

(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2014-192584

(P2014-192584A)

(43) 公開日 平成26年10月6日(2014.10.6)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
H O 4 L 12/70 (2013.01) H O 4 L 12/70 1 O O Z 5 K O 3 O
H O 4 L 12/717 (2013.01) H O 4 L 12/717

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2013-64413 (P2013-64413)	(71) 出願人	000208891 K D D I 株式会社 東京都新宿区西新宿二丁目3番2号
(22) 出願日	平成25年3月26日 (2013.3.26)	(74) 代理人	100106909 弁理士 棚井 澄雄
		(74) 代理人	100064908 弁理士 志賀 正武
		(74) 代理人	100146835 弁理士 佐伯 義文
		(72) 発明者	立花 篤男 埼玉県ふじみ野市大原2丁目1番15号 株式会社K D D I 研究所内
		(72) 発明者	長谷川 輝之 埼玉県ふじみ野市大原2丁目1番15号 株式会社K D D I 研究所内

最終頁に続く

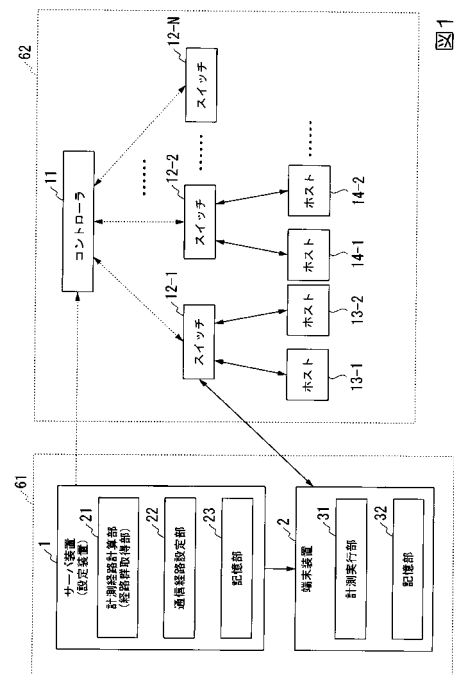
(54) 【発明の名称】 設定装置、端末装置、設定プログラム、計測システム及び計測方法

(57) 【要約】

【課題】ネットワークにおけるリンクに関する計測を効率化することができる設定装置などを提供する。

【解決手段】設定装置（一例として、サーバ装置1）は、SDNにおける複数のノード（一例として、スイッチ12-1～12-N）の全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部（一例として、計測経路計算部21）と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行する経路設定部（一例として、通信経路設定部22）と、を備える。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

S D Nにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部と、

前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行する経路設定部と、

を備える設定装置。

【請求項 2】

前記経路設定部は、前記 S D Nのコントローラに前記経路の群を設定する、

請求項 1 に記載の設定装置。

10

【請求項 3】

S D Nにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路の群に関する情報を記憶する記憶部と、

前記記憶部に記憶された前記情報に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する計測実行部と、

を備える端末装置。

【請求項 4】

前記計測実行部は、冗長な試験パケットを削除した後に、試験パケットを送信して、計測を実行する、

請求項 3 に記載の端末装置。

20

【請求項 5】

前記計測実行部は、前記リンクの通信品質に関する計測を実行する、又は、前記試験パケットとともに負荷パケットを送信して、前記リンクのボトルネックに関する計測を実行する、

請求項 3 又は請求項 4 に記載の端末装置。

【請求項 6】

経路群取得部が、S D Nにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得するステップと、

経路設定部が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行するステップと、

をコンピュータに実行させるための設定プログラム。

30

【請求項 7】

S D Nにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部と、

前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行する経路設定部と、

前記経路群取得部により取得された前記経路の群に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する計測実行部と、

を備える計測システム。

【請求項 8】

40

経路群取得部が、S D Nにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得し、

経路設定部が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行し、

計測実行部が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する、

計測方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

50

本発明は、設定装置、端末装置、設定プログラム、計測システム及び計測方法に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、ネットワーク機器をソフトウェアで一元的に制御するSDN(Software Defined Network)と呼ばれるアーキテクチャが研究開発されている(例えば、非特許文献1参照。)。SDNを実現するための代表的な技術であるOpenFlow(例えば、非特許文献2参照。)では、MAC(Media Access Control)アドレス、IP(Internet Protocol)アドレス、ポート番号などを組み合わせて定義される「フロー」を単位として、通信経路が設定され、このため、ネットワークの構成変更やホストの追加などに対して柔軟なトラフィック制御を実現できるメリットが期待されている(例えば、非特許文献2参照。)。

ここで、OpenFlow(オープンフロー)は、OpenFlowスイッチングコンソーシアムが提唱しているネットワーク制御技術のことであり、SDNの一例として用いることができる。

【0003】

しかしながら、SDNの管理手法については、未だに十分には検討が進んでいない。例えば、OpenFlowのスイッチでは、従来のネットワーク機器と同様に、ネットワーク機器自体が保持する統計情報(MIB:Management Information Base)を遠隔監視する手法が利用可能となっているが、頻繁なMIBの問い合わせはスイッチの処理負荷を増大させるため、通信品質を常時監視することは困難である。また、パケット遅延や可用帯域等の一部の品質メトリックがMIBに定義されていないという課題もある。

【0004】

一方、従来のネットワークにおいて、MIBを直接監視する代わりに、計測端末が、リンクの両端のスイッチが応答パケットを返信するように工夫を施した試験パケット(例えば、その組)を送信し、観測される応答パケットの数や受信時刻の差に基づいて、通信経路上のリンクの通信品質(ロス率や遅延の平均値など)を推定するアクティブ計測技術が研究開発されている(例えば、非特許文献3、4参照。)。

【0005】

図8～図9を参照して、アクティブ計測技術の例を示す。

図8は、リンク品質計測を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

計測端末装置1001は、各ルータ1011～1013で折り返すように設定した複数(図8の例では、3個)の試験パケット1021～1023を送信する。この設定として、各試験パケット1021～1023のTTL(Time To Live)値をホップ数に設定する。図8の例では、TTL値が小さい方から大きい方への順で、試験パケット1021～1023が並んでいる。

TTL値が1である試験パケット1021に対してルータ1011から応答パケット1031が送信(返送)され、TTL値が2である試験パケット1022に対してルータ1012から応答パケット1032が送信(返送)され、TTL値が3である試験パケット1023に対してルータ1013から応答パケット1033が送信(返送)される。図8の例では、ICMP(Internet Control Message Protocol)の応答パケット1031～1033が用いられている。応答パケットが送信された試験パケットから順になくなっていく。

