

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-66823

(P2010-66823A)

(43) 公開日 平成22年3月25日(2010.3.25)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
G06F 17/50 (2006.01)	G06F 17/50 650A	5B046
H04L 12/56 (2006.01)	H04L 12/56 Z	5K030
H04B 10/20 (2006.01)	H04B 9/00 N	5K102
H04J 14/00 (2006.01)	H04B 9/00 E	
H04J 14/02 (2006.01)	H04B 9/00 M	

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 61 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2008-230122 (P2008-230122)	(71) 出願人	000005223
(22) 出願日	平成20年9月8日 (2008.9.8)		富士通株式会社
			神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
		(74) 代理人	100099759
			弁理士 青木 篤
		(74) 代理人	100119987
			弁理士 伊坪 公一
		(74) 代理人	100081330
			弁理士 樋口 外治
		(74) 代理人	100141254
			弁理士 榎原 正巳
		(74) 代理人	100113826
			弁理士 倉地 保幸

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ネットワーク設計装置、ネットワーク設計プログラム及びネットワーク設計方法

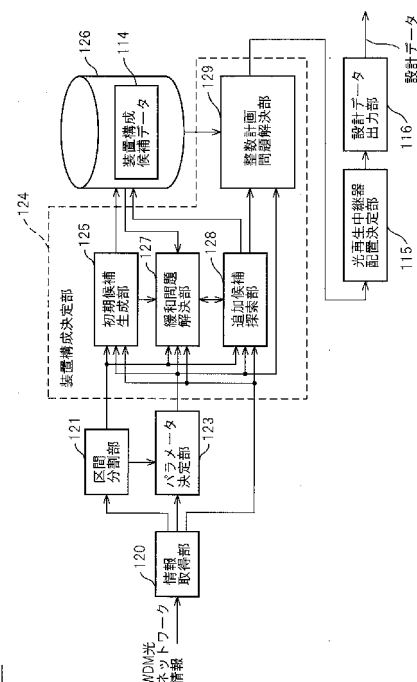
(57) 【要約】

【課題】各波長パスに要する光再生中継器の数を考慮しながら光伝送装置や光再生中継器の配置に要する総コストを低減できるネットワーク設計方法を提供する。

【解決手段】ネットワーク設計装置100は、光ネットワーク情報を取得する情報取得部120と、光ネットワークを線形区間に分割する区間分割部121と、各線形区間に配置する光伝送装置の組み合わせ候補を決定する組み合わせ候補決定部125、127、128と、各波長パス上で許される雑音量上限値を決定する雑音量上限値決定部123と、光伝送装置及び各波長パスに対する光再生中継器のコストの合計を最小にする目的関数、組み合わせ候補から線形区間毎に光伝送装置の組み合わせを1つ選択する制約条件、並びに各波長パスに必要な光再生中継器数の条件をこの波長パスの累積雑音量と雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解く装置配置部129と、を備える。

【選択図】図7

図7



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光ネットワークのトポロジ情報、前記光ネットワーク上の各前記局舎に配置可能な光伝送装置の種類に関する装置情報、前記トポロジ情報上で互いに隣接する局舎間における伝送路条件を示すスパン情報、及び前記光ファイバネットワーク上を伝送する各波長パスに関する波長パス情報を取得する情報取得部と、

前記トポロジ情報により表されるネットワークを線形区間に分割する区間分割部と、
各前記線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定する組み合わせ候補決定部と、

前記波長パス情報において指定される、各前記波長パス上で許される雑音量上限値に対応する所定条件に応じて該雑音量上限値を決定する雑音量上限値決定部と、 10

前記光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各前記波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、前記線形区間毎に前記組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを1つずつ選択する制約条件、並びに各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる前記累積雑音量と該波長パスの前記雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各前記線形区間内に配置される光伝送装置を決定する装置配置部と、

を備えるネットワーク設計装置。

【請求項 2】

前記整数計画問題は、各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる伝送ペナルティの累積値と、該波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、により定める制約条件をさらに有する請求項 1 に記載のネットワーク設計装置。

【請求項 3】

前記雑音量上限値決定部は、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスの O S N R 耐力に応じて前記雑音量上限値を定める請求項 1 又は 2 に記載のネットワーク設計装置。

【請求項 4】

前記雑音量上限値決定部は、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスの O S N R 耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める請求項 1 又は 2 に記載のネットワーク設計装置。 30

【請求項 5】

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値を決定する累積ペナルティ最大値決定部を備え、

前記雑音量上限値決定部は、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値及び前記最大値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスの O S N R 耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める請求項 1 又は 2 に記載のネットワーク設計装置。 40

【請求項 6】

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値及び最小値を決定する累積ペナルティ決定部と、

前記最小値の伝送ペナルティが累積する波長パスにおいて信号の再生に要する光再生中継器の最小数を決定する最小光再生中継器数決定部と、を備え、

前記雑音量上限値決定部は、前記最小数の光再生中継器により分割された該波長パス上に生じ得る伝送ペナルティの最大値及び前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスの O S N R 耐力とに応じて前記雑音量上限値を定める請求項 1 又は 2 に記載のネットワーク設計装置。 50

【請求項 7】

コンピュータを、

光ネットワークのトポロジー情報、前記光ネットワーク上の各前記局舎に配置可能な光伝送装置の種類に関する装置情報、前記トポロジー情報上で互いに隣接する局舎間における伝送路条件を示すスパン情報、及び前記光ファイバネットワーク上を伝送する各波長パスに関する波長パス情報を取得する情報取得手段、

前記トポロジー情報により表されるネットワークを線形区間に分割する区間分割手段、
各前記線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定する組み合わせ候補決定手段、

前記波長パス情報において指定される、各前記波長パス上で許される雑音量上限値に対応する所定条件に応じて該雑音量上限値を決定する雑音量上限値決定手段、

前記光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各前記波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、前記線形区間毎に前記組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを1つずつ選択する制約条件、並びに各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる前記累積雑音量と該波長パスの前記雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各前記線形区間内に配置される光伝送装置を決定する装置配置手段、として機能させるネットワーク設計プログラム。

10

【請求項 8】

20

光ネットワークのトポロジー情報、前記光ネットワーク上の各前記局舎に配置可能な光伝送装置の種類に関する装置情報、前記トポロジー情報上で互いに隣接する局舎間における伝送路条件を示すスパン情報、及び前記光ファイバネットワーク上を伝送する各波長パスに関する波長パス情報が、コンピュータに入力され、

前記コンピュータは、

前記トポロジー情報により表されるネットワークを線形区間に分割し、

各前記線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定し、

前記波長パス情報において指定される、各前記波長パス上で許される雑音量上限値に対応する所定条件に応じて該雑音量上限値を決定し、

前記光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各前記波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、前記線形区間毎に前記組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを1つずつ選択する制約条件、並びに各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる前記累積雑音量と該波長パスの前記雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各前記線形区間内に配置される光伝送装置を決定する、ネットワーク設計方法。

30

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、光ネットワークシステムを構成する各光伝送装置を局舎に配置するネットワーク設計装置、ネットワーク設計プログラム及びネットワーク設計方法に関する。

40

【背景技術】**【0002】**

近年、WDM (Wavelength Division Multiplexing: 波長分割多重) ネットワークの分野においては、光信号のまま波長単位でトラフィックを分岐及び挿入し、及び経路の切り替えができる OADM (Optical Add Drop Multiplexer: 光分岐挿入) 装置や、たとえば WXC (Wavelength Cross Connect: 波長クロスコネクト) 装置といった光ハブ装置が実現された。

これらの装置の実現によって、相互接続リングネットワークやメッシュネットワーク等の複雑なネットワークが構成可能となった。このように複雑化したネットワークにて伝送

50

される光信号の雑音値やペナルティ値の設計及び光伝送装置の配置の最適化設計に対する要求が高まっている。

【 0 0 0 3 】

WDMネットワークを設計する場合には、一般に、WDMシステムを構成する装置を配置可能な局舎に関する情報と局舎間を接続する光ファイバに関する情報とを含む光ネットワーク情報、およびWDMネットワークで伝送される波長パスに関する波長パス情報が与えられる。以下、WDMシステムを構成する光伝送装置のことを「WDM装置」と記載することがある。WDM装置は、たとえばOADM装置やILA(In-Line Amplifier: 光増幅中継器)又は後述のバイパスなどを含む。

【 0 0 0 4 】

波長パスの始点及び終点になる局舎にはOADM装置が配置され、その一方で他の局舎である中継局舎には、中継装置として使用するOADM装置や、ILAを配置することができる。OADM装置を中継装置として使用することにより、中継局舎において任意の波長パスを再生中継したり、WDM信号のチルト補償を行うことが可能となる。

また、中継局舎にOADM装置やILAを配置せずに光ファイバを単純接続するだけという運用も可能である。このように光ファイバが単純接続される局舎を、以下の説明において「バイパス局舎」と示すことがあり、また光ファイバを単純接続する中継手段のことを「バイパス」と示すことがある。

【 0 0 0 5 】

一般に、局舎に配置するWDM装置のコストとこの局舎を経由するWDM信号の伝送品質とはトレードオフの関係にある。すなわちコストの高いWDM装置が配置されるとWDM信号の伝送品質が向上する。このため光ネットワーク上を伝送される各波長パスに必要な光再生中継器の数が減少する。一方で、コストが低いWDM装置の配置数を増やすと光再生中継器の数が増加する。

したがって、WDM装置と光再生中継器のコストの総和、すなわちネットワークを敷設する際の所要コストを最小化するネットワーク設計が必要とされる。

【 0 0 0 6 】

従来のWDM装置の配置方法における具体的な手順は以下の通りである。

(1) ネットワークを、直線状或いはリング状のトポロジを有する複数のサブネットワークへ分割する。

(2) 各サブネットワーク毎にWDM装置のコストが最小となる配置を決定する。

【 0 0 0 7 】

上述のとおり設計されたWDMネットワークではWDM装置の総コストが最小となる。

【 0 0 0 8 】

なお、専用の迂回用光パスを設けず、障害が発生した光パスに流れていたトラヒックを他の現用光パスを用いて迂回させるように、整数計画法を用いて光ネットワークを設計する光ネットワークの設計法が提案されている。

また、複数の光伝送リンクが1つの光伝送装置を共用する光ネットワークにおいて、ネットワークコストを最小化する現用光パスと予備光パスの配備を、整数計画法を用いて決定する光ネットワーク設計法が提案されている。

【 0 0 0 9 】

【特許文献1】特開2002-374283号公報

【特許文献2】特開2006-67067号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 1 0 】

しかし、上述した従来のWDM装置の配置方法によると、複数のサブネットワークにわたって経路が存在する波長パスが存在するとき、このような波長パスに対しても常にWDM装置が最適に配置されるわけではなく、WDM信号の品質劣化を補償するために光再生中継器の数を増やす必要がある。すなわち、従来のWDM装置の配置方法により決定した

10

20

30

40

50

配置は、波長パスの分布状況によっては、ネットワーク全体の所要コストを最小にする配置にならない場合がある。

【 0 0 1 1 】

ネットワーク全体の所要コストを最小にするように各局舎へ配置される WDM 装置の組み合わせを決定するには、各組み合わせについて、各波長パス毎に光再生中継器の必要数を適切に見積もる必要がある。しかし、この見積もりを適切に行うためには、OSNR (Optical Signal Noise Ratio: 光信号対雑音比) に加え、PMD (Polarization Mode Dispersion: 偏波モード分散) 値やクロストーク値の影響といった伝送ペナルティが必要となる場合がある。OSNR や伝送ペナルティの値も、WDM 装置の上記の組み合わせに依存するため、従来は、正確な光再生中継器数の見積もりが困難であった。

10

なお、ネットワーク中の各局舎へそれぞれ配置される WDM 装置の組み合わせ、すなわち各局舎へそれぞれ WDM 装置が配置された配置状態を「WDM 装置構成」と示すことがある。

【 0 0 1 2 】

一般に、ある局舎で受信した光信号について以下の式で与えられる受信 OSNR が、光信号の信号種類に応じて定まる所定の OSNR 耐力以上のときには、その光信号をその局舎へ伝送すること若しくはその局舎で受信することが可能である。

受信 OSNR = OSNR - 伝送ペナルティ

一方で、受信 OSNR が OSNR 耐力よりも小さいときは、伝送もしくは受信することができなくなるため、その光信号を伝送する前に光再生中継器により再生する必要がある。なお、OSNR の逆数である単位光パワー当たりの雑音量 NOISE は線形値であり、ある OSNR [dB] が与えられると、

20

$$\text{NOISE} = 10^{-(\text{OSNR}/10)}$$

により表される。

【 0 0 1 3 】

伝送ペナルティを考慮しない場合には、比較的容易に雑音量から光再生中継器の所要数を見積もることが可能であるが、伝送ペナルティを考慮したより精度が高い光再生中継器の所要数の見積もりは従来困難であった。

開示のネットワーク設計装置、ネットワーク設計プログラム及びネットワーク設計方法は、上記の問題点を解消するものであり、光ネットワークにおいて、光伝送装置と各波長パスに必要な光再生中継器とを合わせた設置コストの総額を最適化したネットワーク設計を実現することを目的とする。

30

または、開示のネットワーク設計装置、ネットワーク設計プログラム及びネットワーク設計方法は、各波長パス毎に必要な光再生中継器の数を考慮しつつ、光伝送装置の配置を決定することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 4 】

上記目的を達成するために、開示のネットワーク設計装置、ネットワーク設計プログラム及びネットワーク設計方法は、光ネットワークを線形区間に分割し、各線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定し、各波長パス上で許される雑音量上限値を決定し、光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、線形区間毎に組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを 1 つずつ選択する制約条件、並びに各波長パスに必要な光再生中継器数の条件をその波長パス上で生じる累積雑音量とその波長パスの雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各線形区間内に配置される光伝送装置を決定する。

40

【発明の効果】

【 0 0 1 5 】

開示のネットワーク設計装置、ネットワーク設計プログラム及びネットワーク設計方法により、光伝送装置と光再生中継器の配置に要する総コストを低減できるネットワーク設

50

計が可能となる。また、各波長パスに要する光再生中継器の数を考慮したネットワーク設計が可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、添付する図面を参照して実施例を説明する。図1は、設計対象となる光ネットワークを示す図である。図1に示す光ネットワーク200は、WDMシステムを構成するメッシュネットワークである。四角印は、光挿入分岐装置が配置される局舎を示している。光分岐挿入装置が配置される局舎は、たとえば波長パスの終端がある局舎である。丸印は、四角印にて示される局舎間でWDM光信号を中継する局舎を示している。点線両矢印は、光ネットワーク200における線形区間を示している。

10

【0017】

開示のネットワーク設計装置は、ネットワーク200における各線形区間を単位設計区間として、各単位設計区間の線形ネットワーク中の各局舎に配置される光伝送装置の組み合わせを決定する。

ネットワーク中の各局舎へそれぞれ配置される光伝送装置の組み合わせ、すなわち、これら各局舎への光伝送装置の配置のあり方やあり様のことを「光伝送装置構成」と示すことがある。

【0018】

点線矢印に示すように、線形区間は2つ以上の局舎が縦続に接続されることによって形成される区間であり、物理的に線形ではなく曲線的に接続されてもかまわない。たとえば線形区間202は局舎1～4が縦続に接続されることによって形成され、線形区間203は局舎4～6が縦続に接続されることによって形成され、線形区間204は局舎11～18が縦続に接続されることによって形成されている。

20

線形区間202の始点及び終点である局舎1及び4、線形区間203の始点及び終点である局舎4及び6、線形区間204の始点及び終点である局舎11及び18には、光再生中継器を配置することができる光伝送装置が配置される。

【0019】

一点鎖線の矢印201で示される区間は、ネットワーク200上で伝送されるある波長パスの経路dが通過する区間を示す。波長パスdの始点及び終点はそれぞれ局舎1及び6であり、波長パスdの経路は、複数の線形区間202及び203に亘っている。

30

【0020】

図2は、各局舎に配置可能な光伝送装置の種類の一例を示す図である。図2の表300に示すように、各局舎に配置可能な光伝送装置の種類には、たとえばOADM310と、ILA320と、バイパス330と、がある。OADM310は、任意の波長信号に対して光再生中継器を配置可能な光伝送装置である。光再生中継器は、リアンプリフィケーション(Re Amplification)、リシェイピング(Re Shaping)及びリタイミング(Re Timing)を意味する3Rを行うことができる。

【0021】

ILA320およびバイパス330は、光再生中継器を配置することができない光伝送装置である。ILA320は、光信号を増幅するリアンプリフィケーションを意味する1Rのみを行うことができる。バイパス330は、光信号を通過させるのみの構成である。一般に、これら光伝送装置の設置に要するコストは、OADM310を配置するコストが最も高く、バイパス330を配置するコストが最も低く、ILA320を配置するコストは前二者の間である。

40

【0022】

一方、伝送品質については、バイパス330を配置した場合の伝送品質が最も悪く、OADM310を配置した場合の伝送品質が最も良く、ILA320を配置した場合の伝送品質は前二者の間である。したがって、原則として光伝送装置の設置に要するコストと伝送品質の間にはトレードオフの関係がある。

【0023】

50

図3は、図2に示すOADMの一例を示すブロック図である。図3に示すようにOADM400は、増幅器401と、分岐部402と、多重分離部403と、光再生中継器404及び405と、多重化部406と、WSS407と、増幅器408を備えている。増幅器401は、OADM400の外部から入力されたWDM光信号を増幅して分岐部402へ出力する。光再生中継器404は、必要に応じて、入力されたWDM光信号に含まれる波長パスのうち再生中継が必要な波長パスに対して設けられる。

【0024】

分岐部402は、増幅器401から出力されたWDM光信号を分岐して、分岐した各WDM光信号を多重分離部403及びWSS407へ出力する。多重分離部403は、分岐部402から出力されたWDM光信号を波長多重分離して、波長多重分離した各光信号をそれぞれ光再生中継器404及び405へ出力する。

10

【0025】

光再生中継器404及び405は、多重分離部403から出力された光信号を再生して多重化部406へ出力する。多重化部406は、光再生中継器404及び405からそれぞれ出力された各光信号を波長多重して、波長多重されたWDM光信号をWSS407へ出力する。

【0026】

WSS407 (Wavelength Selective Switch: 波長選択スイッチ) は、分岐部402から出力されたWDM光信号に含まれる各光信号と、多重化部406から出力されたWDM光信号に含まれる各光信号と、を選択及び合波して、選択及び合波により得られたWDM光信号を増幅器408へ出力する。またWSS407は、増幅器408へ出力するWDM光信号のレベル等化を行う機能も有する。増幅器408は、WSS407から出力されたWDM光信号を増幅してOADM400の外部へ出力する。

20

【0027】

図4は、図2に示すILAの一例を示すブロック図である。図4に示すようにILA500は、増幅器501と、VAT502と、増幅器503を、を備えている。ILA500は、入力されたWDM光信号に含まれる各光信号をまとめて増幅する。増幅器501には、ILA500の外部からWDM光信号が入力される。増幅器501は、外部から入力されたWDM光信号を増幅してVAT502へ出力する。

【0028】

30

VAT502 (Variable Attenuator: 光可変減衰器) は、増幅器501から出力されたWDM光信号を可変の減衰量によって減衰させることで、増幅器501から出力されたWDM光信号のパワーを制御する。VAT502は、パワーを制御したWDM光信号を増幅器503へ出力する。増幅器503は、VAT502から出力されたWDM光信号を増幅してILA500の外部へ出力する。

【0029】

図5は、図2に示すバイパスの一例を示すブロック図である。図5に示すように、バイパス600には、外部からWDM光信号が入力される。バイパス600は、WDM光信号が入力された光ファイバの出力端を、出力用の光ファイバの入力端に接続するコネクタ部601を備えている。これにより、バイパス600へ入力されたWDM光信号は、コネクタ部601を介して、そのままバイパス600の外部へ出力される。

40

なお、図3から図5では、図中左から右への1方路のみ示しているが、実際には同じ装置内に反対方向の方路のための同一の系がもう1つ存在する。

【0030】

図6は、CPUを用いて開示のネットワーク設計装置を実現した場合のハードウェア構成図である。ネットワーク設計装置100は、CPU101と、メモリ102と、ユーザからの操作やデータ入力を受け付けるキーボードやマウスなどであるユーザインタフェース103と、ディスプレイ装置などである表示部104と、ハードディスク105と、データ入力部106と、データ出力部107を備える。

【0031】

50

データ入力部 106 は、たとえば CD-ROM ドライブ装置や DVD-ROM ドライブ装置であってよい。またデータ入力部 106 及びデータ出力部 107 は、フレキシブルディスクドライブ装置、たとえば CD-R ドライブ装置や、DVD-R ドライブ装置、MO ドライブ装置のようなリムーバブルディスクドライブ装置や、フラッシュメモリ装置へのアクセス装置又はネットワークインタフェース装置であってよい。

【0032】

データ入力部 106 は、後述する、ネットワーク設計装置 100 による光ネットワークの設計の処理に必要な WDM 光ネットワーク情報を、ネットワーク設計装置 100 に入力するために使用される。

データ出力部 107 は、ネットワーク設計装置 100 による光ネットワークの設計の処理によって生成された設計データを出力するために使用される。

【0033】

ハードディスク 105 には、オペレーティングシステム (OS) 110 と、データ入力部 106 を介してインストールされたネットワーク設計プログラム 112 と、データ入力部 106 を介して入力された WDM 光ネットワーク情報 113、各単位設計区間について後述するように生成された光伝送装置構成の候補を示すデータである装置構成候補データ 114 が格納される。

【0034】

図 7 は、図 6 に示す CPU 101 がネットワーク設計プログラム 112 を実行することにより実現されるネットワーク設計装置 100 のブロック図である。

図示するとおりネットワーク設計装置 100 は、情報取得部 120、区間分割部 121、パラメータ決定部 123、装置構成決定部 124、記憶部 126、光再生中継器配置決定部 115 及び設計データ出力部 116 を備える。

なお、本実施例では、CPU 101 によるソフトウェア処理によってネットワーク設計装置 100 が実現される。しかし、ネットワーク設計装置 100 は、専用のハードウェア回路によって実現されてもよい。すなわち上記の情報取得部 120、区間分割部 121、パラメータ決定部 123、装置構成決定部 124、光再生中継器配置決定部 115 及び設計データ出力部 116 の一部又は全部は、それぞれ専用のハードウェア回路によって実現されてもよい。

【0035】

情報取得部 120 は、WDM 光ネットワーク情報を取得する。WDM 光ネットワーク情報は、ネットワークトポロジ情報、光伝送装置情報、スパン情報、波長パス情報を含む。

ネットワークトポロジ情報は、設計対象の光ネットワークを構成する局舎に関する情報や、各局舎間の接続の有無に関する情報を含む接続情報を含む。以下の説明において、ネットワーク設計装置 100 は、図 1 に示す光ネットワーク 200 を設計対象とすることとする。

光伝送装置情報は、各局舎に配置することができる光伝送装置の種類や機種に関する情報や、これらの光伝送装置の伝送路条件に関する情報や、各波長パスに用いる光再生中継器の機種に関する情報や、それらの装置の設置に要するコストに関する情報を含む。

光伝送装置の種類には、たとえば OADM 装置や ILA 装置、バイパスを含む。また、伝送条件は、各光伝送装置を経由する光信号に生じる雑音量や伝送ペナルティ値を含む。伝送ペナルティ値には、たとえば PMD 値やクロストーク値を含む。

【0036】

スパン情報は、隣接する局舎間を接続するファイバに依存する伝送路条件に関する情報を含む。伝送路条件は、たとえば隣接する局舎間を接続するファイバにより生じる雑音量や伝送ペナルティ値を含む。

波長パス情報は、光ネットワーク 200 を経由する波長パスに関する情報である。波長パス情報は、各波長パスの本数や、信号種類、始点及び終点となる局舎を指定する始点情報及び終点情報、経由する局舎を指定する経路情報を含む。各波長パスの信号種類は、たとえばビットレートである。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 7 】

区間分割部 1 2 1 は、ネットワークトポロジ情報によって与えられた光ネットワーク 2 0 0 を、線形区間である単位設計区間に分割する。

パラメータ決定部 1 2 3 は、開示のネットワーク設計方法で使用する各パラメータを決定する。このようなパラメータには、たとえば光ネットワーク 2 0 0 を経由する各波長パスに許容される雑音量上限値や伝送ペナルティ値の上限値が含まれる。これらパラメータの決定方法については後に説明する。

