 4](#) erfolgt die Schnittstellenbildung zwischen dem Diensteanforderungs-Vorprozessor **400**, dem Netzwerkdaten-Vorprozessor **401**, dem Auswertungsfunktions-Vorprozessor **402**, dem Routendaten-Nachprozessor **403** und der Routen-Suchmaschine **209** durch Lesen und Schreiben von Daten von einer Vielzahl von Ergebnis-Dateien, die in einem einfachen ASCII-Protokoll geschrieben werden.

[0097] Die vorliegende [Fig. 7](#) erläutert Schritte, die von der Routen-Suchkomponente **207** ausgeführt werden. Im Schritt **701** werden Diensteanforderungen **407** beschreibende Daten in den Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** eingegeben, der eine einfache ASCII-Protokoll- (SAP-)Datei erzeugt, die die Diensteanforderungen beschreibt, die in die Routen-Suchmaschine **209** eingegeben werden. Im Schritt **702** werden Netzwerk-Topologie-Daten **408** in den Netzwerkdaten-Vorprozessor **401** eingegeben, der eine SAP-Datei abgibt, die die Beziehungen zwischen den Knoten und Verbindungsstrecken in dem Netzwerk beschreibt. Die SAP-Datei wird in die Routen-Suchmaschine **209** eingegeben. Im Schritt **703** wird eine SAP-Textdatei, die Daten enthält, die Routenführungs-Ziele **409** darstellen, von einem Benutzer in die Routen-Suchmaschine **209** eingegeben. Im Schritt **704** verwendet die Routen-Suchmaschine **209** vorzugsweise genetische Algorithmen, um die Diensteanforderungen, die sie empfängt, entsprechend der Auswertungsfunktion für die eingegebenen Routenführungs-Zieldaten als Eingang an das in ihrem Eingang beschriebene Netzwerk zu lenken. Im Schritt **705** gibt die Routen-Suchmaschine **209** eine SAP-Datei ab, die eine Liste von Routen für die Verbindungsanforderungen enthält. Die SAP-Datei kann in den Routendaten-Nachprozessor **405** im Schritt **705** eingegeben werden, um die Routendaten-SAP-Datei in eine Form umzuwandeln, die zur Verwendung durch die externe Anwendungen geeignet ist, die die Diensteanforderung gemacht hat.

[0098] Ein Satz von Routenführungs-Strategien, die von der Routen-Suchkomponente **207** ausgeführt werden, wird nunmehr beschrieben. Um das Verständnis zu erleichtern, werden die Operationen als Operationen auf Darstellungen auf Einzel-Knoten und Verbindungsstrecken-Netzwerk-Graphen beschrieben, wie sie schematisch in den vorliegenden [Fig. 8](#) und [Fig. 9](#) gezeigt sind. Es ist verständlich, dass die gezeigten Graphen und die ausgewählten Routen als auf Maschinen ausführbare Datenverarbeitungs-Operationen an Daten realisiert werden, die Knoten und Verbindungsstrecken eines Netzwerkes darstellen.

[0099] [Fig. 8](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt den generische Netzwerk-Graphen von Knoten und Verbindungsstrecken, wie sie in [Fig. 3](#) gezeigt sind. Ein Gitter von Koordinaten **803** ist dem Netzwerk-Graphen überlagert, derart, dass jedem Knoten eine eindeutige XY-Koordinaten-Position zugeordnet ist. Verbindungsstrecken zwischen Knoten werden zugehörige Kostenwerte zugeordnet (die in [Fig. 8](#) durch Zahlen in der Nähe des Mittelpunktes der Verbindungsstrecken-Linien bezeichnet sind). Ein Beispiel einer Route, die von der Routen-Suchmaschine für eine Verbindung zwischen einem Quellen-Knoten **801**, der mit n_1 bezeichnet ist, und einem Ziel-Knoten **802** gewählt wird der mit n_8 bezeichnet ist, ist durch Verbindungsstrecken mit Richtungspfeilen angezeigt. Konfiguriert für die Routenführung über den kürzesten Pfad findet die Routen-Suchmaschine vorzugsweise Routen minimaler Kosten für eine Vielzahl von Verbindungen zwischenderartigen Paaren von Quellen- und Ziel-Knoten in dem Netzwerk.

[0100] Alternativ kann die Route-Sucheinrichtung so konfiguriert werden, dass sie Verbindungen über das Netzwerk hinweg „ausgleicht“. Der Ausgleich von Verbindungen kann dadurch erzielt werden, dass eine ganzzahlige Zahl K von kürzesten Pfaden zwischen den Quellen- und Ziel-Knoten jeder Verbindung berücksichtigt wird und der kürzeste Pfad für jede Verbindung ausgewählt wird, der eine gleichförmige Verteilung der Netzwerkknoten- und Netzwerkverbindungsstrecken-Nutzungen ergibt.

[0101] Es wird erneut auf [Fig. 8](#) Bezug genommen, in der ein generischer Netzwerk-Graph von Knoten und Verbindungsstrecken gezeigt ist, und die zeigt, wie ein Ausgleich des Verkehrs über das Netzwerk hinweg erzielt wird. Während eine Routenführung über den kürzesten Pfad Verkehr zwischen der Quelle **801**, Knoten n_1 und dem Ziel **802**, Knoten n_7 sowie Verkehr zwischen dem Quellen-Knoten S, n_1 und dem zweiten Ziel-Knoten n_8 über die Knoten n_2 und n_6 erzwingen würde, was eine Überlastung auf dem Knoten n_2 und n_6 hervorrufen würde, kann unter Berücksichtigung einer ganzzahligen Zahl k von kürzesten Pfaden der Verkehr von der Quelle n_1 zu dem ersten Ziel n_7 über alternative Knoten n_3 und n_5 geführt werden, wäh-

rend Verkehr zwischen n_1 und dem zweiten Ziel n_8 weiterhin über die Knoten n_2 und n_6 geführt wird, wodurch der Verkehr über unterschiedliche Routen des Netzwerkes ausgeglichen wird und eine gleichförmigere Belastung der Knoten und Verbindungsstrecken mit Verkehrsdaten erzielt wird.

[0102] Die Routen-Suchkomponente **207** kann eine einzelne Verbindung über mehrere unterschiedliche Routen führen. Diese „Aufteilung“ einer Verbindung über Routen kann erforderlich sein, wenn die Verbindung eine hohe Bandbreiten-Kapazität erfordert. Die Anzahl von Routen, über die eine derartige Verbindungsanforderung aufgeteilt werden kann, kann von einem Benutzer eingegeben werden, oder die Routen-Sucheinrichtung kann selbst die Anzahl von Routen entscheiden, über die die Verbindungsanforderung bis zu einer von Benutzer festgelegten oberen Begrenzung aufzuteilen ist. Der prozentuale Anteil der Bandbreiten-Kapazität einer Verbindungsanforderung, die über die Anzahl von ausgewählten Routen aufzuteilen ist, kann ebenfalls von dem Benutzer gewählt werden. Wenn beispielsweise die Bandbreiten-Kapazität der Verbindungsanforderung über eine erste und eine zweite Route aufzuteilen ist, so können 30% der Bandbreiten-Kapazität der Verbindungsanforderung über die erste Route übertragen werden, und 70% der Bandbreiten-Kapazität der Verbindungsanforderung können über die zweite Route übertragen werden.

[0103] Eine einzelne Verbindung kann über mehrere Pfade über das Netzwerk hinweg verteilt werden. Der Verkehr zwischen dem Quellen-Knoten n_1 und dem Ziel-Knoten n_7 als Antwort auf eine Dienstanforderung kann über eine ganzzahlige Anzahl von mehrfachen Pfaden übertragen werden. Beispielsweise kann eine erste Route die Knoten n_2 und n_6 durchqueren und 70% der Daten des Dienstes übertragen. Die verbleibenden 30% der Daten des Dienstes können über die Knoten n_3 und n_5 geführt werden. Die Verteilung der Routen kann von dem Benutzer spezifiziert werden, oder sie kann alternativ durch genetische Algorithmen optimiert werden. Eine Vorgabebedingung, bei der eine einzige Route den gesamten Verkehr überträgt, der sich auf eine Quellen-Ziel-Dienstanforderung bezieht, kann von einem Benutzer eingestellt werden.

[0104] [Fig. 9](#) der beigefügten Zeichnungen stellt die graphischen Netzwerk-Knoten und Verbindungsstrecken nach [Fig. 8](#) dar, wobei jedoch die Netzwerk-Verbindungsstrecken mehrfache Kosten haben, die durch Zahlenwerte bezeichnet sind, die durch eine (/) getrennt sind. Die mehrfachen Kosten können unterschiedlichen Verkehrstypen, beispielsweise Sprache oder Daten zugeordnet werden. Die Routen-Sucheinrichtung kann dann Pfade für Verbindungen unter Berücksichtigung des Verkehrstyps auswählen, der von der Verbindung verwendet wird.

[0105] Ein Punkt-zu-Mehrpunkt-Verkehr kann nicht durch die Routenführung des kürzesten Pfades behandelt werden. Bei den speziellen hier beschriebenen Verfahren kann die Routen-Suchkomponente **207** Punkt-zu-Mehrpunkt-Verkehr so abwickeln, wie dies in der beiliegenden [Fig. 9](#) gezeigt ist, und zwar wie folgt: für Verkehr, der von dem Knoten n_1 ausgeht und an mehreren Ziel-Knoten n_8 und n_7 endet, können die Routen n_1, n_2, n_6, n_8 und die Routen n_1, n_3, n_5, n_7 ausgewählt werden, oder es können n_1, n_2, n_6, n_7 und die Route n_1, n_2, n_6, n_8 ausgewählt werden. Andere Kombinationen sind selbst in dem einfachen unter Bezugnahme auf [Fig. 9](#) erläuterten Beispiel möglich. Weiterhin kann für Punkt-zu-Punkt- oder Punkt-zu-Mehrpunkt-Dienste die Routenführung entsprechend des Typs der Verkehrsdaten ausgewählt werden.

[0106] Ein Benutzer kann mit der Routen-Suchkomponente **207** über die Verwendung der graphischen Benutzer-Schnittstelle **211** in Wechselwirkung treten, um Daten, die bereits von einer Netzwerk-Anwendung eingegeben wurden, zu Editieren und zu Ändern, oder um Daten direkt einzugeben. Die Daten-Editierung und Eingabe wird durch Manipulation eines Cursor-Piktogramms unter Verwendung eines Computer-Peripherie-Zeigergerätes, beispielsweise einer Maus, eines Trackball-Gerätes oder ähnlicher Geräte über eine Serie von Bildschirm-Darstellungen erzielt werden, von denen einige nachfolgend beschrieben werden.

[0107] [Fig. 10](#) der beigefügten Zeichnungen erläutert eine Netzwerkdaten-Editor-Bildschirmanzeige, die ein Benutzer verwenden kann, um Netzwerk-Topologiedaten zu erzeugen oder zu editieren. Der Netzwerkdaten-Editor, der Teil der GUI **211** ist, kann zur Erzeugung von Netzwerkdaten für die Routen-Suchmaschine **209** als eine Alternative dazu verwendet werden, dass der Netzwerkdaten-Vorprozessor **401** Netzwerk-Topologiedaten **408** empfängt und sie in eine SAP-Datei umwandelt. Knoten **1001** erscheinen auf dem Anzeigefenster eines Bildschirms als Piktogramme und werden mit Etiketten **1002** versehen. Verbindungsstrecken zwischen Knoten können ebenfalls gezeichnet werden und sind durch Linien **1003** dargestellt. Die Anzeige schließt einen horizontalen Rollbalken **1005** und einen vertikalen Rollbalken **1004** ein, die der Benutzer verwenden kann, um eine Netzwerk-Topologie mit einer größeren Fläche zu zeichnen, als die, die derzeit in dem Anzeigefenster gezeigt ist. Die Netzwerk-Topologiedaten, die gezeichnet werden, werden unter Verwendung eines Dateinamens **1006** gespeichert. Die Datei wird vorzugsweise als eine Datei gespeichert, die mit dem SAP-Format

übereinstimmt.

[0108] **Fig. 11** der beigefügten Zeichnungen zeigt eine Verbindungsstrecken-Daten-Editor-Bildschirmansicht, die ein Benutzer verwenden kann, um Daten zu editieren, die Netzwerk-Verbindungsstrecken beschreiben. Der Verbindungsstrecken-Daten-Editor-Teil der GUI **211** kann zur Erzeugung von Netzwerkdaten für die Routen-Suchmaschine **209** als Alternative dazu verwendet werden, dass der Netzwerkdaten-Vorprozessor **401** Netzwerk-Topologiedaten **408** empfängt und sie in eine SAP-Datei umwandelt. Die Bildschirmansicht umfasst ein Dialog-Feld, das einen Namen einer Verbindungsstrecke zeigt, das heißt die zwei Endpunkte der Verbindungsstrecke (jeder Endpunkt hat ein Knoten-Etikett und eine Port-Nummer). Die Anzeige umfasst weiterhin zwei Piktogramme **1102**, die dazu verwendet werden können, anzugeben, ob die Verbindungsstrecke für Voll duplex- oder Halbduplex-Verkehr (das heißt bidirektional beziehungsweise unidirektional) ist. Eine Bandbreiten-Kapazität der Verbindungsstrecke kann ebenfalls durch Auswahl eines numerischen Wertes editiert werden, der in einer Rollbalken-Menüansicht **1103** dargestellt wird. Mit einer Verbindungsstrecke verbundene Kosten können ebenfalls eingegeben und editiert werden, beispielsweise können die Kosten für Sprachdaten für die Verbindungsstrecke dadurch editiert werden, dass ein numerischer Wert **1104** in einem Kosten-Daten-Eingabeteil des Anzeigefensters **1104** eingegeben wird. In gleicherweise gilt dies für Datenverkehr **1105**.

[0109] **Fig. 12** der beigefügten Zeichnungen zeigt ein Beispiel einer Textdatei, die ein SAP-Format hat, und die in die Routen-Suchmaschine von dem Netzwerkdaten-Vorprozessor **403** eingegeben werden kann oder die sich von dem Netzwerk-Topologie-Daten-Editor ergibt, der in **Fig. 10** gezeigt ist, oder von dem Verbindungsstrecken-Daten-Editor, der in **Fig. 11** gezeigt ist. Eine Datei im SAP-Format kann eine Vielzahl von Zeilen umfassen, die ASCII-Zeichen enthalten, wobei jede Zeile durch ein ASCII-Zeilenumbruch-Zeichen beendet ist. Für die Eingabe in die Routen-Sucheinrichtung umfasst die SAP-Datei eine Vielzahl von Abschnitten, wobei jeder Abschnitt eine Kopfzeile gefolgt von einer oder mehreren Datenbeschreibungs-Zeilen aufweist.

[0110] Netzwerk-Knoten werden in einem Knoten-Abschnitt beschrieben. Eine Kopfzeile **1201** für einen Knoten-Abschnitt umfasst folgendes:

[Knoten]

[0111] Eine Knotenbeschreibungs-Zeile **1202** umfasst einen Knoten-Etikett, das als eine Identifikation für den Knoten dient, XY-Koordinaten, die einem Koordinatengitter eines Knotens entsprechen, und einen numerischen Wert, der die Kapazität angibt. Ein Beispiel einer Knotenbeschreibungs-Zeile umfasst folgendes:
n_1 {0 3 1}

[0112] Dies bezeichnet einen Knoten n_1 an den XY-Koordinaten 0,3 mit einer Kapazität von 1.