これらについて、計測端末装置1001では、パケット到着率、パケット往復遅延の差分から、ルータ間の各リンクの通信品質(ロス率や遅延の平均値など)を計測する。

【0006】

図9は、ボトルネック推定を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

計測端末装置1101は、試験パケットと負荷パケットを含むパケットトレイン1121を送信することで、これらのパケットを一緒に送信する。図9の例では、パケットトレ

10

20

30

40

50

イン 1 1 2 1 は、各ルータ 1 1 1 1 ~ 1 1 1 3 で折り返すように設定した複数（図 9 の例では、3 個）の試験パケットと、負荷パケット 1 1 3 1 と、前記複数の試験パケットを逆の順としたものと、から構成されている。各試験パケットは、各ルータ 1 1 1 1 ~ 1 1 1 3 で折り返すように設定されている。この設定として、各試験パケットの TTL 値をホップ数に設定する。図 9 の例では、パケットトレイン 1 1 2 1 において、先頭では、TTL 値が小さい方から大きい方への順で試験パケットが並んでおり、末尾（最後尾）では、TTL 値が大きい方から小さい方への順で試験パケットが並んでいる。

TTL 値が 1 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してルータ 1 1 1 1 から応答パケット 1 1 4 1、1 1 4 2 が送信（返送）され、TTL 値が 2 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してルータ 1 1 1 2 から応答パケット 1 1 5 1、1 1 5 2 が送信（返送）され、TTL 値が 3 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してルータ 1 1 1 3 から応答パケット 1 1 6 1、1 1 6 2 が送信（返送）される。図 9 の例では、ICMP の応答パケット 1 1 4 1 ~ 1 1 4 2、1 1 5 1 ~ 1 1 5 2、1 1 6 1 ~ 1 1 6 2 が用いられている。応答パケットが送信された試験パケットから順になくなっていく。

これらについて、計測端末装置 1 1 0 1 では、観測される応答パケットの間隔からボトルネックリンクを特定する。この場合、それぞれのルータ 1 1 1 1 ~ 1 1 1 3 からの 2 個の応答パケットの組（応答パケット 1 1 4 1 ~ 1 1 4 2 の組、応答パケット 1 1 5 1 ~ 1 1 5 2 の組、応答パケット 1 1 6 1 ~ 1 1 6 2 の組）について、可用帯域が小さいリンクではパケット間隔が広がることを利用する。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献 1】“Open Networking Foundation”、[online]、[平成 25 年 3 月 12 日検索]、インターネット<URL: <http://www.openflow.org/>>

【非特許文献 2】「次世代網を実現する Openflow 技術最新動向 2013」、インプレス R&D インターネットメディア総合研究所

【非特許文献 3】[online]、インターネット<URL: <http://www.microsoft.com/resources/documentation/windows/xp/all/proddocs/en-us/pathping.mspx?mfr=true>>

【非特許文献 4】Ningning Hu、Li Erran Li、Zhuoqing Morley Mao、Peter Steenkiste、Jia Wang、“Locating Internet Bottlenecks: Algorithms, Measurements, and Implications”、In Proc. of SIGCOMM 2004.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

従来のネットワークにおけるアクティブ計測技術では、試験パケットは予め決められた通信経路（多くの場合は、計測端末装置とルータとの間の最短経路）を通過することを前提としているため、ネットワーク内における全てのリンクを監視するためには、複数の計測端末装置を設置する必要があるという問題があった。

【0009】

図 10 は、ネットワーク 1 5 1 1 におけるリンク品質計測を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

2 個の計測端末装置 1 5 0 1 - 1 ~ 1 5 0 1 - 2 により、ネットワーク 1 5 1 1 に設けられた複数のルータ $v_1 \sim v_5$ について、リンク品質計測を行う。この場合、第 1 の計測端末装置 1 5 0 1 - 1 から計測することができないリンク（ルータ v_2 とルータ v_5 との間のリンク、ルータ v_3 とルータ v_4 との間のリンク）については、第 2 の計測端末装置

1501 - 2 から計測することが必要である。

【0010】

本発明は、このような事情を考慮してなされたもので、ネットワークにおけるリンクに関する計測を効率化することができる設定装置、端末装置、設定プログラム、計測システム及び計測方法を提供することを課題とする。

【課題を解決するための手段】

【0011】

(1) 上記の課題を解決するために、本発明に係る設定装置は、SDNにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行する経路設定部と、を備える。

10

(2) 本発明は、上記した(1)に記載の設定装置において、前記経路設定部は、前記SDNのコントローラに前記経路の群を設定する。

【0012】

(3) 上記の課題を解決するために、本発明に係る端末装置は、SDNにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路の群に関する情報を記憶する記憶部と、前記記憶部に記憶された前記情報に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する計測実行部と、を備える。

(4) 本発明は、上記した(3)に記載の端末装置において、前記計測実行部は、冗長な試験パケットを削除した後に、試験パケットを送信して、計測を実行する。

20

(5) 本発明は、上記した(3)又は上記した(4)に記載の端末装置において、前記計測実行部は、前記リンクの通信品質に関する計測を実行する、又は、前記試験パケットとともに負荷パケットを送信して、前記リンクのボトルネックに関する計測を実行する。

【0013】

(6) 上記の課題を解決するために、本発明に係る設定プログラムは、経路群取得部が、SDNにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得するステップと、経路設定部が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行するステップと、をコンピュータに実行させるためのプログラムである。

(7) 上記の課題を解決するために、本発明に係る計測システムは、SDNにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行する経路設定部と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する計測実行部と、を備える。

30

(8) 上記の課題を解決するために、本発明に係る計測方法は、経路群取得部が、SDNにおける複数のノードの全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得し、経路設定部が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理を実行し、計測実行部が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する。

40

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、ネットワークにおけるリンクに関する計測を効率化することができる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の一実施形態に係るネットワークシステムの概略的な構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る試験パケットの通信経路の計算の例を説明するための図である。

50

【図 3】本発明の一実施形態に係る試験パケットの通信経路の計算の例を説明するための図である。

【図 4】本発明の一実施形態に係る冗長な試験パケットの削除の例を説明するための図である。

【図 5】本発明の一実施形態に係る冗長な試験パケットを削除する処理（グループ化の処理）の手順の一例を説明するための図である。

【図 6】本発明の一実施形態に係るボトルネック推定を行う場合における試験パケットの送信を説明するための図である。

【図 7】本発明の一実施形態に係るネットワークにおけるリンク品質計測を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

10

【図 8】リンク品質計測を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

【図 9】ボトルネック推定を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

【図 10】ネットワークにおけるリンク品質計測を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0016】

以下、図面を参照し、本発明の実施形態について説明する。

<本実施形態に係るネットワークシステムの構成>

図 1 は、本発明の一実施形態に係るネットワークシステムの概略的な構成を示すブロック図である。

20

本実施形態に係るネットワークシステムは、本発明の一実施形態に係る計測システム 61 と、SDN（一例として、OpenFlow）のネットワーク 62 を有する。

【0017】

計測システム 61 は、サーバ装置 1 と、端末装置（計測端末装置）2 を備える。

サーバ装置 1 は、計測経路計算部 21 と、通信経路設定部 22 と、記憶部 23 を備える。

端末装置 2 は、計測実行部 31 と、記憶部 32 を備える。

ネットワーク 62 は、SDN のコントローラ 11 と、複数（図 1 の例では、N 個）の SDN のスイッチ（ルータに対応するもの）12 - 1 ~ 12 - N と、複数のホスト 13 - 1 ~ 13 - 2、14 - 1 ~ 14 - 2 を備える。