パラメータ決定部 1 2 3 は、特許請求の範囲に記載された雑音量上限値決定部に相当する。

【 0 0 3 8 】

10

装置構成決定部 1 2 4 は、区間分割部 1 2 1 によって生成された各単位設計区間における光伝送装置構成の候補を決定する。装置構成決定部 1 2 4 は、光伝送装置構成の候補のうちから各単位設計区間毎に光伝送装置構成を 1 つずつ選択することによって、光ネットワーク 2 0 0 の光伝送装置構成を決定する。

【 0 0 3 9 】

光再生中継器配置決定部 1 1 5 は、装置構成決定部 1 2 4 によって決定された光伝送装置構成内への光再生中継器の配置を決定する。光再生中継器配置決定部 1 1 5 は、装置構成決定部 1 2 4 によって決定された光伝送装置構成のうちの、光再生中継器を配置可能な光伝送装置のそれぞれに対して、必要な光再生中継器の配置を決定することによって、光ネットワーク 2 0 0 の光伝送装置構成及び光再生中継器の配置を定めた設計データを生成する。

20

設計データ出力部 1 1 6 は、装置構成決定部 1 2 4 によって決定された光伝送装置構成に関する情報と光再生中継器配置決定部 1 1 5 により決定された光再生中継器の配置に関する情報とを含む設計データを出力する。

【 0 0 4 0 】

第 1 の実施例において装置構成決定部 1 2 4 は、光ネットワーク 2 0 0 の光伝送装置構成を決定する際に、光ネットワーク 2 0 0 に配置される光伝送装置のコスト及び光ネットワーク 2 0 0 上の波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数と、光伝送装置構成の候補の中から単位設計区間毎に 1 つずつ候補を選択するという制約条件と、並びに各波長パスに必要な光再生中継器数の条件を波長パス上で生じる累積雑音量と波長パスについて定めた雑音量上限値とにより定める制約条件と、を有する整数計画問題を解くことによって、光ネットワーク 2 0 0 の光伝送装置構成を決定する。

30

【 0 0 4 1 】

すなわち装置構成決定部 1 2 4 は、次の式 (1) により与えられる整数計画問題を解くことによって光ネットワーク 2 0 0 の光伝送装置構成を決定する。

【 0 0 4 2 】

【数 1】

$$\begin{array}{lcl}
 \text{最小化:} & \sum_{i=1}^M c(t_i) \cdot s_i + \sum_{j=1}^N \lambda(d_j) \cdot r(d_j) \cdot x_j & \cdots (1-1) \\
 \text{制約式:} & \sum_{i=1}^M T(g_h, t_i) \cdot s_i = 1 \quad (\text{for } \forall g_h) & \cdots (1-2) \\
 & n(d_1, s_1, s_2, \dots, s_M) - Nth(d_1) \cdot x_1 \leq Nth(d_1) & \\
 & n(d_2, s_1, s_2, \dots, s_M) - Nth(d_2) \cdot x_2 \leq Nth(d_2) & \\
 & \vdots & \\
 & n(d_N, s_1, s_2, \dots, s_M) - Nth(d_N) \cdot x_N \leq Nth(d_N) & \cdots (1-3)
 \end{array} \quad (1)$$

10

【0043】

整数計画問題(1)の式(1-1)は、光ネットワーク200に配置される光伝送装置のコスト及び光ネットワーク200上の波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数に相当する。

また、式(1-2)は、光伝送装置構成の候補の中から単位設計区間毎に1つずつ候補を選択するという制約条件に相当する。

式(1-3)は、各波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、波長パス上で生じる累積雑音量と波長パスについて定めた雑音量上限値とにより定める制約条件に相当する。

【0044】

式(1)において使用される各記号の意味は次のとおりである。

g_h ($h = 1 \sim P$) は、光ネットワーク200を分割して得られたP個の単位設計区間を示す。

【0045】

t_i は、単位設計区間 g_h のいずれかについて決定された光伝送装置構成の候補を示す。光伝送装置構成の候補がM個決定されたとき、添字 i は1、2...Mの値を有する。

s_i ($i = 1 \sim M$) は、光伝送装置構成 t_i ($i = 1 \sim M$) が光ネットワーク200の光伝送装置構成として選択されているか否かを示す2値変数である。光伝送装置構成 t_i が光ネットワーク200の光伝送装置構成として選択されているとき $s_i = 1$ であり、それ以外の場合には $s_i = 0$ である。

【0046】

d_j ($j = 1 \sim N$) は、光ネットワーク200上に構成される各波長パスを示す。 j は、1、2...Nの値を有する。すなわち光ネットワーク200上に構成される波長パス d_j は全部でN個である。

x_j ($j = 1 \sim N$) は、各波長パス d_j に必要な光再生中継器の数を示す整数変数である。

【0047】

$c(t_i)$ は、光伝送装置構成 t_i の配置に要するコストを示す。

$\lambda(d_j)$ は、波長パス d_j の本数を示す。

$r(d_j)$ は、波長パス d_j の光再生中継器の配置に要する中継器1個当たりのコストを示す。

【0048】

$T(g_h, t_i)$ は2値パラメータであり、光伝送装置構成 t_i が単位設計区間 g_h について決定された光伝送装置構成の候補であるとき $T(g_h, t_i) = 1$ であり、それ以外の場合は $T(g_h, t_i) = 0$ である。

$Nth(d_j)$ は、波長パス d_j についてパラメータ決定部123が定めた、雑音量上限

10

20

30

40

50

値である。 $Nth(d_j)$ は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類に応じて定まる OSNR 耐力に相当する雑音量である。

【0049】

$n(d_j, s_1, s_2, \dots, s_M)$ は、2 値変数ベクトル $(s_1, s_2, \dots, s_M)$ によって指定される各单位設計区間の光伝送装置構成の選択状態に応じて、波長パス d_j が経路する経路上に生じる累積雑音量であり、次の式 (2) にて与えられる。

【0050】

【数 2】

$$n(d_j, s_1, s_2, \dots, s_M) = \sum_{i=1}^M \{ (1 - Re(d_j, t_i)) \cdot nf(t_i) + Re(d_j, t_i) \cdot nr(t_i) \} \cdot I(d_j, t_i) \cdot s_i \quad \dots (2)$$

10

【0051】

式 (2) において使用される各記号の意味は次のとおりである。

$Re(d_j, t_i)$ は 2 値パラメータであり、光伝送装置構成 t_i を候補とする単位設計区間 g_h を波長パス d_j が経路し、かつ単位設計区間 g_h について予め定めた基準方向と波長パス d_j の伝送方向が同じである場合に $Re(d_j, t_i) = 0$ となり、それ以外の場合に $Re(d_j, t_i) = 1$ となる。

20

$I(d_j, t_i)$ は 2 値パラメータであり、光伝送装置構成 t_i を候補とする単位設計区間 g_h を波長パス d_j が経路する場合に $I(d_j, t_i) = 1$ となり、それ以外の場合に $I(d_j, t_i) = 0$ となる。

【0052】

$nf(t_i)$ は、光伝送装置構成 t_i を候補とする単位設計区間 g_h の光伝送装置構成として t_i が選択された場合に、この単位設計区間 g_h を上記の基準方向と同じ方向に伝送する際に波長パスに生じる雑音量を示す。

$nr(t_i)$ は、光伝送装置構成 t_i を候補とする単位設計区間 g_h の光伝送装置構成として t_i が選択された場合に、この単位設計区間 g_h を上記の基準方向と反対方向に伝送する際に波長パスに生じる雑音量を示す。

30

$nf(t_i)$ 及び $nr(t_i)$ の値は、スパン情報によって与えられた、隣接局舎間に生じる光信号強度の伝送損失量と、光伝送装置情報によって与えられた、光伝送装置構成 t_i を構成する各光伝送装置を経由する光信号に生じる雑音量と、によって決定される。

【0053】

第 2 の実施例において装置構成決定部 124 は、光ネットワーク 200 の光伝送装置構成を決定する際に、式 (1) によって与えられる整数計画問題に、各波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、波長パス上で生じる伝送ペナルティの累積値と波長パスについて定めた伝送ペナルティの上限値とにより定める制約条件を加えた、以下の整数計画問題 (3) を解くことによって、光ネットワーク 200 の光伝送装置構成を決定する。

40

また、整数計画問題 (1) において使用される雑音量上限値 $Nth(d_j)$ の代わりに、伝送ペナルティを考慮した雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ を使用する。

【0054】

【数 3】

$$\begin{array}{ll}
\text{最小化:} & \sum_{i=1}^M c(t_i) \cdot s_i + \sum_{j=1}^N \lambda(d_j) \cdot r(d_j) \cdot x_j \quad \dots (3-1) \\
\text{制約式:} & \sum_{i=1}^M T(g_h, t_i) \cdot s_i = 1 \quad (\text{for } \forall g_h) \quad \dots (3-2) \\
& \left. \begin{array}{l} n(d_1, s_1, s_2, \dots, s_M) - Nth'(d_1) \cdot x_1 \leq Nth'(d_1) \\ n(d_2, s_1, s_2, \dots, s_M) - Nth'(d_2) \cdot x_2 \leq Nth'(d_2) \\ \vdots \\ n(d_N, s_1, s_2, \dots, s_M) - Nth'(d_N) \cdot x_N \leq Nth'(d_N) \end{array} \right\} (3-3) \\
& \left. \begin{array}{l} p_1(d_1, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_1(d_1) \cdot x_1 \leq Pth_1(d_1) \\ p_1(d_2, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_1(d_2) \cdot x_2 \leq Pth_1(d_2) \\ \vdots \\ p_1(d_N, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_1(d_N) \cdot x_N \leq Pth_1(d_N) \end{array} \right\} (3-41) \\
& \left. \begin{array}{l} p_2(d_1, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_2(d_1) \cdot x_1 \leq Pth_2(d_1) \\ p_2(d_2, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_2(d_2) \cdot x_2 \leq Pth_2(d_2) \\ \vdots \\ p_2(d_N, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_2(d_N) \cdot x_N \leq Pth_2(d_N) \end{array} \right\} (3-42) \\
& \vdots \\
& \left. \begin{array}{l} p_R(d_1, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_R(d_1) \cdot x_1 \leq Pth_R(d_1) \\ p_R(d_2, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_R(d_2) \cdot x_2 \leq Pth_R(d_2) \\ \vdots \\ p_R(d_N, s_1, s_2, \dots, s_M) - Pth_R(d_N) \cdot x_N \leq Pth_R(d_N) \end{array} \right\} (3-4R)
\end{array} \quad (3)$$

【0055】

整数計画問題(3)の式(3-1)は、光ネットワーク200に配置される光伝送装置のコスト及び光ネットワーク200上の波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数に相当する。

また、式(3-2)は、光伝送装置構成の候補の中から単位設計区間毎に1つずつ候補を選択するという制約条件に相当する。

式(3-3)は、各波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、波長パス上で生じる累積雑音量と波長パスについて定めた雑音量上限値とにより定める制約条件に相当する。

【0056】

式(3-41)、(3-42)～(3-4R)は、各波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、波長パス上で生じる伝送ペナルティの累積値と波長パスについて定めた伝送ペナルティの上限値とにより定める制約条件に相当する。

考慮すべき伝送ペナルティの種類は複数であってもよい。たとえば伝送ペナルティとして、PMD値とクロストーク値とからなる2種類の伝送ペナルティを考慮してもよい。制約条件(3-41)、(3-42)～(3-4R)のうちk番目の制約条件(3-4k)は、R個ある考慮すべき伝送ペナルティの種類のうちの、第k番目の種類の伝送ペナルティ

10

20

30

40

50

について定めた制約条件である。

【 0 0 5 7 】

式 (3) において使用される各記号の意味を以下に説明する。なお、式 (1) 及び (2) に現れる項と同じ項には同じ記号を使用している。式 (1) 及び (2) に現れる記号と同じ記号については説明を省略する。

【 0 0 5 8 】

$P t h_k (d_j)$ は、波長パス d_j についてパラメータ決定部 1 2 3 が定めた、第 k 番目の種類の伝送ペナルティの上限値である。 $P t h_k (d_j)$ は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類に応じて一意に定まる値である。

$p_k (d_j, s_1, s_2, \dots, s_M)$ は、2 値変数ベクトル $(s_1, s_2, \dots, s_M)$ によって指定される各单位設計区間の光伝送装置構成の選択状態に応じて、波長パス d_j が経路する経路上に生じる、第 k 番目の種類の伝送ペナルティの累積値であり、次の式 (4) にて与えられる。

【 0 0 5 9 】

【 数 4 】

$$p_k(d_j, s_1, s_2, \dots, s_M) = \sum_{i=1}^M \{ (1 - \text{Re}(d_j, t_i)) \cdot pf_{kj}(t_i) + \text{Re}(d_j, t_i) \cdot pr_{kj}(t_i) \} \cdot I(d_j, t_i) \cdot s_i \quad \dots (4)$$

10

20

【 0 0 6 0 】

$pf_{kj}(t_i)$ は、光伝送装置構成 t_i を候補とする単位設計区間 g_h の光伝送装置構成として t_i が選択された場合に、この単位設計区間 g_h を上記の基準方向と同じ方向に伝送する際に、波長パス d_j の信号種類と同じ種類の波長パスに生じる、第 k 番目の種類の伝送ペナルティ量を示す。

$pr_{kj}(t_i)$ は、光伝送装置構成 t_i を候補とする単位設計区間 g_h の光伝送装置構成として t_i が選択された場合に、この単位設計区間 g_h を上記の基準方向と反対方向に伝送する際に、波長パス d_j の信号種類と同じ種類の波長パスに生じる、第 k 番目の種類の伝送ペナルティ量を示す。

30

$pf_{kj}(t_i)$ 及び $pr_{kj}(t_i)$ の値は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類と、スパン情報によって与えられた、波長パス d_j の信号種類に対して隣接局舎間に生じる伝送ペナルティ量と、光伝送装置情報によって与えられた、光伝送装置構成 t_i を構成する各光伝送装置を経由する波長パス d_j の信号種類の光信号に生じる伝送ペナルティ量と、によって決定される、単位設計区間ごとに線形加算可能な値である。たとえば、偏波モード分散 PMD の場合、経路上で発生する Total PMD [ps] の 2 乗が線形加算可能なパラメータである。

【 0 0 6 1 】

$N t h' (d_j)$ は、波長パス d_j についての雑音量上限値である。パラメータ決定部 1 2 3 は、以下の 3 種類の決定方法のうちいずれか 1 つによって雑音量上限値 $N t h' (d_j)$ を決定する。

40

【 0 0 6 2 】

(雑音量上限値 $N t h' (d_j)$ の決定方法の第 1 例)

本決定方法では、パラメータ決定部 1 2 3 は、各種類毎の伝送ペナルティの上限値 $P t h_k (d_j)$ と、各波長パス d_j の信号種類に応じて定まる OSNR 耐力とに基づいて雑音量上限値 $N t h' (d_j)$ を決定する。

パラメータ決定部 1 2 3 は、OSNR 耐力に、伝送ペナルティの上限値 $P t h_k (d_j)$ から算出される OSNR に対する劣化成分を加えて得られる次式 (5) に示す OSNR 下限値を決定し、OSNR 下限値に相当する雑音量を、雑音量上限値 $N t h' (d_j)$ とし

50

て決定する。式(5)において、 $f_{kj}(Pth_k(d_j))$ は、波長パス d_j に対する第 k 番目の伝送ペナルティの上限値 $Pth_k(d_j)$ から、第 k 番目の種類の伝送ペナルティによる、OSNRに対する劣化成分を算出する関数である。

【0063】

【数5】

$$\text{OSNR下限値} = \text{OSNR耐力} + \sum_{k=1}^R f_{kj}(Pth_k(d_j)) \quad \dots (5)$$

10

【0064】

(雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ の決定方法の第2例)

本決定方法では、パラメータ決定部123は、OSNR耐力と、各種類毎の伝送ペナルティの上限値 $Pth_k(d_j)$ と、各波長パス d_j 上において取りうる各種類毎の伝送ペナルティの累積値の最大値 $Pmax_k(d_j)$ とに基づいて雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ を決定する。

パラメータ決定部123は、上限値 $Pth_k(d_j)$ 及び最大値 $Pmax_k(d_j)$ のうち小さい方から算出されるOSNRに対する劣化成分を、OSNR耐力に加えて得られる次式(6)に示すOSNR下限値を決定し、OSNR下限値に相当する雑音量を雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ として決定する。

20

【0065】

【数6】

$$\text{OSNR下限値} = \text{OSNR耐力} + \sum_{k=1}^R f_{kj}(\min(Pth_k(d_j), Pmax_k(d_j))) \quad \dots (6)$$

【0066】

(雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ の決定方法の第3例)

本決定方法では、パラメータ決定部123は、OSNR耐力と、各波長パス d_j について見積もられた光再生中継器の必要最小数 $REGmin(d_j)$ と、各種類毎の伝送ペナルティの上限値 $Pth_k(d_j)$ と、各波長パス d_j 上において取りうる各種類毎の伝送ペナルティの累積値の最大値 $Pmax_k(d_j)$ とに基づいて雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ を決定する。

【0067】

パラメータ決定部123は、各波長パス d_j 上において取りうる伝送ペナルティの累積値の最小値 $Pmin_k(d_j)$ を伝送ペナルティの上限値 $Pth_k(d_j)$ で除した数より小さく、かつ最大の整数値

40

【0068】

【数7】

$$\text{int} \left\{ \frac{Pmin_k(d_j)}{Pth_k(d_j)} \right\}$$

【0069】

のうち、 R 種類ある伝送ペナルティの間で最大の値

50

【 0 0 7 0 】

【 数 8 】

$$\text{REGmin}(d_j) = \max_k \left[\text{int} \left\{ \frac{\text{Pmin}_k(d_j)}{\text{Pth}_k(d_j)} \right\} \right]$$

【 0 0 7 1 】

を各波長パス d_j について見積もられた光再生中継器の必要最小数 $\text{REGmin}(d_j)$ と、して決定する。 10

パラメータ決定部 123 は、光再生中継器の必要最小数 $\text{REGmin}(d_j)$ に 1 を加えた値を、必要最小数の光再生中継器によって波長パス d_j を分割した区間数 $(\text{REGmin}(d_j) + 1)$ と決定する。

【 0 0 7 2 】

パラメータ決定部 123 は、次の式 (7) に示すように、各波長パス d_j 上において取りうる伝送ペナルティの累積値の最大値 $\text{Pmax}_k(d_j)$ を区間数 $(\text{REGmin}(d_j) + 1)$ で除した値と、伝送ペナルティの上限値 $\text{Pth}_k(d_j)$ のうち小さい方から算出される OSNR に対する劣化成分を、 OSNR 耐力に加えることにより、 OSNR 下限値を決定する。パラメータ決定部 123 は、この OSNR 下限値に相当する雑音量を雑音量上限値 $\text{Nth}'(d_j)$ として決定する。 20

【 0 0 7 3 】

【 数 9 】

$$\text{OSNR 下限値} = \text{OSNR 耐力} + \sum_{k=1}^R f_{kj} \left(\min \left\{ \text{Pth}_k(d_j), \frac{\text{Pmax}_k(d_j)}{(\text{REGmin}(d_j) + 1)} \right\} \right) \cdots (7)$$

【 0 0 7 4 】

30

本決定方法によれば、光再生中継器で分割される最小数の区間に分配されたときの伝送ペナルティの各区間内の最大値が見積もられるため、より適切な雑音量上限値を見積もることができる。

【 0 0 7 5 】

たとえば、伝送ペナルティとして、偏波モード分散による伝送ペナルティ PMD と、クロストークによる伝送ペナルティ XT とからなる 2 種類の伝送ペナルティを考慮すると仮定する。また、簡単のため、各伝送ペナルティ量 [dB] が線形加算可能であり、 $f_{kj}(\text{Pth}_k(d_j)) = \text{Pth}_k(d_j)$ であると仮定する。

また、ある波長パス d_j 上における PMD の上限値が 3 [dB] であり、累積値の最大値が 1 [dB] であり、累積値の最小値が 0 [dB] であると仮定する。同様にこの波長パス d_j 上における XT の上限値が 2 [dB] であり、累積値の最大値が 5 [dB] であり、累積値の最小値が 4 . 5 [dB] であると仮定する。 40

そして、波長パス d_j の OSNR 耐力が 16 [dB] であると仮定する。

【 0 0 7 6 】

雑音量上限値 $\text{Nth}'(d_j)$ の決定方法の第 1 例によれば、 OSNR 下限値は $16 + 3 + 2 = 21$ [dB] となり、21 [dB] である OSNR 下限値に相当する雑音量が、雑音量上限値 $\text{Nth}'(d_j)$ として決定される。

【 0 0 7 7 】

雑音量上限値 $\text{Nth}'(d_j)$ の決定方法の第 2 例によれば、 OSNR 下限値は $16 + 1 + 2 = 19$ [dB] となり、19 [dB] である OSNR 下限値に相当する雑音量が、 50

雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ として決定される。

【0078】

雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ の決定方法の第3例によれば、光再生中継器の必要最小数 $REGmin(d_j)$ は、最小値の値がより大きい XT の最小値 $4.5[dB]$ と上限値 $2[dB]$ によって、 $int(4.5/2) = 2$ 個となる。これによって波長パス d_j は、再生中継器によって少なくとも3つの区間に分割される。

PMD 及び XT の最大値を3で除した値 $1/3$ 及び $5/3$ は、いずれもそれぞれの上限值よりも小さいため、 $OSNR$ 下限値は $16 + 1/3 + 5/3 = 18[dB]$ となり、 $18[dB]$ である $OSNR$ 下限値に相当する雑音量が、雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ として決定される。

10

【0079】

なお、第1の実施例においても、上記のとおり第2の実施例の制約式(3-3)にて使用した雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ を、制約式(1-3)の雑音量上限値 $Nth(d_j)$ の代わりに使用して、上記の制約式(1-3)を定めてもよい。

また、第2の実施例においても、上記のとおり第1の実施例の制約式(1-3)にて使用した雑音量上限値 $Nth(d_j)$ を、制約式(3-3)の雑音量上限値 $Nth'(d_j)$ の代わりに使用して、上記の制約式(3-3)を定めてもよい。

【0080】

図7に示す装置構成決定部124は、次の手順により式(1)又は(3)により与えられる整数計画問題を解く。

20

(手順1)

式(1)又は(3)における2値変数 s_i ($i = 1 \sim M$) 及び整数変数 x_j ($j = 1 \sim N$) を実数変数とした緩和問題を解くことによって、制約条件(1-2)及び(1-3)、又は制約条件(3-2)、(3-3)及び(3-41)から(3-4R)に関する双対価格ベクトルを求める。

【0081】

制約条件(1-2)及び(3-2)に関する双対価格ベクトルを $\pi_g = (\pi_{g1}, \pi_{g2} \dots \pi_{gp})$ と記す。

制約条件(1-3)及び(3-3)に関する双対価格ベクトルを $\pi_n = (\pi_{n1}, \pi_{n2} \dots \pi_{nN})$ と記す。

30

制約条件(3-4k)に関する双対価格ベクトルを $\pi_{pk} = (\pi_{pk1}, \pi_{pk2} \dots \pi_{pkN})$ と記す($k = 1 \sim R$)。

【0082】

(手順2)

装置構成決定部124は、双対価格ベクトルの値に基づいて決定された被約費用の算出式にしたがって、各单位設計区間について、被約費用の値が負となる新たな光伝送装置構成の候補 t' を探索する。

式(1)により与えられる整数計画問題を解く場合には、光伝送装置構成の候補 t' についての被約費用 $RC(t')$ は、次の式(8)により与えられる。

【0083】

40

【数 1 0】

$$RC(t') = c(t') - A + B \cdot nf(t') + C \cdot nr(t') \quad \dots (8)$$

但し、

$$\begin{cases} A = \pi_{g'} \\ B = -\sum_{j=1}^N (1 - \text{Re}(d_j, t')) \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \\ C = -\sum_{j=1}^N \text{Re}(d_j, t') \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \end{cases} \quad 10$$

【0 0 8 4】

なお $\pi_{g'}$ は、双対価格ベクトル π_g における、光伝送装置構成 t' を光伝送装置構成の候補とする単位設計区間 g' に対する成分である。

また、式(3)により与えられる整数計画問題を解く場合には、光伝送装置構成の候補 t' についての被約費用 $RC(t')$ は、次の式(9)により与えられる。

【0 0 8 5】

20

【数 1 1】

$$RC(t') = c(t') - A + B \cdot nf(t') + C \cdot nr(t') + \sum_{k=1}^R \sum_{j=1}^N \{D_k \cdot pf_{kj}(t') + E_k \cdot pr_{kj}(t')\} \quad \dots (9)$$