[0113] Ein Verbindungsstrecken-Abschnitt, der Netzwerk-Verbindungsstrecken aufweist, hat eine Kopfzeile **1203** die folgendes umfasst:

[Verbindungsstrecken]

[0114] Eine Verbindungsstrecken-Beschreibungszeile **1204** definiert eine einzige Verbindungsstrecke zwischen einem Paar von Knoten. Eine Verbindungsstrecken-Beschreibungszeile kann zwei Endpunkte (wobei jeder Endpunkt durch ein Knoten-Etikett und eine Zahl beschrieben ist, die einen Knoten-Port darstellt), einen Wert, der die Gesamtkapazität der Verbindungsstrecke bezeichnet und eine Identifikation umfassen, die anzeigt, ob die Verbindungsstrecke eine Simplex- oder Duplex-Verbindungsstrecke ist (das heißt ob Verkehr auf der Verbindungsstrecke uni- oder bidirektional sein kann). Ein Beispiel einer Verbindungsstrecken-Beschreibung umfasst folgendes:
{n_1 1} {n_2 1} 622 NetworkLinkDuplex

[0115] Dies bezeichnet eine Verbindungsstrecke von Port 1 des Knotens n_1 mit einem Knoten-Port 1 und einen Knoten 1 des Knotens n_2 mit einer Kapazität von **622**, wobei dies eine Duplex-Einheit ist.

[0116] Daten, die eine Menge an Kapazität einer Verbindungsstrecke beschreiben, die bereits in Gebrauch ist, werden in einem Verbindungsstrecken-Zustands-Abschnitt angegeben. Eine Kopfzeile **1205** für einen Verbindungsstrecken-Zustands-Abschnitt umfasst:

[Verbindungszustand]

[0117] Eine Beschreibungszeile die die Verbindungsstrecken-Zustands-Kapazitätsnutzung **1206** beschreibt, kann zwei Endpunkte und einen numerischen Wert umfassen, der die verwendete Verbindungsstrecken-Kapazität bezeichnet, beispielsweise:

{n_1 1} {n_2 1} 402

[0118] Dieses Beispiel stellt eine Verbindungsstrecke zwischen dem Port 1 eines Knotens n_1 und einem Port 1 eines Knotens n_2 mit **402** Einheiten an Kapazität dar, die bereits zugeteilt wurden. Die Routen-Suchmaschine legt keine Messeinheit auf die Zahl von **402** Einheiten. Somit können, solange die Kapazität und die Last-Nutzung in den gleichen Einheiten gemessen werden, die numerischen Werte, die die Kapazität und Last bezeichnen, beide an die generische Routen-Suchmaschine **209** gesandt werden.

[0119] Daten, die die derzeitige Nutzung einer Knoten-Kapazität angeben, werden in einem Knotenzustands-Abschnitt angegeben. Eine Kopfzeile **1207** eines Knotenzustands-Abschnittes umfasst folgendes:

[Knotenzustand]

[0120] Eine Knotenzustands-Beschreibungszeile **1208** kann ein Knoten-Etikett (das bereits in einem Knoten-Beschreibungsabschnitt definiert sein sollte, wobei irgendwelche Zeilen, die nicht definierte Knoten-Etiketten enthalten, ignoriert werden) und einen Wert umfassen, der die derzeitige Kapazitätsnutzung des Knoten bezeichnet, beispielsweise:

n_1 1

[0121] In diesem Beispiel hat der Knoten n_1 eine derzeit zugeteilte Kapazität von 1. Es wird keine Messeinheit der Datei durch die generische Routen-Suchmaschine zugeteilt, weil die Routen-Such-Verwaltung **208** alle Daten an die generische Routen-Suchmaschine in den gleichen Einheiten sendet.

[0122] Daten, die die Zuverlässigkeit einer Verbindungsstrecke beschreiben, sind in einem Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeits-Abschnitt angegeben. Eine Kopfzeile **1209** für einen Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeits-Abschnitt umfasst folgendes:

[Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeit]

[0123] Eine Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeits-Beschreibungs-Zeile **1210**, die die Zuverlässigkeit einer einzigen Verbindungsstrecke definiert, kann zwei Endpunkte (die jeweils ein Knoten-Etikett und eine Port-Nummer haben) und eine reelle Zahl umfassen, die einen Wert zwischen 0 und 1,0 hat (wobei 1,0 eine Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeit von 100% bezeichnet) beispielsweise:

{n_1 1} {n_2 1} 0.999

[0124] Dieses Beispiel stellt eine Verbindungsstrecke zwischen dem Port 1 des Knoten n_1 und dem Port 1 des Knotens n_2 dar, der einen Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeits-Faktor von 0.999 hat.

[0125] Daten, die die Zuverlässigkeit eines Knoten beschreiben, sind in einem Knoten-Zuverlässigkeits-Abschnitt angegeben. Eine Kopfzeile **1211** für einen Knoten-Zuverlässigkeits-Abschnitt umfasst folgendes:

[Knoten-Zuverlässigkeit]

[0126] Eine Beschreibungs-Zeile **1212**, die die Zuverlässigkeit eines einzigen Knoten definiert, umfasst ein Knoten-Etikett und eine reelle Zahl, die einen Wert zwischen 0 und 1,0 hat (wobei 1,0 eine Knoten-Zuverlässigkeit von 100% bezeichnet):

n_1 0995

[0127] Dies bezeichnet einen Knoten n_1 mit einem Zuverlässigkeitsfaktor von 0.995.

[0128] Daten, die die den Verbindungsstrecken zugeordneten Kosten beschreiben, sind in einem Kosten-Abschnitt angegeben. Eine Kopfzeile **1213** für einen Kosten-Abschnitt umfasst folgendes:

[0129] Eine Beschreibungs-Zeile **1214**, die die Kosten einer einzigen Verbindungsstrecke definiert, umfasst zwei Endpunkte (wobei jeder Endpunkt ein Knoten-Etikett und eine Port-Nummer hat) und einen oder mehrere Datentypen mit einem numerischen Wert, der die Kosten darstellt, beispielsweise:

```
{n_1 2} {n_2 3} {Daten 1} {Sprache 2}
```

[0130] Dieses Beispiel beschreibt eine Verbindungsstrecke zwischen den Port 2 des Knotens n_1 und dem Port $3n_2$, der einen Kosten-Wert von 1 für einen Daten-Dienst-Verkehr und einen Wert von 2 für Sprach-Dienst-Verkehr hat. Dies heißt, dass die Verbindungsstrecke niedrigere Kosten für Datenverkehr als für Sprachverkehr hat. Die Messung der Kosten hat keine Einheit. Der Kosten-Wert wird durch die generische Routen-Suchmaschine verwendet, um die kürzesten Pfade zu finden, aus denen einen abschließende Auswahl der Pfade getroffen wird, und er wird bei der Berechnung von minimalen Spannbäumen verwendet.

[0131] [Fig. 13](#) der beigefügten Zeichnung zeigt eine Bildschirmdarstellung, die zur Erzeugung von Diensteanforderungen verwendet werden kann. Die Bildschirmdarstellung wird durch einen Diensteanforderungs-Generator erzeugt, der Teil der GUI **211** ist, die zur Erzeugung von Diensteanforderungen für die Routen-Suchmaschine **401** als eine Alternative dazu verwendet werden kann, dass der Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** Diensteanforderungen von einer externen Anwendung empfängt und sie in eine SAP-Datei umwandelt. Die Bildschirmdarstellung umfasst eine zweidimensionale Tabelle, in der vertikale Einträge **1301** Quellen-Knoten und horizontale Einträge **1302** Ziel-Knoten von Verbindungen darstellen. Einträge **1303** in der Tabelle stellen Diensteanforderungs-Nummern für Verbindungen zwischen den Quellen- und Ziel-Knoten des Eintrages dar. Die Darstellung schließt weiterhin einen Wähler **1304** ein, der zur Auswahl des Typs des Verkehrs, beispielsweise Sprache oder Daten, verwendet wird, die von den Diensteanforderungen benötigt werden.

[0132] [Fig. 14](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt eine Bildschirmdarstellung, die zur Betrachtung oder Schaffung von Routen für Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungen verwendet werden kann. Die Bildschirmdarstellung kann mit Hilfe der GUI **211** erzeugt werden. Die Bildschirmdarstellung umfasst ein Bildlauffeld **1401**, das zur Auswahl eines Quellen-Knotens für die Verbindung verwendet werden kann. Die Bildschirmdarstellung umfasst weiterhin ein Feld **1402** für ein akzeptiertes Ziel, das eine Anrufausführungs-Liste **1404**, eine editierte Liste **1405**, ein Piktogramm **1406** für einen rechten Pfeil, ein Piktogramm **1407** für einen linken Pfeil, einen Anwendungs-Knopf **1408** und einen Aufheben-Knopf **1409** umfasst. Die Ausführungs-Liste **1404** kann ein Bildlauffeld umfassen, das eine Liste von allen oder einigen der Netzwerk-Knoten enthält, die als Ziel-Knoten in einer Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung ausgewählt werden können. Die Auswahl eines Knotens aus der Liste **1404**, beispielsweise dadurch, dass sie mit einem Maus-Zeiger angeklickt wird, und das nachfolgende Anklicken des Piktogramms **1406** für den rechten Pfeil, kann den ausgewählten Knoten in die editierte Liste **1405** eingeben. Knoten, die in einem Bildlauffeld erscheinen, das die editierte Liste **1405** bildet, können durch Anklicken mit dem Maus-Zeiger ausgewählt werden. Das Anklicken des Piktogramms **1407** für den linken Pfeil nach dem Auswählen eines oder mehrerer Knoten aus der editierten Liste **1405** kann dazu führen, dass der ausgewählte Knoten aus der editierten Liste entfernt wird. Die Auswahl des Anwendungs-Knopfes **1408** kann zum Anwenden des ausgewählten Ziel-Knotens auf eine bestimmte Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung führen. Die Auswahl des Aufhebungs-Knopfes **1409** kann irgendwelche Operationen verwerfen, die an Elementen des Feldes **1402** für akzeptierte Ziele ausgeführt wurden.

[0133] Die Bildschirmdarstellung umfasst weiterhin ein Verkehrsauswahl-Feld **1403**, das zur Eingabe eines numerischen Wertes verwendet werden kann, der die erforderliche Bandbreite einer Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung bezeichnet. Die Bildschirmdarstellung umfasst weiterhin ein Verkehrstyp-Auswahl-Bildlauffeld **1410**, das zur Auswahl eines Typs von Verkehr verwendet werden kann, der bei einer bestimmten Verbindung verwendet werden soll, wobei die Typen Sprache, Daten, Vorgabewerte oder Video umfassen können. Die Bildschirmdarstellung umfasst weiterhin ein Mehrpunkt-Anforderungs-Bildlauffeld **1411**, das dazu verwendet werden kann, Verbindungen anzuzeigen, die unter Verwendung der Quellen- und Ziel-Felder **1401**, **1402** ausgewählt wurden. Das Mehrpunkt-Anforderungsfeld **1411** kann eine Verbindung anzeigen, die einen unter Verwendung der Quellen-Feldes **1401** ausgewählten Quellen-Knoten und Ziel-Knoten umfasst, die unter Verwendung der Listen in dem Feld **1402** für akzeptierte Ziele ausgewählt und unter Verwendung des Anwendungs-Knopfes **1408** bestätigt wurden. Die Bildschirmdarstellung umfasst weiterhin ein Schließen-Knopf **1412**, der zum Verlassen der Bildschirmdarstellung verwendet werden kann.

[0134] [Fig. 15](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt eine Bildschirmdarstellung, die zum Erzeugen oder zum Editieren von Daten verwendet werden kann, die Zwangsbedingungen für Routen darstellen, die für bestimmte Diensteanforderungen gefunden wurden. Die Bildschirmdarstellung wird durch den Zwangsbedingungen-Da-

ten-Erzeugungsteil der GUI **211** erzeugt, der als eine Alternative für den Verkehrsdaten-Vorprozessor **400** verwendet werden kann, der Diensteanforderungen von einer externen Anwendung unter Einschluss von Routen-Zwangsbedingungen empfängt und diese in eine SAP-Datei umwandelt. Die Bildschirmdarstellung umfasst einen Dialog, der ein Bildlauffeld **1501** umfasst, das zur Auswahl eines Quellen-Knotens verwendet werden kann. Die Darstellung umfasst weiterhin ein Bildlauffeld **1502**, das zur Auswahl des Ziel-Knotens oder der Ziel-Knoten verwendet werden kann. Die Darstellung umfasst weiterhin ein Bildlauffeld **1503**, das zur Auswahl des Verkehrs-Typs zwischen den ausgewählten Quellen- und Ziel-Knoten verwendet wird, deren Zwangsbedingungen festzulegen sind. Die Darstellung umfasst zwei Auswahlfelder **1505**, die dazu verwendet werden, auszuwählen, ob Knoten oder Verbindungsstrecken ausgewählt werden sollen. Zwei Knöpfe **1504** werden weiterhin zur Auswahl dafür verwendet, ob die ausgewählten Knoten oder Verbindungsstrecken von der Route ausgeschlossen oder in diese eingeschlossen werden. Eine Liste von Knoten oder Verbindungsstrecken **1506** ist ebenfalls in der Darstellung gezeigt, in Abhängigkeit davon, ob Knoten oder Verbindungsstrecken unter Verwendung der Auswahlfelder **1505** ausgewählt wurden. Knoten oder Verbindungsstrecken können aus der Liste **1506** ausgewählt werden, um Zwangsbedingungen zu erzeugen, die für Routen eingefügt oder ausgeschlossen werden, die sich zwischen den ausgewählten Quellen- und Ziel-Knoten befinden, die unter Verwendung der Bildlauffelder **1501** beziehungsweise **1502** ausgewählt wurden.

[0135] [Fig. 16](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt ein Beispiel einer Textdatei, die ein SAP-Format hat, die in die Routen-Suchmaschine von einer externen Anwendung über den Diensteanforderungs-Vorprozessor **400** oder die Verkehrsdaten-Editoren nach den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) eingegeben werden kann. Das in [Fig. 16](#) gezeigte Beispiel zeigt Abschnitte, die Daten definieren, die sich auf Netzwerk-Verkehr beziehen. Die SAP-Datei umfasst eine Anzahl von Abschnitten, wobei jeder Abschnitt eine Kopfzeile und eine oder mehrere Beschreibungszeilen hat.

[0136] Diensteanforderungen, die einen Quellen-Knoten und einen Ziel-Knoten aufweisen (die als Punkt-zu-Punkt-Diensteanforderungen bezeichnet werden) sind in einem Verkehrsabschnitt beschrieben. Eine Kopfzeile **1501** für einen Verkehrsabschnitt umfasst:

[Verkehr]

[0137] Eine Beschreibungszeile **1602** für eine Punkt-zu-Punkt-Diensteanforderung umfasst eine numerische Identifikation für die Diensteanforderung, ein Quellen-Knoten-Etikett, ein Ziel-Knoten-Etikett, einen numerischen Wert, der die für den Dienst erforderliche Kapazität bezeichnet, eine Verkehrstyp-Identifikation und einen numerischen Wert, der die Anzahl von Routen bezeichnet, auf die der Gesamtkapazitätsbedarf aufzuteilen ist, sowie einen Aufteilungsmechanismus. Der Aufteilungsmechanismus kann ein Symbol * sein, das anzeigt, dass die Routen-Suchmaschine einen prozentualen aufgeteilten Teil von Verkehr über die angezeigte Anzahl von Routen bestimmt, statt dass diese Aufteilung in der Diensteausrüstung bestimmt wird. Ein Beispiel einer Beschreibungszeile für eine Verbindungsanforderung ist wie folgt:

```
983 n_1 n_8 165 Daten {5*}
```

[0138] Dieses Beispiel gibt an, dass eine Diensteanforderung, die als Diensteanforderung Nummer 983 identifiziert ist, eine Punkt-zu-Punkt-Anforderung für eine Diensteverbindung zwischen dem Knoten n_1 und dem Knoten n_8 mit einem Verbrauch von 165 Einheiten an Bandbreite umfasst, die 5 Knoten verwenden soll. Das Symbol bezeichnet, dass die prozentualen Anteile der Daten, die jede der 5 Routen durchqueren, durch die generische Routen-Suchmaschine bestimmt werden sollen.

[0139] Alternativ schließt die Punkt-zu-Punkt-Diensteanforderungs-Beschreibungszeile numerische Werte anstelle des Symbols * ein, die die prozentuale Aufteilung bezeichnen, beispielsweise die Aufteilung der Kapazität gleichförmig (50% zu 50%) über zwei Routen. Beispielsweise:

```
984 n_2 n_3 210 Sprache {2 50 50}
```

[0140] In diesem Beispiel überträgt die Diensteanforderung, die als Nummer 984 zwischen den Knoten n_2 und n_3 mit einem Kapazitätsverbrauch von 210 Einheiten identifiziert ist, Sprach-Datenverkehr über zwei Routen, die gleichmäßig mit 50% über jede Route aufgeteilt sind.

