

(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2010-141444

(P2010-141444A)

(43) 公開日 平成22年6月24日 (2010.6.24)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
 H04L 12/56 (2006.01) H04L 12/56 400B 5K030
 H04L 12/56 200Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2008-313746 (P2008-313746)
 (22) 出願日 平成20年12月9日 (2008.12.9)

(71) 出願人 000005223
 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 100103528
 弁理士 原田 一男
 (72) 発明者 安家 武
 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 野村 祐士
 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) 5K030 GA14 HA08 JA10 KA05 LC09
 MB06

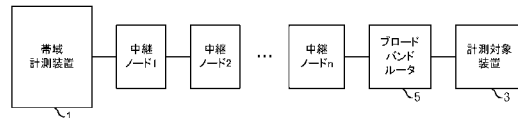
(54) 【発明の名称】 帯域計測プログラム、方法及び装置

(57) 【要約】

【課題】計測対象装置に特別な機能を設けることなく、上り下りを区別して通信帯域幅を計測する。

【解決手段】小サイズの要求パケットを計測対象装置に送信して、固定の応答パケットを計測対象装置から受信して往復の時間を計測する。大サイズの要求パケットを計測対象装置に送信して、固定の応答パケットを計測対象装置から受信して往復の時間を計測する。パケットサイズ差を往復の時間差で除して上りの使用可能通信帯域幅を特定する。また、小サイズの要求パケットを計測対象装置に送信して、同じサイズの応答パケットを計測対象装置から受信して往復の時間を計測する。大サイズの要求パケットを計測対象装置に送信して、同じサイズの応答パケットを計測対象装置から受信して往復の時間を計測する。往復の時間差をパケットサイズ差で除した値から、上りの通信帯域幅の逆数を引いた値のさらに逆数で下りの使用可能通信帯域幅を特定する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するためのプログラムであって、

第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 1 の時間を特定するステップと、

第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズのレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 2 の時間を特定するステップと、

前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差を前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第 1 の通信帯域を算出するステップと、

をコンピュータに実行させるための帯域計測プログラム。

【請求項 2】

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するためのプログラムであって、

第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 1 のデータサイズの第 1 のレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第 1 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記第 1 のレスポンスの受信までの第 1 の時間を特定するステップと、

第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 2 のデータサイズの第 2 のレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第 2 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記第 2 のレスポンスの受信までの第 2 の時間を特定するステップと、

前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差を前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差で除した値から、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、前記計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出するステップと、

をコンピュータに実行させるための帯域計測プログラム。

【請求項 3】

第 3 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズの第 3 のレスポンスを返信させる第 3 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第 3 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 3 のリクエストの送信から前記第 3 のレスポンスの受信までの第 3 の時間を特定するステップと、

第 4 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズの第 4 のレスポンスを返信させる第 4 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

10

20

30

40

50

前記計測対象装置から前記第4のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第4のリクエストの送信から前記第4のレスポンスの受信までの第4の時間を特定するステップと、

前記第3のデータサイズと前記第4のデータサイズの差を前記第3の時間と前記第4の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な通信帯域を算出するステップと、

をさらに、コンピュータに実行させるための請求項2記載の帯域計測プログラム。

【請求項4】

前記第1のデータサイズと前記第2のデータサイズのうち少なくとも大きいサイズについては、フラグメント化されるデータサイズである

10

請求項1又は2記載の帯域計測プログラム。

【請求項5】

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための方法であって、

第1のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第1のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第1のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、

20

第2のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズのレスポンスを返信させる第2のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第2のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、

前記第1のデータサイズと前記第2のデータサイズの差を前記第1の時間と前記第2の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第1の通信帯域を算出するステップと、

を含み、コンピュータに実行される帯域計測方法。

30

【請求項6】

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための帯域計測装置であって、

第1のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第1のデータサイズの第1のレスポンスを返信させる第1のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第1のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第1のリクエストの送信から前記第1のレスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、

第2のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第2のデータサイズの第2のレスポンスを返信させる第2のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

40

前記計測対象装置から前記第2のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第2のリクエストの送信から前記第2のレスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、

前記第1の時間と前記第2の時間の差を前記第1のデータサイズと前記第2のデータサイズの差で除した値から、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、前記計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出するステップと、

を含み、コンピュータに実行される帯域計測方法。

50

【請求項 7】

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための帯域計測装置であって、

制御部と、
通信部と、
を有し、

前記制御部は、

前記通信部に、第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

10

前記通信部が前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 1 の時間を特定し、

前記通信部に、第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズのレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