但し、

$$\begin{cases} A = \pi_{g'} \\ B = -\sum_{j=1}^N (1 - \text{Re}(d_j, t')) \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \\ C = -\sum_{j=1}^N \text{Re}(d_j, t') \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \\ D = -(1 - \text{Re}(d_j, t_1)) \cdot \pi p_{kj} \cdot I(d_j, t') \\ E = -\text{Re}(d_j, t') \cdot \pi p_{kj} \cdot I(d_j, t') \end{cases} \quad 30$$

【0 0 8 6】

(手順3)

40

装置構成決定部124は、被約費用の値が負となる新たな光伝送装置構成の候補 t' が見つからなくなったとき、それまでに発見された光伝送装置構成の候補について定めた式(1)又は(3)に示す整数計画問題を緩和しないで解決し、発見された光伝送装置構成の候補のうちから、各单位設計区間毎に1つずつ光伝送装置構成を選択することによって、光ネットワーク200の光伝送装置構成を決定する。

【0 0 8 7】

図7に示す装置構成決定部124は、初期候補生成部125と、緩和問題解決部127と、追加候補探索部128と、整数計画問題解決部129を備える。

初期候補生成部125、緩和問題解決部127及び追加候補探索部128は、特許請求の範囲に記載される組み合わせ候補決定部に相当する。

50

整数計画問題解決部 129 は、特許請求の範囲に記載される装置配置部に相当する。

【0088】

緩和問題解決部 127 は、記憶部 126 に格納された装置構成候補データ 114 を読み込み、装置構成候補データ 114 が示す光伝送装置構成の候補について定めた式 (1) 又は (3) に示す整数計画問題の緩和問題を解決して、双対価格ベクトルを決定する。

【0089】

初期候補生成部 125 は、緩和問題解決部 127 による処理に先立って、各单位設計区間について、制約条件 (1-3) 又は (3-3)、(3-41) ~ (3-4R) を満たす光伝送装置構成の候補を少なくとも 1 つ生成し、記憶部 126 に格納する。

追加候補探索部 128 は、緩和問題解決部 127 が決定した双対価格ベクトルの値に基づいて決定された被約費用の算出式にしたがって、各单位設計区間について、被約費用の値が負となる新たな光伝送装置構成の候補 t' を探索する。追加候補探索部 128 は、発見した新たな候補 t' を装置構成候補データ 114 に追加する。

整数計画問題解決部 129 は、記憶部 126 に格納された、初期候補生成部 125 及び追加候補探索部 128 により決定された候補を含む装置構成候補データ 114 を読み込み、装置構成候補データ 114 が示す光伝送装置構成の候補について定めた式 (1) 又は (3) に示す整数計画問題を緩和しないで解決することにより、光ネットワーク 200 の光伝送装置構成を決定する。

【0090】

以下、図 7 に示す各部の構成及び各部が行う処理について説明する。図 8 は、図 7 に示すパラメータ決定部 123 のブロック図である。

パラメータ決定部 123 は、ペナルティ上限値決定部 130 と、単位設計区間内ペナルティ上限値決定部 131 と、累積ペナルティ決定部 132 と、雑音量上限値決定部 133 と、単位設計区間内雑音量上限値決定部 134 を備える。

【0091】

ペナルティ上限値決定部 130 は、波長パス情報によって与えられる各波長パス d_j の信号種類に応じて、各波長パス d_j 毎かつ各伝送ペナルティの種類 k 毎に、伝送ペナルティ上限値 $Pth_k(d_j)$ を決定する。

【0092】

単位設計区間内ペナルティ上限値決定部 131 は、ペナルティ上限値決定部 130 から伝送ペナルティ上限値 $Pth_k(d_j)$ を入力する。単位設計区間内ペナルティ上限値決定部 131 は、それぞれの単位設計区間を経由する波長パス d_j について決定された伝送ペナルティ上限値 $Pth_k(d_j)$ ($j = 1 \sim N$) のうち、最も小さな値を、単位設計区間内ペナルティ上限値として、各单位設計区間毎かつ R 種類の伝送ペナルティ毎に選択する。

【0093】

単位設計区間内ペナルティ上限値決定部 131 は、単位区間の経路の伝送方向のそれぞれについて単位設計区間内ペナルティ上限値を決定する。すなわち局舎 A から局舎 B まで亘る単位区間に対して、単位設計区間内ペナルティ上限値決定部 131 は、局舎 A から局舎 B への伝送路における単位設計区間内ペナルティ上限値と、局舎 B から局舎 A への伝送路における単位設計区間内ペナルティ上限値とをそれぞれ決定する。

k 番目の種類の伝送ペナルティについて、単位設計区間 g_h のそれぞれの伝送方向について決定された単位設計区間内ペナルティ上限値を $Pth_{1k}(g_h)$ 及び $Pth_{2k}(g_h)$ ($k = 1 \sim R$, $h = 1 \sim P$) と記す。

【0094】

累積ペナルティ決定部 132 は、各波長パス d_j 上において取りうる伝送ペナルティの累積値の最大値 $Pmax_k(d_j)$ 、又は各波長パス d_j 上において取りうる伝送ペナルティの累積値の最大値 $Pmax_k(d_j)$ 及び最小値 $Pmin_k(d_j)$ を決定する。累積ペナルティ決定部 132 による処理の内容は後述する。

【0095】

雑音量上限値決定部 133 は、上述の雑音量上限値 $Nth(d_j)$ 又は Nth' を決定

する。

雑音量上限値 $N_{th}(d_j)$ を決定するときは、雑音量上限値決定部 133 は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類に応じて定まる $OSNR$ 耐力に相当する雑音量を雑音量上限値 $N_{th}(d_j)$ として決定する。

【0096】

上式(5)に従って、雑音量上限値 $N_{th}'(d_j)$ を決定するときは、雑音量上限値決定部 133 は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類に応じて定まる $OSNR$ 耐力と、ペナルティ上限値決定部 130 が決定した伝送ペナルティ上限値 $P_{th_k}(d_j)$ に応じて雑音量上限値 $N_{th}'(d_j)$ を決定する。

【0097】

上式(6)に従って、雑音量上限値 $N_{th}'(d_j)$ を決定するときは、雑音量上限値決定部 133 は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類に応じて定まる $OSNR$ 耐力と、ペナルティ上限値決定部 130 が決定した伝送ペナルティ上限値 $P_{th_k}(d_j)$ と、累積ペナルティ決定部 132 が決定した伝送ペナルティの累積値の最大値 $P_{max_k}(d_j)$ と、に応じて雑音量上限値 $N_{th}'(d_j)$ を決定する。

【0098】

上式(7)に従って、雑音量上限値 $N_{th}'(d_j)$ を決定するときは、雑音量上限値決定部 133 は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類に応じて定まる $OSNR$ 耐力と、ペナルティ上限値決定部 130 が決定した伝送ペナルティ上限値 $P_{th_k}(d_j)$ と、累積ペナルティ決定部 132 が決定した伝送ペナルティの累積値の最大値 $P_{max_k}(d_j)$ 及び最小値 $P_{min_k}(d_j)$ と、に応じて雑音量上限値 $N_{th}'(d_j)$ を決定する。

【0099】

単位設計区間内雑音量上限値決定部 134 は、雑音量上限値決定部 133 から出力される雑音量上限値 $N_{th}(d_j)$ 又は $N_{th}'(d_j)$ を入力する。単位設計区間内雑音量上限値決定部 134 は、各単位設計区間毎に、それぞれの単位設計区間を経由する波長パス d_j について決定された雑音量上限値のうち、最も小さな値を、単位設計区間内雑音量上限値として選択する。

【0100】

単位設計区間内雑音量上限値決定部 134 は、単位区間の経路の伝送方向のそれぞれについて単位設計区間内雑音量上限値を決定する。すなわち局舎 A から局舎 B まで亘る単位区間に対して、単位設計区間内雑音量上限値決定部 134 は、局舎 A から局舎 B への伝送路における単位設計区間内雑音量上限値と、局舎 B から局舎 A への伝送路における単位設計区間内雑音量上限値とをそれぞれ決定する。

単位設計区間 g_h のそれぞれの伝送方向について決定された単位設計区間内雑音量上限値を $N_{th1}(g_h)$ 及び $N_{th2}(g_h)$ ($h = 1 \sim P$) と記す。

【0101】

累積ペナルティ決定部 132 は、パス内グラフ生成部 140 と、パス内ノード探索部 141 と、累積値計算部 142 を備える。パス内グラフ生成部 140 は、情報所得部 120 から得た情報に基づいて、波長パス d_j が経由する各局舎に配置される各種の光伝送装置の候補にそれぞれ対応する各ノードと、伝送ペナルティに対応付けられ各ノードを接続する各リンクと、からなるループのない有向のグラフ情報を生成する。

【0102】

パス内グラフ生成部 140 は、第 1 ノード候補生成部 143 と、第 1 リンク生成部 144 と、ペナルティ決定部 145 を備えている。第 1 ノード候補生成部 143 は、光伝送装置情報に基づいて、各局舎について、配置可能な各種の光伝送装置に対応する 1 つ以上のノードを生成する。

【0103】

たとえば、波長パス d_j が経由する区間に局舎 1 及び局舎 2 が含まれていたとする。局舎 1 に光伝送装置 A または光伝送装置 B が配置可能な場合は、第 1 ノード候補生成部 14

10

20

30

40

50

3 は、局舎 1 に光伝送装置 A を配置する場合に対応するノード 1 A と、局舎 1 に光伝送装置 B を配置する場合に対応するノード 1 B と、を生成する。

【0104】

また、局舎 2 に光伝送装置 A のみが配置可能な場合は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 は、局舎 2 に光伝送装置 A を配置する場合に対応するノード 2 A を生成する。第 1 ノード候補生成部 1 4 3 は、生成した各ノードを第 1 リンク生成部 1 4 4 へ出力する。このように第 1 ノード候補生成部 1 4 3 は、波長パス d_j が経由する区間内の各局舎にそれぞれ対応する 1 つ以上のノードを生成する。

【0105】

第 1 リンク生成部 1 4 4 は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 から出力された各ノードについて、当該ノードに対応する局舎よりも前段の局舎に対応するノードからの入力リンクを生成する。たとえば局舎 1 に対応するノード 1 A 及びノード 1 B と、局舎 1 の後段の局舎 2 に対するノード 2 A と、があった場合には、第 1 リンク生成部 1 4 4 は、ノード 1 A からノード 2 A への入力リンクと、ノード 1 B からノード 2 A への入力リンクとを生成する。

10

【0106】

第 1 リンク生成部 1 4 4 は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 から出力された各ノードと、生成した各入力リンクと、をペナルティ決定部 1 4 5 へ出力する。

ペナルティ決定部 1 4 5 は、波長パス情報によって与えられた各波長パス d_j の信号種類と、スパン情報によって与えられた、波長パス d_j の信号種類に対して隣接局舎間に生じる伝送ペナルティ量と、光伝送装置情報によって与えられた、各種の光伝送装置を経由する波長パス d_j の信号種類の光信号に生じる伝送ペナルティ量と、に基づいて、第 1 リンク生成部 1 4 4 から出力された各入力リンクについて、それぞれの入力リンクを選択した場合に波長パス d_j に生じる伝送ペナルティ量を、伝送ペナルティの種類毎に決定する。

20

【0107】

ペナルティ決定部 1 4 5 は、たとえば、ノード 1 A からノード 2 A への入力リンクについて、この入力リンクを選択した場合に波長パス d_j に生じる伝送ペナルティ量を算出する。

また、ペナルティ決定部 1 4 5 は、ノード 1 B からノード 2 A への入力リンクについて、この入力リンクを選択した場合に波長パス d_j に生じる伝送ペナルティ量を算出する。

30

ペナルティ決定部 1 4 5 は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 から出力された各ノードと、第 1 リンク生成部 1 4 4 から出力された各入力リンクと、算出した各伝送ペナルティ量を、パス内ノード探索部 1 4 1 へ出力する。

【0108】

累積ペナルティ決定部 1 3 2 が伝送ペナルティの累積値の最大値 $P_{max_k}(d_j)$ を決定するとき、パス内ノード探索部 1 4 1 は、パス内グラフ生成部 1 4 0 から出力されたグラフ情報において、伝送ペナルティの累積値が最大となる配置に対応する経路を、伝送ペナルティの種類毎に探索する。

また、累積ペナルティ決定部 1 3 2 が伝送ペナルティの累積値の最小値 $P_{min_k}(d_j)$ を決定するとき、パス内ノード探索部 1 4 1 は、パス内グラフ生成部 1 4 0 から出力されたグラフ情報において、伝送ペナルティの累積値が最小となる配置に対応する経路を、伝送ペナルティの種類毎に探索する。

40

【0109】

パス内ノード探索部 1 4 1 は、第 1 リンク選択部 1 4 6 と、第 1 ノード決定部 1 4 7 を備える。第 1 リンク選択部 1 4 6 は、パス内グラフ生成部 1 4 0 から出力された各ノードについての入力リンクを選択する。第 1 リンク選択部 1 4 6 は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 によって生成された各ノードについて、当該ノードに対して第 1 リンク生成部 1 4 4 によって生成された各入力リンクのうちのいずれかを選択する。

【0110】

50

累積ペナルティ決定部 132 が伝送ペナルティの累積値の最大値 $P_{\max_k}(d_j)$ 、を決定する場合には、第 1 リンク選択部 146 は、その入力リンクを選択した場合に対象ノードまでに累積される伝送ペナルティが最大となる入力リンクを選択する。

一方で、累積ペナルティ決定部 132 が伝送ペナルティの累積値の最小 $P_{\min_k}(d_j)$ を決定する場合には、第 1 リンク選択部 146 は、その入力リンクを選択した場合に当該ノードまでに累積される伝送ペナルティが最小となる入力リンクを選択する。

【0111】

たとえば、当該ノード 2A への入力リンクが、ノード 1A からの入力リンク (1A, 2A) 及びノード 1B からの入力リンク (1B, 2A) であり、ノード 1A 及びノード 1B までに累積される伝送ペナルティが、それぞれ $P_{Nacc}(1A)$ 及び $P_{Nacc}(1B)$ であり、入力リンク (1A, 2A) 及び入力リンク (1B, 2A) を選択した場合に生じる伝送ペナルティが $P_N(1A, 2A)$ 、 $P_N(1B, 2A)$ であったとする。

10

【0112】

この場合は、第 1 リンク選択部 146 は、当該ノード 2A について、入力リンク (1A, 2A) を選択した場合にノード 2A までに累積される $P_{Nacc}(1A) + P_N(1A, 2A)$ と、入力リンク (1B, 2A) を選択した場合にノード 2A までに累積される $P_{Nacc}(1B) + P_N(1B, 2A)$ を比較する。

累積ペナルティ決定部 132 が最大値 $P_{\max_k}(d_j)$ を決定する場合には、第 1 リンク選択部 146 は、前者が大きければ入力リンク (1A, 2A) を選択し、後者が大きければ入力リンク (1B, 2A) を選択する。

20

一方で、累積ペナルティ決定部 132 が最小 $P_{\min_k}(d_j)$ を決定する場合には、第 1 リンク選択部 146 は、前者が小さければ入力リンク (1A, 2A) を選択し、後者が小さければ入力リンク (1B, 2A) を選択する。

【0113】

第 1 リンク選択部 146 は、ペナルティ決定部 145 が算出した各伝送ペナルティ量と、各ノードについて選択した入力リンクを第 1 ノード決定部 147 に出力する。

【0114】

第 1 ノード決定部 147 は、第 1 リンク選択部 146 から出力された各入力リンクの始点ノードに基づいて、波長パス d_j が経路する区間内の各局舎に対する各種の光伝送装置の配置を決定する。たとえば、第 1 リンク選択部 146 から出力された各入力リンクのそれぞれの始点ノードがノード 1A, ノード 2B, ノード 3A... であった場合は、第 1 ノード決定部 147 は、各局舎に対する各種の光伝送装置の配置を、ノード 1A, ノード 2B, ノード 3A... に対応する光伝送装置の配置に決定する。

30

【0115】

第 1 ノード決定部 147 は、決定した各ノードと、ペナルティ決定部 145 が算出した各伝送ペナルティ量とを累積値計算部 142 へ出力する。

累積値計算部 142 は、第 1 ノード決定部 147 が決定した各ノードを通過する経路に沿って累積する伝送ペナルティを、伝送ペナルティの種類毎に決定し、雑音量上限値決定部 133 に出力する。

【0116】

40

図 9 は、図 7 に示す初期候補生成部 125 のブロック図である。初期候補生成部 125 は、第 1 単位設計区間内グラフ生成部 150 と、第 1 単位設計区間内ノード探索部 151 とを備える。

第 1 単位設計区間内グラフ生成部 150 は、情報所得部 120 から得た情報と、区間分割部 121 がネットワーク 200 を分割して生成した各単位設計区間 g_h に関する情報に基づいて、各単位設計区間 g_h に配置される各種の光伝送装置の候補にそれぞれ対応する各ノードと、伝送ペナルティに対応付けられ各ノードを接続する各リンクと、からなるループのない有向のグラフ情報を生成する。

【0117】

第 1 単位設計区間内グラフ生成部 150 は、第 2 ノード候補生成部 152 と、第 2 リン

50

ク生成部 1 5 3 と、コスト決定部 1 5 4 と、伝送劣化量決定部 1 5 5、を備えている。

第 2 ノード候補生成部 1 5 2 は、光伝送装置情報に基づいて、各单位設計区間 g_h の各局舎について、配置可能な各種の光伝送装置に対応する 1 つ以上のノードを生成する。

【0 1 1 8】

たとえば、単位設計区間 g_h に局舎 1 および局舎 2 が含まれているとする。局舎 1 に光伝送装置 A または光伝送装置 B が配置可能な場合は、第 2 ノード候補生成部 1 5 2 は、局舎 1 に光伝送装置 A を配置する場合に対応するノード 1 A と、局舎 A に光伝送装置 B を配置する場合に対応するノード 1 B と、を生成する。

【0 1 1 9】

また、局舎 2 に光伝送装置 A のみが配置可能な場合は、第 2 ノード候補生成部 1 5 2 は、局舎 2 に光伝送装置 A を配置する場合に対応するノード 2 A を生成する。第 2 ノード候補生成部 1 5 2 は、生成した各ノードを第 2 リンク生成部 1 5 3 へ出力する。

【0 1 2 0】

第 2 リンク生成部 1 5 3 は、第 2 ノード候補生成部 1 5 2 から出力された各ノードについて、当該ノードに対応する局舎よりも前段の局舎に対応するノードからの入力リンクを生成する。たとえば局舎 1 に対応するノード 1 A 及びノード 1 B と、局舎 1 の後段の局舎 2 に対するノード 2 A と、があった場合には、第 2 リンク生成部 1 5 3 は、ノード 1 A からノード 2 A への入力リンクと、ノード 1 B からノード 2 A への入力リンクとを生成する。

第 2 リンク生成部 1 5 3 は、第 2 ノード候補生成部 1 5 2 から出力された各ノードと、生成した各入力リンクと、をコスト決定部 1 5 4 及び伝送劣化量決定部 1 5 5 へ出力する。

【0 1 2 1】

コスト決定部 1 5 4 は、光伝送装置情報によって与えられた各種の光伝送装置のコストに基づいて、第 2 リンク生成部 1 5 3 から出力された各入力リンクについて、各入力リンクを選択した場合のコストを算出する。たとえば算出されるコストは、各局舎に配置する光伝送装置のコストとしてよい。

【0 1 2 2】

コスト決定部 1 5 4 は、たとえば、ノード 1 A からノード 2 A への入力リンクについて、この入力リンクを選択した場合に生じるコストを算出する。またコスト決定部 1 5 4 は、ノード 1 B からノード 2 A への入力リンクについて、この入力リンクを選択した場合に生じるコストを算出する。

【0 1 2 3】

伝送劣化量決定部 1 5 5 は、スパン情報によって与えられた隣接局舎間に生じる雑音量及び伝送ペナルティ量と、光伝送装置情報によって与えられた、各種の光伝送装置を経由する光信号に生じる雑音量及び伝送ペナルティ量に基づいて、第 2 リンク生成部 1 5 3 から出力された各入力リンクについて、それぞれの入力リンクを選択した場合に生じる、伝送劣化量、すなわち、雑音量と伝送ペナルティの種類毎の伝送ペナルティ量を決定する。

【0 1 2 4】

伝送劣化量決定部 1 5 5 は、たとえば、ノード 1 A からノード 2 A への入力リンクについて、この入力リンクを選択した場合に生じる雑音量及び伝送ペナルティをそれぞれ算出する。また伝送劣化量決定部 1 5 5 は、ノード 1 B からノード 2 A への入力リンクについて、この入力リンクを選択した場合に生じる雑音量及び伝送ペナルティをそれぞれ算出する。

【0 1 2 5】

伝送劣化量決定部 1 5 5 は、入力リンクの入力方向の順方向と逆方向のそれぞれについて雑音量と伝送ペナルティ量を決定する。局舎 A から局舎 B へ入力する入力リンクに対して、伝送劣化量決定部 1 5 5 は、局舎 A から局舎 B への経路上で生じる雑音量及び伝送ペナルティ量と、局舎 B から局舎 A への経路上で生じる雑音量及び伝送ペナルティ量とをそれぞれ決定する。

10

20

30

40

50

【0126】

伝送劣化量決定部155は、第2ノード候補生成部152から出力された各ノードと、第2リンク生成部153から出力された各入力リンクと、算出した伝送劣化量を、第1単位設計区間内ノード探索部151へ出力する。

またコスト決定部154は、算出したコストを第1単位設計区間内ノード探索部151へ出力する。

【0127】

第1単位設計区間内ノード探索部151は、第1単位設計区間内グラフ生成部150から出力されたグラフ情報において、光再生中継器を配置可能な装置が配置された隣接局者の伝送劣化量がそれぞれの上限值以下となり、コストが最小となる配置に対応する経路を探索する。第1単位設計区間内ノード探索部151は、第2リンク選択部156と、第2ノード決定部157を有する。第2リンク選択部156は、第1単位設計区間内グラフ生成部150から出力された各ノードについて入力リンクを選択する。

10

【0128】

第2リンク選択部156は、第2ノード候補生成部152によって生成された各ノードについて、対象のノードに対応して第2リンク生成部153によって生成された各入力リンクのうちのいずれかを選択する。このとき、第2リンク選択部156は、その入力リンクを選択した場合に対象のノードまでに累積されるコストが最小となる入力リンクを選択する。

【0129】

20

たとえば、対象のノード2Aへの入力リンクがノード1Aからの入力リンク(1A, 2A)およびノード1Bからの入力リンク(1B, 2A)であり、ノード1Aおよびノード1Bまでに累積される各コストがCOSTacc(1A)およびCOSTacc(1B)であり、入力リンク(1A, 2A)および入力リンク(1B, 2A)を選択した場合の各コストがCOST(1A, 2A)およびCOST(1B, 2A)であるとする。

【0130】

この場合は、第2リンク選択部156は、対象のノード2Aについて、入力リンク(1A, 2A)を選択した場合にノード2Aまでに累積されるCOSTacc(1A) + COST(1A, 2A)と、入力リンク(1B, 2A)を選択した場合にノード2Aまでに累積されるCOSTacc(1B) + COST(1B, 2A)と、を比較し、前者が小さければ入力リンク(1A, 2A)を選択し、後者が小さければ入力リンク(1B, 2A)を選択する。

30

【0131】

また、第2リンク選択部156は、対象のノードについて第1単位設計区間内グラフ生成部150から出力された各入力リンクのうちの、その入力リンクを選択した場合に、対象のノードに対応する局舎より後段の局舎に対応する各ノードのうちの光再生中継器を配置可能な光伝送装置に対応するノード(以下、「後段光再生ノード」という)までに累積される各伝送劣化量がすべて閾値以下となる入力リンクから、コストが最小となる入力リンクを選択する。

【0132】

40

たとえば、ノード2Aに対応する局舎2の後段に局舎3があり、局舎3に対応するノード3Aおよびノード3Bのうちの、ノード3Aが光再生中継器を配置可能な光伝送装置である場合は、第2リンク選択部156は、ノード3Aを後段光再生ノードとする。そして、第2リンク選択部156は、ノード3Aまでに累積される伝送劣化量が閾値以下となる入力リンクから、コストが最小となる入力リンクを選択する。

【0133】

また、ノード2Aについて後段光再生ノードが複数ある場合は、複数の後段光再生ノードのうちのノード2Aからの伝送劣化量が最小となるノードまでに累積される伝送劣化量が閾値以下となる入力リンクから、コストが最小となる入力リンクを選択する。