[0141] Daten, die Diensteanforderungen mit einem Quellen-Knoten und zwei oder mehr Ziel-Knoten beschreiben (die als Punkt-zu-Mehrpunkt-Diensteanforderungen bezeichnet werden) werden in einem Mehr-Punkt-Abschnitt beschrieben. Eine Kopfzeile für einen Mehrpunkt-Abschnitt **1604** umfasst:

[Mehrpunkt]

[0142] Eine Beschreibungszeile **1605**, die eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Dienstanforderung definiert, kann eine numerische Dienstanforderungs-Identifikation, ein Quellen-Knoten-Etikett eine Vielzahl von Ziel-Knoten-Etiketten und einen numerischen Wert umfassen, der die Kapazität bezeichnet, die von der Dienstanforderung benötigt wird. Beispielsweise:

985 n_1 {n_2 n_3} 160 Daten

[0143] Dieses Beispiel identifiziert eine Dienstanforderungs-Identifikation **985**, die eine Mehrpunkt-Verbindung zwischen dem Knoten n_1 und dem Knoten n_2 und n_3 mit einem Bitraten-Verbrauch von 160 Dateneinheiten ist und Verkehr vom Datentyp überträgt.

[0144] Daten, die Zwangsbedingungen für eine Dienstanforderung beschreiben, das heißt Knoten und/oder Verbindungsstrecken, die in einer für die Dienstanforderung gefundenen Route enthalten oder aus dieser ausgeschlossen sein sollten, werden in einem Zwangsbedingungen-Abschnitt beschrieben. Eine Kopfzeile **1606** für einen Zwangsbedingungen-Abschnitt umfasst:

[Zwangsbedingungen]

[0145] Eine Beschreibungszeile **1607**, die Verbindungsstrecken definiert, die in eine Route für eine bestimmte Dienstanforderung eingefügt werden sollten, umfasst einen numerischen Wert, der einer definierten Dienstanforderung entspricht (Punkt-zu-Punkt oder Punkt-zu-Mehrpunkt), das Wort „Einfügen“, das Wort „Verbindungsstrecke“ und eine Liste von einer oder mehreren Verbindungsstrecken, wobei jede aufgeführte Verbindungsstrecke zwei Endpunkte umfasst (wobei jeder Endpunkt ein Paar von Knoten-Etiketten und Ports umfasst), beispielsweise:

983 {Verbindungsstrecken-Einschluss {{{n_1 1}{n_2 1}{n_2 2}{n_3 2}}}}

[0146] Dieses Beispiel bezeichnet eine Dienstanforderung, die als Nummer 983 identifiziert ist und Verbindungsstrecken zwischen dem Port 1 des Knoten n_1 und dem Port des Knotens n_2 sowie dem Port 2 des Knotens n_2 und dem Port des Knotens n_3 einschließt.

[0147] In ähnlicher Weise könnte durch die vorstehenden Zwangsbedingungen eine Route oder Routen ausgeschlossen werden, die für die Dienstanforderung gefunden wurden, indem das Wort „Einschluss“ durch „Ausschluss“ ersetzt wird.

[0148] Eine Beschreibungszeile **1608**, die die aus einer Route oder aus Routen, die für eine bestimmte Dienstanforderung gefunden wurden, auszuschließenden Knoten definiert, umfasst eine numerische Dienstanforderungs-Identifikation, das Wort „Ausschluss“, das Wort „Knoten“ und eine Liste von Knoten-Etiketten, beispielsweise:

983 {Knoten-Ausschluss {n_2 n_6}}

[0149] Hierdurch werden die Knoten n_2 und n_6 aus Routen ausgeschlossen, die Dienstanforderungen übertragen, die durch die Identifikation **983** identifiziert sind.

[0150] In ähnlicher Weise könnten die vorstehenden Knoten für die Route oder die Routen, die für die Dienstanforderung gefunden wurden, durch Ersetzen des Wortes „Ausschluss“ durch „Einschluss“ eingeschlossen werden.

[0151] [Fig. 17](#) der beigefügten Zeichnungen erläutert ein Beispiel einer SAP-Format-Datei. Das in [Fig. 17](#) gezeigte Beispiel einer Datei schließt Abschnitte ein, die auf die Auswertungs-Funktion bezogene Parameter definieren. Daten, die Parameter beschreiben, die die genetischen Algorithmen der Routen-Suchmaschine berücksichtigen können, wenn Routen für Dienstanforderungen bestimmt werden, werden in einem Problem-Parameter-Abschnitt beschrieben. Eine Kopfzeile **1701** für einen Problem-Parameter-Abschnitt umfasst:

[Problem-Parameter]

[0152] Routenführungs-Zieldaten **409**, die die Routen-Suchmaschine berücksichtigt, wenn Routen für Dienstanforderungen gesucht werden, kann eine Bewertung gegeben werden, um zu bestimmen, welche Routenauswahl unter bestimmten Umständen durchzuführen ist. Wenn beispielsweise die Verwendung einer kürzestmöglichen Route für jede Verbindung doppelt so wichtig sein würde, wie der Ausgleich der Nutzung von

Knoten und Verbindungsstrecken über das Netzwerk hinweg, so könnten die Beschreibungszeilen **1702** bis **1703** für einen Problem-Parameter-Abschnitt folgendes einschließen:

Pfadlängen-Wertigkeit = 10

Ausgleichs-Wertigkeit = 5

[0153] Daten, die verschiedene Parameter einstellen, die von den genetischen Algorithmen der Routen-Suchmaschine verwendet werden, können in einem GA-Parameter-Abschnitt angegeben werden. Eine Kopfzeile **1704** für einen GA-Parameter-Abschnitt umfasst folgendes:

[GA-Parameter]

[0154] Die Beschreibungszeilen des GA-Parameter-Abschnittes umfassen Parameter und deren Werte, beispielsweise eine Anzahl von Wiederholungen für den Ablauf der genetischen Algorithmen in der Routen-Suchmaschine für Eingangsdaten, wobei dies durch folgendes eingestellt werden kann:

Schritte = 1000

[0155] In der Praxis können die in den [Fig. 12](#), [Fig. 16](#) und [Fig. 17](#) der beigegeführten Diagramme gezeigten SAP-Dateien in eine SAP-Datei eingefügt und in die Routen-Suchmaschine **401** eingegeben werden.

[0156] [Fig. 18](#) der beigegeführten Zeichnungen zeigt Schritte, die während des Schrittes **504** nach [Fig. 5](#) ausgeführt werden, der die genetischen Algorithmen der Routen-Suchmaschine anwendet, um Routen für die eingegebenen Diensteanforderungen zu finden.

[0157] Im Schritt **1801** werden die Parameter und Befehle in die Routen-Suchmaschine eingegeben. Die Parameter die eingegeben werden können, umfassen Variablen, die zur Steuerung der genetischen Algorithmen der Routen-Suchmaschine verwendet werden können. Den Variablen können Werte dadurch gegeben werden, dass ein „Satz“ verwendet wird, der einen Befehl der folgenden Form ausweist:

Satz<variablen-Name><Wert>

worin <Variablen-Name> der Name einer unterstützten Routen-Suchmaschinen-Variablen ist, und <Wert> ein der Variablen zuzuordnender Wert ist.

[0158] Die von der GA-Messungs-Maschine unterstützte Variablen umfassen folgendes:

Name	Bedeutung
crossoverProb	Kreuzungs-Wahrscheinlichkeit
mutationProb	Mutations-Wahrscheinlichkeit
poolSize	Größe der Population
miniParents	Minimale Anzahl von Eltern
maxParents	Maximale Anzahl von Eltern

Name	Bedeutung
subpopPercentOfChromosomes	Prozent der ausgewählten Population
lambda	Im exponentiellen Auswahlmechanismus verwendet
bestFitInnaccuracy	In Vereinigungs-Lösungen verwendet
tendencyPressure	Bei der Auswahl von Lösungen angewandter Druck
replacePressure	Bei der Vereinigung von Lösungen ausgeübter Druck
mergeMechanism	Bei der Vereinigung von Lösungen verwendeter Mechanismus
crossoverMechanism	Bei der Kreuzung verwendeter Mechanismus
noOfCrossoverPoints	Anzahl der Kreuzungspunkte
selectedMechanism	Zur Auswahl verwendeter Mechanismus
statsCollectionMechanism	Zur Auswahl verwendeter Mechanismus
statsCollectionMechanism	Sammelt Statistik, pro Erzeugung oder neuer Lösung
randomSeedMechanism	Mechanismus zur Erzeugung von Zufalls-Ausgangswerten
randomSeed	Verwendete Ausgangswerte von Zufalls-Zahlen
terminateAfterTime	Erzwinge Experiment-Beendigung nach Zeit
maximumTime	Maximal zugelassene Zeit
terminateAfterGens	Erzwinge Beendigung nach festgelegten Erzeugungen
maximumGens	Maximal zulässige Erzeugungen
maximumNoChangeGens	Maximale Anzahl von Erzeugungen, die ohne Auffinden einer neuen Lösung zugelassen sind
statsFileFormat	Format der Statistik-Datei
noExperiments	Anzahl der auszuführenden Experimente
experimentTime	Zulässige Gesamt-Experiments-Zeit
problemFileName	Name der Datei, die die Netzwerkdaten enthält
solutionFileName	Name der Datei, die zum Speichern der Lösung zu verwenden ist

Name	Bedeutung
statisticsFileName	Name der Datei, die zum Speichern von Statistik-Information zu verwenden ist
settingsFileName	Name der Datei, die zum Speichern der Routen-Suchmaschinen-Einstellungen zu verwenden ist
experimentFileName	Name der Datei, die experimentelle Definitionen enthält
summaryFileName	Name der Datei, die zum Speichern der Zusammenfassungs-Information zu verwenden ist
statsUpdateFreq	Häufigkeit, mit der Routen erzeugt werden
expStatsFileName	Name der Datei, die als Basis beim Berechnen der Dateinamen zu verwenden ist, die zum Speichern experimenteller Ergebnisse zu verwenden sind
steps	Anzahl der vor dem Stoppen auszuführenden Auswertungen
pathLengthWeight	Pfadlänge/Kosten-Bewertungskoeffizient für Objekt-Funktion
balancingWeight	Verbindungsstrecken-Nutzungs-Ausgleich-Bewertungskoeffizient für Objekt-Funktion
bestPathSeed	Verwende die besten Pfade zur Bildung eines Mitgliedes der Population
variables	Verwendet zum Holen einer Liste aller Variablen, die innerhalb der Routen-Suchmaschine modifiziert/gelesen werden können, das heißt die erste Spalte dieser Tabelle
numPaths	Die Anzahl der kürzesten Pfade, die jede Punkt-zu-Punkt-Verkehrs-anforderung zu berechnen sind
variables	Die innerhalb der Routen-Suchmaschine definierten Variablen
population	Die Bitfolgen, die die derzeitige Population bilden
diversity	Ein Gleitkomma-Wert zwischen 0 und 1 der die genetische Varietät der Population anzeigt. Ein Wert mehr an 0 zeigt eine weniger diverse Population an

Name	Bedeutung
statistics	Text, der das Betriebsverhalten der Routen-Suchmaschine beschreibt
cellLossWeight	Bewertung, die dem Zellenverlust-Ausdruck bei dem Routenführungs-Objekt zugeordnet ist
cellDelayWeight	Bewertung, die einem Zellenverzögerungs-Ausdruck in dem Routen-Objekt zugeordnet ist
linkReliabilityWeight	Bewertung, die einem Verbindungsstrecken-Zuverlässigkeits-Ausdruck in dem Routenführungs-Objekt zugeordnet ist
nodeReliabilityWeight	Bewertung, die einem Knoten-Zuverlässigkeits-Ausdruck in dem Routenführungs-Objekt zugeordnet ist
nodeUtilizationWeight	Knotennutzungs-Ausgleichs-Wertungskoeffizient in dem Routenführungs-Objekt

[0159] Wie dies anhand der vorliegenden [Fig. 5](#) erläutert wurde, schließen die Befehle, die in die Routen-Suchmaschine eingegeben werden können, eine „Befehls“ Anweisung ein. Die Befehls-Anweisungen werden von dem Maschinen-Steuerprozess **600** der generischen Routen-Suchmaschine **209** zum Laden oder Speichern von Dateien, zum Starten eines Optimierungs-Prozesses oder zur Beendigung des Betriebs der generischen Routen-Suchmaschine interpretiert. Eine Befehls-Anweisung hat eine Anzahl von unterschiedlichen Formen, unter Einschluss von:

- Befehl-Ende – dies bewirkt, dass die Routen-Suchmaschine normal beendet wird
- Befehl-Rücksetzen – bewirkt die Erzeugung einer zufälligen anfänglichen Population
- Befehl-Ablauf – beginnt die Suche nach Routen für eingegebene Diensteanforderungen
- Befehl-Laden/Speichern – ermöglicht es, dass Routen-Suchmaschinen-Daten von einem externen Speicher, wie zum Beispiel einem Plattenlaufwerk geladen oder auf diesem gespeichert werden. Routen-Suchmaschinen-Daten, die gespeichert oder geladen werden können, schließen die Parameter-Variablen und Werte ein, die vorstehend beschrieben wurden, sowie Routen, die von der Routen-Suchmaschine gefunden wurden.

[0160] Eine Batch- oder Stapel-Datei, die „Setzen-“ und „Befehls-“ Anweisungen umfasst, kann unter Verwendung eines Dateinamens geschaffen und gespeichert werden. Eine derartige Batch-Datei kann von der Routen-Suchmaschine durch einen Befehl ausgeführt werden:
<Dateiname> ausführen.

[0161] Im Schritt **1802** nach [Fig. 18](#) wird eine Verkehrs-Routenführungs-Darstellung erzeugt. Eine Darstellung von Routen, die von der Routen-Suchmaschine für eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindung für eine Diensteanforderung gefunden wurde, umfasst eine Folge von aneinander angrenzenden Bits.

[0162] [Fig. 19](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt einen Graphen **1901** der Knoten (die mit n_1 bis n_8 bezeichnet sind) und der Verbindungsstrecken. Für den Graphen **1901** wird eine Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung empfangen, die den Quellen-Knoten n_1 und die Ziel-Knoten n_2 , n_3 und n_7 spezifiziert. Diese Quellen- und Ziel-Knoten sind in der graphischen Darstellung schwarz gezeigt. In der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung nicht enthaltene Knoten schließen die Knoten n_4 , n_5 , n_6 und n_8 ein, wobei diese Knoten in dem Graphen **1901** als weiß oder schraffiert gezeigt sind. Um eine Verkehrs-Routenführungs-Darstellung zu erzeugen, erfordert jeder Knoten, der nicht in der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung enthalten ist, ein Bit an Datenspeicherung. Dies bedeutet, dass für den Graphen **1901** und die Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung 4 Bits erforderlich sind, um Daten über die Knoten n_4 , n_5 , n_6 und n_8 in der Reihenfolge zu speichern. In einer zweidimensionalen Darstellung einer Vielzahl von Knoten, die durch eine Vielzahl von Verbindungsstrecken verbunden sind, kann ein einziger Quellen-Knoten mit einer Vielzahl von Ziel-Knoten über eine Vielzahl von Verbindungsstrecken verbunden werden. Ein Muster von Verbindungsstrecken kann eine Baumstruktur bilden, wobei Knoten in dem Baum Stellen bilden, an denen Zweige des Baumes abgehen. Ein Steiner-Baum ist ein kleinster Baum, der alle Knoten eines bestimmten Satzes von Knoten verbindet. Unter einem kleinsten Baum wird ein Baum mit einer minimalen Anzahl von Verbindungsstrecken verstanden.

dungsstrecken verstanden. Die Bits, die Knoten entsprechen, die nicht in der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung enthalten sind, werden auf Null gesetzt, wenn sie einen Teil eines Steiner-Baumes für die Quellen- und Ziel-Knoten bilden, die in der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung enthalten sind, die als Steiner-Vertizes oder Steiner-Scheitelpunkte bezeichnet werden. Die Bits werden auf Null gesetzt, wenn sie keine Steiner-Vertizes sind. Für einen vorgegebenen Satz von Steiner-Vertizes kann ein Steiner-Baum unter Verwendung eines bekannten minimalen Spannbaum-Algorithmus erzeugt werden, wie zum Beispiel dem Prim-Kruskal-Algorithmus. Der minimale Spannbaum Algorithmus verbindet den Quellen-Knoten, die Ziel-Knoten und die Steiner-Vertizes miteinander. In dem Graphen **1901** ist lediglich der Knoten n_6 (der in [Fig. 19](#) schraffiert gezeigt ist) ein Steiner-Vertex für die Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung n_1 zu n_2 , n_3 , n_7 . Eine Bitfolge, die darstellt, ob Knoten, die nicht in der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung enthalten sind, für diese Verbindungsanforderung Steiner-Vertizes sind oder nicht, hat Werte für die Knoten n_4 , n_5 , n_6 , n_8 von 0, 0, 1 beziehungsweise 0. Der Graph **2503** zeigt einen Steiner-Baum von Steiner-Vertizes für Knoten, die in der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung n_1 zu n_2 , n_3 , n_7 enthalten sind und Knoten die den Wert 1 in der Darstellung für diese Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung haben (n_6).