30

【0018】

なお、各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N はノード（ネットワークのノード）に相当し、コントローラ 11 は各ノード（ここでは、各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N）に対する設定を行う。

また、ノードとノードとの接続をリンクと呼ぶ。

【0019】

ここで、コントローラ 11 と各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N とが接続されており、各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N とその配下の各ホスト 13 - 1 ~ 13 - 2、14 - 1 ~ 14 - 2 とが接続されている。

また、サーバ装置 1 とコントローラ 11 とが接続されており、サーバ装置 1 と端末装置 2 とが接続されており、端末装置 2 とスイッチ（図 1 の例では、スイッチ 12 - 1）とが接続されている。

40

なお、本実施形態に係るネットワークシステムにおいて、各装置（機器）の数や、各装置（機器）の配置場所や、複数の装置（機器）の接続などとしては、様々な構成が用いられてもよい。

【0020】

サーバ装置 1 において、計測経路計算部 21 は、試験パケットの通信経路を計算して、試験パケットの通信経路の群を取得する。通信経路設定部 22 は、コントローラ 11 と通信を行い、計算した試験パケットの通信経路をコントローラ 11 に設定する。また、通信経路設定部 22 は、端末装置 2 と通信を行い、計算した試験パケットの通信経路を端末装

50

置 2 に設定する。記憶部 23 は、各種の情報を記憶する。

端末装置 2 において、計測実行部 31 は、試験パケットを送受信し、観測データから各リンクの通信品質を推定することなどの計測処理を実行する。

ここで、本実施形態では、物理的なネットワーク機器（本実施形態では、スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N）の間の接続関係を表すトポロジ情報、各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N の管理情報（例えば、MAC アドレス）は既知であるとし、例えば、これらの情報がサーバ装置 1 の記憶部 23 に記憶されている。

【0021】

なお、サーバ装置 1 や端末装置 2 は、それぞれ、コンピュータなどを用いて構成される。サーバ装置 1 の機能と端末装置 2 の機能は、例えば、一体化されてもよい。

また、コントローラ 11 や各ホスト 13 - 1 ~ 13 - 2、14 - 1 ~ 14 - 2 は、それぞれ、コンピュータなどを用いて構成される。

コントローラ 11 と各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N との間は、SDN（一例として、OpenFlow）のプロトコル（通信規約）で接続される。

複数のスイッチ 12 - 1 ~ 12 - N の間は、SDN により接続される。

各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N と各ホスト 13 - 1 ~ 13 - 2、14 - 1 ~ 14 - 2 との間では、データの通信（本実施形態では、パケットの転送）が行われる。

また、ネットワーク 62 は、任意のものであってもよく、例えば、インターネットなどの汎用のネットワークが用いられてもよく、又は、企業内ネットワークなどの閉じたネットワークが用いられてもよい。

【0022】

＜試験パケットの通信経路（計測パス）の計算＞

サーバ装置 1 の計測経路計算部 21 は、監視対象となる SDN 内に存在する全てのリンク $\{e_1, e_2, \dots, e_M\}$ に対して、試験パケット用の通信経路（計測経路）を計算する。なお、全てのリンク $\{e_1, e_2, \dots, e_M\}$ の集合を E と定義する。本実施形態では、スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N の間のリンクの数が M （ M は、例えば、2 以上の整数）個であるとしている。

また、監視対象となる SDN 内に存在する全てのスイッチ 12 - 1 ~ 12 - N を $\{V_1, V_2, \dots, V_N\}$ の集合で表す。すなわち、ここでの説明では、スイッチ 12 - i はスイッチ V_i （ $i = 1, 2, \dots, N$ ）に相当する。

サーバ装置 1 の計測経路計算部 21 は、次のような（手順 1 - 1）~（手順 1 - 3）により、試験パケット用の通信経路を計算する。

【0023】

（手順 1 - 1）

計測を実行する端末装置 2 を始点として、監視対象となる SDN 内に存在する全てのスイッチ 12 - 1 ~ 12 - N（ $V_1 \sim V_N$ ）までの最短経路（本実施形態では、経由するスイッチの列）を計算し、その最短距離 $\{r_1, r_2, \dots, r_N\}$ の集合を R とする。

ここで、最短経路の計算においては、一例として、始点のノードから他のノードまでの最短経路を効率的に求めることができるダイクストラアルゴリズムを利用する。ダイクストラアルゴリズムでは、ホップ数、或いは、物理帯域等に基づいて設定される各リンクのコスト値に基づいた最短経路を計算することができる。これに関し、本実施形態では、ホップ数やコスト値などの最短経路の基準となる指標については限定しない。但し、計測を実行する端末装置 2 から各スイッチ 12 - 1 ~ 12 - N までの最短経路を必ず 1 つに決定する。このため、例えば、等コストマルチパス（ECMP: Equal Cost Multi Path）により最短経路が複数存在する場合には、その中から一本の通信経路を最短経路として選択する。

なお、ダイクストラアルゴリズム以外の手法が用いられてもよい。

【0024】

図 2 は、本発明の一実施形態に係る試験パケットの通信経路の計算の例を説明するための図である。

10

20

30

40

50

図 2 には、端末装置 2 や、ネットワーク 6 2 における複数のスイッチ V_i 及びその最短距離 r_i の例を示してある。なお、図 2 の例では、 $N = 6$ の場合を示す。

【 0 0 2 5 】

(手順 1 - 2)

上記した (手順 1 - 1) により計算された最短経路 r_i ($i = 1, 2, \dots, N$) を、宛先となるスイッチ V_i とその 1 ホップ手前のスイッチ V_j ($j = 1, 2, \dots, N$ 且つ $j \neq i$) との間のリンク e_k (k は 1 以上 M 以下の値) を計測するための通信経路として記録 (記憶) する。

ここで、試験パケットの通信経路が決定されたリンク e_k の集合を F (E) とする。

【 0 0 2 6 】

(手順 1 - 3)

集合 E の中から集合 F に含まれないリンクの集合 G ($= E \setminus F$) を抽出する。ここで、集合 G は、上記した (手順 1 - 2) では未だに試験パケットの通信経路が決定されていないリンクの集合となる。

集合 G に含まれる各リンク e_L (L は 1 以上 M 以下の値) ($e_L \in G$) に関し、リンク e_L の両端のスイッチ V_p, V_q (p 及び q は、それぞれ、1 以上 N 以下の値) のうちの一方のスイッチまでの最短経路 (この例では、 V_p に対応する r_p とする) に対して対象となる当該リンク e_L ともう一方のスイッチ V_q を最後尾に追加した通信経路 r'_q を作成し、これをリンク e_L に対する試験パケットの通信経路 (追加的な試験パケットの通信経路) とする。ここで計算された通信経路の集合を R' とする。

【 0 0 2 7 】

図 3 は、本発明の一実施形態に係る試験パケットの通信経路の計算の例を説明するための図である。

図 3 には、端末装置 2 や、ネットワーク 6 2 における複数のスイッチ V_i 、複数のリンク e_k 及び追加的な試験パケットの通信経路 r'_q の例を示してある。なお、図 3 の例では、 $N = 6$ の場合を示す。また、図 3 の例では、追加的な試験パケットの通信経路 r'_q として、 $q = 2, 4, 5$ である場合を示す。