【0134】

50

また、第2リンク選択部156は、対象のノードの後段光再生ノードまでに累積される伝送劣化量として、その入力リンクの始点ノードまでに累積される伝送劣化量と、その入力リンクを選択したときの伝送劣化量と、対象のノードから対象のノードの後段光再生ノードまでの伝送劣化量の最小値と、の合計値を用いる。

【0135】

たとえば、伝送劣化量として順方向の雑音量に関する処理を説明すると、ノード1Aおよびノード1Bまでに累積される伝送劣化量をそれぞれ $NOISE_{acc}(1A)$ および $NOISE_{acc}(1B)$ とし、入力リンク(1A, 2A)および入力リンク(1B, 2A)について伝送劣化量決定部155によって決定された雑音量をそれぞれ $NOISE(1A, 2A)$ および $NOISE(1B, 2A)$ とし、ノード2Aから後段光再生ノード(ノード3A)までの伝送劣化量の最小値を $NOISE_{min}$ とし、単位設計区間内雑音量上限値決定部134が決定した順方向の単位設計区間内雑音量上限値を雑音量の閾値 $NOISE_{th}$ とする。

10

【0136】

この場合は、第2リンク選択部156は、ノード2Aについて、入力リンク(1A, 2A)に対応する $NOISE_{acc}(1A) + NOISE(1A, 2A) + NOISE_{min}$ と、入力リンク(1B, 2A)に対応する $NOISE_{acc}(1B) + NOISE(1B, 2A) + NOISE_{min}$ と、をそれぞれ算出し、各算出結果と $NOISE_{th}$ と、をそれぞれ比較する。第2リンク選択部156は、算出結果が $NOISE_{th}$ より大きくなる入力リンクを除外し、残った入力リンクのうちのコストが最小となる入力リンクを選択する。

20

【0137】

また、第2リンク選択部156は、対象のノードが光再生中継器を配置可能な光伝送装置に対応するノードである場合は、対象のノードから後段光再生ノードまでの伝送劣化量の最小値 $NOISE_{min0}$ とする。また、この場合、入力リンク選択後、第2リンク選択部156は、対象のノードが光再生中継器を配置可能な光伝送装置に対応するノードである場合は、対象のノードまでに累積される伝送劣化量を0とする。

【0138】

たとえば、ノード2Aが光再生中継器を配置可能な光伝送装置に対応するノードである場合は、第2リンク選択部156は、ノード2Aについて、 $NOISE_{acc}(1A) + NOISE(1A, 2A) + 0$ と、 $NOISE_{acc}(1B) + NOISE(1B, 2A) + 0$ と、をそれぞれ算出する。また、入力リンク選択後、第2リンク選択部156は、ノード2Aまでに累積される伝送劣化量 $NOISE_{acc}(2A)$ を0とする。なお、ノード2Aまでに累積される伝送劣化量は、局舎2の直後の局舎3に対応する各ノードの入力リンクの選択に用いられる。

30

【0139】

第2リンク選択部156は、伝送劣化量が逆方向の雑音量である場合についても、同様の処理によって、累積される雑音量を決定して、算出結果が閾値より大きくなる入力リンクを除外する。

また第2リンク選択部156は、伝送劣化量が各方向の各伝送ペナルティである場合についても、同様の処理によって、累積される伝送ペナルティを決定して、算出結果が閾値より大きくなる入力リンクを除外する。伝送劣化量を各伝送ペナルティとするときは、第2リンク選択部156は、単位設計区間内ペナルティ上限値決定部131が決定した各伝送方向の伝送ペナルティ上限値を、伝送ペナルティの閾値として使用する。

40

【0140】

第2ノード決定部157は、第2リンク選択部156から出力された各入力リンクの始点ノードに基づいて、線形区間内の各局舎に対する各種の光伝送装置の配置、すなわち光伝送装置構成の1つの候補を決定する。たとえば、第2リンク選択部156から出力された各入力リンクのそれぞれの始点ノードがノード1A, ノード2B, ノード3A...であった場合は、第2ノード決定部157は、各局舎に対する各種の光伝送装置の配置を、ノード

50

ド 1 A , ノード 2 B , ノード 3 A ... に対応する光伝送装置の配置に決定する。第 2 ノード決定部 1 5 7 は、決定した光伝送装置構成の候補を記憶部 1 2 6 に格納する。

【 0 1 4 1 】

以上のとおり構成された初期候補生成部 1 2 5 によって光伝送装置構成が選択された単位設計区間では、光再生中継器を配置可能な装置が配置された隣接局舎間の雑音量が、その単位設計区間を経由する各波長パスについて決定された雑音上限値の最小値よりも小さくなる。

【 0 1 4 2 】

また、以上のとおり構成された初期候補生成部 1 2 5 によって光伝送装置構成が選択された単位設計区間では、光再生中継器を配置可能な装置が配置された隣接局舎間の伝送ペナルティが、当該単位設計区間を経由する各波長パスについて決定された伝送ペナルティの上限値の最小値よりも小さくなる。

【 0 1 4 3 】

図 1 0 は、図 7 に示す追加候補探索部 1 2 8 のブロック図である。追加候補探索部 1 2 8 は、図 7 に示す緩和問題解決部 1 2 7 が決定した双対価格ベクトルの値に基づいて決定された被約費用の算出式にしたがって、各単位設計区間について、被約費用の値が負となる新たな光伝送装置構成の候補 t' を探索する。

【 0 1 4 4 】

追加候補探索部 1 2 8 は、第 2 単位設計区間内グラフ生成部 1 6 0 と、第 2 単位設計区間内ノード探索部 1 6 1 と、被約費用決定部 1 6 8 と、追加可否判定部 1 6 9 を備える。

第 2 単位設計区間内グラフ生成部 1 6 0 及び第 2 単位設計区間内ノード探索部 1 6 1 は、図 9 に示す初期候補生成部 1 2 5 の第 1 単位設計区間内グラフ生成部 1 5 0 及び第 1 単位設計区間内ノード探索部 1 5 1 と類似する構成を有する。

【 0 1 4 5 】

第 2 単位設計区間内グラフ生成部 1 6 0 が有する第 3 ノード候補生成部 1 6 2、第 3 リンク生成部 1 6 3 及び伝送劣化量決定部 1 6 5 は、第 1 単位設計区間内グラフ生成部 1 5 0 が有する第 2 ノード候補生成部 1 5 2、第 2 リンク生成部 1 5 3 及び伝送劣化量決定部 1 5 5 と同様の機能を有する。

第 2 単位設計区間内ノード探索部 1 6 1 が有する第 3 リンク選択部 1 6 6 及び第 3 ノード決定部 1 6 7 は、第 1 単位設計区間内ノード探索部 1 5 1 が有する第 2 リンク選択部 1 5 6 及び第 2 ノード決定部 1 5 7 と同様の機能を有する。

【 0 1 4 6 】

ただし、第 2 単位設計区間内グラフ生成部 1 6 0 は、第 1 単位設計区間内グラフ生成部 1 5 0 がコスト決定部 1 5 4 を有するのに代えて、被約費用変化決定部 1 6 4 を備える。

被約費用変化決定部 1 6 4 は、コスト決定部 1 5 4 が各入力リンクを選択した場合のコストを決定するのに代えて、各入力リンクを選択した場合における当該単位設計区間の被約費用の変化量 ΔRC を決定する。

また、第 1 単位設計区間内ノード探索部 1 5 1 の第 2 リンク選択部 1 5 6 が、その入力リンクを選択した場合に対象のノードまでに累積されるコストが最小となる入力リンクを選択するのに代えて、第 3 リンク選択部 1 6 6 は、その入力リンクを選択した場合に対象のノードまでに累積される被約費用の変化量 ΔRC が最小となる入力リンクを選択する。

また、上述したように第 2 リンク選択部 1 5 6 により選択された入力リンクにより接続される光再生中継器を配置可能な局舎の間に生じる雑音量及び各ペナルティ値が上記の各閾値以下となるのと同様に、第 3 リンク選択部 1 6 6 により選択された入力リンクにより接続される光再生中継器を配置可能な局舎の間に生じる雑音量及び各ペナルティ値もまた上記の閾値以下となる。

【 0 1 4 7 】

装置構成決定部 1 2 4 が、式 (1) により与えられる整数計画問題を解く場合には、被約費用変化決定部 1 6 4 は、光伝送装置情報によって与えられた各種の光伝送装置のコストと各種の光伝送装置を経由する光信号に生じる雑音量、及びスパン情報によって与えら

10

20

30

40

50

れた隣接局舎間に生じる雑音量に基づいて、各入力リンクを選択した場合に増加する装置コスト Δc 並びに雑音量 $\Delta n f$ 及び $\Delta n r$ を決定する。

【0148】

$\Delta n f$ は、当該入力リンクを選択した場合に、当該単位設計区間をその基準方向と同じ方向に伝送する波長パスに生じる雑音量の変化量であり、 $\Delta n r$ は、当該入力リンクを選択した場合に、当該単位設計区間をその基準方向と反対方向に伝送する波長パスに生じる雑音量の変化量である。

【0149】

被約費用変化決定部164は、緩和問題解決部127が決定した双対価格ベクトルの値に基づいて決定された被約費用の算出式(10)に従って、各入力リンクを選択した場合における当該単位設計区間の被約費用の変化量 ΔRC を決定する。

10

【0150】

【数12】

$$\Delta RC = \Delta c + B \cdot \Delta nf + C \cdot \Delta nr \quad \dots (10)$$

但し、

$$\begin{cases} B = -\sum_{j=1}^N (1 - \text{Re}(d_j, t')) \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \\ C = -\sum_{j=1}^N \text{Re}(d_j, t') \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \end{cases}$$

20

【0151】

装置構成決定部124が、式(3)により与えられる整数計画問題を解く場合には、被約費用変化決定部164は、光伝送装置情報によって与えられた各種の光伝送装置のコストと各種の光伝送装置を経由する光信号に生じる雑音量及び伝送ペナルティ量、及びスパン情報によって与えられた隣接局舎間に生じる雑音量及び伝送ペナルティ量に基づいて、各入力リンクを選択した場合に増加する装置コスト Δc 、雑音量 $\Delta n f$ 及び $\Delta n r$ 、並びに伝送ペナルティ量 $\Delta p f_{kj}$ 及び $\Delta p r_{kj}$ を決定する。

30

【0152】

$\Delta p f_{kj}$ は、当該入力リンクを選択した場合に、当該単位設計区間をその基準方向と同じ方向に伝送する波長パス d_j に生じる、第k番目の種類の伝送ペナルティ量の変化量である。また $\Delta p r_{kj}$ は、当該入力リンクを選択した場合に、当該単位設計区間をその基準方向と反対方向に伝送する波長パス d_j に生じる、第k番目の種類の伝送ペナルティ量の変化量である。

【0153】

被約費用変化決定部164は、緩和問題解決部127が決定した双対価格ベクトルの値に基づいて決定される、以下の被約費用の算出式(11)に従って、各入力リンクを選択した場合における当該単位設計区間の被約費用の変化量 ΔRC を決定する。

40

【0154】

【数 1 3】

$$\Delta RC = \Delta c + B \cdot \Delta nf + C \cdot \Delta nr + \sum_{k=1}^R \sum_{j=1}^N \{D_k \cdot \Delta pf_{kj} + E_k \cdot \Delta pr_{kj}\} \quad \dots (11)$$

但し、

$$\begin{cases} B = -\sum_{j=1}^N (1 - \text{Re}(d_j, t')) \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \\ C = -\sum_{j=1}^N \text{Re}(d_j, t') \cdot \pi n_j \cdot I(d_j, t') \\ D = -(1 - \text{Re}(d_j, t_i)) \cdot \pi p_{kj} \cdot I(d_j, t') \\ E = -\text{Re}(d_j, t') \cdot \pi p_{kj} \cdot I(d_j, t') \end{cases} \quad 10$$

【0 1 5 5】

以上のとおり構成された第2単位設計区間内グラフ生成部160及び第2単位設計区間内ノード探索部161によって選択された光伝送装置構成は、当該単位設計区間において最小の被約費用を生じる光伝送装置構成となる。

20

【0 1 5 6】

被約費用決定部168は、第2単位設計区間内グラフ生成部160及び第2単位設計区間内ノード探索部161によって選択された光伝送装置構成により生じる被約費用RCを決定する。被約費用決定部168は、たとえば、選択された光伝送装置構成において単位設計区間に亘って累積する被約費用の変化量 ΔRC の累積値に、緩和問題解決部127が決定した双対価格ベクトル π_g のうち当該単位設計区間に対する成分を減じることによって被約費用RCを決定する。

【0 1 5 7】

追加可否決定部169は、被約費用決定部168により決定された被約費用RCが0より小さいか否かを判定し、判定結果を緩和問題解決部127及び整数計画問題解決部129へ通知する。追加可否決定部169は、被約費用RCが0より小さい場合には、決定した光伝送装置構成の候補を記憶部126に格納する。

30

【0 1 5 8】

緩和問題解決部127は、追加可否決定部169による判定結果に従って、追加候補探索部128が被約費用RCが負である構成を発見できるか否かを判定する。緩和問題解決部127は、追加候補探索部128が被約費用RCが負である構成を発見できなくなるまで、追加候補探索部128により新たに候補が追加された装置構成候補データ114を読み込み、整数計画問題の緩和問題を解決して双対価格ベクトルを更新する。

【0 1 5 9】

整数計画問題解決部129は、追加可否決定部169による判定結果に従って、追加候補探索部128が被約費用RCが負である構成を発見できるか否かを判定する。追加候補探索部128が、被約費用RCが負である構成を発見できなくなったとき、その時点で装置構成候補データ114を読み込み、整数計画問題を緩和しないで解決することにより、光ネットワーク200の光伝送装置構成を決定する。

40

【0 1 6 0】

図11は、開示のネットワーク設計方法の全体フローチャートである。

ステップS1において、図7に示す情報取得部120は、WDM光ネットワーク情報を取得する。

ステップS2において、区間分割部121は、WDM光ネットワーク情報中のネットワークトポロジ情報によって与えられた光ネットワーク200を、線形区間である単位設計

50

区間に分割する。

【 0 1 6 1 】

ステップ S 3 において、図 8 に示すパラメータ決定部 1 2 3 は、雑音量上限値 N_{th} 又は N_{th}' 、及び伝送ペナルティの上限値 $P_{th_k}(d_j)$ を決定する。

さらに、パラメータ決定部 1 2 3 は、単位設計区間内雑音量上限値 $N_{th1}(g_h)$ 及び $N_{th2}(g_h)$ 並びに単位設計区間内ペナルティ上限値 $P_{th1_k}(g_h)$ 及び $P_{th2_k}(g_h)$ を決定する。

【 0 1 6 2 】

上述のとおり、パラメータ決定部 1 2 3 が、上述の決定方法の第 2 例又は第 3 例によって雑音量上限値 N_{th}' を決定する場合、図 8 に示す累積ペナルティ決定部 1 3 2 は、各波長パス d_j 上において取りうる伝送ペナルティの累積値の最小値 $P_{min_k}(d_j)$ 及び / 又は最大値 $P_{max_k}(d_j)$ を決定する。以下、累積ペナルティ決定部 1 3 2 による、伝送ペナルティの累積値の最小値 $P_{min_k}(d_j)$ 及び最大値 P_{max_k} の決定方法を説明する。

【 0 1 6 3 】

図 1 2 は、図 8 に示すパス内グラフ生成部 1 4 0 が生成するグラフ情報の例を示す図 (その 1) である。図 1 2 に示す局舎 1 ~ 6 は、図 1 において波長パス d が経由する単位設計区間 2 0 2 及び 2 0 3 における局舎 1 ~ 6 である。ノード 1 A ~ 6 A およびノード 2 B、3 B 及び 5 B は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 が生成した各ノードを示している。局舎 1 ~ 局舎 6 に配置可能な光伝送装置のうちの光再生中継器を配置可能な光伝送装置として OADM (たとえば図 3 の OADM 4 0 0) を用いる。

【 0 1 6 4 】

また、局舎 1 ~ 局舎 6 に配置可能な光伝送装置のうちの光再生中継器を配置できない光伝送装置として ILA (たとえば、図 4 の ILA 5 0 0) を用いる。局舎 1 ~ 局舎 6 のうちの、始端局舎である局舎 1 と、終端局舎である局舎 6 には、光再生中継器を配置可能な OADM のみが配置可能である。局舎 2 と局舎 3、局舎 5 には OADM、ILA またはバイパス (たとえば、図 5 のバイパス 6 0 0) が配置可能である。また、局舎 4 には ILA を配置不可としている。

【 0 1 6 5 】

第 1 ノード候補生成部 1 4 3 は、局舎 1 ~ 6 について、各局舎に配置可能な OADM を示すノード 1 A ~ ノード 6 A をそれぞれ生成する。また、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 は、局舎 2、3 及び 5 について、各局舎に配置可能な ILA を示すノード 2 B、3 B 及びノード 5 B をそれぞれ生成する。図 1 2 において、矢印は、第 1 リンク生成部 1 4 4 によって生成された各ノード間の各入力リンクを示している。以下の説明において、ノード Y のノード X からの入力リンクを入力リンク (X , Y) と表記する。

【 0 1 6 6 】

第 1 ノード候補生成部 1 4 3 によって生成されたノード 1 A は始端局舎に対応するノードであるため、第 1 リンク生成部 1 4 4 はノード 1 A への入力リンクは生成しない。第 1 リンク生成部 1 4 4 は、ノード 2 A について、ノード 2 A に対応する局舎 2 より前段の局舎 1 に対応するノード 1 A からの入力リンク (1 A , 2 A) を生成する。また、第 1 リンク生成部 1 4 4 は、ノード 2 B について、ノード 2 B に対応する局舎 2 より前段の局舎 1 に対応するノード 1 A からの入力リンク (1 A , 2 B) を生成する。

【 0 1 6 7 】

また、第 1 リンク生成部 1 4 4 は、ノード 3 A について、ノード 3 A に対応する局舎 3 より前段の局舎 2 に対応するノード 2 A からの入力リンク (2 A , 3 A) およびノード 2 B からの入力リンク (2 B , 3 A) を生成する。また、第 1 リンク生成部 1 4 4 は、ノード 3 B について、ノード 3 B に対応する局舎 3 より前段の局舎 2 に対応するノード 2 A からの入力リンク (2 A , 3 B) およびノード 2 B からの入力リンク (2 B , 3 B) を生成する。

【 0 1 6 8 】

10

20

30

40

50

また、第 1 リンク生成部 144 は、ノード 4 A について、ノード 4 A に対応する局舎 4 より前段の局舎 3 に対応するノード 3 A からの入力リンク (3 A, 4 A) およびノード 3 B からの入力リンク (3 B, 4 A) を生成する。

【0169】

また、第 1 リンク生成部 144 は、ノード 5 A について、ノード 5 A に対応する局舎 5 より前段の局舎 4 に対応するノード 4 A からの入力リンク (4 A, 5 A) を生成する。また、第 1 リンク生成部 144 は、ノード 5 B について、ノード 5 B に対応する局舎 5 より前段の局舎 4 に対応するノード 4 A からの入力リンク (4 A, 5 B) を生成する。

【0170】

また、第 1 リンク生成部 144 は、ノード 6 A について、ノード 6 A に対応する局舎 6 より前段の局舎 5 に対応するノード 5 A からの入力リンク (5 A, 6 A) およびノード 5 B からの入力リンク (5 B, 6 A) を生成する。

【0171】

以下、ペナルティ決定部 145 が決定した伝送ペナルティ量の例を示す。図 12 において、各入力リンクに隣接して表示される数字は、各入力リンクについてペナルティ決定部 145 によって算出された伝送ペナルティを示す。ペナルティ決定部 145 は、第 1 リンク生成部 144 によって生成された入力リンク (1 A, 2 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「1」と決定する。また、ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (1 A, 2 B) を選択した場合の伝送ペナルティを「2」と決定する。

【0172】

ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (2 A, 3 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「1」と決定する。また、ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (2 B, 3 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「2」と決定する。また、ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (2 A, 3 B) を選択した場合の伝送ペナルティを「2」と決定する。また、ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (2 B, 3 B) を選択した場合の伝送ペナルティを「3」と決定する。

【0173】

ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (3 A, 4 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「1」と決定する。また、ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (3 B, 4 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「2」と決定する。

ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (4 A, 5 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「1」と決定する。ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (4 A, 5 B) を選択した場合の伝送ペナルティを「2」と決定する。

【0174】

ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (5 A, 6 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「1」と決定する。また、ペナルティ決定部 145 は、入力リンク (5 B, 6 A) を選択した場合の伝送ペナルティを「2」と決定する。これにより、局舎 1 ~ 6 に配置する OADM, ILA に対応する各ノードと、伝送ペナルティ量に対応付けられかつ各ノードを接続する各リンクと、からなるグラフ情報が生成される。

【0175】

図 13 は、図 8 に示すパス内グラフ生成部 140 が生成するグラフ情報の例を示す図 (その 2) である。図 13 において、図 12 に示した伝送ペナルティ量は図示を省略している。図 12 においては、第 1 リンク生成部 144 が、各ノードについて、各ノードの直前のノードからの入力リンクのみを生成する場合について説明したが、第 1 リンク生成部 144 は、各ノードの直前のノードからの入力リンクに加えて、各ノードの 2 つ以上前のノードからの入力リンクを生成してもよい。

【0176】

ここでは、第 1 リンク生成部 144 は、ノード 3 B について、入力リンク (2 A, 3 B) および入力リンク (2 B, 3 B) に加えて、ノード 3 A に対応する局舎 3 より前段の局舎 1 に対応するノード 1 A からの入力リンク (1 A, 3 B) を生成する。ノード 3 B にお

10

20

30

40

50

いて、入力リンク (1 A , 3 B) を選択した場合は、局舎 2 にはバイパスを配置する。

【 0 1 7 7 】

また、第 1 リンク生成部 1 4 4 は、ノード 4 A について、入力リンク (3 A , 4 A) および入力リンク (3 B , 4 A) に加えて、ノード 4 A に対応する局舎 4 より前段の局舎 1 に対応するノード 1 A からの入力リンク (1 A , 4 A) を生成する。ノード 4 A において、入力リンク (1 A , 4 A) を選択した場合は、局舎 2 及び 3 にはバイパスを配置する。

【 0 1 7 8 】

このように、入力リンク (1 A , 3 B) 及び入力リンク (1 A , 4 A) をバイパスリンクとして生成する。ペナルティ決定部 1 4 5 は、入力リンク (1 A , 3 B) を選択した場合の伝送ペナルティ量を「 7 」と決定する。また、ペナルティ決定部 1 4 5 は、入力リンク (1 A , 4 A) を選択した場合の伝送ペナルティ量を「 2 」と決定する。

以下の説明では、簡単のため、図 1 2 に示した各入力リンクと、これらのバイパスリンクのみを生成する場合について説明する。

【 0 1 7 9 】

図 1 4 は、図 8 に示す第 1 リンク選択部 1 4 6 による入力リンクの選択処理の説明図である。図 1 4 において、図 1 2 および図 1 3 に示した部分と同様の部分については同一の符号を付して説明を省略する。ここでは、ノード 3 B への入力リンクの選択について説明する。ノード 3 B への各入力リンクを太矢印で示し、他の入力リンクは細矢印で示している。第 1 リンク選択部 1 4 6 は、第 1 リンク生成部 1 4 4 によって生成されたノード 3 B への 3 つの入力リンク (2 A , 3 B) 、入力リンク (2 B , 3 B) および入力リンク (1 A , 3 B) から一つの入力リンクを選択する。

【 0 1 8 0 】

ノード 3 B への入力リンク (2 A , 3 B) 、入力リンク (2 B , 3 B) および入力リンク (1 A , 3 B) から一つの入力リンクを選択することで、局舎 3 に I L A を配置する場合の、局舎 3 の直前に O A D M または I L A が配置される局舎までの各配置が第 1 ノード決定部 1 4 7 によって決定される。第 1 リンク選択部 1 4 6 によって入力リンク (2 A , 3 B) が選択されたときは、局舎 3 に I L A を配置する場合に、局舎 2 には O A D M が配置されることが第 1 ノード決定部 1 4 7 によって決定される。

【 0 1 8 1 】

また、第 1 リンク選択部 1 4 6 によって入力リンク (2 B , 3 B) が選択されたときは、局舎 3 に I L A を配置する場合に、局舎 2 には I L A が配置されることが第 1 ノード決定部 1 4 7 によって決定される。また、第 1 リンク選択部 1 4 6 によって入力リンク (1 A , 3 B) が選択されたときは、局舎 3 に I L A を配置する場合に、局舎 2 にはバイパスが配置され、局舎 1 には O A D M が配置されることが第 1 ノード決定部 1 4 7 によって決定される。