[0163] Im Schritt **1803** nach [Fig. 18](#) verwendet die Routen-Suchmaschine die Verkehrs-Routen-Darstellung, um nach Routen für eingegebene Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderungen entsprechend den Parametern und Befehlen zu suchen, die im Schritt **1801** eingegeben wurden.

[0164] [Fig. 20](#) der beigefügten Zeichnungen zeigt die Schritte, die von der Routen-Suchmaschine für die Routenführung von Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderungen im Schritt **1803** nach [Fig. 18](#) ausgeführt werden. Im Schritt **2001** wird eine anfängliche Population, von der jedes Mitglied eine Bit-Folge umfasst, wie sie in dem Schritt **1802** zur Erzeugung einer Darstellung definiert ist, erzeugt. Die anfänglich erzeugte Population umfasst ein oder mehrere Mitglieder, wobei jedes Mitglied zufällige Bit-Werte hat. Zufällige Bit-Werte in den Bit-Folgen für jede Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung stellen alle zwischenliegenden Knoten in dem Netzwerk dar, das heißt Knoten, die nicht in der Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung enthalten sind und Werte von 1 haben, wenn sie als Steiner-Vertizes betrachtet werden, wie dies vorstehend beschrieben wurde, oder die andernfalls den Wert 0 haben. Der Ausgang eines anfänglichen Populations-Erzeugungsschrittes wird als eine derzeitige Population bezeichnet. Ein Fitness-Auswertungs-Prozess wird aufgerufen, um eine Fitness für jedes derzeitige Populations-Mitglied zu berechnen. Der Fitness-Auswertungs-Prozess ordnet einen numerischen Wert zu jedem Populations-Mitglied zu, damit die Mitglieder in einer Rangordnung aufgestellt und später in den Schritten der [Fig. 20](#) verwendet werden können. In der Routen-Suchmaschine zeigt der Fitness-Auswertungs-Prozess eine zunehmende Erstrebenswertigkeit eines Populations-Mitgliedes durch einen niedrigeren numerischen Fitness-Wert an, das heißt, der genetische Algorithmus der Routen-Suchmaschine sucht nach einem minimalen numerischen Wert. Der numerische Fitness-Wert für jedes Populations-Mitglied wird durch Berechnen eines Steiner-Baumes für jede Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung berechnet, die zu einer Bit-Folge in der vorstehend beschriebenen Weise führt. Die Kosten zum Durchqueren der Netzwerk-Verbindungsstrecken, die in dem Steiner-Baum für die Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung enthalten sind, werden berechnet, beispielsweise durch Addieren aller der Verbindungsstrecken-Kosten für jede Route in der Verbindung, und es wird ein numerischer Wert erzeugt. Ein numerischer Wert, der die Fitness-Auswertung für das Populations-Mitglied bezeichnet, wird dann durch Addieren der numerischen Kosten jeder Route für jede Punkt-zu-Mehrpunkt-Verbindungsanforderung in dem Populations-Mitglied berechnet, um einen numerischen Wert zu gewinnen.

[0165] Im Schritt **2002** erfolgt eine Populations-Reproduktion, um eine Zwischen-Population zu erzeugen. Die Zwischen-Population wird durch Abtasten – unter Ersetzung – der derzeitigen Population entsprechend einer Verteilung, die Fitnessbezogen und durch Parameter definiert ist, die in die Routen-Suchmaschine im Schritt **1801** eingegeben wurden, erzeugt. Die Zwischen-Population weist die gleiche Größe wie die derzeitige Population auf, und hat einen verringerten mittleren numerischen Fitness-Wert, das heißt sie ist wünschenswerter, verglichen mit dem der derzeitigen Population.

[0166] Im Schritt **2003** wird die Zwischen-Population genetisch manipuliert, um eine manipulierte Population zu erzeugen. Die genetische Manipulation beinhaltet Kreuzungs- und Mutations-Operationen. [Fig. 21](#) der beigefügten Diagramme erläutert ein Beispiel der genetischen Manipulation. Zwei Zwischen-Populations-Mitglieder, die jeweils eine Folge von neun Bits sind, sind gezeigt. Die Kreuzungs-Operation beinhaltet ein Vertauschen einer Anzahl von Bits eines Populations-Mitgliedes mit dem anderen, wobei die Anzahl der Bits durch Parameter bestimmt ist, die in die Routen-Suchmaschine im Schritt **1801** eingegeben wurden. In dem in [Fig. 21](#) gezeigten Beispiel umfasst ein erstes Zwischen-Populations-Mitglied die fünf äußersten linken Bits **2101** und die vier äußersten rechten Bits **2102**. Ein zweites Zwischen-Populations-Mitglied umfasst die fünf äu-

ßersten linken Bits **2103** und die vier äußersten rechten Bits **2104**. In dem dargestellten Beispiel nehmen wir an, dass der Kreuzungs-Operator so eingestellt ist, dass er die fünf äußersten linken Bits der Populations-Mitglieder vertauscht. Nachdem die Kreuzungs-Operation erfolgt ist, umfasst das erste Zwischen-Populations-Mitglied die fünf äußersten linken Bits **2103** und die vier äußersten rechten Bits **2102**, und das zweite Zwischen-Populations-Mitglied umfasst die fünf äußersten linken Bits **2101** und die vier äußersten linken Bits **2104**. Nachdem die Kreuzung erfolgt ist, wird eine bitweise Mutations-Operation auf die gekreuzten Populations-Mitglieder angewandt. Der verwendete Mutations-Operator wird durch Parameter bestimmt, die in die Routen-Suchmaschine im Schritt **1801** eingegeben wurden. In dem in [Fig. 21](#) gezeigten Beispiel führt die bitweise Mutations-Operation dazu, dass ein einzelnes Bit von jedem 9 Bit langen Populations-Mitglied invertiert wird.

[0167] Nach der Erzeugung der manipulierten Operation wird der Fitness-Auswertungs-Prozess aufgerufen, um die Fitness-Werte der manipulierten Population zu berechnen. Schließlich sortiert der genetische Manipulations-Prozess die manipulierte Population entsprechend dem Fitness-Wert.

[0168] Im Schritt **2004** wird ein Populations-Vereinigungsprozess ausgeführt. Die Funktion des Populations-Vereinigungsprozesses besteht darin, Mitglieder der derzeitigen, Zwischen- und manipulierten Population zu verwenden, um eine neue derzeitige Population zu bilden. Mechanismen, die in diesem Prozess zur Vereinigung der Populationen verwendet werden, werden durch einen speziellen Steuerparameter bestimmt, der im Schritt **1801** eingegeben wird. Im Schritt **2005** wird die Fitness der neuen, im Schritt **2004** erzeugten derzeitigen Population durch den Fitness-Auswertungsprozess ausgewertet, der vorstehend beschrieben wurde. In Abhängigkeit von der Anzahl der Iterationen von genetischen Operationen, die durchzuführen sind, bestimmt durch die Parameter, die im Schritt **1801** angegeben wurden, kann die Steuerung zum Schritt **2002** zurückgegeben werden, oder die genetischen Algorithmen können im Schritt **2006** enden.

[0169] Die Routen-Suchmaschine gibt eine Liste von Routen ab, die Populations-Mitglieder entsprechen, die den minimalen numerischen Fitness-Wert haben, das heißt den am stärksten wünschenswerten. Die Liste von Routen wird durch Auflisten der Knoten erzeugt, die in dem Anordnungs-Element des kürzesten Pfades, indiziert durch die Bits für jede Punkt-zu-Punkt-Verbindungsanforderung in dem fittesten Populations-Mitglied enthalten sind. Die Routen-Suchmaschine gibt eine Datei im SAP-Format mit einem Abschnitt aus, der die für die eingegebenen Diensteanforderungen gefundenen Routen beschreibt, wobei ein Beispiel hierfür in der vorliegenden [Fig. 22](#) angegeben ist. Eine Kopfzeile **2201** für einen Routen-Abschnitt umfasst folgendes:

[Routen]

[0170] Eine Beschreibungs-Zeile für einen Routen-Abschnitt hat das folgende Format:

```
{<Nr><Quelle><Ziel><Verkehrs-Typ>{<Routen>}}
```

worin:

<Nr> einen numerischen Wert umfasst, der eine Diensteanforderungs-Nummer entspricht.

<Quelle> ein Etikett des Quellen-Knotens der Punkt-zu-Punkt-Verbindungsanforderung.

<Ziel> ein Etikett eines Ziel-Knotens der Punkt-zu-Punkt-Verbindungsanforderung umfasst.

<Verkehrs-Typ> den Typ des routengeführten Verkehrs umfasst, beispielsweise Daten oder Sprache.

<Route> eine Spezifikation der Route umfasst, die für eine Punkt-zu-Punkt-Verbindungsanforderung gefunden wurde und die wie folgt spezifiziert ist:

```
{{n1 p1} {n2 p2} ... {nm pm}}
```

worin n_k ein Etikett eines Knotens in der gefundenen Route und p_k einen Port darstellt, der auf den Knoten verwendet wird. Ein Beispiel eines Routen-Abschnittes der Beschreibungszeile **2202** kann wie folgt sein:

```
{983 n_1 n_8 Daten} {n_1 1} {n_2 1} {n_6 1} {n_8 1}}
```

[0171] Eine SAP-Datei, die einen Routen-Abschnitt enthält, kann durch einen Routendaten-Nachprozessor **403** in eine Routenführungs-Tabelle umgewandelt werden, die für die externe Anwendung geeignet ist, die die Diensteanforderung gemacht hat.

[0172] Die [Fig. 23](#) der beigefügten Diagramme erläutert eine Bildschirmdarstellung, die die GUI **211** erzeugen kann, um graphisch eine Routenführungs-Tabelle unter Verwendung von Daten zu zeigen, die von der Routen-Suchmaschine **209** erzeugt werden. Die Bildschirmdarstellung umfasst ein Fenster mit einer Tabelle **2301** von der jede Zeile eine Diensteanforderung zwischen einem Quellen-Knoten und einem Ziel-Knoten des Netzwerkes und jede Spalte einen Sprungabschnitt (hop) darstellt, das heißt einen Knoten, der in einer Route enthalten ist, die für die Diensteanforderung gefunden wurde. Die Bildschirmdarstellung umfasst weiterhin zwei Auswahl-Knöpfe **2302**, die zum Darstellen von Routenführungs-Tabellen für den Verkehr von unterschiedli-

chen Typen verwendet werden können, beispielsweise Sprache oder Daten. Die Darstellung umfasst weiterhin ein horizontales Bildlauf-Piktogramm **2304** und ein vertikales Bildlauf-Piktogramm **2303**, die zur Anzeige von Verbindungsanforderungen und Sprungabschnitten verwendet werden können, die in der derzeitigen Darstellung nicht sichtbar sind.

[0173] **Fig. 24** der beigefügten Zeichnungen zeigt eine Bildschirmdarstellung, die ein Diagramm zeigt, das von der GUI **211** unter Verwendung von Daten erzeugt wird, die von der Routen-Suchmaschine **209** erzeugt wurden. Eine horizontale Achse **2401** des Diagramms zeigt die prozentuale Nutzung von Verbindungsstrecken in dem Netzwerk, während eine vertikale Achse **2402** der graphischen Darstellung die Häufigkeit der prozentualen Nutzung darstellt.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Suchen von Routen von Verbindungsstrecken für eine Vielzahl von Kommunikations-Verbindungen über ein Netzwerk, das eine Vielzahl von Knoten-Elementen (**101**; **301**) und Verbindungsstrecken-Elementen (**102**; **302**) umfasst, wobei jede Verbindung ein Quellen-Knoten-Element und eine Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen hat, wobei das Verfahren die folgenden maschinenausführbaren Schritte umfasst: Zuordnen von zumindest einem Verbindungsstrecken-Kosten-Wert (C1-C12) zu jedem Verbindungsstrecken-Element (**102**; **301**);

für jede Verbindung, deren Route zu führen ist, Auswerten eines Routen-Kosten-Wertes des Durchquerens einer Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen zwischen dem Quellen-Knoten-Element und der Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen; und

für alle die Verbindungen, deren Route zu führen ist, Auswerten der Gesamtkosten der Routen-Kosten-Werte; wobei das Verfahren **dadurch gekennzeichnet** ist, dass es für jede genannte Verbindung, deren Route zu führen ist, die folgenden Schritte einschließt: Auswählen eines Satzes von Knoten-Elementen (**101**; **301**) des Netzwerkes, die nicht in einem Quellen-Knoten-Element oder einer Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen der Verbindung enthalten sind; und Feststellen, welches der Knoten-Elemente in dem Satz Steiner-Vertizes sind.

2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Satz von Knoten-Elementen (**102**; **302**) durch eine Folge von Bits (**1902**) dargestellt ist, wobei ein Bit in der Folge einen Wert von 1 hat, wenn das durch dieses Bit dargestellte Knoten-Element als ein Steiner-Vertex markiert ist, und ein Bit in der Folge einen Wert von 0 hat, wenn das durch dieses Bit dargestellte Knoten-Element nicht als ein Steiner-Vertex markiert ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Schritt der Auswertung eines Routen-Kosten-Wertes die folgenden Schritte umfasst:

Schaffen eines Steiner-Baumes (**610**), der Knoten in jeder genannten Verbindung, deren Route zu führen ist, und Knoten in den Satz einschließt, die als Steiner-Vertizes markiert sind; und Addieren der Kosten-Werte (**609**) des Durchquerens jeder Verbindungsstrecke in dem Steiner-Baum.

4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei der die Folge von Bits unter Verwendung von genetischen Algorithmus-Operationen (**606**), manipuliert wird, die die Reproduktion, die Mutation, die Kreuzung und die Vereinigung einschließen.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Kosten-Wert oder die Kosten-Werte, die dem Verbindungsstrecken-Element oder den Verbindungsstrecken-Elementen zugeordnet sind, einem Daten-Typ zugeordnet werden, und wobei das Verfahren den Schritt der:

Zuordnung eines Daten-Typs zu allen oder einigen der Verbindungen umfasst, deren Route zu führen ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, das den Schritt der:

Auswahl von einem oder mehreren Knoten-Elementen (**101**; **301**) und/oder eines oder mehrerer der Verbindungsstrecken-Elemente (**102**; **302**) umfasst, die in die für eine oder mehrere der Verbindungen, deren Route zu führen ist, gefundene Route einzufügen oder aus dieser auszuschließen sind.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, das den Schritt der:

Ausgabe der Routen mit minimalen Gesamtkosten (**605**) umfasst.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem eine Vielzahl von Routen für jede genannte Verbindung, deren Route zu führen ist, gefunden wird, wobei die Routen-Kosten für jede der Vielzahl von Routen

nicht die Verbindungs-Kosten der Verbindung überschreiten, deren Route zu führen ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die für alle die genannten Verbindungen gefundenen Routen bestrebt sind, so viele der Knoten-Elemente (**101**; **301**) und Verbindungsstrecken-Elemente (**102**; **302**) des Netzwerkes wie möglich zu verwenden.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die Gesamtkosten der Routen-Kosten-Werte aller der Verbindungen, deren Route zu führen ist, als ein Fitness-Kriterium (**609**) in einem genetischen Algorithmus verwendet werden.