具体的な一例として、計測されないリンク e_5 に関して、一端のスイッチ V_6 までの最短距離 r_6 に対象となる当該リンク e_5 と残りのスイッチ V_2 を追加した通信経路 r'_2 を計算する。

【 0 0 2 8 】

< 試験パケットの通信経路 (計測パス) の設定 >

サーバ装置 1 の通信経路設定部 2 2 は、上記した (手順 1 - 1) ~ (手順 1 - 3) により決定された集合 R (本実施形態では、図 2 に示される通信経路) と集合 R' (本実施形態では、図 3 に示される追加的な通信経路) を、復路の通信経路とともに、試験パケットの通信経路としてコントローラ 1 1 (例えば、その記憶部) に設定する。また、サーバ装置 1 の通信経路設定部 2 2 は、これと同じ試験パケットの通信経路 (両方向の通信経路) を端末装置 2 (例えば、その記憶部 3 2) に設定する。

ここで、復路の通信経路とは、上記した (手順 1 - 1) ~ (手順 1 - 3) により決定された通信経路 (往路の通信経路) の逆方向の通信経路のことである。本実施形態では、このように、両方向の通信経路を設定する。

【 0 0 2 9 】

本実施形態では、このような試験パケットの通信経路の設定として、次のような (設定 i) 及び (設定 ii) を行う。

(設定 i) では、パケットの宛先の MAC アドレスや通信ポート番号などの組み合わせに基づいて、各スイッチ 1 2 - 1 ~ 1 2 - N に試験パケットを識別させる設定を行う。

(設定 ii) では、各スイッチ 1 2 - 1 ~ 1 2 - N が指定したパケット処理 (パケットのヘッダの書き換え等) を行った上で、通信経路に沿った出力ポート (ネットワークインターフェース) に試験パケットを出力する設定を行う。

ここで、このような (設定 i) 及び (設定 ii) については、様々なパラメータの組み

10

20

30

40

50

合わせを用いることが考えられるが、例えば、次のような（手順 2 - 1）～（手順 2 - 3）の設定処理を適用（使用）することができる。

【0030】

（手順 2 - 1）

試験パケットの宛先のポート番号に特定の値を使用し、試験パケットを識別する（設定 i）。

【0031】

（手順 2 - 2）

試験パケットの宛先の MAC アドレスに宛先のスイッチ 12 - 1 ～ 12 - N（宛先のインターフェース）の MAC アドレスを使用し、また、各スイッチ 12 - 1 ～ 12 - N には、宛先の MAC アドレス毎に、通信経路に沿った出力ポートを設定する（設定 ii の 1 / 2）。

【0032】

（手順 2 - 3）

試験パケットが宛先のスイッチ 12 - 1 ～ 12 - N で折り返されるように、各スイッチ 12 - 1 ～ 12 - N において、宛先の MAC アドレスが自己（当該各スイッチ 12 - 1 ～ 12 - N）の入力ポートの MAC アドレスと同一である試験パケットを受信した場合には、当該試験パケットの宛先の MAC アドレスを端末装置（計測端末装置）2 の MAC アドレスに書き換えるとともに、送信元の MAC アドレスを自己（当該各スイッチ 12 - 1 ～ 12 - N）の入力ポートの MAC アドレスに書き換えた上で、試験パケットを入力ポートに出力する（返送する）ように設定する（設定 ii の 2 / 2）。

【0033】

< 試験パケットの準備及び送信 >

通信経路が共有される複数のリンクに対して、試験パケットの組を個別に送信すると、冗長な試験パケットの送信により、計測が非効率となってしまう場合がある。例えば、連続する 2 個のリンク（3 個のスイッチが縦続接続されている構成における 2 個のリンク）を計測する場合、2 個のリンクのそれぞれに対して試験パケットの組を送信すると、計 4 個の試験パケットを送信する必要があるが、端末装置（計測端末装置）2 から計測対象のリンクまでの通信経路が共通であるときには、これら 2 個のリンクをまとめて計測することにより、計 3 個のパケットでリンクの品質を計測することができる。

また、非特許文献 3 に記載された可用帯域の計測手法では、試験パケットに加えてトラヒック負荷を与える負荷パケットを送信するが（例えば、図 9 の例を参照。）、上記と同様に、同一の通信経路上に存在する複数のリンクに対して、共通の負荷パケットを利用することにより負荷パケットの数を抑制することができる。

【0034】

図 4 は、本発明の一実施形態に係る冗長な試験パケットの削除の例を説明するための図である。

図 4 には、端末装置 2 や、ネットワーク 6 2 における複数のスイッチ V_i 、複数のリンク e_k の例を示してある。なお、図 4 の例では、 $N = 6$ の場合を示す。

具体的な一例として、スイッチ V_1 とスイッチ V_2 との間のリンク e_1 の計測を行うために、スイッチ V_1 を宛先とする試験パケット 201 とスイッチ V_2 を宛先とする試験パケット 202 の組を用いる。また、スイッチ V_2 とスイッチ V_3 との間のリンク e_2 の計測を行うために、スイッチ V_2 を宛先とする試験パケット 211 とスイッチ V_3 を宛先とする試験パケット 212 の組を用いる。この場合、スイッチ V_2 を宛先とする試験パケット 202、211 が重複するため、これら 2 個の重複する試験パケット 202、211 を 1 個の試験パケットのみとすることで、冗長な通信を省略することができる。

【0035】

図 5 を参照して、負荷パケットが無い場合について、端末装置 2 の計測実行部 31 が冗長な試験パケットを削除する処理の手順の一例として、（手順 3A - 1）～（手順 3A - 5）を示す。

図 5 は、本発明の一実施形態に係る冗長な試験パケットを削除する処理（グループ化の処理）の手順の一例を説明するための図である。

この例では、試験パケットのグループ化を行って、リンクの通信品質の測定用の試験パケットを作成する。

【 0 0 3 6 】

（手順 3 A - 1）

図 5（1）のテーブル 3 0 1 には、計測対象のリンク $e_1 \sim e_8$ と、一端ともう一端の宛先のスイッチ $V_1 \sim V_6$ と、通信経路との対応付けを示してある。

まず、ホップ数が小さい順に、各リンク $e_1 \sim e_8$ に対する試験パケット（その組）の通信経路（集合 R、集合 R'）を並べ替える。

10

【 0 0 3 7 】

（手順 3 A - 2）

図 5（2）のテーブル 3 0 2 には、ホップ数が小さい順に並べ替えられたものとして、計測対象のリンク $e_1 \sim e_8$ と、一端ともう一端の宛先のスイッチ $V_1 \sim V_6$ と、通信経路との対応付けを示してある。なお、図 5 の例では、図 5（1）のテーブル 3 0 1 の段階でホップ数が小さい順に並べられていた場合を示してある。

次に、ホップ数が小さい方の試験パケットから順に、試験パケットの通信経路を他の試験パケットの通信経路と比較し、通信経路が包含されているか否かを確認して、通信経路が包含されているリンクを探索する。