【 0 1 8 2 】

ここでは、第 1 リンク選択部 1 4 6 がノード 3 B への各入力リンクから一つの入力リンクを選択する場合について説明したが、第 1 リンク選択部 1 4 6 は、各ノード 2 A ~ 6 A , 2 B 及び 5 B についても同様に、各入力リンクから一つの入力リンクを選択することによって、局舎 1 ~ 6 を経由する波長パスに生じる伝送ペナルティの累積値が最小又は最大となる配置に対応する経路を探索する。

【 0 1 8 3 】

図 1 5 は、図 8 に示す第 1 リンク選択部 1 4 6 による選択処理の例を示すフローチャートである。図 1 5 は、累積ペナルティ決定部 1 3 2 が、各波長パス d_j 上において取りうる伝送ペナルティの累積値の最大値 $P_{max_k}(d_j)$ を決定する場合の処理を示す。

ステップ S 1 0 では、第 1 リンク選択部 1 4 6 は、第 1 ノード候補生成部 1 4 3 によって生成された各ノード N_x ($x = 1 \sim q$) を取得する。

ステップ S 1 1 では、第 1 リンク選択部 1 4 6 は、取得した各ノード N_x のいずれかを参照するノード番号 x を 1 に設定する。

【 0 1 8 4 】

10

20

30

40

50

ステップS 1 2では、第1リンク選択部1 4 6は、ノード N_x への各入力リンク l_i ($i = 1 \sim r$)を取得する。

ステップS 1 3では、第1リンク選択部1 4 6は、ノード N_x への各入力リンク l_i ($i = 1 \sim r$)のうち、各入力リンク l_i の始点ノード N_i までの累積される伝送ペナルティ量 $P_{Nacc}(N_i)$ と、入力リンク l_i の伝送ペナルティ量 $P_N(l_i)$ と、の合計値が最大となる入力リンク l_i を、ノード N_x への入力リンク L として選択する。

【0 1 8 5】

なお、累積ペナルティ決定部1 3 2が最小値 $P_{min_k}(d_j)$ を決定する場合には、ステップS 1 3において、第1リンク選択部1 4 6は、ノード N_x への各入力リンク l_i ($i = 1 \sim m$)のうち、各入力リンク l_i の始点ノード N_i までの累積される伝送ペナルティ量 $P_{Nacc}(N_i)$ と、入力リンク l_i の伝送ペナルティ量 $P_N(l_i)$ と、の合計値が最小となる入力リンク l_i を、ノード N_x への入力リンク L として選択する。

【0 1 8 6】

ステップS 1 4において第1リンク選択部1 4 6は、ノード N_x までの累積された伝送ペナルティ量 $P_{Nacc}(N_x) = P_{NTacc}(N_{pre}) + P_N(L)$ を算出する。 $P_{Nacc}(N_{pre})$ は、ステップS 1 3によって選択された入力リンク L の始点ノード N_{pre} までの累積された伝送ペナルティ量である。また、 $P_N(L)$ は、入力リンク L を選択したときの伝送ペナルティ量である。

【0 1 8 7】

ステップS 1 5において第1リンク選択部1 4 6は、ノード番号 x が最後の番号 q であるか否かを判断する。ノード番号 x が最後の番号 q でない場合には、第1リンク選択部1 4 6はノード番号 x を $x + 1$ に変更し(ステップS 1 6)、ステップS 1 2へ戻って処理を続行する。ノード番号 x が最後の番号 q である場合は、第1リンク選択部1 4 6は入力リンクの選択処理を終了する。

【0 1 8 8】

図1 2 ~ 図1 4に示した例において図1 5の各ステップを適用した場合について説明する。図1 6は、図8に示す第1リンク選択部1 4 6による入力リンクの選択処理の結果を示す図である。図1 6において、図1 2 ~ 図1 4に示した部分と同様の部分については同一の符号を付して説明を省略する。

【0 1 8 9】

また、図1 6において、矢印は、図1 5に示した各ステップによって選択された入力リンク L を示している。また、各ノードとともに、ステップS 1 2 ~ S 1 6によって算出される累積された伝送ペナルティを図示している。

【0 1 9 0】

ノード2 Aへの入力リンク L の決定について説明する。入力リンク(1 A, 2 A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $P_{Nacc}(1 A) + P_N(1 A, 2 A) = 0 + 1 = 1$ となる。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(1 A, 2 A)のみであるので、入力リンク(1 A, 2 A)がノード2 Aへの入力リンク L として選択される。

【0 1 9 1】

ノード2 Bへの入力リンク L の決定について説明する。入力リンク(1 A, 2 B)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $P_{Nacc}(1 A) + P_N(1 A, 2 B) = 0 + 2 = 2$ となる。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(1 A, 2 B)のみであるので、入力リンク(1 A, 2 B)がノード2 Bへの入力リンク L として選択される。

【0 1 9 2】

ノード3 Aへの入力リンク L の決定について説明する。入力リンク(2 A, 3 A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $P_{Nacc}(2 A) + P_N(2 A, 3 A) = 1 + 1 = 2$ となる。入力リンク(2 B, 3 A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $P_{Nacc}(2 B) + P_N(2 B, 3 A) = 2 + 2 = 4$ となる。したがって、伝送ペナルティ量の合計値が最大となる入力リンク(2 B, 3 A)がノード3 Aへの入力リンク L として選択される。

10

20

30

40

50

【0193】

ノード3Bへの入力リンクLの決定について説明する。入力リンク(2A, 3B)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(2A) + PN(2A, 3B) = 1 + 2 = 3$ となる。入力リンク(2B, 3B)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(2B) + PN(2B, 3B) = 2 + 3 = 5$ となる。入力リンク(1A, 3B)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(1A) + PN(1A, 3B) = 0 + 7 = 7$ となる。したがって、伝送ペナルティ量の合計値が最大となる入力リンク(1A, 3B)がノード3Bへの入力リンクLとして選択される。

【0194】

ノード4Aへの入力リンクLの決定について説明する。入力リンク(3A, 4A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(3A) + PN(3A, 4A) = 4 + 1 = 5$ となる。入力リンク(3B, 4A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(3B) + PN(3B, 4A) = 7 + 2 = 9$ となる。入力リンク(1A, 4A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(1A) + PN(1A, 4A) = 0 + 2 = 2$ となる。したがって、伝送ペナルティ量の合計値が最大となる入力リンク(3B, 4A)がノード4Aへの入力リンクLとして選択される。

【0195】

ノード5Aへの入力リンクLの決定について説明する。入力リンク(4A, 5A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(4A) + PN(4A, 5A) = 9 + 1 = 10$ となる。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(4A, 5A)のみであるので、入力リンク(4A, 5A)がノード5Aへの入力リンクLとして選択される。

【0196】

ノード5Bへの入力リンクLの決定について説明する。入力リンク(4A, 5B)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(4A) + PN(4A, 5B) = 9 + 2 = 11$ となる。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(4A, 5B)のみであるので、入力リンク(4A, 5B)がノード5Bへの入力リンクLとして選択される。

【0197】

ノード6Aへの入力リンクLの決定について説明する。入力リンク(5A, 6A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(5A) + PN(5A, 6A) = 10 + 1 = 11$ となる。入力リンク(5B, 6A)を選択したときの伝送ペナルティ量の合計値は、 $PNa_{cc}(5B) + PN(5B, 6A) = 11 + 2 = 13$ となる。したがって、伝送ペナルティ量の合計値が最大となる入力リンク(5B, 6A)がノード6Aへの入力リンクLとして選択される。これにより、各ノードへの入力リンクLがそれぞれ選択される。

【0198】

図17は、図8に示す第1ノード決定部147による経路ノードの決定処理の例を示すフローチャートである。

ステップS20において第1ノード決定部147は、第1ノード候補生成部143によって生成された各ノード N_x ($x = 1 \sim q$)を取得する。

ステップS21において第1ノード決定部147は、ステップS20によって取得された各ノード N_x のいずれかを参照するノード番号 x を q に設定する。ここで、ノード番号 q は、設計対象の単位設計区間における終端局舎に配置する光伝送装置のノードを示す。

【0199】

ステップS22において第1ノード決定部147は、ノード N_q を経路ノードとして保持する。

ステップS23において第1ノード決定部147は、図15におけるステップS13によって選択された各入力リンクLのうちの、ノード N_x への入力リンクLを取得する。

ステップS24において第1ノード決定部147は、ステップS23によって取得され

10

20

30

40

50

た入力リンク L の始点ノード N p r e を取得する。

【 0 2 0 0 】

ステップ S 2 5 において第 1 ノード決定部 1 4 7 は、始点ノード N p r e を経由ノードとして保持する。

ステップ S 2 6 において第 1 ノード決定部 1 4 7 は、ステップ S 2 5 にて取得された始点ノード N p r e の番号 p r e が番号 1 であるか否かを判断する。ここで、番号 1 は、設計対象の単位設計区間における始端局舎に配置する光伝送装置のノードの番号である。

【 0 2 0 1 】

始点ノード N p r e の番号 p r e が番号 1 でない場合に第 1 ノード決定部 1 4 7 は、ステップ S 2 7 においてノード N x の番号 x を始点ノード N p r e の番号 p r e に変更し、ステップ S 2 3 へ戻って処理を続行する。始点ノード N p r e の番号 p r e が番号 1 である場合に第 1 ノード決定部 1 4 7 は、一連の経由ノード決定動作を終了する。

【 0 2 0 2 】

以上の各ステップにおいて、ステップ S 2 2 およびステップ S 2 5 によって保持された各経由ノードが、設計対象の線形区間内の各局舎に対する各種の光伝送装置の配置を示す情報となる。つぎに、図 1 2 ~ 図 1 4 , 図 1 6 に示した例において、図 1 7 に示した各ステップを適用した場合について説明する。

【 0 2 0 3 】

図 1 8 は、図 8 に示す第 1 ノード決定部 1 4 7 による経由ノードの決定処理の結果を示す図である。図 1 8 において、図 1 2 ~ 図 1 4 , 図 1 6 に示した部分と同様の部分については同一の符号を付して説明を省略する。また、図 1 8 において、太矢印は、図 1 7 に示した各ステップによって遷移したノードの経路を示している。また、グラフの下段に、各ステップによって決定された光伝送装置の種類を図示している。黒丸印はバイパスを示している。

【 0 2 0 4 】

まず、ノード 6 A の番号が設定され (ステップ S 2 1)、ノード 6 A が経由ノードの一つとして保持される (ステップ S 2 2)。また、ノード 6 A への入力リンク L として入力リンク (5 B , 6 A) が取得される (ステップ S 2 3)。また、入力リンク (5 B , 6 A) の始点ノード N p r e としてノード 5 B が取得され (ステップ S 2 4)、ノード 5 B が経由ノードの一つとして保持される (ステップ S 2 5)。

つぎに、ノード 5 B の番号が設定され (ステップ S 2 7)、ノード 5 B への入力リンク L として入力リンク (4 A , 5 B) が取得される (ステップ S 2 3)。また、入力リンク (4 A , 5 B) の始点ノード N p r e としてノード 4 A が取得され (ステップ S 2 4)、ノード 4 A が経由ノードの一つとして保持される (ステップ S 2 5)。

【 0 2 0 5 】

つぎに、ノード 4 A の番号が設定され (ステップ S 2 7)、ノード 4 A への入力リンク L として入力リンク (3 B , 4 A) が取得される (ステップ S 2 3)。また、入力リンク (3 B , 4 A) の始点ノード N p r e としてノード 3 B が取得され (ステップ S 2 4)、ノード 3 B が経由ノードの一つとして保持される (ステップ S 2 5)。

【 0 2 0 6 】

つぎに、ノード 3 B の番号が設定され (ステップ S 2 7)、ノード 3 B への入力リンク L として入力リンク (1 A , 3 B) が取得される (ステップ S 2 3)。また、入力リンク (1 A , 3 B) の始点ノード N p r e としてノード 1 A が取得され (ステップ S 2 4)、ノード 1 A が経由ノードの一つとして保持される (ステップ S 2 5)。

【 0 2 0 7 】

ノード 1 A のノード番号は、設計対象の線形区間 2 0 1 における始端局舎である局舎 1 に配置する光伝送装置のノードの番号であるため、ここで経由ノード決定動作が終了する。このように、ノード 6 A からノード 1 A まで入力リンク L をたどりながら遡ることで、第 1 ノード決定部 1 4 7 は、ノード 6 A、ノード 5 B、ノード 4 A、ノード 3 B、ノード 1 A の順に経由ノードが保持される。

10

20

30

40

50

【0208】

累積値計算部142は、第1ノード決定部147によって保持された経路ノードを通過する経路に沿って累積する伝送ペナルティを、各経路ノードを接続する入力リンクの伝送ペナルティに基づいて決定し、雑音量上限値決定部133に出力する。

【0209】

図11のステップS4において、図7に示す装置構成決定部124は、区間分割部121によって生成された各单位設計区間における光伝送装置構成の候補を決定する。図19は、装置構成決定部124が各单位設計区間の光伝送装置構成を決定する決定方法の一例を示すフローチャートである。

【0210】

ステップS30において初期候補生成部125は、緩和問題解決部127による処理に先立って、各单位設計区間について、制約条件(1-3)、又は(3-3)及び(3-41)~(3-4R)を満たす光伝送装置構成の候補を少なくとも1つ生成し、記憶部126に格納する。

【0211】

ステップS31において緩和問題解決部127は、記憶部126に格納された装置構成候補データ114を読み込み、装置構成候補データ114が示す光伝送装置構成の候補について定めた式(1)又は(3)に示す整数計画問題の緩和問題を解決して、双対価格ベクトルを決定する。

【0212】

ステップS32において追加候補探索部128は、緩和問題解決部127が決定した双対価格ベクトルの値に基づいて決定された被約費用の算出式にしたがって、各单位設計区間について、被約費用の値が負となる新たな光伝送装置構成の候補 t' を探索する。

ステップS33において追加候補探索部128は、新たな光伝送装置構成の候補 t' が発見されるか否かを判定する。

新たな光伝送装置構成の候補 t' が発見された場合には装置構成候補データ114に追加して、処理をS31に戻す。

新たな光伝送装置構成の候補 t' が発見されない場合には、ステップS34において整数計画問題解決部129は、記憶部126に格納された、初期候補生成部125及び追加候補探索部128により決定された候補を含む装置構成候補データ114を読み込み、装置構成候補データ114が示す光伝送装置構成の候補について定めた式(1)又は(3)に示す整数計画問題を緩和しないで解決することにより、光ネットワーク200の光伝送装置構成を決定する。

【0213】

以下、ステップS30において初期候補生成部125が、光伝送装置構成の候補を決定する処理を説明する。図20は、図9に示す初期候補生成部125の第1単位設計区間内グラフ生成部150が生成するグラフ情報の例を示す図(その1)である。

図20に示す局舎11~18は、図2の線形区間204における局舎11~18である。ノード11A~18Aおよびノード12B~17Bは、第2ノード候補生成部152が生成した各ノードを示している。

【0214】

ここでは、説明の簡単のため、伝送劣化量として順方向の雑音量のみを例示して説明するが、実際には逆方向の雑音量も同様の処理によって考慮される。また、各種の伝送ペナルティも、雑音量と同様の処理によって考慮される。

雑音量の閾値NOISE t_h を7とする。局舎11~局舎18に配置可能な光伝送装置のうちの光再生中継器を配置可能な光伝送装置としてOADM(たとえば図3のOADM400)を用いる。

【0215】

また、局舎11~局舎18に配置可能な光伝送装置のうちの光再生中継器を配置できない光伝送装置としてILA(たとえば、図4のILA500)を用いる。局舎11~局舎

10

20

30

40

50

18のうちの、始端局舎である局舎11と、終端局舎である局舎18には、光再生中継器を配置可能なOADMのみが配置可能である。局舎12～局舎17にはOADM、ILAまたはバイパス（たとえば、図5のバイパス600）が配置可能である。

【0216】

第2ノード候補生成部152は、局舎11～18について、各局舎に配置可能なOADMを示すノード11A～ノード18Aをそれぞれ生成する。また、第2ノード候補生成部152は、局舎12～17について、各局舎に配置可能なILAを示すノード12B～ノード17Bをそれぞれ生成する。図20において、矢印は、第2リンク生成部153によって生成されたノード11A～18A、12B～17B間の各入力リンクを示している。以下の説明において、ノードYのノードXからの入力リンクを入力リンク（X，Y）と表記する。

10

【0217】

第2リンク生成部153は、第2ノード候補生成部152によって生成されたノード11Aは始端局舎に対応するノードであるため、ノード11Aへの入力リンクは生成しない。また、第2リンク生成部153は、ノード12Aについて、ノード12Aに対応する局舎12より前段の局舎11に対応するノード11Aからの入力リンク（11A，12A）を生成する。また、第2リンク生成部153は、ノード12Bについて、ノード12Bに対応する局舎12より前段の局舎11に対応するノード11Aからの入力リンク（11A，12B）を生成する。

【0218】

20

また、第2リンク生成部153は、ノード13Aについて、ノード13Aに対応する局舎13より前段の局舎12に対応するノード12Aからの入力リンク（12A，13A）およびノード12Bからの入力リンク（12B，13A）を生成する。また、第2リンク生成部153は、ノード13Bについて、ノード13Bに対応する局舎13より前段の局舎12に対応するノード12Aからの入力リンク（12A，13B）およびノード12Bからの入力リンク（12B，13B）を生成する。

【0219】

また、第2リンク生成部153は、ノード14Aについて、ノード14Aに対応する局舎14より前段の局舎13に対応するノード13Aからの入力リンク（13A，14A）およびノード13Bからの入力リンク（13B，14A）を生成する。また、第2リンク生成部153は、ノード14Bについて、ノード14Bに対応する局舎14より前段の局舎13に対応するノード13Aからの入力リンク（13A，14B）およびノード13Bからの入力リンク（13B，14B）を生成する。

30

【0220】

また、第2リンク生成部153は、ノード15Aについて、ノード15Aに対応する局舎15より前段の局舎14に対応するノード14Aからの入力リンク（14A，15A）およびノード14Bからの入力リンク（14B，15A）を生成する。また、第2リンク生成部153は、ノード15Bについて、ノード15Bに対応する局舎15より前段の局舎14に対応するノード14Aからの入力リンク（14A，15B）およびノード14Bからの入力リンク（14B，15B）を生成する。

40

【0221】

また、第2リンク生成部153は、ノード16Aについて、ノード16Aに対応する局舎16より前段の局舎15に対応するノード15Aからの入力リンク（15A，16A）およびノード15Bからの入力リンク（15B，16A）を生成する。また、第2リンク生成部153は、ノード16Bについて、ノード16Bに対応する局舎16より前段の局舎15に対応するノード15Aからの入力リンク（15A，16B）およびノード15Bからの入力リンク（15B，16B）を生成する。

【0222】

また、第2リンク生成部153は、ノード17Aについて、ノード17Aに対応する局舎17より前段の局舎16に対応するノード16Aからの入力リンク（16A，17A）

50

およびノード 16B からの入力リンク (16B, 17A) を生成する。また、第 2 リンク生成部 153 は、ノード 17B について、ノード 17B に対応する局舎 17 より前段の局舎 16 に対応するノード 16A からの入力リンク (16A, 17B) およびノード 16B からの入力リンク (16B, 17B) を生成する。

【0223】

また、第 2 リンク生成部 153 は、ノード 18A について、ノード 18A に対応する局舎 18 より前段の局舎 17 に対応するノード 17A からの入力リンク (17A, 18A) およびノード 17B からの入力リンク (17B, 18A) を生成する。

【0224】

以下、図 9 に示すコスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 が決定するコストおよび雑音量の例を示す。図 20 において、各入力リンクとともに、各入力リンクについてコスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 によって算出されたコストおよび雑音量を (コスト, 雑音量) として図示している。コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、第 2 リンク生成部 153 によって生成された入力リンク (11A, 12A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 1) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (11A, 12B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (1, 2) と決定する。

10

【0225】

コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (12A, 13A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 1) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (12B, 13A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (4, 2) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (12A, 13B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 2) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (12B, 13B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 3) と決定する。

20

【0226】

コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (13A, 14A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 1) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (13B, 14A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 2) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (13A, 14B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (1, 2) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (13B, 14B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 3) と決定する。

30

【0227】

コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (14A, 15A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 10) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (14B, 15A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (3, 10) と決定する。ここで、入力リンク (14A, 15A) および入力リンク (14B, 15A) を選択したときの雑音量は、これだけで閾値 NOISE_{th} の 7 を超えるため、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (14A, 15A)、入力リンク (14B, 15A)、入力リンク (15A, 16A) および入力リンク (15A, 16B) を削除する。

40

【0228】

コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (14A, 15B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 2) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (14B, 15B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 3) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (15B, 16A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (3, 2) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (15B, 16B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 3) と決定する。

50

【0229】

コスト決定部154及び伝送劣化量決定部155は、入力リンク(16A, 17A)を選択した場合のコストおよび雑音量を(2, 1)と決定する。また、コスト決定部154及び伝送劣化量決定部155は、入力リンク(16B, 17A)を選択した場合のコストおよび雑音量を(3, 2)と決定する。また、コスト決定部154及び伝送劣化量決定部155は、入力リンク(16A, 17B)を選択した場合のコストおよび雑音量を(1, 2)と決定する。また、コスト決定部154及び伝送劣化量決定部155は、入力リンク(16B, 17B)を選択した場合のコストおよび雑音量を(2, 3)と決定する。

【0230】

コスト決定部154及び伝送劣化量決定部155は、入力リンク(17A, 18A)を選択した場合のコストおよび雑音量を(2, 1)と決定する。また、コスト決定部154及び伝送劣化量決定部155は、入力リンク(17B, 18A)を選択した場合のコストおよび雑音量を(2, 2)と決定する。これにより、局舎11~18に配置するOADM, ILAに対応する各ノードと、伝送劣化量および雑音量と対応付けられ、各ノードを接続する各リンクと、からなるグラフ情報が生成される。

【0231】

図21は、図9に示す第1単位設計区間内グラフ生成部150が生成するグラフ情報の例を示す図(その2)である。図21において、図20に示したコスト決定部154及び伝送劣化量決定部155によって算出されたコストおよび雑音量は図示を省略している。図20においては、第2リンク生成部153が、各ノードについて、各ノードの直前のノードからの入力リンクのみを生成する場合について説明したが、第2リンク生成部153は、各ノードの直前のノードからの入力リンクに加えて、各ノードの2つ以上前のノードからの入力リンクを生成してもよい。

【0232】

ここでは、第2リンク生成部153は、ノード13Aについて、入力リンク(12A, 13A)および入力リンク(12B, 13A)に加えて、ノード13Aに対応する局舎13より前段の局舎11に対応するノード11Aからの入力リンク(11A, 13A)を生成する。ノード13Aにおいて、入力リンク(11A, 13A)を選択した場合は、局舎12にはバイパスを配置する。

【0233】

また、第2リンク生成部153は、ノード13Bについて、入力リンク(12A, 13B)および入力リンク(12B, 13B)に加えて、ノード13Bに対応する局舎13より前段の局舎11に対応するノード11Aからの入力リンク(11A, 13B)を生成する。ノード13Bにおいて、入力リンク(11A, 13B)を選択した場合は、局舎12にはバイパスを配置する。

【0234】

また、第2リンク生成部153は、ノード14Aについて、入力リンク(13A, 14A)および入力リンク(13B, 14A)に加えて、ノード14Aに対応する局舎14より前段の局舎11に対応するノード11Aからの入力リンク(11A, 14A)を生成する。ノード14Aにおいて、入力リンク(11A, 14A)を選択した場合は局舎12および局舎13にはバイパスを配置する。

【0235】

また、第2リンク生成部153は、ノード14Bについて、入力リンク(13A, 14B)および入力リンク(13B, 14B)に加えて、ノード14Bに対応する局舎14より前段の局舎11に対応するノード11Aからの入力リンク(11A, 14B)と、局舎14より前段の局舎12に対応するノード2Aからの入力リンク(12A, 14B)と、を生成する。

【0236】

ノード14Bにおいて、入力リンク(11A, 14B)を選択した場合は、局舎12および局舎13にはバイパスを配置する。また、入力リンク(12A, 14B)を選択した

場合は、局舎 13 にはバイパスを配置する。このように、入力リンク (11A, 13A)、入力リンク (11A, 13B)、入力リンク (11A, 14A)、入力リンク (11A, 14B) および入力リンク (12A, 14B) をバイパスリンクとして生成する。

【0237】

コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (11A, 13A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (10, 4) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (11A, 13B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (10, 5) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (11A, 14A) を選択した場合のコストおよび雑音量を (10, 5) と決定する。