11. Routen-Suchvorrichtung (**207**) zum Suchen von Routen von Verbindungsstrecken für eine Vielzahl von Kommunikationsverbindungen über ein Netzwerk, das eine Vielzahl von Knoten-Elementen (**101**; **301**) und Verbindungsstrecken-Elementen (**102**; **302**) umfasst, wobei jede Verbindung ein Quellen-Knoten-Element und eine Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen aufweist, wobei die Vorrichtung folgendes umfasst:

Einrichtungen zum Zuordnen von zumindest einem Verbindungsstrecken-Kosten-Wert (C1-C12) zu jedem Verbindungsstrecken-Element (**102**; **302**);

Einrichtungen zum Auswerten eines Routen-Kosten-Wertes des Durchquerens einer Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen zwischen den Quellen-Knoten-Elementen und der Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen für jede Verbindung, deren Route zu führen ist; und

Einrichtungen zum Auswerten der Gesamtkosten der Routen-Kosten-Werte für alle Verbindungen, deren Route zu führen ist;

wobei die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, dass sie folgendes einschließt: Einrichtungen zur Auswahl eines Satzes von Knoten-Elementen (**101**; **301**) des Netzwerkes, die nicht in einem Quellen-Knoten-Element oder einer Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen der Verbindung enthalten sind; und Einrichtungen zur Feststellung, welche der Knoten-Elemente in dem Satz Steiner-Vertizes für jede genannte Verbindung sind, deren Route zu führen ist.

12. Netzwerk-Steuerung (**104**), die die Routen-Suchvorrichtung nach Anspruch 11 einschließt.

13. Telekommunikationsnetzwerk, das die Netzwerk-Steuerung (**104**) nach Anspruch 12 einschließt.

14. Maschinenlesbares Medium, das Computer-Code-Einrichtungen umfasst, die auf einem Prozessor (**202**) der Netzwerk-Steuerung (**104**) nach Anspruch 12 ausführbar sind, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zu realisieren.

15. Verfahren zum Suchen von Routen von Verbindungsstrecken für eine Vielzahl von Kommunikations-Verbindungen über ein Netzwerk, das eine Vielzahl von Knoten-Elementen (**101**; **301**) und Verbindungsstrecken-Elementen (**102**; **302**) umfasst, wobei jede Verbindung ein Quellen-Knoten-Element und eine Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen hat, wobei das Verfahren die folgenden maschinenausführbaren Schritte umfasst: Zuordnen von zumindest einem Verbindungsstrecken-Kosten-Wert (C1-C12) zu jedem Verbindungsstrecken-Element (**102**; **301**);

für jede Verbindung, deren Route zu führen ist, Auswerten eines Routen-Kosten-Wertes des Durchquerens einer Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen zwischen dem Quellen-Knoten-Element und der Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen; und

für alle die Verbindungen, deren Route zu führen ist, Auswerten der Gesamtkosten der Routen-Kosten-Werte; wobei das Verfahren dadurch gekennzeichnet ist, dass es für jede genannte Verbindung, deren Route zu führen ist, die folgenden Schritte einschließt: Auswählen eines Satzes von Knoten-Elementen (**101**; **301**) des Netzwerkes, die nicht in einem Quellen-Knoten-Element oder einer Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen der Verbindung enthalten sind; und Feststellen, welches der Knoten-Elemente in dem Satz Steiner-Vertizes sind.

16. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem der Satz von Knoten-Elementen (**102**; **302**) durch eine Folge von Bits (**1902**) dargestellt ist,

wobei ein Bit in der Folge einen Wert von 1 hat, wenn das durch dieses Bit dargestellte Knoten-Element als ein Steiner-Vertex markiert ist, und

ein Bit in der Folge einen Wert von 0 hat, wenn das durch dieses Bit dargestellte Knoten-Element nicht als ein Steiner-Vertex markiert ist.

17. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem der Schritt der Auswertung eines Routen-Kosten-Wertes die folgenden Schritte umfasst:

Schaffen eines Steiner-Baumes (**610**), der Knoten in jeder genannten Verbindung, deren Route zu führen ist,

und Knoten in den Satz einschließt, die als Steiner-Vertizes markiert sind; und Addieren der Kosten-Werte (**609**) des Durchquerens jeder Verbindungsstrecke in dem Steiner-Baum.

18. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, bei der die Folge von Bits unter Verwendung von genetischen Algorithmus-Operationen (**606**), manipuliert wird, die die Reproduktion, die Mutation, die Kreuzung und die Vereinigung einschließen.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, bei dem der Kosten-Wert oder die Kosten-Werte, die dem Verbindungsstrecken-Element oder den Verbindungsstrecken-Elementen zugeordnet sind, einem Daten-Typ zugeordnet werden, und wobei das Verfahren den Schritt der:
Zuordnung eines Daten-Typs zu allen oder einigen der Verbindungen umfasst, deren Route zu führen ist.

20. Verfahren nach einem Ansprüche 1 bis 5, das den Schritt der:
Auswahl von einem oder mehreren Knoten-Elementen (**101**; **301**) und/oder eines oder mehrerer der Verbindungsstrecken-Elemente (**102**; **302**) umfasst, die in die für eine oder mehrere der Verbindungen, deren Route zu führen ist, gefundene Route einzufügen oder aus dieser auszuschließen sind.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, das den Schritt der:
Ausgabe der Routen mit minimalen Gesamtkosten (**605**) umfasst.

22. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, bei dem eine Vielzahl von Routen für jede genannte Verbindung, deren Route zu führen ist, gefunden wird, wobei die Routen-Kosten für jede der Vielzahl von Routen nicht die Verbindungs-Kosten der Verbindung überschreiten, deren Route zu führen ist.

23. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, bei dem die für alle die genannten Verbindungen gefundenen Routen bestrebt sind, so viele der Knoten-Elemente (**101**; **301**) und Verbindungsstrecken-Elemente (**102**; **302**) des Netzwerkes wie möglich zu verwenden.

24. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, bei dem die Gesamtkosten der Routen-Kosten-Werte aller der Verbindungen, deren Route zu führen ist, als ein Fitness-Kriterium (**609**) in einem genetischen Algorithmus verwendet werden.

25. Routen-Suchvorrichtung (**207**) zum Suchen von Routen von Verbindungsstrecken für eine Vielzahl von Kommunikationsverbindungen über ein Netzwerk, das eine Vielzahl von Knoten-Elementen (**101**; **301**) und Verbindungsstrecken-Elementen (**102**; **302**) umfasst, wobei jede Verbindung ein Quellen-Knoten-Element und eine Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen aufweist, wobei die Vorrichtung folgendes umfasst:
Einrichtungen zum Zuordnen von zumindest einem Verbindungsstrecken-Kosten-Wert (C1-C12) zu jedem Verbindungsstrecken-Element (**102**; **302**);
Einrichtungen zum Auswerten eines Routen-Kosten-Wertes des Durchquerens einer Vielzahl von Verbindungsstrecken-Elementen zwischen den Quellen-Knoten-Elementen und der Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen für jede Verbindung, deren Route zu führen ist; und
Einrichtungen zum Auswerten der Gesamtkosten der Routen-Kosten-Werte für alle Verbindungen, deren Route zu führen ist;
wobei die Vorrichtung dadurch gekennzeichnet ist, dass sie folgendes einschließt: Einrichtungen zur Auswahl eines Satzes von Knoten-Elementen (**101**; **301**) des Netzwerkes, die nicht in einem Quellen-Knoten-Element oder einer Vielzahl von Ziel-Knoten-Elementen der Verbindung enthalten sind; und Einrichtungen zur Feststellung, welche der Knoten-Elemente in dem Satz Steiner-Vertizes für jede genannte Verbindung sind, deren Route zu führen ist.

26. Netzwerk-Steuerung (**104**), die die Routen-Suchvorrichtung nach Anspruch 11 einschließt.

27. Telekommunikationsnetzwerk, das die Netzwerk-Steuerung (**104**) nach Anspruch 12 einschließt.

28. Maschinenlesbares Medium, das Computer-Code-Einrichtungen umfasst, die auf einem Prozessor (**202**) der Netzwerk-Steuerung (**104**) nach Anspruch 12 ausführbar sind, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10 zu realisieren.