【 0 0 3 8 】

20

（手順 3 A - 3）

図 5（3）のテーブル 3 0 3 には、ホップ数が小さい順に並べ替えられたものとして、計測対象のリンク $e_1 \sim e_8$ と、一端ともう一端の宛先のスイッチ $V_1 \sim V_6$ と、通信経路との対応付けを示してある。また、通信経路が包含されているリンクの探索結果の一部を示してある。これは、通信経路が包含されているリンクの探索の途中の例である。

【 0 0 3 9 】

（手順 3 A - 4 : 3 A - 3 の続き）

図 5（4）のテーブル 3 0 4 には、ホップ数が小さい順に並べ替えられたものとして、計測対象のリンク $e_1 \sim e_8$ と、一端ともう一端の宛先のスイッチ $V_1 \sim V_6$ と、通信経路との対応付けを示してある。また、通信経路が包含されているリンクの探索が繰り返された結果を示してある。

30

通信経路が包含されている関係にある複数の通信経路については、それらを同一のグループに分類する。この場合に、複数の試験パケットに通信経路が包含されているときには、1 個の試験パケットの組を選択して、グループ化する。つまり、各試験パケット（その組）は必ず 1 つのグループに分類される。

【 0 0 4 0 】

（手順 3 A - 5）

図 5（5）のテーブル 3 0 5 には、グループ化の結果として、計測対象のリンク $e_1 \sim e_8$ と、試験パケット（宛先のスイッチ $V_1 \sim V_6$ ）との対応付けを示してある。

なお、上記した（手順 3 A - 2）～（手順 3 A - 4）を、全ての試験パケット（その組）に対して確認する。

40

そして、冗長な試験パケットを削除する。具体的には、グループ化が完了した後に、同一のグループ内で、各試験パケットの宛先の MAC アドレスを比較し、宛先の MAC アドレスが重複する試験パケットが複数存在する場合には、重複する試験パケットを削除する。

【 0 0 4 1 】

（手順 3 A - 6）

図 5（6）のテーブル 3 0 6 には、グループ化及び冗長な試験パケットの削除の結果として、計測対象のリンク $e_1 \sim e_8$ と、試験パケット（宛先のスイッチ $V_1 \sim V_6$ ）との対応付けを示してある。

50

【 0 0 4 2 】

端末装置 2 の計測実行部 3 1 は、グループ毎に試験パケットの集合（例えば、連続した複数の試験パケットの塊）を送信して、計測を実行する。

ここで、リンクの通信品質を測定する場合には、例えば、端末装置 2 からのホップ数が小さい順に並べた複数の試験パケットの塊（例えば、図 8 に示されるような複数の試験パケットからなるパケットトレイン）を送信する。

なお、他の構成例として、端末装置 2 からのホップ数が大きい順に並べた複数の試験パケットの塊を送信する構成が用いられてもよいが、通常は、ホップ数が小さい順に並べられた構成の方が、試験パケットが先端から消えて、他の試験パケットの影響を受けなくて、好ましい。

10

【 0 0 4 3 】

次に、ボトルネック推定を行う場合について説明する。

ボトルネックの推定を行う場合には、各リンクの方向性を考慮した試験パケットと負荷パケットの作成が必要になる。このため、各試験パケットの通信経路には往復の経路（両方向の通信経路）を設定する。

端末装置 2 の計測実行部 3 1 は、ボトルネック推定を行う場合における負荷パケットを作成する処理の手順の一例として、上記した（手順 3 A - 1）～（手順 3 A - 6）と同様な処理を行った後に、更に、（手順 3 B - 1）を行う。

【 0 0 4 4 】

（手順 3 B - 1）

20

ボトルネック推定を行う場合には、上記したグループ化の結果で得られた各グループ内において、ホップ数が最大である通信経路を有する試験パケットと同一の宛先の M A C アドレスを、負荷パケットの宛先の M A C アドレスに設定する。

端末装置 2 の計測実行部 3 1 は、グループ毎に試験パケットの集合（例えば、連続した複数の試験パケットや負荷パケットの塊）を送信して、計測を実行する。例えば、パケットトレインが計測対象のリンクを経由する度に先頭と末尾の試験パケットが返送されるような順番に複数の試験パケットを並び替え、負荷パケット（群）とともに送信する。

【 0 0 4 5 】

図 6 は、本発明の一実施形態に係るボトルネック推定を行う場合における試験パケットの送信を説明するための図である。

30

端末装置 2 は、試験パケット（図 6 の例では、I F と示してある）と負荷パケット 5 1 1 を含むパケットトレイン 5 0 1 を送信することで、これらのパケットと一緒に送信する。図 6 の例では、パケットトレイン 5 0 1 は、各スイッチ 6 0 1 ～ 6 0 4（ここでは、最も距離が大きいスイッチ 6 0 4 以外は、両方向）で折り返すように設定した複数（図 6 の例では、7 個）の試験パケットと、負荷パケット 5 1 1 と、前記複数の試験パケットを逆の順としたものと、から構成されている。各試験パケットは、各スイッチ 6 0 1 ～ 6 0 4（ここでは、最も距離が大きいスイッチ 6 0 4 以外は、両方向）で折り返すように設定されている。この設定として、各試験パケットの T T L 値をホップ数に設定する。図 6 の例では、パケットトレイン 5 0 1 において、先頭では、T T L 値が小さい方から大きい方への順で試験パケットが並んでおり、末尾では、T T L 値が大きい方から小さい方への順で試験パケットが並んでいる。

40

T T L 値が 1 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してスイッチ 6 0 1 から応答パケット 7 0 1、7 0 2 が送信（返送）され、T T L 値が 2 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してスイッチ 6 0 2 から応答パケット 7 1 1、7 1 2 が送信（返送）され、T T L 値が 3 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してスイッチ 6 0 3 から応答パケット 7 2 1、7 2 2 が送信（返送）される。同様に、T T L 値が 4、5 であるものがあり（図 6 では、図示を省略してある）、T T L 値が 6 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してスイッチ 6 0 2 から応答パケット 7 3 1、7 3 2 が送信（返送）され、T T L 値が 7 である先頭及び末尾の計 2 個の試験パケットに対してスイッチ 6 0 1 から応答パケット 7 4 1、7 4 2 が送信（返送）される。図 6 の例では、I C M

50

Pの応答パケット701～702、711～712、721～722、731～732、741～742が用いられている。応答パケットが送信された試験パケットから順になくなっていく。

これらについて、端末装置2では、観測される応答パケットの間隔からボトルネックリンクを特定することができる。この場合、それぞれのスイッチ601～604からの2個の応答パケットの組（応答パケット701～702の組、応答パケット711～712の組、応答パケット721～722の組、以降も同様）について、可用帯域が小さいリンクではパケット間隔が広がることを利用する。

【0046】

<リンクの通信品質の検出（推定）、ボトルネックの検出（推定）>

10

端末装置2の計測実行部31は、試験パケットを送信した結果として得られた応答パケットの受信状況に基づいて、リンクの通信品質の検出（例えば、推定的な値の検出）や、ボトルネックの検出（例えば、推定的な値の検出）を行う。