10

【0238】

また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (11A, 14B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (10, 6) と決定する。また、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 は、入力リンク (12A, 14B) を選択した場合のコストおよび雑音量を (2, 2) と決定する。なお、バイパスリンクは他にも生成得るが、以下の説明では、簡単のため、図 20 に示した各入力リンクと、これらのバイパスリンクのみを生成する場合について説明する。また、グラフを生成した結果、ノード 15A に対する入力リンクは存在しないため、コスト決定部 154 及び伝送劣化量決定部 155 はノード 15A を削除する。

【0239】

20

図 22 は、図 9 に示す第 2 リンク選択部 156 による入力リンクの選択処理の説明図である。図 22 において、図 20 および図 21 に示した部分と同様の部分については同一の符号を付して説明を省略する。ここでは、ノード 13A への入力リンクの選択について説明する。ノード 13A への各入力リンクを太矢印で示し、他の入力リンクは細矢印で示している。第 2 リンク選択部 156 は、第 2 リンク生成部 153 によって生成されたノード 13A への 3 つの入力リンク (12A, 13A)、入力リンク (12B, 13A) および入力リンク (11A, 13A) から一つの入力リンクを選択する。

【0240】

ノード 13A への入力リンク (12A, 13A)、入力リンク (12B, 13A) および入力リンク (11A, 13A) から一つの入力リンクを選択することで、局舎 13 に OADM を配置する場合の、局舎 13 の直前に OADM または ILA が配置される局舎までの各配置が第 2 ノード決定部 157 によって決定される。第 2 リンク選択部 156 によって入力リンク (12A, 13A) が選択されたときは、局舎 13 に OADM を配置する場合に、局舎 12 には OADM が配置されることが第 2 ノード決定部 157 によって決定される。

30

【0241】

また、第 2 リンク選択部 156 によって入力リンク (12B, 13A) が選択されたときは、局舎 13 に OADM を配置する場合に、局舎 12 には ILA が配置されることが第 2 ノード決定部 157 によって決定される。また、第 2 リンク選択部 156 によって入力リンク (11A, 13A) が選択されたときは、局舎 13 に OADM を配置する場合に、局舎 12 にはバイパスが配置され、局舎 11 には OADM が配置されることが第 2 ノード決定部 157 によって決定される。

40

【0242】

ここでは、第 2 リンク選択部 156 がノード 13A への各入力リンクから一つの入力リンクを選択する場合について説明したが、第 2 リンク選択部 156 は、各ノード 12A ~ 14A, 16A ~ 18A, 12B ~ 17B についても同様に、各入力リンクから一つの入力リンクを選択することで、伝送劣化量が閾値以下となり、コストが最小となる配置に対応する経路を探索する。

【0243】

図 23 および図 24 は、図 9 に示す第 2 リンク選択部 156 による選択処理の例を示す

50

フローチャートである。図 23 および図 24 においては、伝送劣化量として、雑音量及び各種の伝送ペナルティのそれぞれの順方向成分及び逆方向成分を用いる場合について説明する。

【0244】

ステップ S40 において第 2 リンク選択部 156 は、第 2 ノード候補生成部 152 によって生成された各ノード N_x ($x = 1 \sim q$) を取得する。

ステップ S41 において第 2 リンク選択部 156 は、ステップ S40 で取得された各ノード N_x のいずれかを参照するノード番号 x を 1 に設定する。

ステップ S42 において第 2 リンク選択部 156 は、ノード N_x が光再生中継器を配置可能なノードであるか否かを判断する。

10

【0245】

ステップ S42 においてノード N_x が光再生中継器を配置可能なノードである場合は、ステップ S43 において第 2 リンク選択部 156 は、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ を 0 に設定する。最小値 $NOISE_{min}$ は、ノード N_x から後段光再生ノードまでの雑音量の最小値である。またステップ S44 において第 2 リンク選択部 156 は、伝送ペナルティの最小値 $PENALTY_{min}$ を 0 に設定にし、ステップ S48 へ処理を移行する。最小値 $PENALTY_{min}$ は、ノード N_x から後段光再生ノードまでの伝送ペナルティ量の最小値である。

【0246】

最小値 $NOISE_{min}$ の値は、雑音量の順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて設定される。

20

また、最小値 $PENALTY_{min}$ の値は、各伝送ペナルティの種類毎に、伝送ペナルティ量の順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて設定される。

【0247】

ステップ S42 においてノード N_x が光再生中継器を適用可能なノードでない場合は、ステップ S45 において第 2 リンク選択部 156 は、ノード N_x のつぎの後段光再生ノードまでの雑音最小経路を探索する。ノード N_x のつぎの後段光再生ノードまでの雑音最小経路とは、ノード N_x の後段光再生ノードのうちの、ノード N_x までの入力リンクの雑音量の合計が最小となる後段光再生ノードまでの経路である。

【0248】

30

ステップ S46 において第 2 リンク選択部 156 は、順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ を、ステップ S45 によって探索した雑音最小経路の雑音量に設定する。

ステップ S47 において第 2 リンク選択部 156 は、各伝送ペナルティの種類毎かつ順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて、伝送ペナルティの最小値 $PENALTY_{min}$ を、ステップ S45 によって探索した雑音最小経路の伝送ペナルティに設定する。

【0249】

ステップ S48 において第 2 リンク選択部 156 は、ノード N_x への各入力リンク l_i ($i = 1 \sim r$) を取得する。ここでは、 $PENALTY_{min}$ を雑音最小経路上の値としているが、別途伝送ペナルティの最小経路を探索し、その経路上の値としてもよい。

40

【0250】

ステップ S49 において第 2 リンク選択部 156 は、ステップ S48 によって取得した各入力リンク l_i を参照する入力リンク番号 i を 1 に設定する。

ステップ S50 において第 2 リンク選択部 156 は、順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて、入力リンク l_i の始点ノード N_i までの累積雑音 $NOISE_{acc}(N_i)$ と、入力リンク l_i を選択したときの雑音 $NOISE(l_i)$ と、ステップ S43 またはステップ S46 によって設定した雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ と、の合計値が雑音閾値 $NOISE_{th}$ 以下か否かを判断する。

第 2 リンク選択部 156 は、雑音閾値 $NOISE_{th}$ として、単位設計区間内雑音量上限値決定部 134 が決定した単位設計区間内雑音量上限値 $N_{th1}(g_h)$ 及び N_{th2}

50

(g_h)を使用する。

【0251】

ステップS50において順方向成分及び反対方向成分の双方について、合計値が雑音閾値NOISE_{th}以下である場合は、処理はステップS51へ進む。

ステップS51において第2リンク選択部156は、各伝送ペナルティの種類毎に、かつ順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて、入力リンク l_i の始点ノード N_i までの累積伝送ペナルティPENALTY_{acc}(N_i)と、入力リンク l_i を選択したときの伝送ペナルティPENALTY(l_i)と、ステップS44またはステップS47によって設定した伝送ペナルティの最小値PENALTY_{min}と、の合計値が伝送ペナルティ閾値PENALTY_{th}以下か否かを判断する。

10

第2リンク選択部156は、伝送ペナルティ閾値PENALTY_{th}として、単位設計区間内ペナルティ上限値決定部131が決定した単位設計区間内ペナルティ上限値 $P_{th1_k}(g_h)$ 及び $P_{th2_k}(g_h)$ を使用する。

【0252】

ステップS50において、順方向成分及び反対方向成分のいずれかについて、合計値が雑音閾値NOISE_{th}より大きい場合には、処理はステップS52へ進む。

また、ステップS51において、各種類の伝送ペナルティのいずれかについて、順方向成分及び反対方向成分のいずれかの合計値が伝送ペナルティ閾値PENALTY_{th}より大きい場合には、処理はステップS52へ進む。

ステップS52において第2リンク選択部156は、ステップS48によって取得した各入力リンクから入力リンク l_i を削除し、処理をステップS53へ進める。

20

【0253】

ステップS51において、各種類の伝送ペナルティのいずれかについても、順方向成分及び反対方向成分の合計値の双方が、伝送ペナルティ閾値PENALTY_{th}以下である場合は、ステップS53において第2リンク選択部156は、入力リンク番号 i が最後の番号 r であるか否かを判断する。

入力リンク番号 i が最後の番号 r でない場合は、ステップS54において第2リンク選択部156は、入力リンク番号 i を $i+1$ に変更し、ステップS50へ戻って処理を続行する。

【0254】

30

ステップS53において入力リンク番号 i が最後の番号 r である場合は、処理は図24のステップS55へ進む(符号A)。

ステップS55において第2リンク選択部156は、ステップS48によって取得され、ステップS52によって削除されていない入力リンク l_i のうちの、始点ノード N_i までの累積コストCOST_{acc}(N_i)と、入力リンク l_i のコストCOST(l_i)と、の合計値が最小となる入力リンク l_i を、ノード N_x への入力リンク L として選択する。

【0255】

ステップS56において第2リンク選択部156は、ノード N_x までの累積コストCOST_{acc}(N_x) = COST_{acc}(N_{pre}) + COST(L)を算出する。COST_{acc}(N_{pre})は、ステップS55によって選択された入力リンク L の始点ノード N_{pre} までの累積コストである。また、COST(L)は、入力リンク L を選択したときのコストである。

40

【0256】

ステップS57において第2リンク選択部156は、ノード N_x が光再生中継器を配置可能なノードであるか否かを判断する(ステップS57)。光再生中継器を適用可能なノードである場合、ステップS58において第2リンク選択部156は、順方向成分及び反対方向成分の双方についてノード N_x までの累積雑音NOISE_{acc}(N_x)を0に設定する。続くステップS59において第2リンク選択部156は、各伝送ペナルティの種類毎かつ順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて、ノード N_x までの累積伝送ペ

50

ナルティ $PENALTYacc(Nx)$ を 0 に設定する。その後、処理はステップ S 6 2 へ進む。

【0257】

ステップ S 5 7 の判定においてノード Nx が光再生中継器を配置可能なノードでない場合は、ステップ S 6 0 において第 2 リンク選択部 1 5 6 は、順方向成分及び反対方向成分の双方について、ノード Nx までの累積雑音 $NOISEacc(Nx)$ を、ノード $Npre$ までの累積雑音 $NOISEacc(Npre)$ と、入力リンク L の雑音 $NOISE(L)$ と、の合計値に設定する。

【0258】

続くステップ S 6 1 において第 2 リンク選択部 1 5 6 は、各伝送ペナルティの種類毎かつ順方向成分及び反対方向成分のそれぞれについて、ノード Nx までの累積伝送ペナルティ $PENALTYacc(Nx)$ を、 $PENALTYacc(Npre) + PENALTY(L)$ に設定する。 $PENALTYacc(Npre)$ は、ノード $Npre$ までの累積伝送ペナルティである。 $PENALTY(L)$ は、入力リンク L の伝送ペナルティである。

10

【0259】

ステップ S 6 2 において第 2 リンク選択部 1 5 6 は、ノード番号 x が最後の番号 q であるか否かを判断する。ステップ S 6 2 においてノード番号 x が最後の番号 q でない場合は、ノード番号 x を $x + 1$ に変更し、図 2 3 のステップ S 4 2 へ戻って（符号 B）処理を続行する。ノード番号 x が最後の番号 q である場合は、入力リンク選択動作を終了する。

20

【0260】

以上の各ステップによって、第 2 ノード候補生成部 1 5 2 によって生成された各ノード Nx への入力リンク L がそれぞれ選択される。つぎに、図 2 0 ~ 図 2 2 に示した例において図 2 3 および図 2 4 の各ステップを適用した場合について説明する。簡単のため、伝送劣化量の代表として順方向の雑音量のみを用いて説明する。したがって、図 2 3 及び図 2 4 のステップ S 4 4、S 4 7、S 5 1、S 5 9 及び S 6 1 については説明を省略する。

【0261】

図 2 5 は、図 9 に示す第 2 リンク選択部 1 5 6 による入力リンクの選択処理の結果を示す図である。図 2 5 において、図 2 0 ~ 図 2 2 に示した部分と同様の部分については同一の符号を付して説明を省略する。また、図 2 5 において、矢印は、図 2 3 及び図 2 4 に示した各ステップによって選択された入力リンク L を示している。また、各ノードとともに、ステップ S 5 5 ~ S 6 1 によって算出される累積コスト $COSTacc$ および累積雑音 $NOISEacc$ を（累積コスト，累積雑音量）として図示している。

30

【0262】

ノード 1 2 A への入力リンク L の決定について説明する。ノード 1 2 A は OADM に対応するノードであるため、雑音量の最小値 $NOISEmin$ は 0 となる（ステップ S 4 3）。また、ノード 1 2 A への各入力リンクとして入力リンク（1 1 A，1 2 A）のみが取得される（ステップ S 4 8）。

【0263】

入力リンク（1 1 A，1 2 A）を選択したときの雑音量の合計値は $NOISEacc(1 1 A) + NOISE(1 1 A, 1 2 A) + NOISEmin = 0 + 1 + 0 = 1$ となる（ステップ S 5 0）。この合計値は雑音閾値 $NOISEth$ の 7 以下であるため、入力リンク（1 1 A，1 2 A）は削除されない（ステップ S 5 2）。

40

【0264】

入力リンク（1 1 A，1 2 A）を選択したときのコストの合計値は、 $COSTacc(1 1 A) + COST(1 1 A, 1 2 A) = 0 + 2 = 2$ となる（ステップ S 5 5）。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク（1 1 A，1 2 A）のみであるので、入力リンク（1 1 A，1 2 A）がノード 1 2 A への入力リンク L として選択される（ステップ S 5 5）。

【0265】

50

ノード12Aまでの累積コスト $COST_{acc}(12A)$ は、 $COST_{acc}(11A) + COST(11A, 12A) = 0 + 2 = 2$ となる(ステップS56)。ノード12AはOADMに対応するノードであるため、ノード12Aまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(12A)$ は0となる(ステップS58)。

【0266】

ノード12Bへの入力リンクLの決定について説明する。ノード12BはILAに対応するノードであるため、ノード12Bの後段光再生ノードまでの雑音最小経路としてノード12Bからノード13Aまでの経路が探索され(ステップS45)、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ は2となる(ステップS46)。また、ノード12Bへの各入力リンクとして、入力リンク(11A, 12B)のみが取得される(ステップS48)。

10

【0267】

入力リンク(11A, 12B)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(11A) + NOISE(11A, 12B) + NOISE_{min} = 0 + 2 + 2 = 4$ となる(ステップS50)。この入力リンク(11A, 12B)を選択したときの雑音量の合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(11A, 12B)は削除されない(ステップS52)。

【0268】

入力リンク(11A, 12B)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(11A) + COST(11A, 12B) = 0 + 1 = 1$ となる(ステップS55)。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(11A, 12B)のみであるので、入力リンク(11A, 12B)がノード12Bへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

20

【0269】

ノード12Bまでの累積コスト $COST_{acc}(12B)$ は、 $COST_{acc}(11A) + COST(11A, 12B) = 0 + 1 = 1$ となる(ステップS56)。ノード12BはILAに対応するノードであるため、ノード12Bまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(12B)$ は、 $NOISE_{acc}(11A) + NOISE(11A, 12B) = 0 + 2 = 2$ となる(ステップS60)。

【0270】

つぎに、ノード13Aへの入力リンクLの決定について説明する。ノード13AはOADMに対応するノードであるため、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ は0となる(ステップS43)。また、ノード13Aへの各入力リンクとして、入力リンク(12A, 13A)と、入力リンク(12B, 13A)と、入力リンク(11A, 13A)と、が取得される(ステップS48)。

30

【0271】

入力リンク(12A, 13A)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(12A) + NOISE(12A, 13A) + NOISE_{min} = 0 + 1 + 0 = 1$ となる(ステップS50)。また、入力リンク(12B, 13A)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(12B) + NOISE(12B, 13A) + NOISE_{min} = 2 + 2 + 0 = 4$ となる(ステップS50)。

40

【0272】

また、入力リンク(11A, 13A)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(11A) + NOISE(11A, 13A) + NOISE_{min} = 0 + 4 + 0 = 4$ となる(ステップS50)。これらの合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(12A, 13A)、入力リンク(12B, 13A)および入力リンク(11A, 13A)はいずれも削除されない(ステップS52)。

【0273】

入力リンク(12A, 13A)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(12A) + COST(12A, 13A) = 2 + 2 = 4$ となる。また、入力リンク(12B, 13A)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(12B) + COST($

50

1 2 B , 1 3 A) = 1 + 4 = 5 となる。また、入力リンク (1 1 A , 1 3 A) を選択したときのコストの合計値は、 $COSTacc(1 1 A) + COST(1 1 A, 1 3 A) = 0 + 10 = 10$ となる。したがって、コストの合計値が最小となる入力リンク (1 2 A , 1 3 A) がノード 1 3 A への入力リンク L として選択される (ステップ S 5 5)。

【0 2 7 4】

ノード 1 3 A までの累積コスト $COSTacc(1 3 A)$ は、 $COSTacc(1 2 A) + COST(1 2 A, 1 3 A) = 2 + 2 = 4$ となる (ステップ S 5 6)。ノード 1 3 A は O A D M に対応するノードであるため、ノード 1 3 A までの累積雑音 $NOISEacc(1 3 A)$ は 0 となる (ステップ S 5 8)。

【0 2 7 5】

10

ノード 1 3 B への入力リンク L の決定について説明する。ノード 1 3 B は I L A に対応するノードであるため、雑音最小経路としてノード 1 3 B からノード 1 4 A までの経路が探索され (ステップ S 4 5)、雑音量の最小値 $NOISEmin$ は 2 となる (ステップ S 4 6)。また、ノード 1 3 B への各入力リンクとして、入力リンク (1 2 A , 1 3 B) と、入力リンク (1 2 B , 1 3 B) と、入力リンク (1 1 A , 1 3 B) と、が取得される (ステップ S 4 8)。

【0 2 7 6】

入力リンク (1 2 A , 1 3 B) を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISEacc(1 2 A) + NOISE(1 2 A, 1 3 B) + NOISEmin = 0 + 2 + 2 = 4$ となる (ステップ S 5 0)。また、入力リンク (1 2 B , 1 3 B) を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISEacc(1 2 B) + NOISE(1 2 B, 1 3 B) + NOISEmin = 2 + 3 + 2 = 7$ となる (ステップ S 5 0)。

20

【0 2 7 7】

また、入力リンク (1 1 A , 1 3 B) を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISEacc(1 1 A) + NOISE(1 1 A, 1 3 B) + NOISEmin = 0 + 5 + 2 = 7$ となる (ステップ S 5 0)。これらの合計値は雑音閾値 $NOISEth$ の 7 以下であるため、入力リンク (1 2 A , 1 3 B)、入力リンク (1 2 B , 1 3 B) および入力リンク (1 1 A , 1 3 B) はいずれも削除されない (ステップ S 5 2)。

【0 2 7 8】

入力リンク (1 2 A , 1 3 B) を選択したときのコストの合計値は、 $COSTacc(1 2 A) + COST(1 2 A, 1 3 B) = 2 + 2 = 4$ となる。また、入力リンク (1 2 B , 1 3 B) を選択したときのコストの合計値は、 $COSTacc(1 2 B) + COST(1 2 B, 1 3 B) = 1 + 2 = 3$ となる。また、入力リンク (1 1 A , 1 3 B) を選択したときのコストの合計値は、 $COSTacc(1 1 A) + COST(1 1 A, 1 3 B) = 0 + 10 = 10$ となる。したがって、コストの合計値が最小となる入力リンク (1 2 B , 1 3 B) がノード 1 3 B への入力リンク L として選択される (ステップ S 5 5)。

30

【0 2 7 9】

ノード 1 3 B までの累積コスト $COSTacc(1 3 B)$ は、 $COSTacc(1 2 B) + COST(1 2 B, 1 3 B) = 1 + 2 = 3$ となる (ステップ S 5 6)。ノード 1 3 B は I L A に対応するノードであるため、ノード 1 3 B までの累積雑音 $NOISEacc(1 3 B)$ は、 $NOISEacc(1 2 B) + NOISE(1 2 B, 1 3 B) = 2 + 3 = 5$ となる (ステップ S 6 0)。

40

【0 2 8 0】

つぎに、ノード 1 4 A への入力リンク L の決定について説明する。ノード 1 4 A は O A D M に対応するノードであるため、雑音量の最小値 $NOISEmin$ は 0 となる (ステップ S 4 3)。また、ノード 1 4 A への各入力リンクとして、入力リンク (1 3 A , 1 4 A) と、入力リンク (1 3 B , 1 4 A) と、入力リンク (1 1 A , 1 4 A) と、が取得される (ステップ S 4 8)。

【0 2 8 1】

入力リンク (1 3 A , 1 4 A) を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISEacc$

50

(13A) + NOISE(13A, 14A) + NOISEmin = 0 + 1 + 0 = 1 となる (ステップS50)。また、入力リンク(13B, 14A)を選択したときの雑音量の合計値は、NOISEacc(13B) + NOISE(13B, 14A) + NOISEmin = 5 + 2 + 0 = 7 となる (ステップS50)。

【0282】

また、入力リンク(11A, 14A)を選択したときの雑音量の合計値は、NOISEacc(11A) + NOISE(11A, 14A) + NOISEmin = 0 + 5 + 0 = 5 となる (ステップS50)。これらの雑音量の合計値はいずれも雑音閾値NOISEthの7以下であるため、入力リンク(13A, 14A)、入力リンク(13B, 14A)および入力リンク(11A, 14A)はいずれも削除されない (ステップS52)。

10

【0283】

入力リンク(13A, 14A)を選択したときのコストの合計値は、COSTacc(13A) + COST(13A, 14A) = 4 + 2 = 6 となる。また、入力リンク(13B, 14A)を選択したときのコストの合計値は、COSTacc(13B) + COST(13B, 14A) = 3 + 2 = 5 となる。また、入力リンク(11A, 14A)を選択したときのコストの合計値は、COSTacc(11A) + COST(11A, 14A) = 0 + 10 = 10 となる。したがって、コストの合計値が最小となる入力リンク(13B, 14A)がノード14Aへの入力リンクLとして選択される (ステップS55)。

【0284】

ノード14Aまでの累積コストCOSTacc(14A)は、COSTacc(13B) + COST(13B, 14A) = 3 + 2 = 5 となる (ステップS56)。ノード14AはOADMに対応するノードであるため、ノード14Aまでの累積雑音NOISEacc(14A)は0となる (ステップS58)。

20

【0285】

ノード14Bへの入力リンクLの決定について説明する。ノード14BはILAに対応するノードであるため、ノード14Bの後段光再生ノードまでの雑音最小経路としてノード14Bからノード6Aまでの経路が探索され (ステップS45)、雑音量の最小値NOISEminは3 + 2 = 5 となる (ステップS46)。また、ノード14Bへの各入力リンクとして、入力リンク(13A, 14B)と、入力リンク(13B, 14B)と、入力リンク(11A, 14B)と、入力リンク(12A, 14B)と、が取得される (ステップS48)。

30

【0286】

入力リンク(13A, 14B)を選択したときの雑音量の合計値は、NOISEacc(13A) + NOISE(13A, 14B) + NOISEmin = 0 + 2 + 5 = 7 となる (ステップS50)。また、入力リンク(13B, 14B)を選択したときの雑音量の合計値は、NOISEacc(13B) + NOISE(13B, 14B) + NOISEmin = 5 + 3 + 5 = 13 となる (ステップS50)。また、入力リンク(11A, 14B)を選択したときの雑音量の合計値は、NOISEacc(11A) + NOISE(11A, 14B) + NOISEmin = 0 + 6 + 5 = 11 となる (ステップS50)。

【0287】

また、入力リンク(12A, 14B)を選択したときの雑音量の合計値は、NOISEacc(12A) + NOISE(12A, 14B) + NOISEmin = 0 + 2 + 5 = 7 となる (ステップS50)。雑音量の合計値が、雑音閾値NOISEthの7よりも大きい入力リンク(13B, 14B)および入力リンク(11A, 14B)は削除される (ステップS52)。

40

【0288】

入力リンク(13A, 14B)を選択したときのコストの合計値は、COSTacc(13A) + COST(13A, 14B) = 4 + 1 = 5 となる (ステップS55)。また、入力リンク(12A, 14B)を選択したときのコストの合計値は、COSTacc(12A) + COST(12A, 14B) = 2 + 2 = 4 となる。したがって、コストの合計値

50

が最小となる入力リンク(12A, 14B)がノード14Bへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

【0289】

ノード14Bまでの累積コスト $COST_{acc}(14B)$ は、 $COST_{acc}(12A) + COST(12A, 14B) = 2 + 2 = 4$ となる(ステップS56)。ノード14BはILAに対応するノードであるため、ノード14Bまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(14B)$ は、 $NOISE_{acc}(12A) + NOISE(12A, 14B) = 0 + 2 = 2$ となる(ステップS60)。