Es folgen 24 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

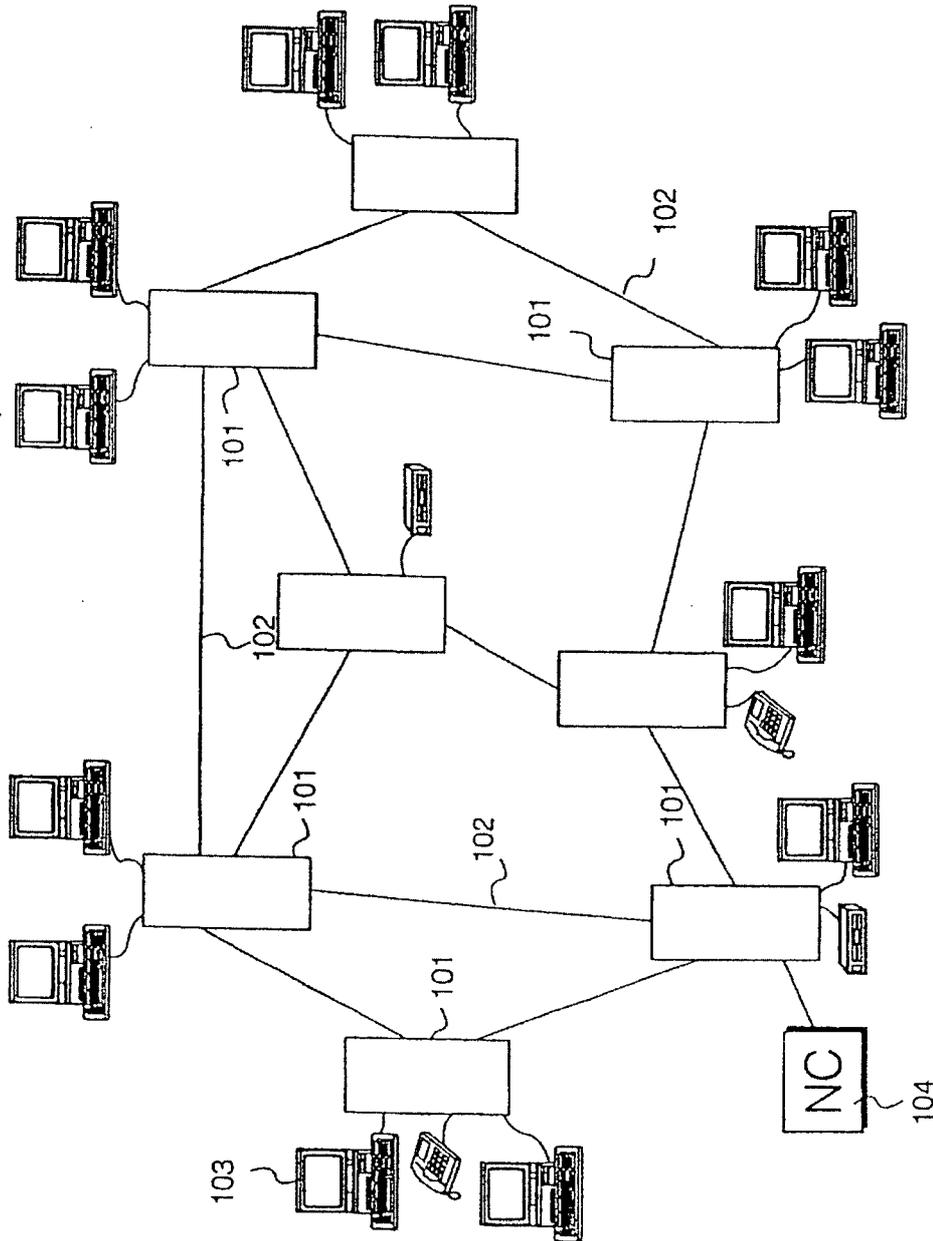


Fig. 1

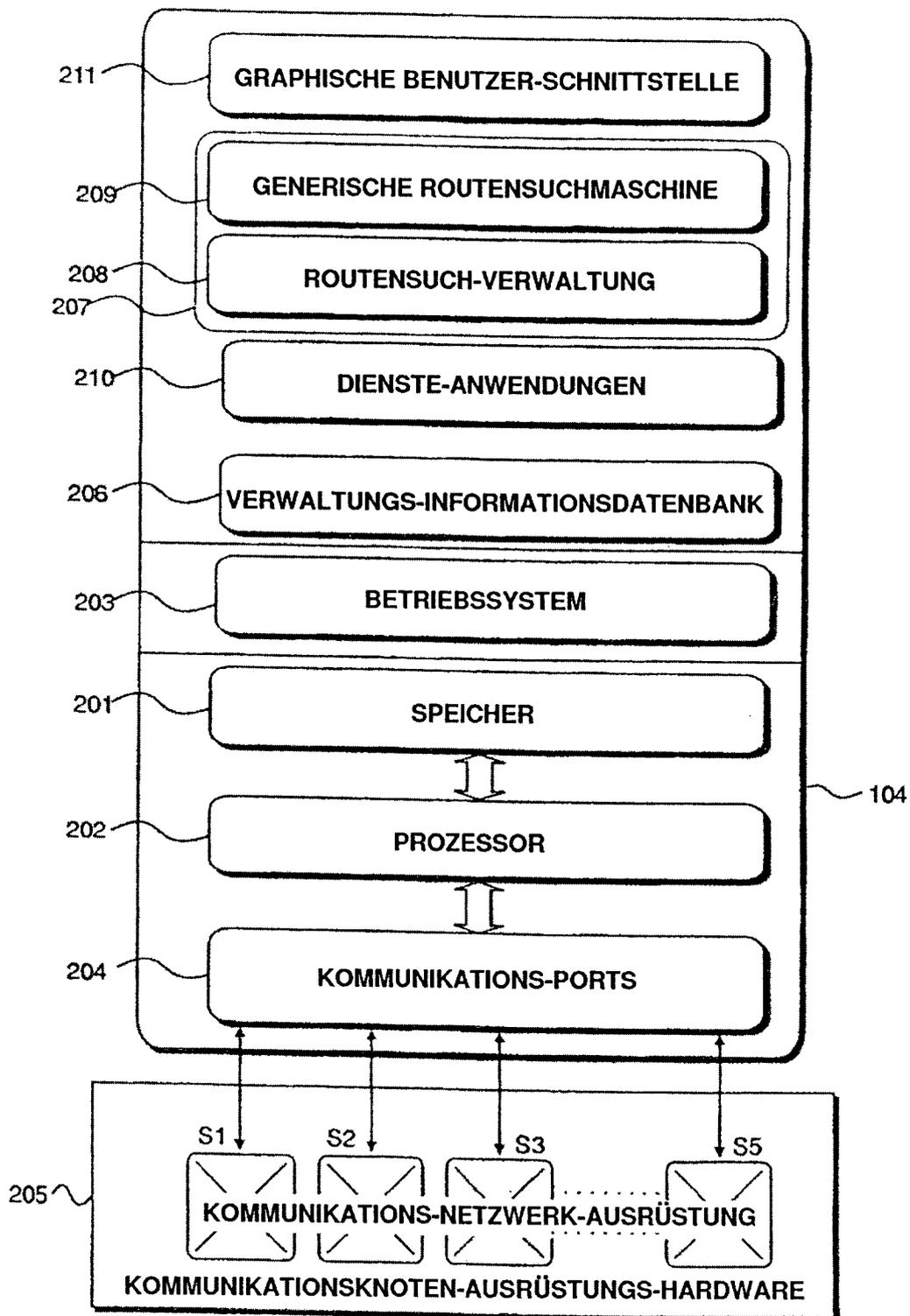


Fig. 2

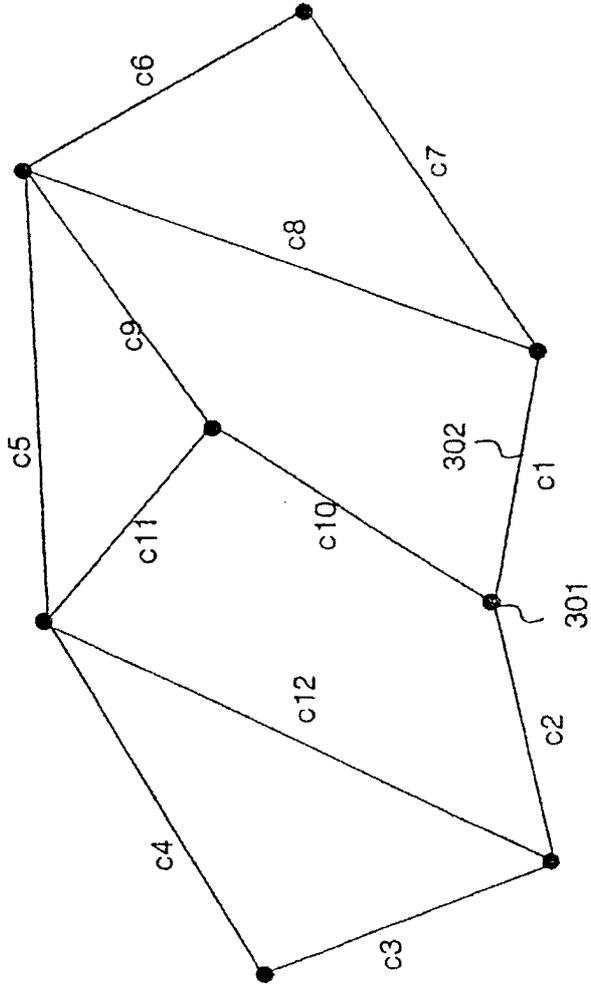


Fig. 3

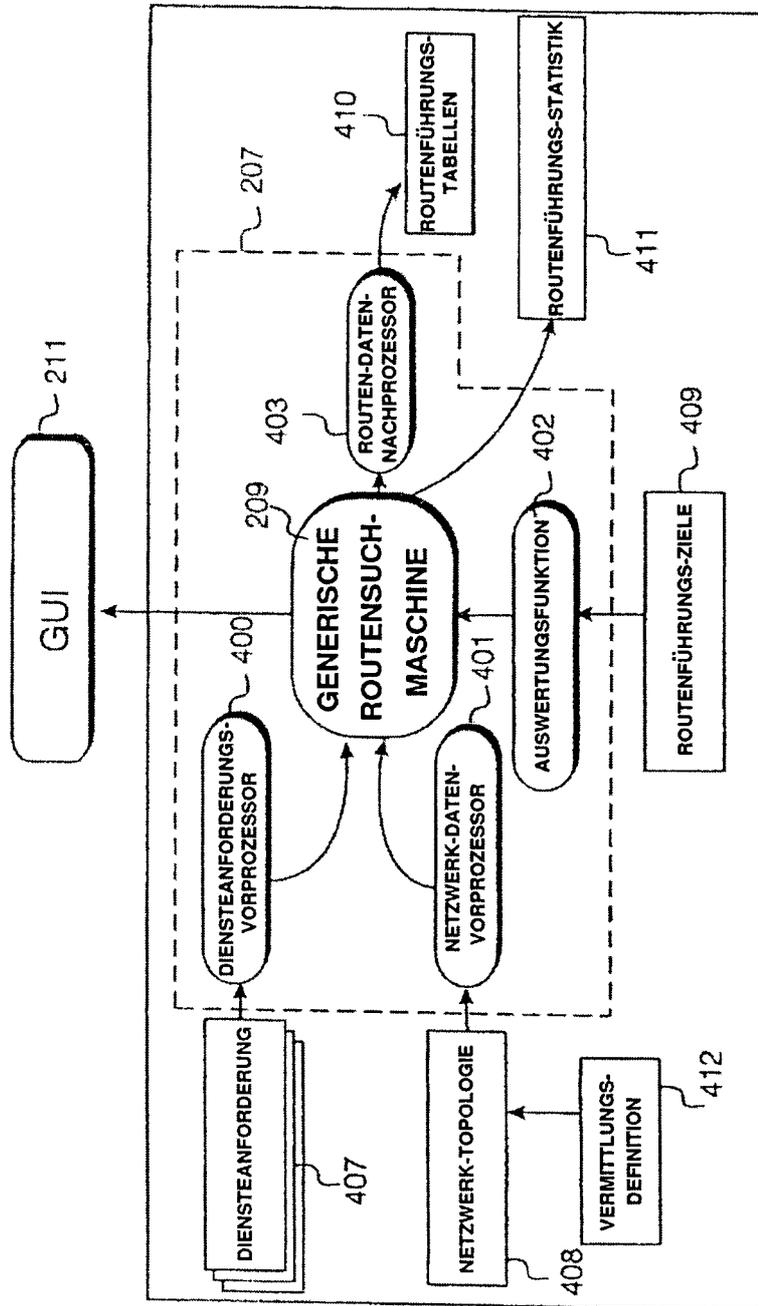


Fig. 4

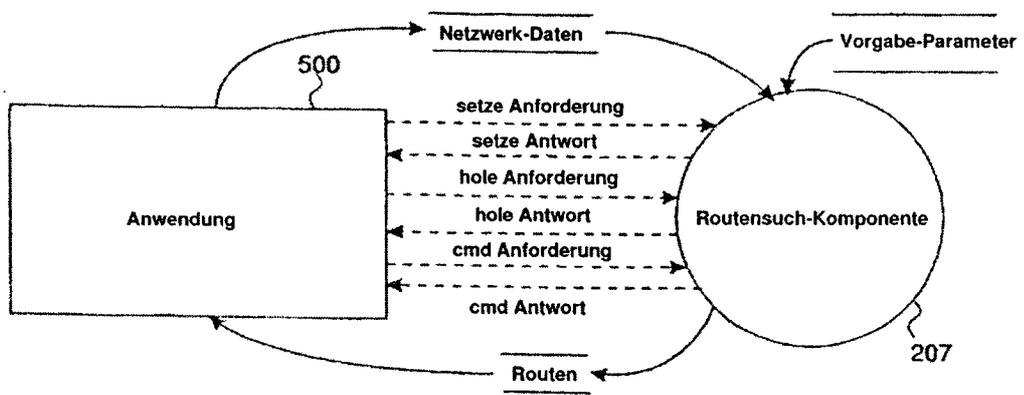


Fig. 5

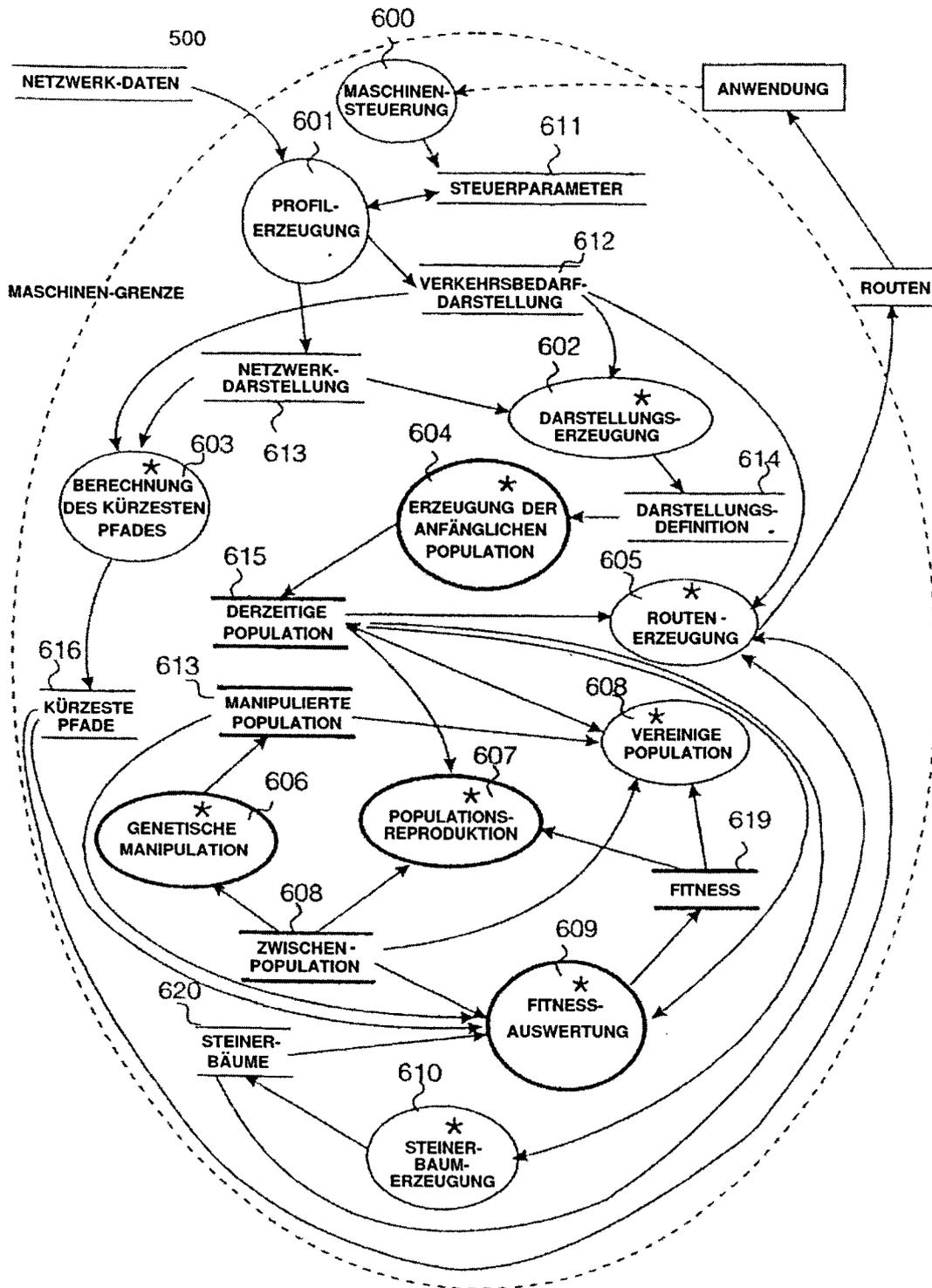


Fig. 6

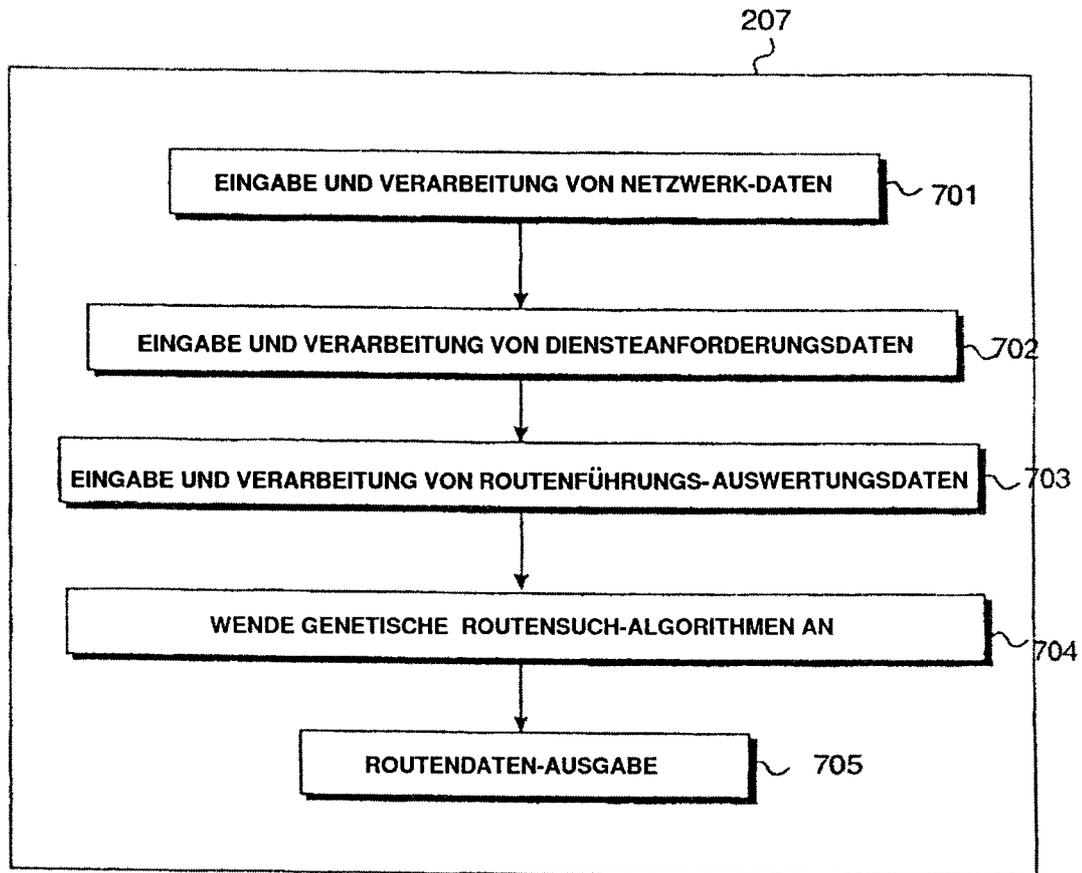


Fig. 7

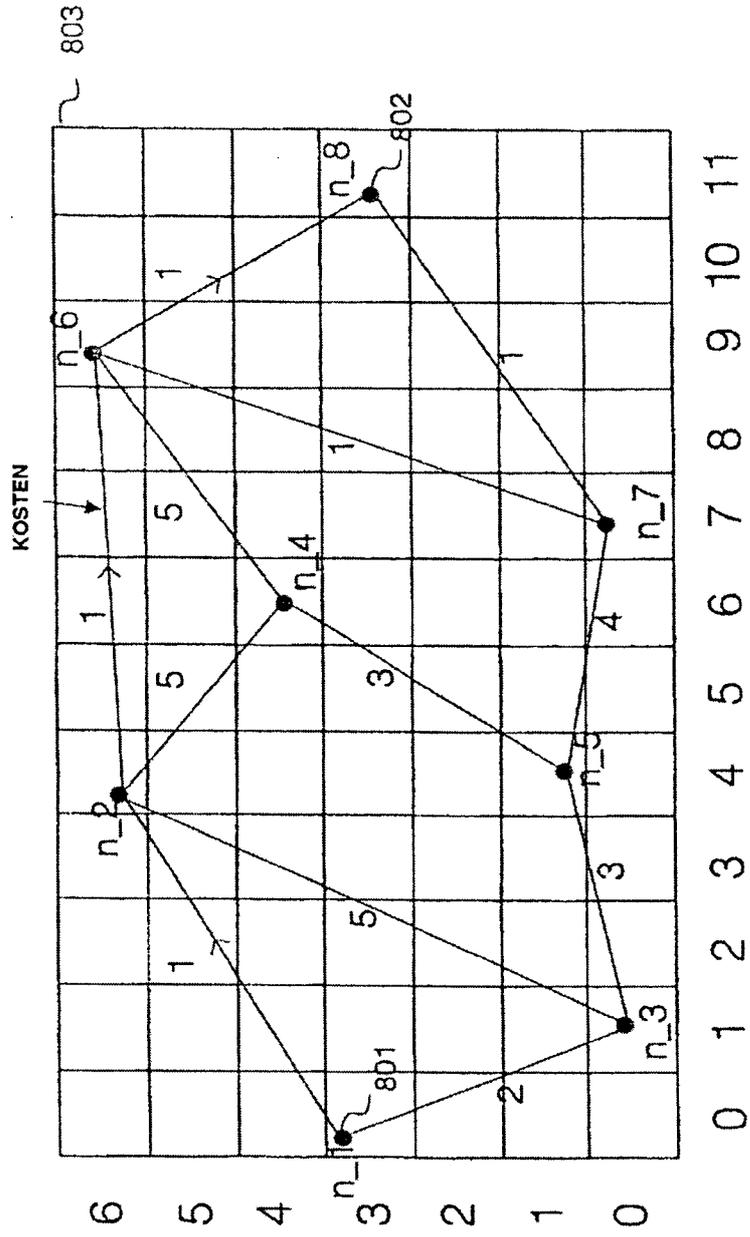


Fig. 8

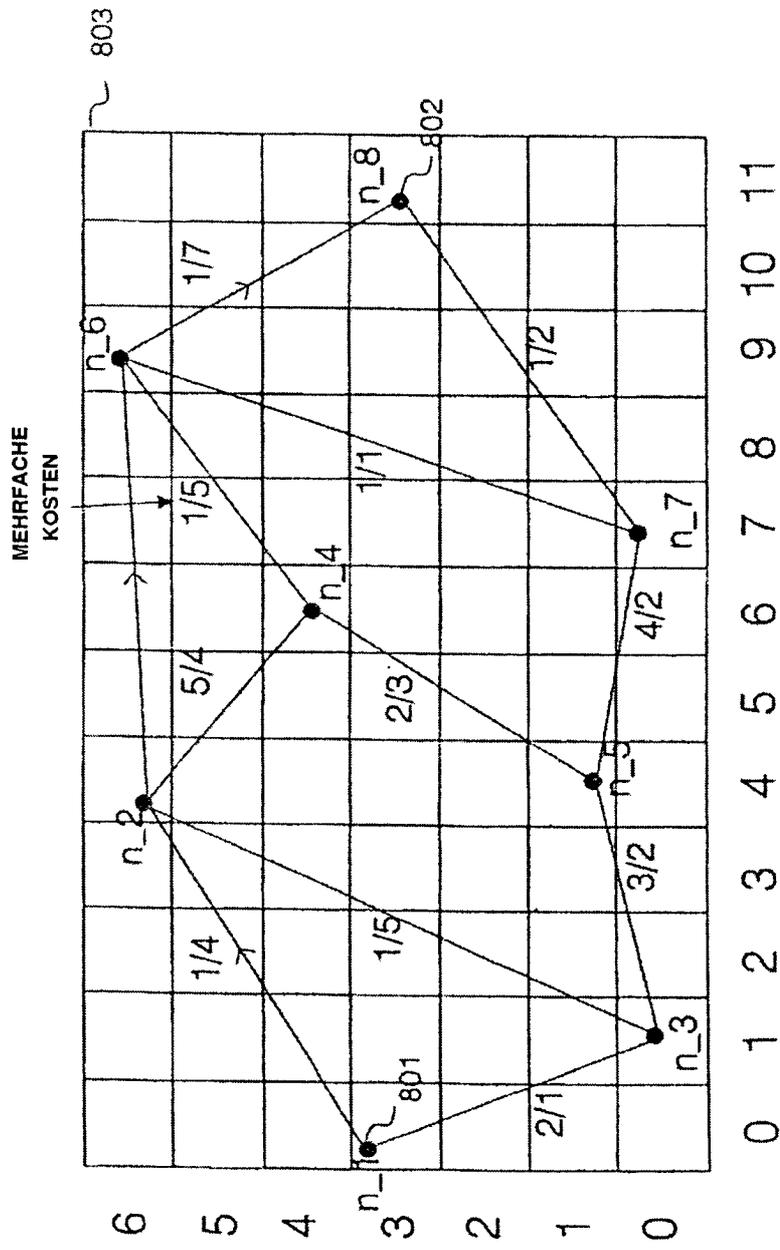


Fig. 9

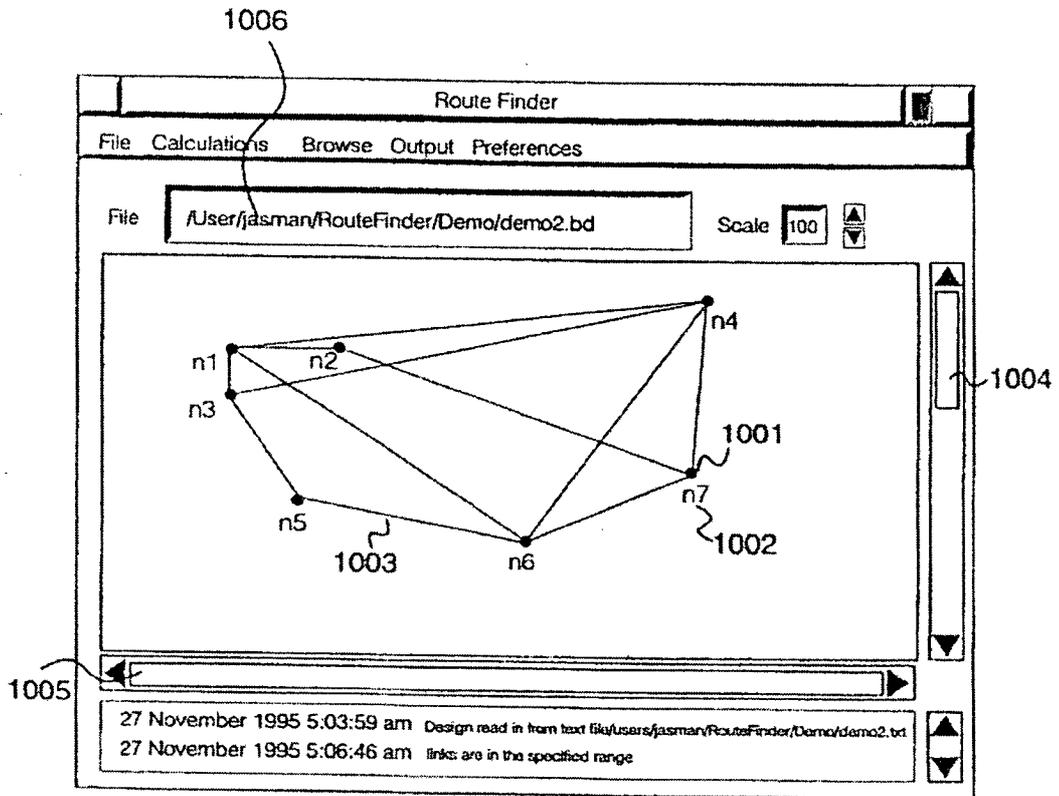


Fig. 10

1101

Edit n1_0-n2_0

Link name: n1_0-n2_0

Duplex Operational

Full Duplex Half Duplex 1102

Kapazität **Typ**

0
83
252
1008 1103

berechnet
Benutzerdefiniert
Zwangsbedingung

Kosten

Sprach-Verkehrselement 0 1104

Daten-Verkehrselement 10 1105

Wert 0

Zuverlässigkeit (%): 100.00