具体的には、端末装置2の計測実行部31は、各ノード（本実施形態では、スイッチ）で折り返し返送される試験パケット（応答パケット）の到着数や、往復の遅延時間（受信時刻と送信時刻との差分）に基づいて、ノード間のリンクにおけるパケットロス率やパケット遅延（例えば、その平均値などでもよい）、或いは、ボトルネック帯域を計算する。高精度な計測のために、複数回の試行を繰り返して統計的なデータ処理を行う場合には、例えば、非特許文献3又は非特許文献4に記載されるものなどと同様な手法を適用することができる。

20

【0047】

ここで、本実施形態では、試験パケットの通信経路について往路と復路の両方を用意して計測に使用したが、例えば、ロス率や遅延について調べるときには往路のみを使用すれば十分であり、一方、可用帯域について調べるときには往路と復路の両方を使用することが必要となる。

【0048】

以上のように、本実施形態に係るネットワークシステムでは、計測システム61のサーバ装置1において、SDN内の全てのリンクの通信品質を計測するための試験パケットの通信経路を計算するアルゴリズムを提供することができる。また、本実施形態に係るネットワークシステムでは、計測システム61のサーバ装置1において、SDNのコントローラ11に対して、宛先のMACアドレスやポート番号の設定を行い、試験パケット用の通信経路を実現することができる。このように、本実施形態に係るネットワークシステムでは、監視対象となるSDNに、全てのリンクに対応した試験パケット用の通信経路を設定することで、1個（1台）の端末装置（計測端末装置）2のみで、SDN内の全てのリンクについて、リンクの通信品質（パケットロス率やパケット遅延など）を計測（アクティブ計測）することや、ボトルネックリンク（可用帯域が小さいリンク）を計測（検出）することなどができる。

30

【0049】

また、本実施形態に係るネットワークシステムでは、計測システム61の端末装置2において、予め、又は、試験パケットを用いた計測を実行する際などに、不要な試験パケット（例えば、冗長な試験パケット）を削除し、試験パケットがネットワークに与える負荷を低減することができる。具体的には、例えば、試験パケットの通信経路をグループ化して、冗長な試験パケットを削除することにより、より少数の試験パケットで計測を実行することが可能になる。

40

以上のように、本実施形態に係るネットワークシステムでは、ネットワークにおけるリンクに関する計測を効率化することができる。

【0050】

ここで、本実施形態では、サーバ装置1の計測経路計算部21が、全てのリンクをカバーする試験パケットの通信経路を計算する構成を示したが、他の構成例として、このような計算を人が実行して、その計算の結果の情報をサーバ装置1などに設定する構成を用い

50

ることも可能である。

また、SDNとしては、例えば、OpenFlow以外のものが用いられてもよい。

【0051】

<本実施形態に係る効果の具体例>

図7は、本発明の一実施形態に係るネットワーク62におけるリンク品質計測を行うアクティブ計測技術の例を示す図である。なお、図7の構成例は、図10の構成例に対応させたものであり、一例である。

1個の端末装置（計測端末装置）2により、ネットワーク62に設けられた複数のスイッチ $V_1 \sim V_5$ について、リンク品質計測を行う。この場合、サーバ装置1により全てのリンクに対応する試験パケットの通信経路が設定されるため、1個の端末装置2から全てのリンクについて計測することができる。

10

【0052】

[以上の実施形態に係る構成例]

一構成例として、SDNにおける複数のノード（本実施形態では、スイッチ12-1～12-N）の全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部（本実施形態では、計測経路計算部21）と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理（本実施形態では、コントローラ11に対する設定の処理）を実行する経路設定部（本実施形態では、通信経路設定部22）と、を備える設定装置（本実施形態では、サーバ装置1）である。

一構成例として、設定装置において、前記経路設定部は、前記SDNのコントローラ（本実施形態では、コントローラ11）に前記経路の群を設定する。

20

【0053】

一構成例として、SDNにおける複数のノード（本実施形態では、スイッチ12-1～12-N）の全てのリンクに対応する試験パケットの経路の群に関する情報を記憶する記憶部（本実施形態では、記憶部32）と、前記記憶部に記憶された前記情報に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する計測実行部（本実施形態では、計測実行部31）と、を備える端末装置（本実施形態では、端末装置2）である。

一構成例として、端末装置において、前記計測実行部は、冗長な試験パケットを削除した後に、試験パケットを送信して、計測を実行する。

一構成例として、端末装置において、前記計測実行部は、前記リンクの通信品質に関する計測を実行する、又は、前記試験パケットとともに負荷パケットを送信して、前記リンクのボトルネックに関する計測を実行する。なお、これら両方の計測が実行されてもよく、また、他の計測が実行されてもよい。

30

【0054】

一構成例として、経路群取得部（本実施形態では、計測経路計算部21）が、SDNにおける複数のノード（本実施形態では、スイッチ12-1～12-N）の全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得するステップと、経路設定部（本実施形態では、通信経路設定部22）が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理（本実施形態では、コントローラ11に対する設定の処理）を実行するステップと、をコンピュータに実行させるためのプログラム（設定プログラム）である。

40

【0055】

一構成例として、SDNにおける複数のノード（本実施形態では、スイッチ12-1～12-N）の全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得する経路群取得部（本実施形態では、計測経路計算部21）と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理（本実施形態では、コントローラ11に対する設定の処理）を実行する経路設定部（本実施形態では、通信経路設定部22）と、前記経路群取得部により取得された前記経路の群に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する計測実行部（本実施形態では、計測実行部31）と、を備える計測システム（本実施形態では、計測システム61）である。なお、各処理部の機

50

能は、システムにおいて、様々なところに備えられてもよく、例えば、１個の装置に一体化されてもよく、又は、複数の装置に分散されてもよい。また、１個の処理部の機能は、例えば、１個の装置に備えられてもよく、又は、複数の装置に分散されてもよい。

【００５６】

一構成例として、経路群取得部（本実施形態では、計測経路計算部２１）が、ＳＤＮにおける複数のノード（本実施形態では、スイッチ１２－１～１２－Ｎ）の全てのリンクに対応する試験パケットの経路を計算して当該経路の群を取得し、経路設定部（本実施形態では、通信経路設定部２２）が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群を前記複数のノードに設定するための処理（本実施形態では、コントローラ１１に対する設定の処理）を実行し、計測実行部（本実施形態では、計測実行部３１）が、前記経路群取得部により取得された前記経路の群に基づいて、試験パケットを送信して、計測を実行する、計測方法（本実施形態では、計測システム６１において行われる方法）である。

10

【００５７】

[以上の実施形態のまとめ]

以上、本発明の実施形態について図面を参照して詳述したが、具体的な構成はこの実施形態に限られるものではなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲の設計変更等も含まれる。

【００５８】

また、以上に示した実施形態に係る各装置（例えば、サーバ装置１、端末装置２）の機能を実現するためのプログラムをコンピュータ読み取り可能な記録媒体に記録して、この記録媒体に記録されたプログラムをコンピュータシステムに読み込ませ、実行することにより、処理を行ってもよい。