【0290】

つぎに、ノード15Bへの入力リンクLの決定について説明する。ノード15BはILAに対応するノードであるため、ノード15Bの後段光再生ノードまでの雑音最小経路としてノード15Bからノード6Aまでの経路が探索され(ステップS45)、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ が2となる(ステップS46)。また、ノード15Bへの各入力リンクとして、入力リンク(14A, 15B)と、入力リンク(14B, 15B)と、が取得される(ステップS48)。

10

【0291】

入力リンク(14A, 15B)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(14A) + NOISE(14A, 15B) + NOISE_{min} = 0 + 2 + 2 = 4$ となる(ステップS50)。また、入力リンク(14B, 15B)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(14B) + NOISE(14B, 15B) + NOISE_{min} = 2 + 3 + 2 = 7$ となる。これらの合計値はいずれも雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(14A, 15B)および入力リンク(14B, 15B)は削除されない(ステップS52)。

20

【0292】

入力リンク(14A, 15B)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(14A) + COST(14A, 15B) = 5 + 2 = 7$ となる(ステップS55)。また、入力リンク(14B, 15B)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(14B) + COST(14B, 15B) = 4 + 2 = 6$ となる。したがって、コストの合計値が最小となる入力リンク(14B, 15B)がノード15Bへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

30

【0293】

ノード15Bまでの累積コスト $COST_{acc}(15B)$ は、 $COST_{acc}(14B) + COST(14B, 15B) = 4 + 2 = 6$ となる(ステップS56)。ノード15BはILAに対応するノードであるため、ノード15Bまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(15B)$ は、 $NOISE_{acc}(14B) + NOISE(14B, 15B) = 2 + 3 = 5$ となる(ステップS60)。

【0294】

つぎに、ノード16Aへの入力リンクLの決定について説明する。ノード16AはODMに対応するノードであるため、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ は0となる(ステップS43)。また、ノード16Aへの各入力リンクとして、入力リンク(15B, 16A)のみが取得される(ステップS48)。

40

【0295】

入力リンク(15B, 16A)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(15B) + NOISE(15B, 16A) + NOISE_{min} = 5 + 2 + 0 = 7$ となる(ステップS50)。この入力リンク(15B, 16A)を選択したときの雑音量の合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(15B, 16A)は削除されない(ステップS52)。

【0296】

入力リンク(15B, 16A)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(15B) + COST(15B, 16A) = 6 + 3 = 9$ となる(ステップS55)。ここで

50

は、残っている入力リンクが入力リンク(15B, 16A)のみであるので、入力リンク(15B, 16A)がノード16Aへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

【0297】

ノード16Aまでの累積コスト $COST_{acc}(16A)$ は、 $COST_{acc}(15B) + COST(15B, 16A) = 6 + 3 = 9$ となる(ステップS56)。ノード16AはOADMに対応するノードであるため、ノード16Aまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(16A)$ は0となる(ステップS58)。

【0298】

つぎに、ノード16Bへの入力リンクLの決定について説明する。ステップS42において、ノード16BはILAに対応するノードであるため、ノード17Aまでの経路が探索され(ステップS45)、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ が2となる(ステップS46)。また、ノード16Bへの各入力リンクとして、入力リンク(15B, 16B)のみが取得される(ステップS48)。

【0299】

入力リンク(15B, 16B)を選択したときの雑音量の合計値は $NOISE_{acc}(15B) + NOISE(15B, 16B) + NOISE_{min} = 5 + 3 + 2 = 10$ となる(ステップS50)。この合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7よりも大きいため、入力リンク(15B, 16B)は削除される(ステップS52)。

【0300】

ここでは、ステップS48によって取得した各入力リンクのすべてが削除されたため、ノード16BについてはステップS55以降の処理を行わない。また、第2リンク生成部153によって生成された各入力リンクから、ノード16Bを始点ノードとする入力リンク(16B, 17A)および入力リンク(16B, 17B)を削除する。

【0301】

つぎに、ノード17Aへの入力リンクLの決定について説明する。ノード17AはOADMに対応するノードであるため、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ は0となる(ステップS43)。また、ノード17Aへの各入力リンクとして、入力リンク(16A, 17A)のみが取得される(ステップS48)。

【0302】

入力リンク(16A, 17A)を選択したときの雑音量の合計値は $NOISE_{acc}(16A) + NOISE(16A, 17A) + NOISE_{min} = 0 + 1 + 0 = 1$ となる(ステップS50)。この合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(16A, 17A)は削除されない(ステップS52)。

【0303】

入力リンク(16A, 17A)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(16A) + COST(16A, 17A) = 9 + 2 = 11$ となる(ステップS55)。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(16A, 17A)のみであるので、入力リンク(16A, 17A)がノード17Aへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

【0304】

ノード17Aまでの累積コスト $COST_{acc}(17A)$ は、 $COST_{acc}(16A) + COST(16A, 17A) = 9 + 2 = 11$ となる(ステップS56)。ノード17AはOADMに対応するノードであるため、ノード17Aまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(17A)$ は0となる(ステップS58)。

【0305】

つぎに、ノード17Bへの入力リンクLの決定について説明する。ノード17BはILAに対応するノードであるため、ノード17Bの後段で光再生中継器を適用可能なノードまでの雑音最小経路としてノード17Bからノード8Aまでの経路が探索され(ステップS45)、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ が2となる(ステップS46)。また、ノード

10

20

30

40

50

ド17Bへの各入力リンクとして、入力リンク(16A, 17B)のみが取得される(ステップS48)。

【0306】

入力リンク(16A, 17B)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(16A) + NOISE(16A, 17B) + NOISE_{min} = 0 + 2 + 2 = 4$ となる(ステップS50)。この入力リンク(16A, 17B)を選択したときの雑音量の合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(16A, 17B)は削除されない(ステップS52)。

【0307】

入力リンク(16A, 17B)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(16A) + COST(16A, 17B) = 9 + 1 = 10$ となる(ステップS55)。ここでは、残っている入力リンクが入力リンク(16A, 17B)のみであるので、入力リンク(16A, 17B)がノード17Bへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

【0308】

ノード17Bまでの累積コスト $COST_{acc}(17B)$ は、 $COST_{acc}(16A) + COST(16A, 17B) = 9 + 1 = 10$ となる(ステップS56)。ノード17BはILAに対応するノードであるため、ノード17Bまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(17B)$ は、 $NOISE_{acc}(16A) + NOISE(16A, 17B) = 0 + 2 = 2$ となる(ステップS60)。

【0309】

ノード18Aへの入力リンクLの決定について説明する。ノード18Aは光再生中継器を適用可能なOADMであるため、雑音量の最小値 $NOISE_{min}$ は0となる(ステップS43)。また、ノード18Aへの各入力リンクとして、入力リンク(17A, 18A)と、入力リンク(17B, 18A)と、が取得される(ステップS48)。

【0310】

入力リンク(17A, 18A)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(17A) + NOISE(17A, 18A) + NOISE_{min} = 0 + 1 + 0 = 1$ となる(ステップS50)。また、入力リンク(17B, 18A)を選択したときの雑音量の合計値は、 $NOISE_{acc}(17B) + NOISE(17B, 18A) + NOISE_{min} = 2 + 2 + 0 = 4$ となる(ステップS50)。これらの合計値は雑音閾値 $NOISE_{th}$ の7以下であるため、入力リンク(17A, 18A)および入力リンク(17B, 18A)は削除されない(ステップS52)。

【0311】

入力リンク(17A, 18A)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(17A) + COST(17A, 18A) = 11 + 2 = 13$ となる(ステップS55)。入力リンク(17B, 18A)を選択したときのコストの合計値は、 $COST_{acc}(17B) + COST(17B, 18A) = 10 + 2 = 12$ となる(ステップS55)。したがって、コストの合計値が最小となる入力リンク(17B, 18A)がノード18Aへの入力リンクLとして選択される(ステップS55)。

【0312】

ノード18Aまでの累積コスト $COST_{acc}(18A)$ は、 $COST_{acc}(17B) + COST(17B, 18A) = 10 + 2 = 12$ となる(ステップS56)。ノード18AはOADMに対応するノードであるため、ノード18Aまでの累積雑音 $NOISE_{acc}(18A)$ は0となる(ステップS58)。これにより、各ノードへの入力リンクLがそれぞれ選択される。

【0313】

図9に示す第2ノード決定部157は、第2リンク選択部156から出力された各入力リンクの始点ノードに基づいて、第2ノード候補生成部152が生成したノードのいずれかを選択することによって設計単位区間内の各局舎に対する各種の光伝送装置の配置の1

10

20

30

40

50

つの候補を決定する。第2ノード決定部157によるノードの選択処理は、図17に示したフローチャートと同様である。

【0314】

図26は、図9に示す第2ノード決定部157による経路ノードの決定処理の結果を示す図である。図26において図20～図22，図25に示した部分と同様の部分については同一の符号を付して説明を省略する。また、図26において、太矢印は、図17に示した各ステップによって遷移したノードの経路を示している。また、グラフの下段に、各ステップによって決定された光伝送装置の種類を図示している。黒丸印はバイパスを示している。

【0315】

まず、単位設計区間204の終端局舎18に対応するノード18Aの番号が設定され（ステップS21）、ノード18Aが経路ノードの一つとして保持される（ステップS22）。また、ノード18Aへの入力リンクLとして入力リンク（17B，18A）が取得される（ステップS23）。また、入力リンク（17B，18A）の始点ノードNpreとしてノード17Bが取得され（ステップS24）、ノード17Bが経路ノードの一つとして保持される（ステップS25）。

【0316】

つぎに、ノード17Bの番号が設定され（ステップS27）、ノード17Bへの入力リンクLとして入力リンク（16A，17B）が取得される（ステップS23）。また、入力リンク（16A，17B）の始点ノードNpreとしてノード16Aが取得され（ステップS24）、ノード16Aが経路ノードの一つとして保持される（ステップS25）。

【0317】

つぎに、ノード16Aの番号が設定され（ステップS27）、ノード16Aへの入力リンクLとして入力リンク（15B，16A）が取得される（ステップS23）。また、入力リンク（15B，16A）の始点ノードNpreとしてノード15Bが取得され（ステップS24）、ノード15Bが経路ノードの一つとして保持される（ステップS25）。

【0318】

つぎに、ノード15Bの番号が設定され（ステップS27）、ノード15Bへの入力リンクLとして入力リンク（14B，15B）が取得される（ステップS23）。また、入力リンク（14B，15B）の始点ノードNpreとしてノード14Bが取得され（ステップS24）、ノード14Bが経路ノードの一つとして保持される（ステップS25）。

【0319】

つぎに、ノード14Bの番号が設定され（ステップS27）、ノード14Bへの入力リンクLとして入力リンク（12A，14B）が取得される（ステップS23）。また、入力リンク（12A，14B）の始点ノードNpreとしてノード12Aが取得され（ステップS24）、ノード12Aが経路ノードの一つとして保持される（ステップS25）。

【0320】

つぎに、ノード12Aの番号が設定され（ステップS27）、ノード12Aへの入力リンクLとして入力リンク（1A，12A）が取得される（ステップS23）。また、入力リンク（11A，12A）の始点ノードNpreとしてノード11Aが取得され（ステップS24）、ノード11Aが経路ノードの一つとして保持される（ステップS25）。

【0321】

ノード11Aのノード番号は、単位設計区間204における始端局舎である局舎11に配置する光伝送装置のノードの番号であるため、ここで経路ノード決定動作が終了する。このように、ノード18Aからノード11Aまで入力リンクLをたどりながら遡ることで、ノード18A→ノード17B→ノード16A→ノード15B→ノード14B→ノード12A→ノード11Aの順に経路ノードが保持される。

【0322】

第2ノード決定部157は、図17に示す処理によって決定した各経路ノードの種類に従って各局舎11～18に配置する各光伝送装置を決定する。第2ノード決定部157は

10

20

30

40

50

、ノード 1 1 A に基づいて局舎 1 1 に O A D M を配置する。また第 2 ノード決定部 1 5 7 は、ノード 1 2 A に基づいて局舎 1 2 に O A D M を配置する。

【 0 3 2 3 】

また、第 2 ノード決定部 1 5 7 は、局舎 1 2 に対応するノードが存在しないため、局舎 1 2 にバイパスを配置する。第 2 ノード決定部 1 5 7 は、ノード 1 4 B に基づいて局舎 1 4 に I L A を配置する。第 2 ノード決定部 1 5 7 は、ノード 1 5 B に基づいて局舎 1 5 に I L A を配置する。第 2 ノード決定部 1 5 7 は、ノード 1 6 A に基づいて局舎 1 6 に O A D M を配置する。第 2 ノード決定部 1 5 7 は、ノード 1 7 B に基づいて局舎 1 7 に I L A を配置する。第 2 ノード決定部 1 5 7 は、決定した光伝送装置構成を、単位設計区間 2 0 4 の光伝送装置構成の候補として記憶部 1 2 6 に記憶する。

10

【 0 3 2 4 】

図 1 9 に示すステップ S 3 2 では、追加候補探索部 1 2 8 は、新たな光伝送装置構成の候補 t' を探索する。追加候補探索部 1 2 8 が光伝送装置構成の候補 t' の探索する処理は、図 2 0 ~ 2 6 を参照して説明した初期候補生成部 1 2 5 が光伝送装置構成を決定する処理と同様である。

ただし、追加候補探索部 1 2 8 の第 3 リンク選択部 1 6 6 は、ステップ S 5 5 において、始点ノード N_i まで累積された被約費用の変化量 $\Delta R C$ と、入力リンクの被約費用の変化量 $\Delta R C$ との合計値が最小となる入力リンクを、ノード N_x への入力リンク L として選択する。

【 0 3 2 5 】

20

また第 3 リンク選択部 1 6 6 は、ステップ S 5 6 において、ノード N_x までの累積された被約費用の変化量 $\Delta R C a c c (N_x)$ を、 $\Delta R C a c c (N_x) = \Delta R C a c c (N_{pre}) + \Delta R C (L)$ によって算出する。 $\Delta R C a c c (N_{pre})$ は、ステップ S 5 5 によって選択された入力リンク L の始点ノード N_{pre} までの累積された被約費用の変化量 $\Delta R C$ である。また、 $\Delta R C (L)$ は、入力リンク L を選択したときの被約費用の変化量 $\Delta R C$ である。

【 0 3 2 6 】

図 1 1 のステップ S 5 において、図 7 に示す光再生中継器配置決定部 1 1 5 は、装置構成決定部 1 2 4 によって決定された光伝送装置構成内への光再生中継器の配置を決定する。設計データ出力部 1 1 6 は、装置構成決定部 1 2 4 によって決定された光伝送装置構成に関する情報と光再生中継器配置決定部 1 1 5 により決定された光再生中継器の配置に関する情報とを含む設計データを出力する。

30

【 0 3 2 7 】

以上の実施例を含む実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

【 0 3 2 8 】

(付記 1)

光ネットワークのトポロジ情報、前記光ネットワーク上の各前記局舎に配置可能な光伝送装置の種類に関する装置情報、前記トポロジ情報上で互いに隣接する局舎間における伝送路条件を示すスパン情報、及び前記光ファイバネットワーク上を伝送する各波長パスに関する波長パス情報を取得する情報取得部と、

40

前記トポロジ情報により表されるネットワークを線形区間に分割する区間分割部と、各前記線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定する組み合わせ候補決定部と、

前記波長パス情報において指定される、各前記波長パス上で許される雑音量上限値に対応する所定条件に応じて該雑音量上限値を決定する雑音量上限値決定部と、

前記光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各前記波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、前記線形区間毎に前記組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを 1 つずつ選択する制約条件、並びに各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる前記累積雑音量と該波長パスの前記雑音

50

量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各前記線形区間内に配置される光伝送装置を決定する装置配置部と、

を備えるネットワーク設計装置。

【0329】

(付記2)

前記整数計画問題は、各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる伝送ペナルティの累積値と、該波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、により定める制約条件をさらに有する付記1に記載のネットワーク設計装置。

【0330】

(付記3)

前記雑音量上限値決定部は、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力に応じて前記雑音量上限値を定める付記1又は2に記載のネットワーク設計装置。

【0331】

(付記4)

前記雑音量上限値決定部は、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記1又は2に記載のネットワーク設計装置。

【0332】

(付記5)

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値を決定する累積ペナルティ最大値決定部を備え、

前記雑音量上限値決定部は、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値及び前記最大値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記1又は2に記載のネットワーク設計装置。

【0333】

(付記6)

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値及び最小値を決定する累積ペナルティ決定部と、

前記最小値の伝送ペナルティが累積する波長パスにおいて信号の再生に要する光再生中継器の最小数を決定する最小光再生中継器数決定部と、を備え、

前記雑音量上限値決定部は、前記最小数の光再生中継器により分割された該波長パス上に生じ得る伝送ペナルティの最大値及び前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力とに応じて前記雑音量上限値を定める付記1又は2に記載のネットワーク設計装置。

【0334】

(付記7)

コンピュータを、

光ネットワークのトポロジー情報、前記光ネットワーク上の各前記局舎に配置可能な光伝送装置の種類に関する装置情報、前記トポロジー情報上で互いに隣接する局舎間における伝送路条件を示すスパン情報、及び前記光ファイバネットワーク上を伝送する各波長パスに関する波長パス情報を取得する情報取得手段、

前記トポロジー情報により表されるネットワークを線形区間に分割する区間分割手段、各前記線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定する組み合わせ候補決定手段、

前記波長パス情報において指定される、各前記波長パス上で許される雑音量上限値に対

10

20

30

40

50

応する所定条件に応じて該雑音量上限値を決定する雑音量上限値決定手段、

前記光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各前記波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、前記線形区間毎に前記組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを1つずつ選択する制約条件、並びに各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる前記累積雑音量と該波長パスの前記雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各前記線形区間内に配置される光伝送装置を決定する装置配置手段、として機能させるネットワーク設計プログラム。

【0335】

10

(付記8)

前記整数計画問題は、各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる伝送ペナルティの累積値と、該波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、により定める制約条件をさらに有する付記7に記載のネットワーク設計プログラム。

【0336】

(付記9)

前記雑音量上限値決定手段は、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる前記波長パスのOSNR耐力に応じて前記雑音量上限値を定める付記7又は8に記載のネットワーク設計プログラム。

20

【0337】

(付記10)

前記雑音量上限値決定手段は、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記7又は8に記載のネットワーク設計プログラム。

【0338】

(付記11)

前記ネットワーク設計プログラムは、前記コンピュータを、前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値を決定する累積ペナルティ最大値決定手段として機能させ、

30

前記雑音量上限値決定手段は、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値及び前記最大値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記7又は8に記載のネットワーク設計プログラム。

【0339】

(付記12)

前記ネットワーク設計プログラムは、前記コンピュータを、

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値及び最小値を決定する累積ペナルティ決定手段、及び

40

前記最小値の伝送ペナルティが累積する波長パスにおいて信号の再生に要する光再生中継器の最小数を決定する最小光再生中継器数決定手段、として機能させ、

前記雑音量上限値決定手段は、前記最小数の光再生中継器により分割された該波長パス上に生じ得る伝送ペナルティの最大値、及び前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのOSNR耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記7又は8に記載のネットワーク設計プログラム。

【0340】

(付記13)

光ネットワークのトポロジー情報、前記光ネットワーク上の各前記局舎に配置可能な光

50

伝送装置の種類に関する装置情報、前記トポロジー情報上で互いに隣接する局舎間における伝送路条件を示すスパン情報、及び前記光ファイバネットワーク上を伝送する各波長パスに関する波長パス情報が、コンピュータに入力され、

前記コンピュータは、

前記トポロジー情報により表されるネットワークを線形区間に分割し、

各前記線形区間内に配置される光伝送装置の種類の組み合わせ候補を決定し、

前記波長パス情報において指定される、各前記波長パス上で許される雑音量上限値に対応する所定条件に応じて該雑音量上限値を決定し、

前記光ネットワークに配置される光伝送装置のコスト及び各前記波長パス毎に必要な数の光再生中継器に要するコストの合計を最小にする目的関数、前記線形区間毎に前記組み合わせ候補から光伝送装置の種類の組み合わせを１つずつ選択する制約条件、並びに各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる前記累積雑音量と該波長パスの前記雑音量上限値とにより定める制約条件を有する整数計画問題を解くことにより、各前記線形区間内に配置される光伝送装置を決定する、ネットワーク設計方法。

10

【０３４１】

（付記１４）

前記整数計画問題は、前記整数計画問題は、各前記波長パスに必要な光再生中継器数の条件を、前記スパン情報において指定される前記伝送路条件に応じて決定される該波長パス上で生じる伝送ペナルティの累積値と、該波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、により定める制約条件をさらに有する付記１３に記載のネットワーク設計方法。

20

【０３４２】

（付記１５）

前記コンピュータは、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのＯＳＮＲ耐力に応じて前記雑音量上限値を定める付記１３又は１４に記載のネットワーク設計方法。

【０３４３】

（付記１６）

前記コンピュータは、前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのＯＳＮＲ耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記１３又は１４に記載のネットワーク設計方法。

30

【０３４４】

（付記１７）

前記コンピュータは、

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値を決定し、

前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値及び前記最大値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスのＯＳＮＲ耐力に応じて前記雑音量上限値を定める付記１３又は１４に記載のネットワーク設計方法。

40

【０３４５】

（付記１８）

前記コンピュータは、

前記波長パス上で生じうる伝送ペナルティの累積値の最大値及び最小値を決定し、

前記最小値の伝送ペナルティが累積する波長パスにおいて信号の再生に要する光再生中継器の最小数を決定し、

前記最小数の光再生中継器により分割された該波長パス上に生じ得る伝送ペナルティの最大値、及び前記波長パスの信号種類に応じて定まる伝送ペナルティの上限値のうち小さい方と、前記波長パス情報において指定される前記所定条件に応じて定まる該波長パスの

50

OSNR 耐力と、に応じて前記雑音量上限値を定める付記 13 又は 14 に記載のネットワーク設計方法。

【図面の簡単な説明】

【0346】

【図1】設計対象となる光ネットワークを示す図である。

【図2】各局舎に配置可能な光伝送装置の種類の一例を示す図である。

【図3】図2に示すOADMの一例を示すブロック図である。

【図4】図2に示すILAの一例を示すブロック図である。

【図5】図2に示すバイパスの一例を示すブロック図である。

【図6】CPUを用いて開示のネットワーク設計装置を実現した場合のハードウェア構成図である。 10

【図7】図6に示すCPUがネットワーク設計プログラムを実行することにより実現されるネットワーク設計装置のブロック図である。

【図8】図7に示すパラメータ決定部のブロック図である。

【図9】図7に示す初期候補生成部のブロック図である。

【図10】図7に示す追加候補探索部のブロック図である。

【図11】開示のネットワーク設計方法の全体フローチャートである。

【図12】図8に示すパス内グラフ生成部が生成するグラフ情報の例を示す図（その1）である。

【図13】図8に示すパス内グラフ生成部が生成するグラフ情報の例を示す図（その2）である。 20

【図14】図8に示す第1リンク選択部による入力リンクの選択処理の説明図である。

【図15】図8に示す第1リンク選択部による選択処理の例を示すフローチャートである。

【図16】図8に示す第1リンク選択部による入力リンクの選択処理の結果を示す図である。

【図17】図8に示す第1ノード決定部による経路ノードの決定処理の例を示すフローチャートである。

【図18】図8に示す第1ノード決定部による経路ノードの決定処理の結果を示す図である。 30

【図19】各单位設計区間の光伝送装置構成を決定する決定方法の一例を示すフローチャートである。

【図20】図9に示す第1単位設計区間内グラフ生成部が生成するグラフ情報の例を示す図（その1）である。

【図21】図9に示す第1単位設計区間内グラフ生成部が生成するグラフ情報の例を示す図（その2）である。

【図22】図9に示す第2リンク選択部による入力リンクの選択処理の説明図である。

【図23】図9に示す第2リンク選択部による選択処理の例を示すフローチャート（その1）である。

【図24】図9に示す第2リンク選択部による選択処理の例を示すフローチャート（その2）である。 40

【図25】図9に示す第2リンク選択部による入力リンクの選択処理の結果を示す図である。

【図26】図9に示す第2ノード決定部による経路ノードの決定処理の結果を示す図である。

【符号の説明】

【0347】

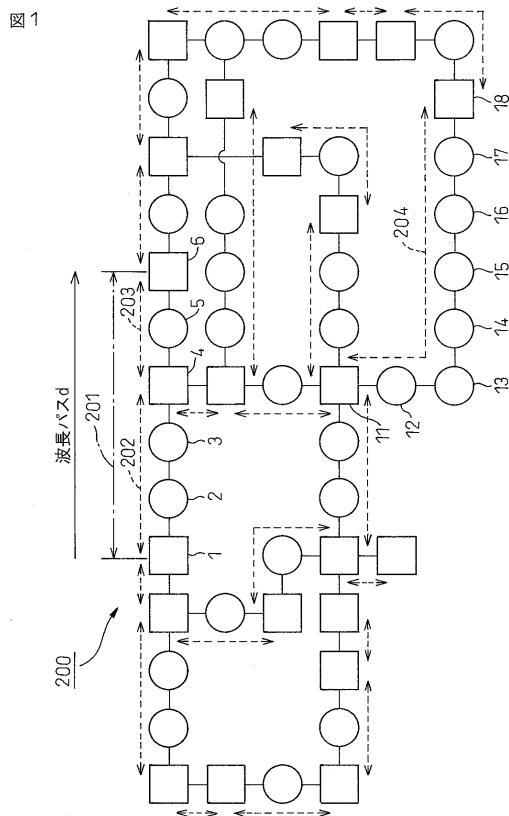
1、4、6、11、28 OADM装置が配置される局舎

2、3、5、12～17 中継局舎

100 ネットワーク設計装置

- 1 2 0 情報取得部
 1 2 1 区間分割部
 1 2 3 パラメータ決定部
 1 2 4 装置構成決定部
 2 0 0 光ネットワーク
 2 0 1 波長パスの区間
 2 0 2 ~ 2 0 4 線形区間