Apply Close

Fig. 11

[nodes] ~ 1201
n_1 {031} ~ 1202
n_2 {461}
n_3 {101}

[links] ~ 1203
{n_1 1} {n_2 1} 622 NetworkLinkDuplex ~ 1204
{n_1 2} {n_3 1} 602 NetworkLinkDuplex
{n_2 2} {n_3 1} 622 NetworkLinkDuplex

[linkstate] ~ 1205
{n_1 1} {n_2 1} 402 ~ 1206

[nodestate] ~ 1207
n_1 1 ~ 1208

[linkReliability] ~ 1209
{n_1 1} {n_2 1} 0.999 ~ 1210

[nodeReliability] ~ 1211
n_1 0.999 ~ 1212

[costs] ~ 1213
{n_1 1} {n_2 3} {{data 1} voice 2}} ~ 1214

Fig. 12

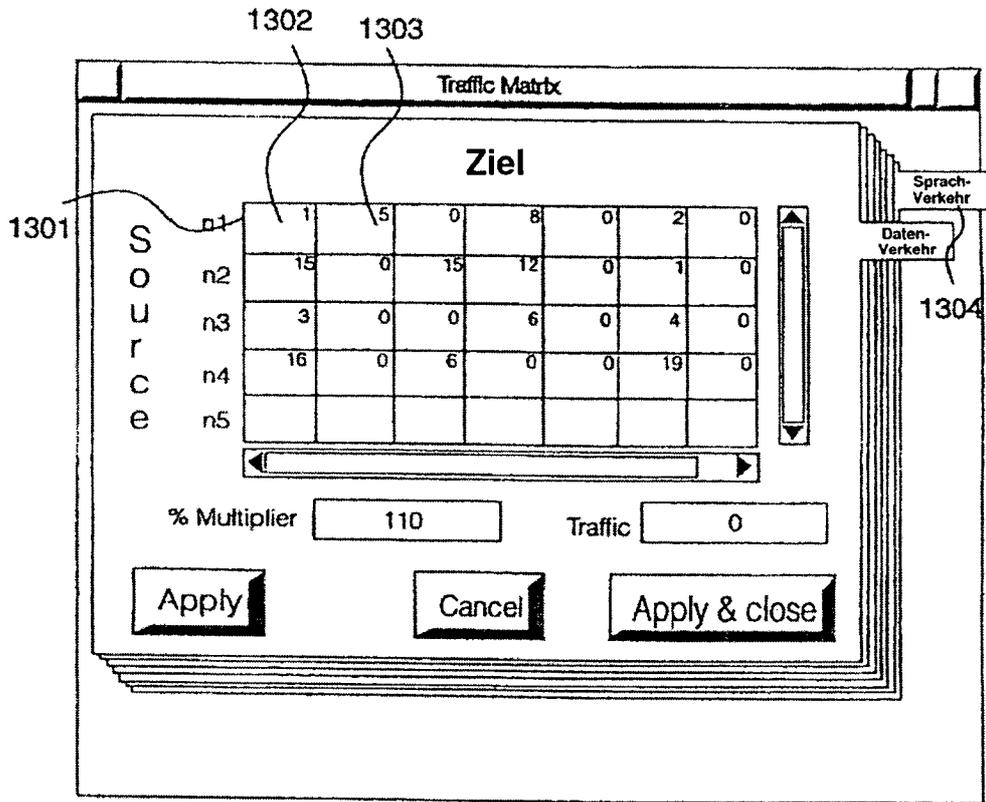


Fig. 13

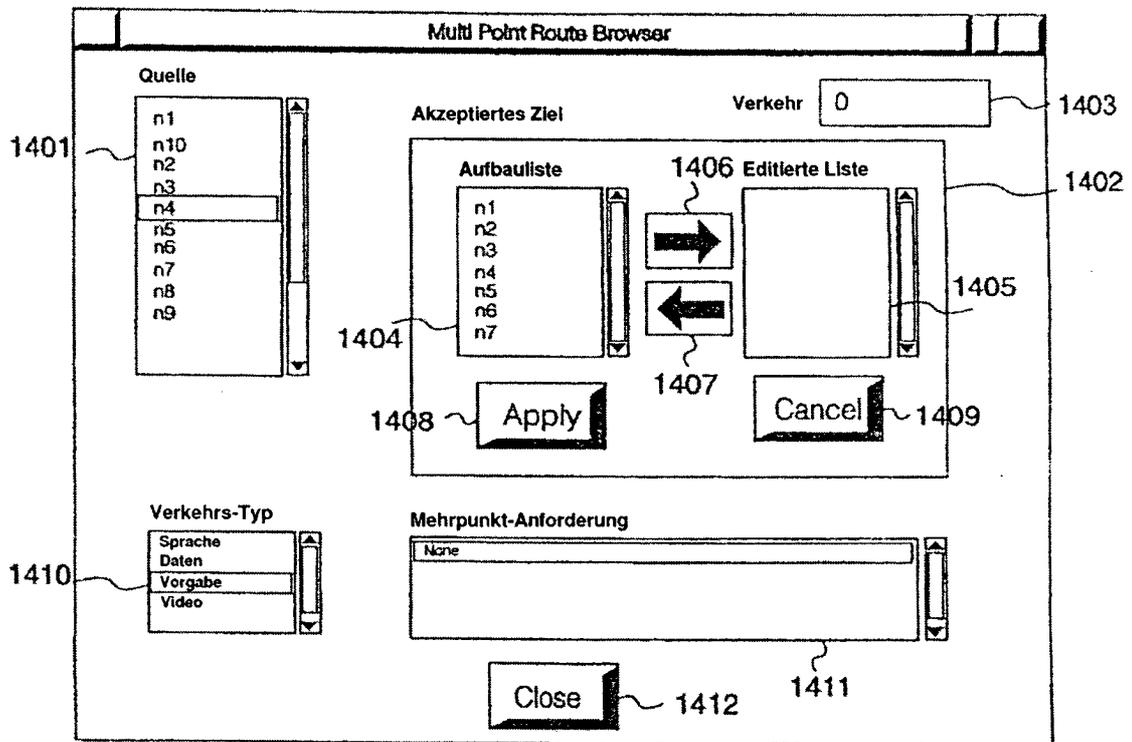


Fig. 14

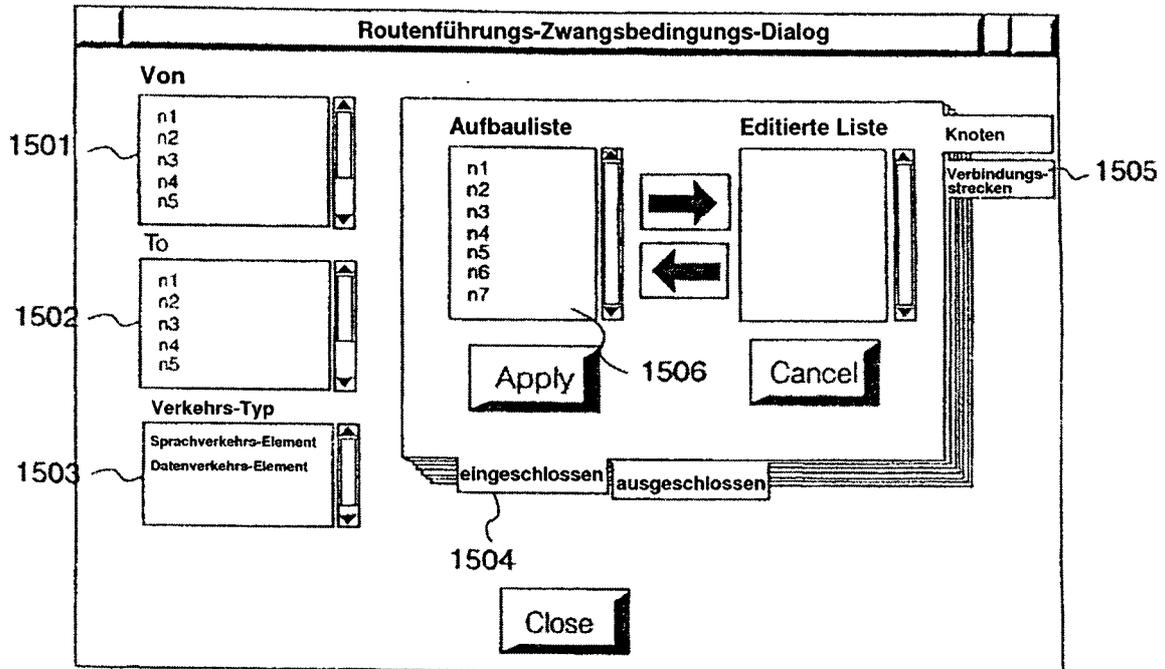


Fig. 15

[traffic] ~ 1601
983 n_1 n_8 165 data {5*} ~ 1602
984 n_2 n_7 210 voice {2 50 50} ~ 1603

[multipoint] ~ 1604
985 n_1 {n_2 n_3} 160 ~ 1605

~ 1606
[constraints]
983 {include links}{{n_1 1}{n_2 1} {n_2 2}{n_3 2}} ~ 1607
983 {exclude nodes {n_5 n_6}} ~ 1608