20

【００５９】

なお、ここで言う「コンピュータシステム」とは、オペレーティング・システム（ＯＳ：Operating System）や周辺機器等のハードウェアを含むものであってもよい。

また、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、フレキシブルディスク、光磁気ディスク、ＲＯＭ（Read Only Memory）、フラッシュメモリ等の書き込み可能な不揮発性メモリ、ＤＶＤ（Digital Versatile Disk）等の可搬媒体、コンピュータシステムに内蔵されるハードディスク等の記憶装置のことを言う。

30

【００６０】

更に、「コンピュータ読み取り可能な記録媒体」とは、インターネット等のネットワークや電話回線等の通信回線を介してプログラムが送信された場合のサーバやクライアントとなるコンピュータシステム内部の揮発性メモリ（例えばＤＲＡＭ（Dynamic Random Access Memory））のように、一定時間プログラムを保持しているものも含むものとする。

また、上記のプログラムは、このプログラムを記憶装置等に格納したコンピュータシステムから、伝送媒体を介して、或いは、伝送媒体中の伝送波により他のコンピュータシステムに伝送されてもよい。ここで、プログラムを伝送する「伝送媒体」は、インターネット等のネットワーク（通信網）や電話回線等の通信回線（通信線）のように情報を伝送する機能を有する媒体のことを言う。

40

また、上記のプログラムは、前述した機能の一部を実現するためのものであっても良い。更に、前述した機能をコンピュータシステムに既に記録されているプログラムとの組み合わせで実現できるもの、いわゆる差分ファイル（差分プログラム）であっても良い。

【符号の説明】

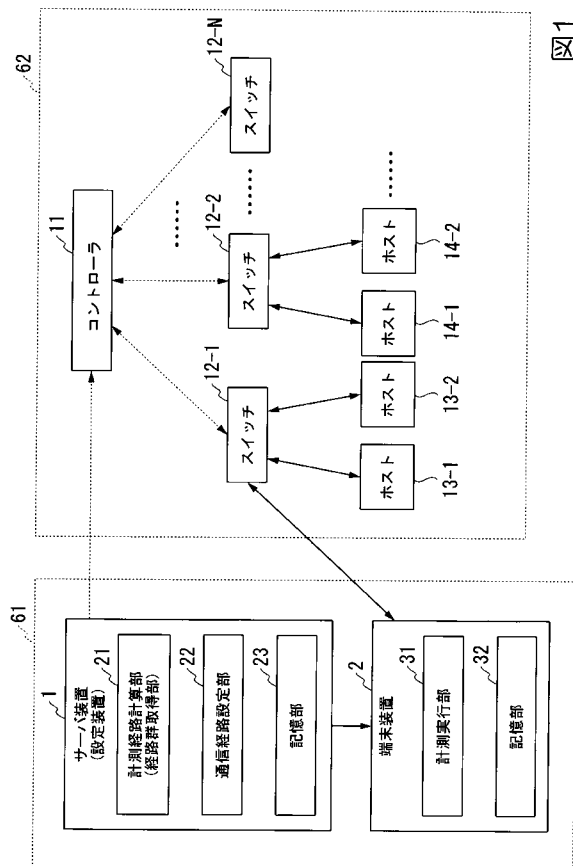
【００６１】

１…サーバ装置、２、１００１、１１０１、１５０１－１～１５０１－２…端末装置（計測端末装置）、１１…コントローラ、１２－１～１２－Ｎ、６０１～６０４…スイッチ、１３－１～１３－２、１４－１～１４－２…ホスト、２１…計測経路計算部、２２…通信経路設定部、２３、３２…記憶部、３１…計測実行部、６１…計測システム、６２、１５

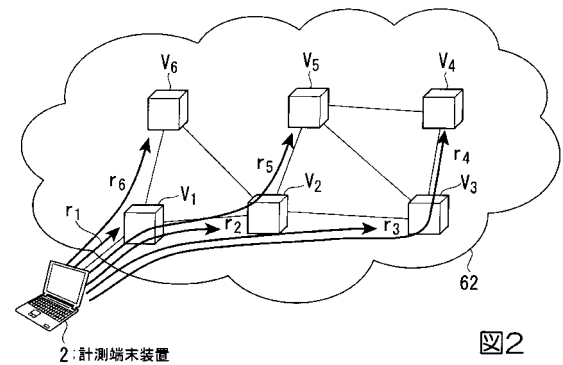
50

1 1 ... ネットワーク、2 0 1 ~ 2 0 2、2 1 1 ~ 2 1 2、1 0 2 1 ~ 1 0 2 3 ... 試験パケット、3 0 1 ~ 3 0 6 ... テーブル、5 0 1、1 1 2 1 ... パケットトレイン、5 1 1、1 1 3 1 ... 負荷パケット、7 0 1 ~ 7 0 2、7 1 1 ~ 7 1 2、7 2 1 ~ 7 2 2、7 3 1 ~ 7 3 2、7 4 1 ~ 7 4 2、1 0 3 1 ~ 1 0 3 3、1 1 4 1 ~ 1 1 4 2、1 1 5 1 ~ 1 1 5 2、1 1 6 1 ~ 1 1 6 2 ... 応答パケット、1 0 1 1 ~ 1 0 1 3、1 1 1 1 ~ 1 1 1 3 ... ルータ

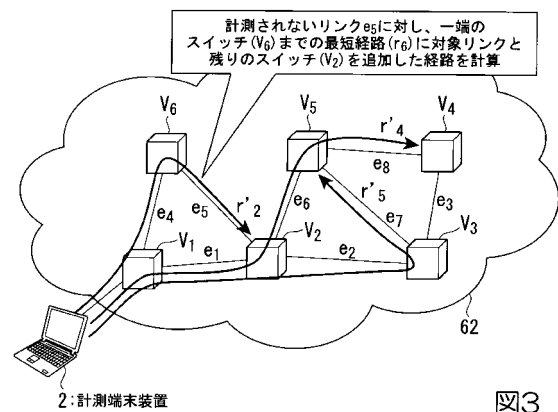
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図4】