【図 1】



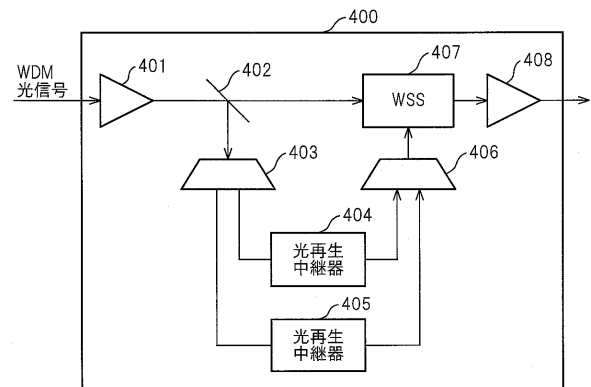
【図 2】

図2

機能	300		
	3R	1R	レベル等化
310 光伝送装置			
320 OADM	✓	✓	✓
330 ILA		✓	
330 バイパス			

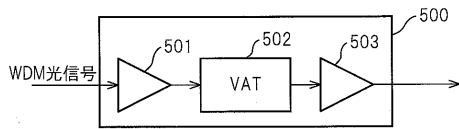
【図 3】

図3



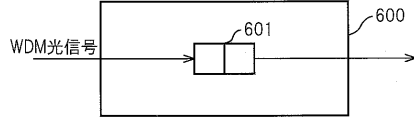
【図 4】

図4



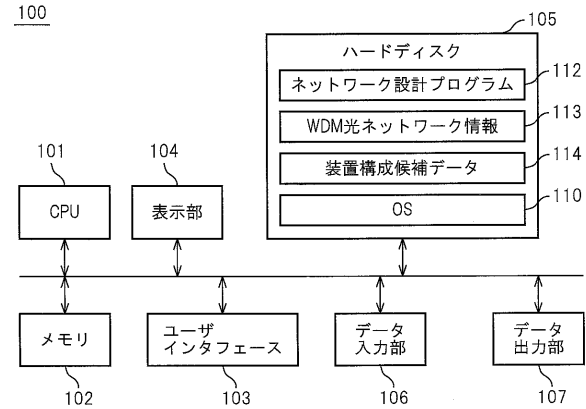
【図 5】

図5



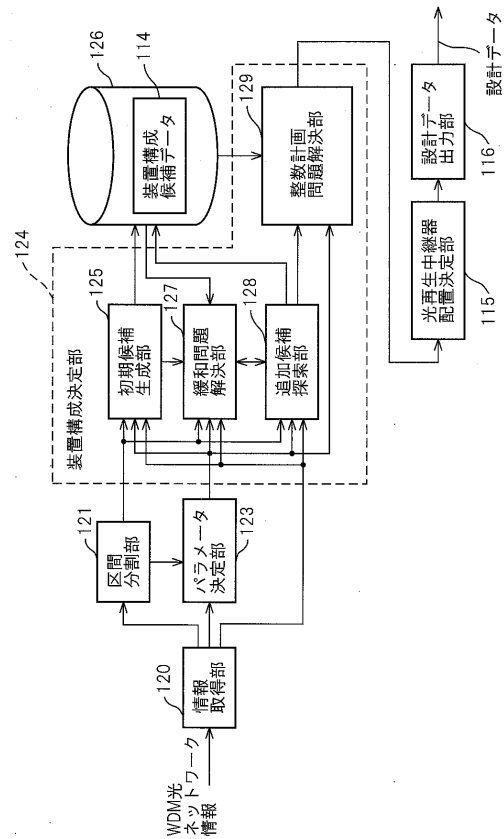
【図 6】

図6



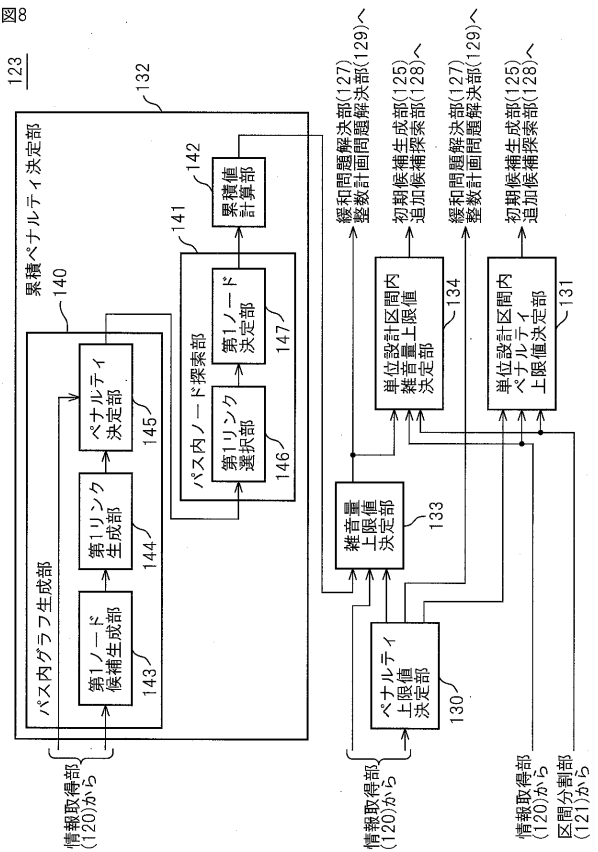
【図 7】

図7



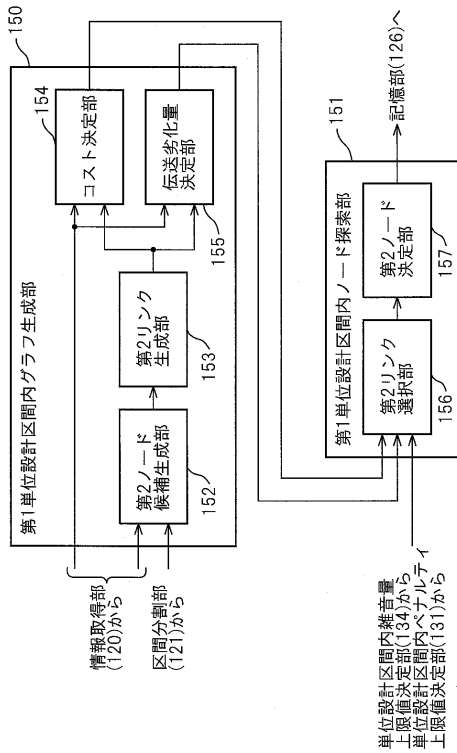
【図 8】

図8



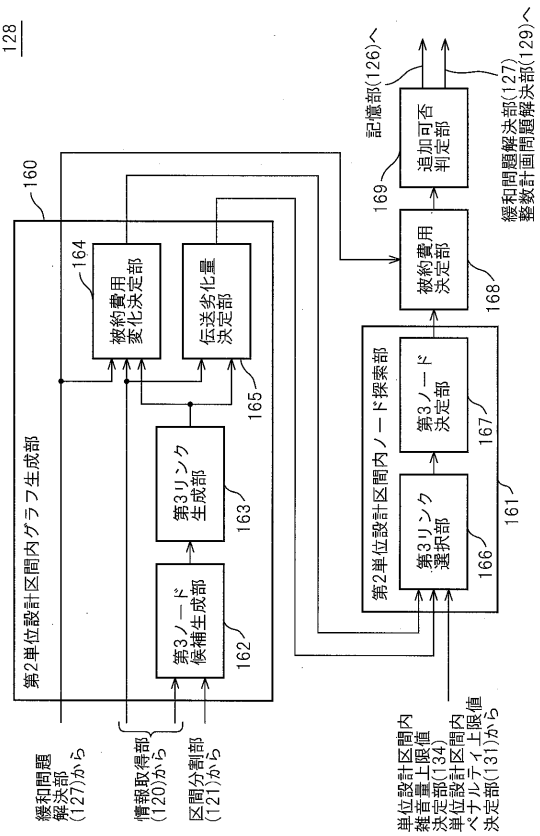
【図 9】

図9
125



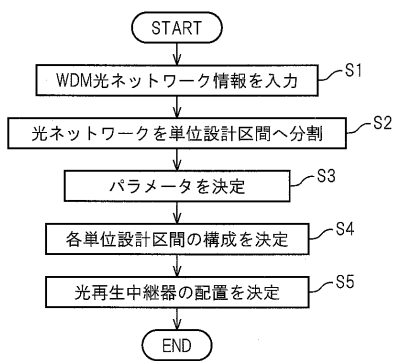
【図 10】

図10
128



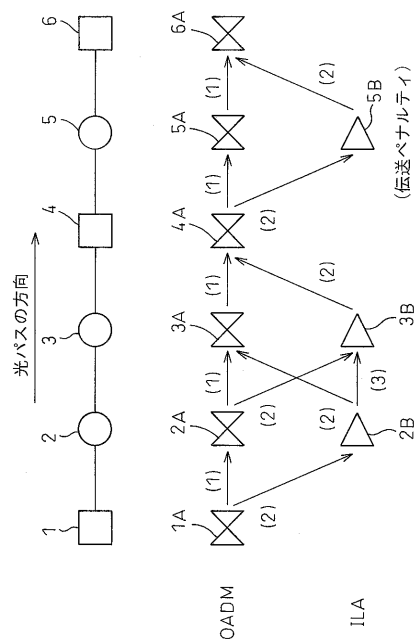
【図 11】

図11



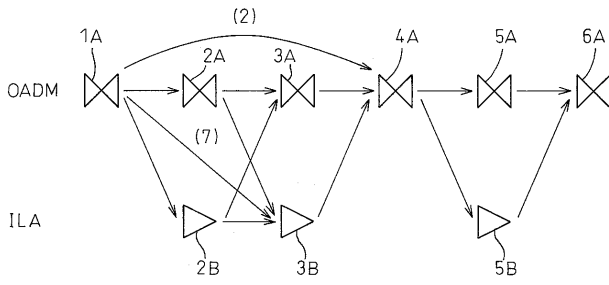
【図 12】

図12



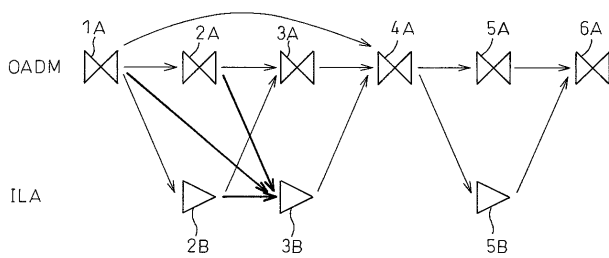
【図 13】

図13



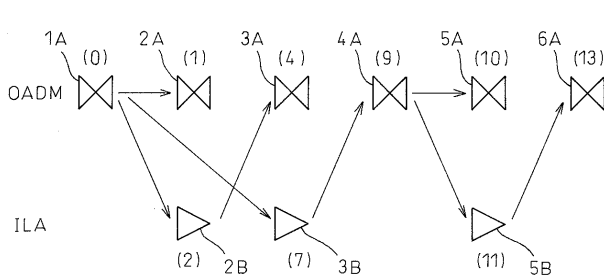
【図 14】

図14



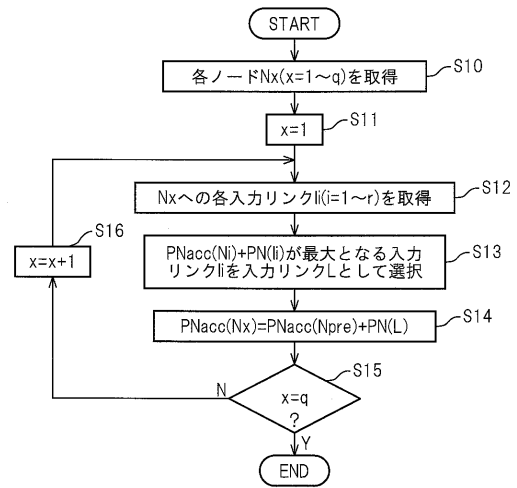
【図 16】

図16



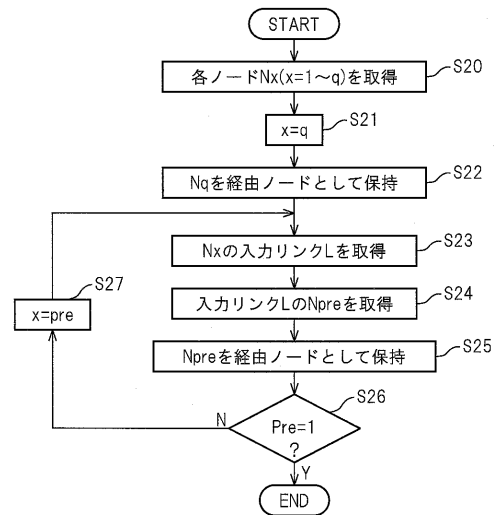
【図 15】

図15



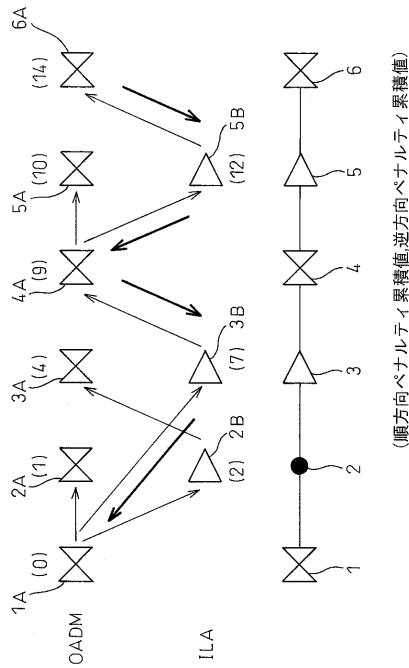
【図 17】

図17



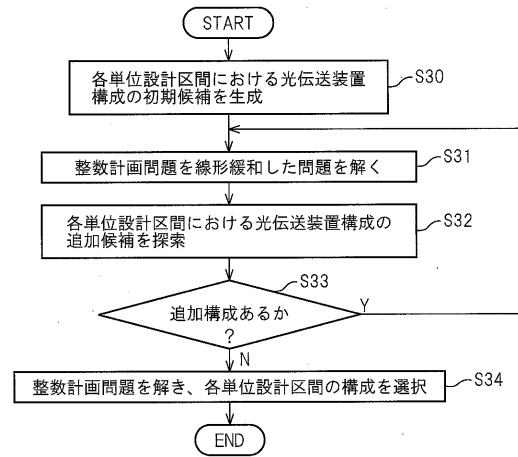
【図 18】

図18



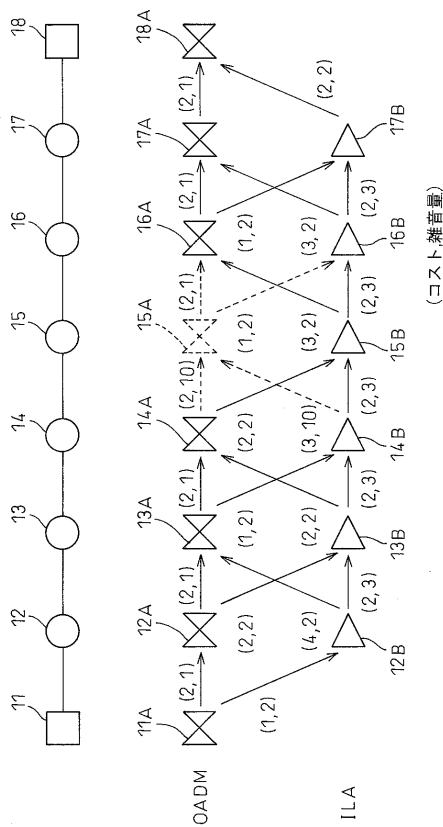
【図 19】

図19



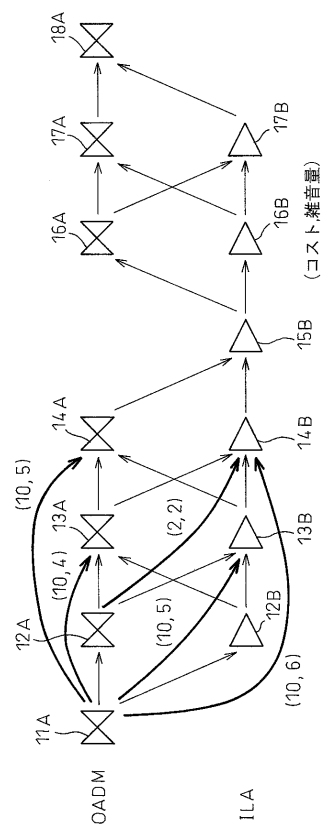
【図 20】

図20



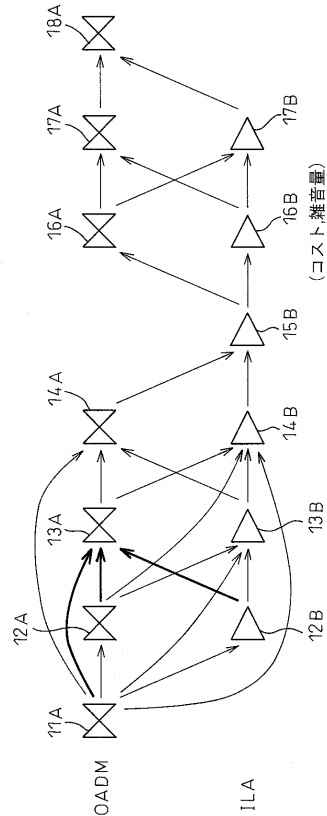
【図 21】

図21



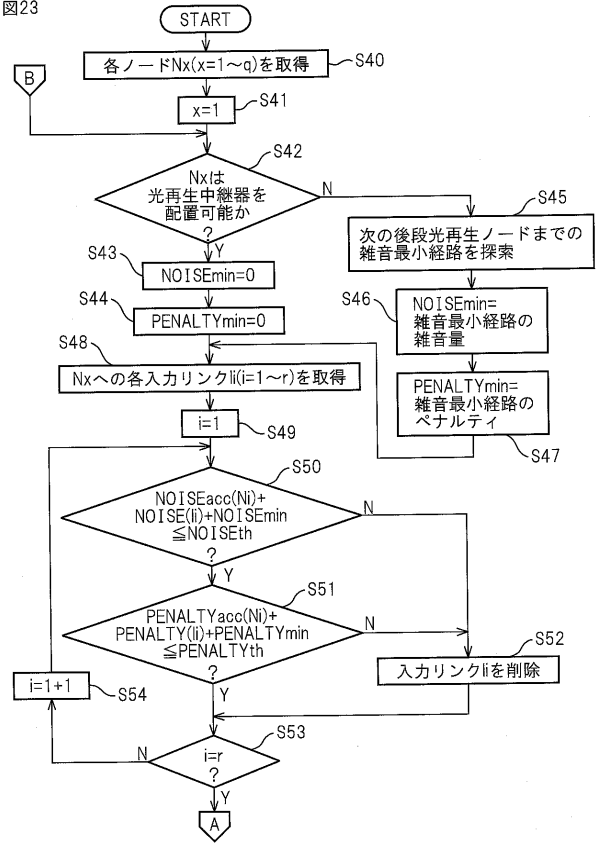
【図 2 2】

図22



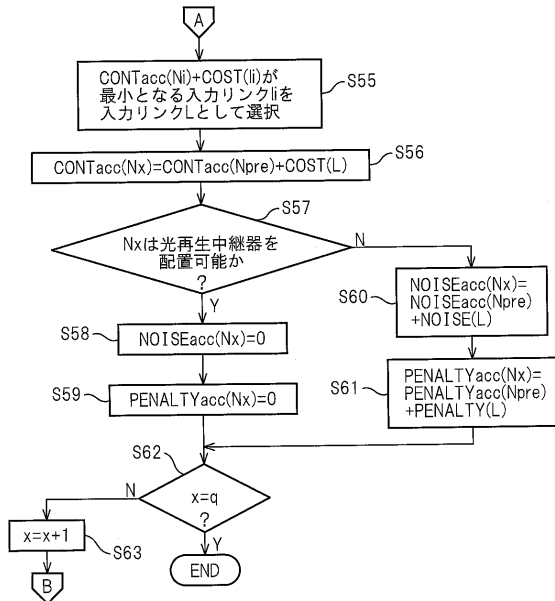
【図 2 3】

図23



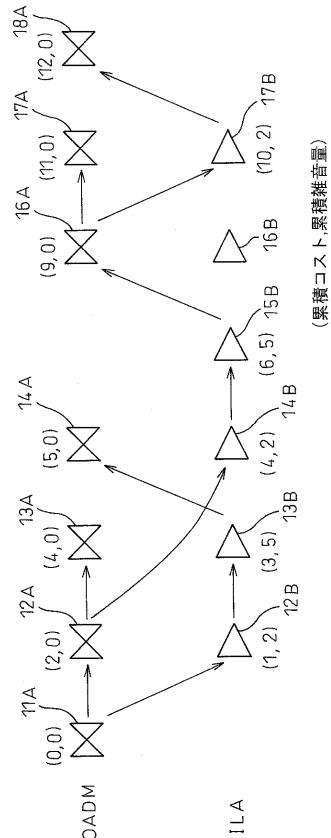
【図 2 4】

図24



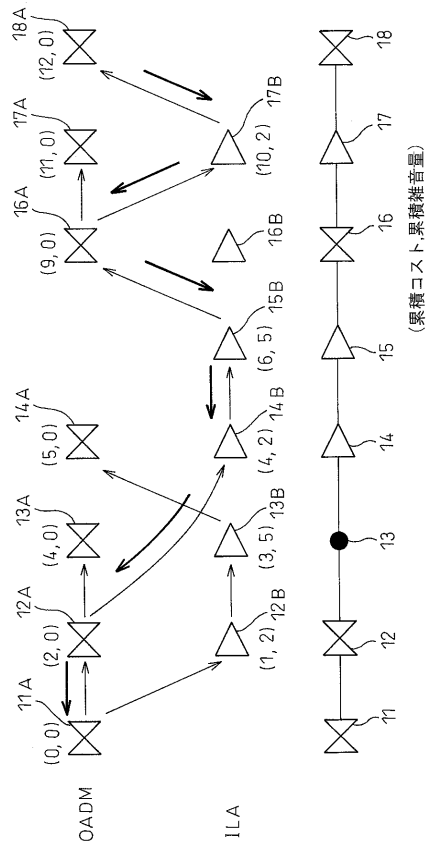
【図 2 5】

図25



【図 26】

図 26



フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
H 0 4 B 10/02 (2006.01)
H 0 4 B 10/18 (2006.01)

(74)代理人 100114177
弁理士 小林 龍
(72)発明者 橋口 知弘
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
(72)発明者 片桐 徹
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
(72)発明者 田島 一幸
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内
(72)発明者 瀧田 裕
神奈川県川崎市中原区上小田中 4 丁目 1 番 1 号 富士通株式会社内

F ターム(参考) 5B046 CA06 FA01 JA07
5K030 GA11 HA01 HC01 JL03 MA01
5K102 AA01 AA35 AA41 AD01 KA12 KA31 LA06 LA07 LA13