Fig. 16

[problemparameters] ~ 1701
pathlengthWeight=10 ~ 1702
balancingWeight=5 ~ 1703

[gaparameters] ~ 1704
steps=1000
statsUpdateFreq=500

Fig. 17

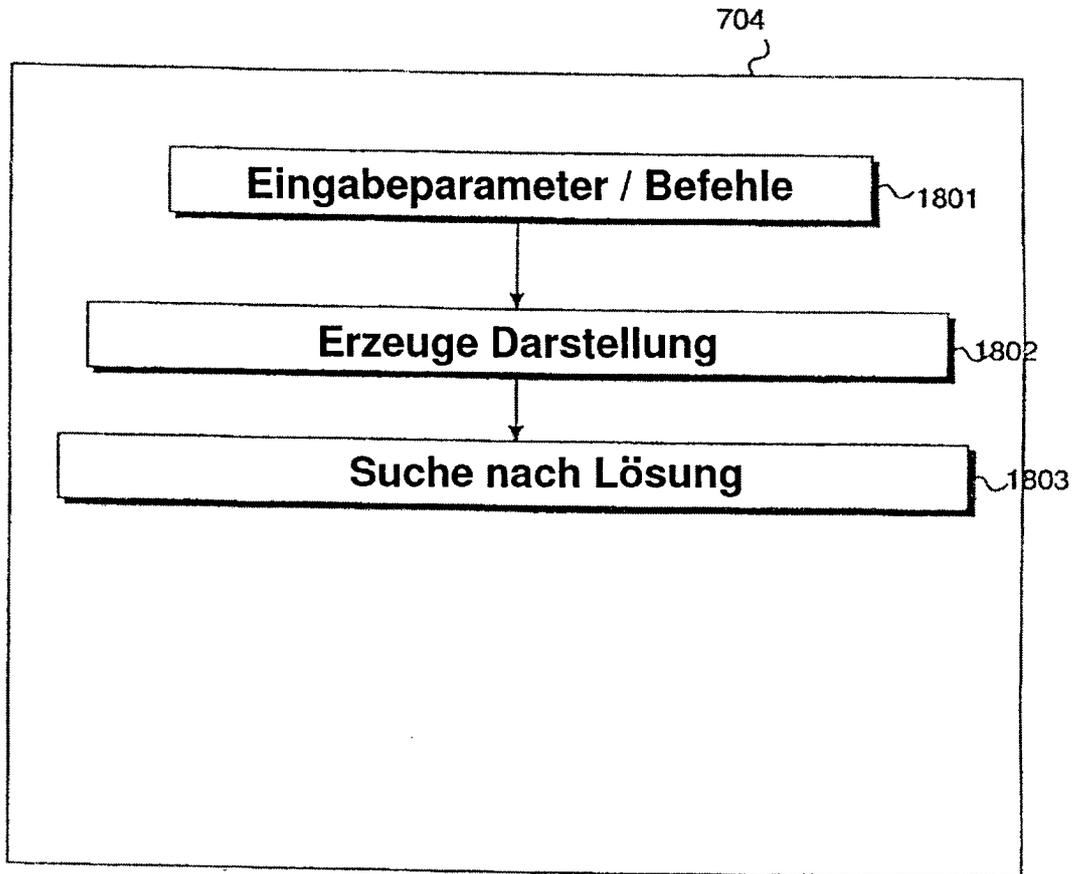


Fig. 18

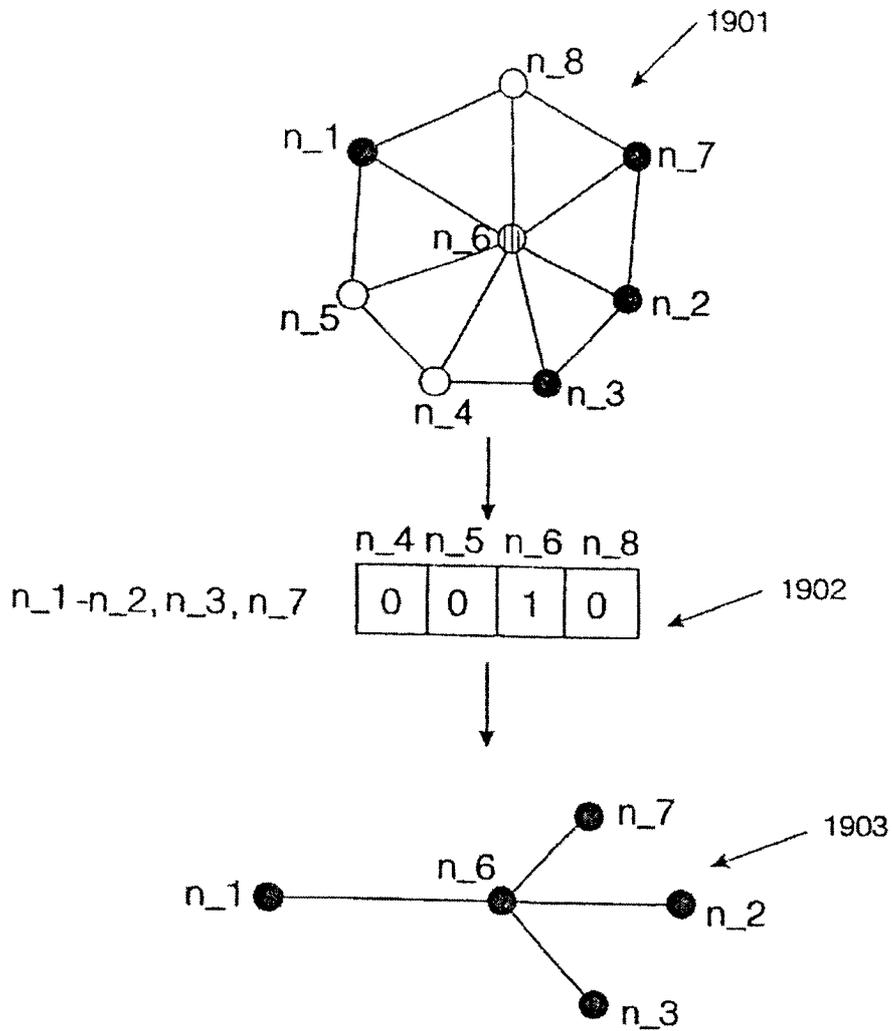


Fig. 19

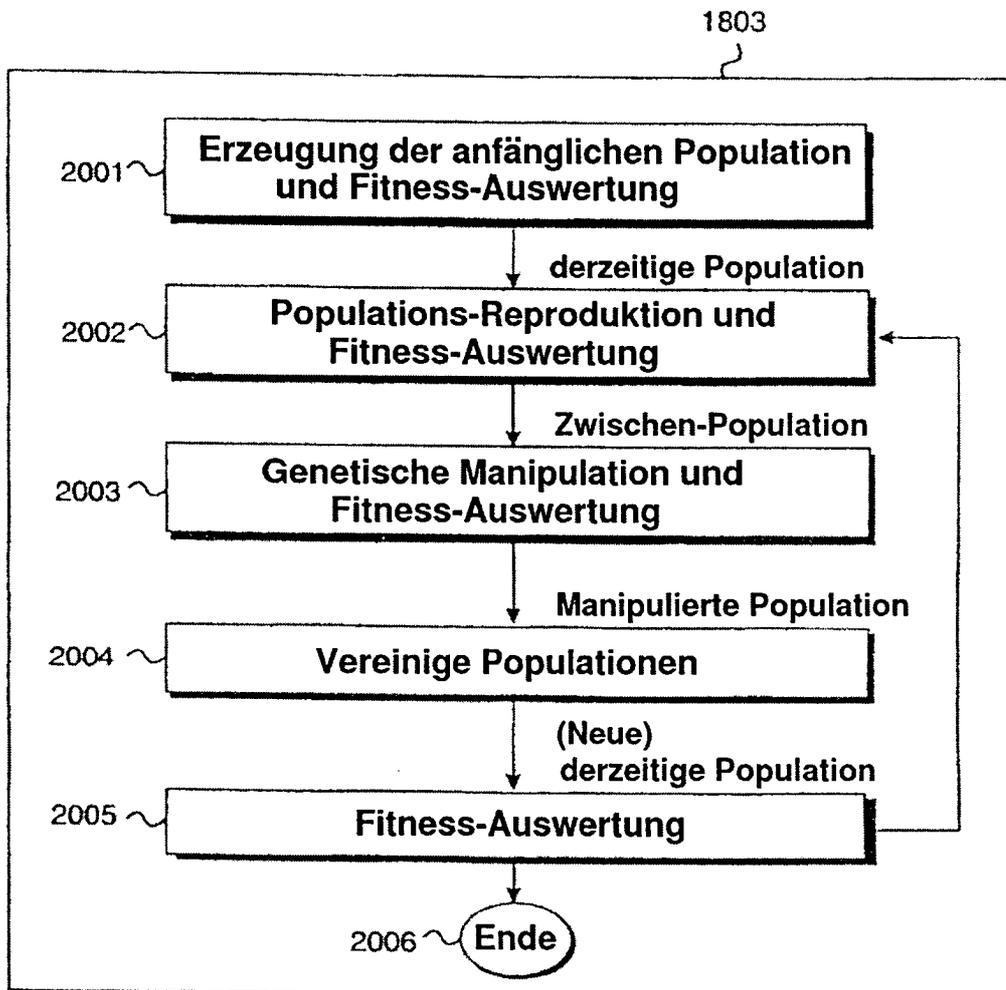


Fig. 20

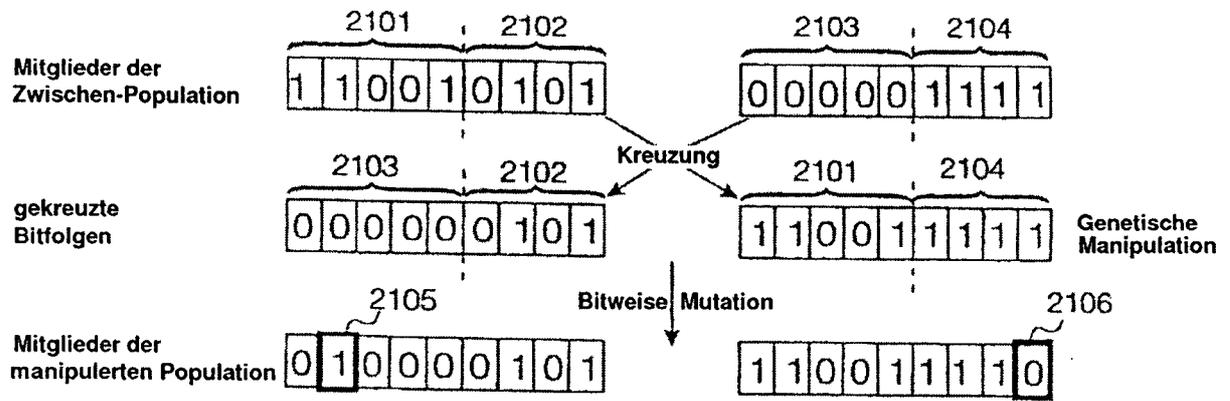


Fig. 21

[routes] ²²⁰¹
{983 n_1 n_8 data{{n_1 1}{n_2 1}{n_6 1}{n_8 1}} ²²⁰²
{984 n_2 n_7 voice {{n_2 2}{n_4 1}{n_5 1}{n_7 1}}

Fig. 22

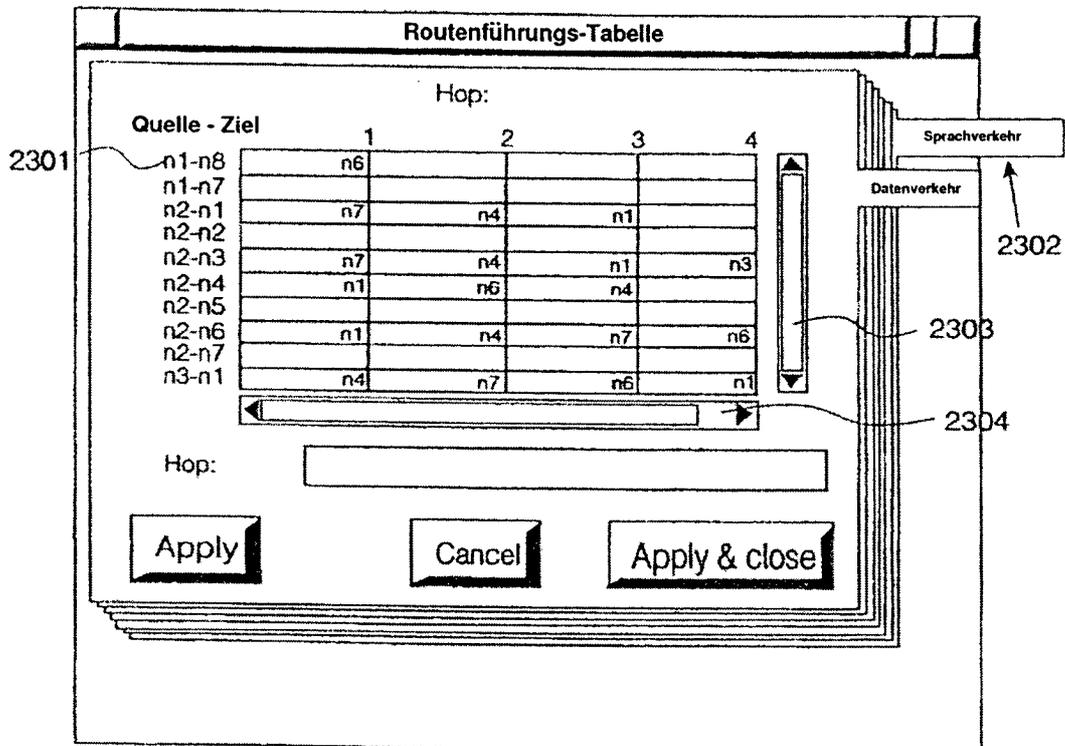


Fig. 23

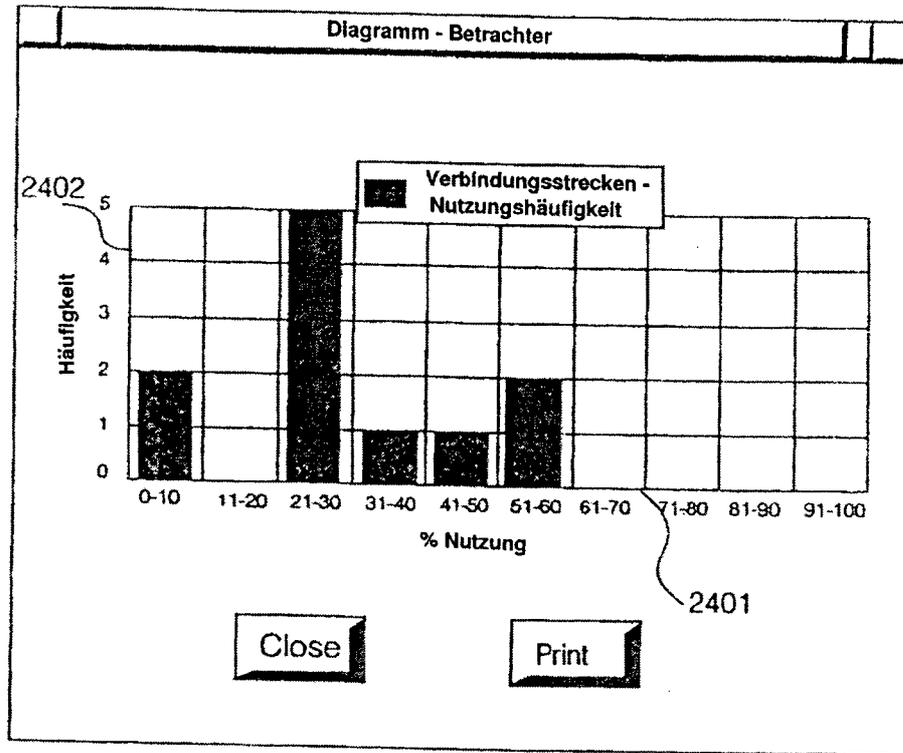


Fig. 24