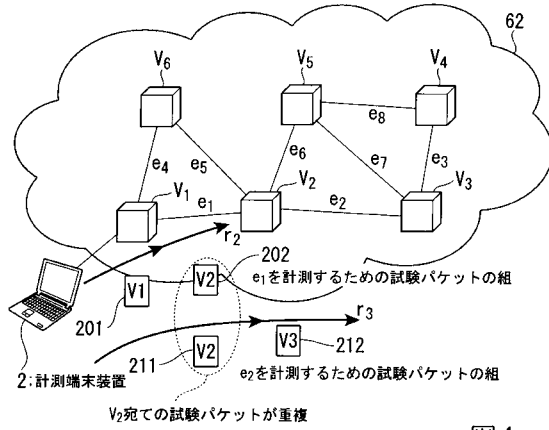
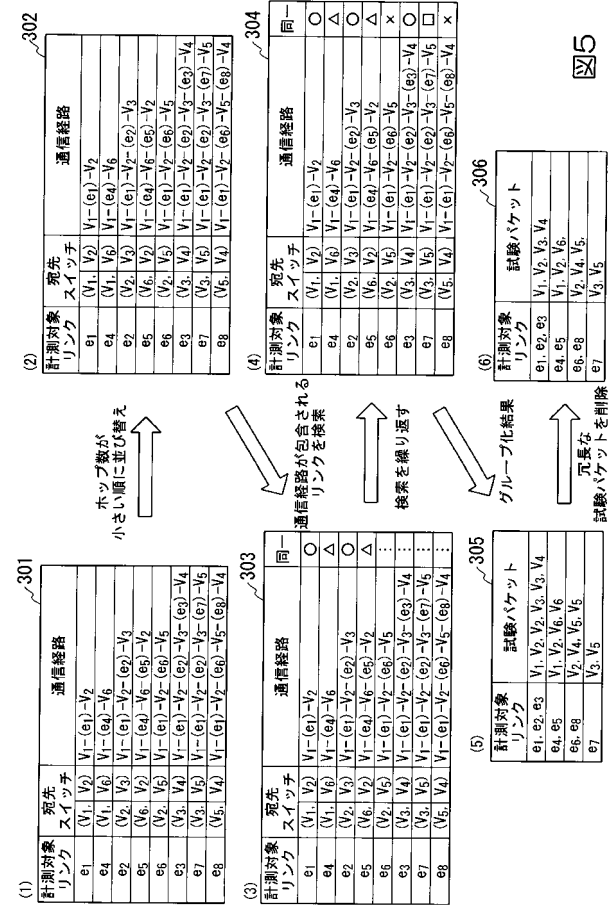


図4

【図5】



【図6】

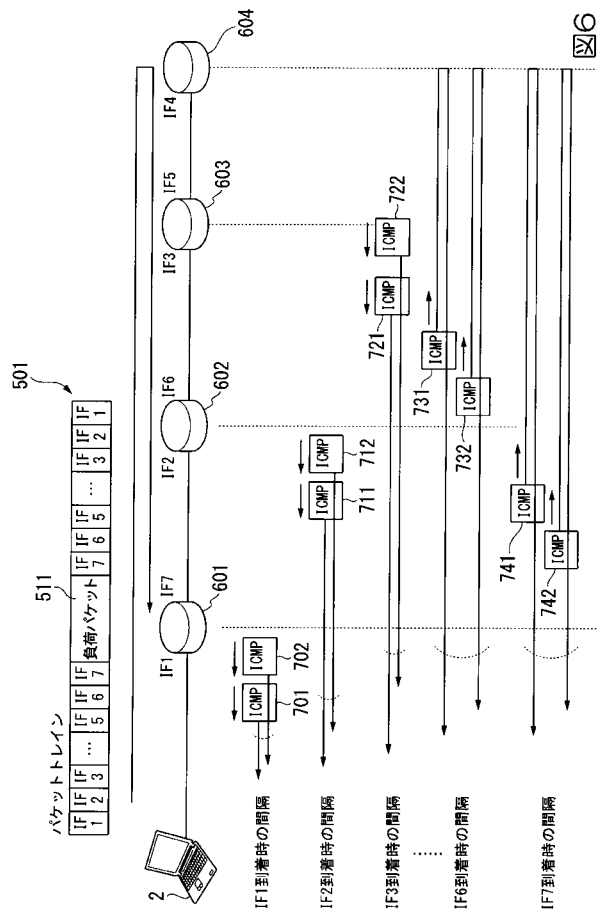


図6

【図7】

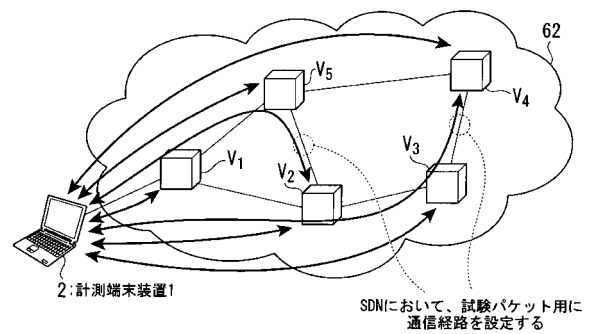


図7

【図8】

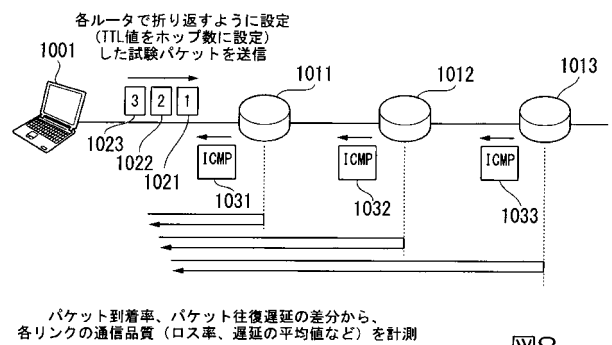
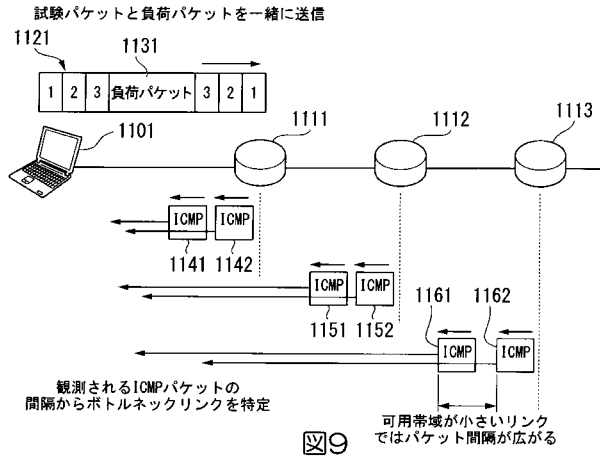
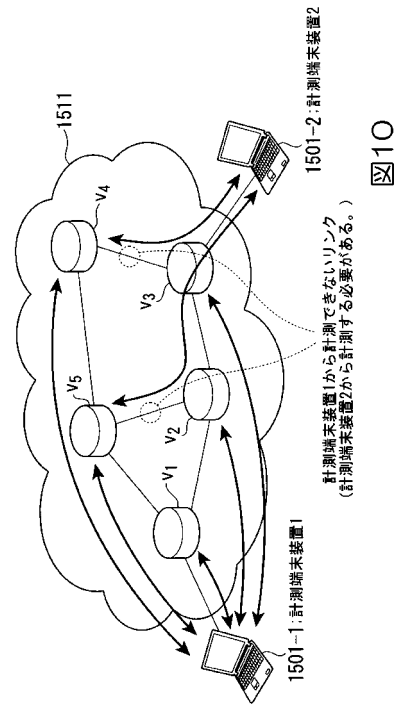


図8

【図 9】



【図 10】



フロントページの続き

F ターム(参考) 5K030 GA14 HA08 HC01 HD03 JA10 KA01 KX30 LB07 MA01 MB03
MB05 MB06 MB12 MC03 MC08