前記通信部が前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 2 の時間を特定し、

前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差を前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第 1 の通信帯域を算出する、

20

帯域計測装置。

【請求項 8】

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための帯域計測装置であって、

制御部と、
通信部と、
前記制御部は、

前記通信部に、第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 1 のデータサイズの第 1 のレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

30

前記通信部が前記計測対象装置から前記第 1 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記第 1 のレスポンスの受信までの第 1 の時間を特定し、

前記通信部に、第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 2 のデータサイズの第 2 のレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

前記通信部が前記計測対象装置から前記第 2 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記第 2 のレスポンスの受信までの第 2 の時間を特定し、

40

前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差を前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差で除した値から、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、前記計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出する、

帯域計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本技術は、装置間で使用可能な通信帯域幅を計測するための技術に関する。

50

【背景技術】

【0002】

ネットワークの複雑化・多様化に伴い、ネットワーク状況を的確に把握する技術が求められている。ネットワーク状況としては、例えば使用可能な通信帯域幅がある。これまで実施されている一般的な技術では、上りと下りとで分けて通信帯域幅を計測するため計測装置と計測対象装置とにそれぞれ専用のエージェントをインストールして時刻同期などを行った後で計測を実施する必要がある、手間がかかるとともに、任意のタイミングで計測するというようなことができない。

【0003】

また、計測装置のみで計測対象装置との通信帯域幅を計測するような技術も存在する。例えば、自IP装置と相手IP装置の間で長さが異なるパケットを送信し、送信したパケットの長さとその応答時間より、IP装置間の通信帯域幅を上り下りを区別することなく計測する。しかしながら、ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line) のように上り下りで非対称の回線区間については上り下りを区別できなければ意味がない。

10

【特許文献1】特開2002-217965号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

このように従来技術では、計測装置だけで上り下りを区別して使用可能な通信帯域幅を計測することができない。

20

【0005】

従って、本技術の目的は、計測対象装置に特別な機能を設けることなく、上り下りを区別して使用可能な通信帯域幅を計測するための技術を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0006】

第1の帯域計測方法は、ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を計測対象装置に機能を付加することなく計測するための方法である。そして本方法は、第1のデータサイズを有し且つ計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第1のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置からレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第1のリクエストの送信からレスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、第2のデータサイズを有し且つ計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第2のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置からレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第2のリクエストの送信からレスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、第1のデータサイズと第2のデータサイズの差を第1の時間と第2の時間の差で除することによって、計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第1の通信帯域を算出するステップとを含む。

30

【0007】

第2の帯域計測方法は、第1のデータサイズを有し且つ計測対象装置に第1のデータサイズの第1のレスポンスを返信させる第1のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置から第1のレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第1のリクエストの送信から第1のレスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、第2のデータサイズを有し且つ計測対象装置に第2のデータサイズの第2のレスポンスを返信させる第2のリクエストを、計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置から第2のレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第2のリクエストの送信から第2のレスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、第1の時間と第2の時間の差を第1のデータサイズと第2のデータサイズの差で除した値から、計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信

40

50

帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出するステップとを含む。

【発明の効果】

【0008】

計測対象装置に特別な機能を設けることなく、上り下りを区別して通信帯域幅を計測することができる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0009】

図1に、本技術の実施の形態にかかる全体概要を示す。本実施の形態における主要な処理を実施する帯域計測装置1と計測対象装置3とは、ルータなどの中継ノード1乃至nとそれらを接続するリンクとを介して接続されている。中継ノード1乃至nは、ADSL等のブロードバンドルータ5であっても良い。例えば計測対象装置3は、パーソナルコンピュータであって、例えばインターネットに接続するために必要な通常の機能を有する。具体的には、インターネット・プロトコル及びその上位のプロトコルなどで通信が可能な機能を有している。計測対象装置3には特別なプログラムなどをインストールする必要はないが、以下で述べるように帯域計測装置1からのリクエストにตอบสนองするように設定が必要となる場合もある。

10

【0010】

帯域計測装置1の機能ブロック図を図2に示す。帯域計測装置1は、ユーザからの指示を受け付け、ユーザに対して計測結果などを提示するためのユーザインターフェース部11と、ユーザインターフェース部11からの指示に従って以下で述べるような帯域計測処理を実施し、帯域計測結果をユーザインターフェース部11に出力する帯域計測部12と、帯域計測部12からの指示に応じて計測対象装置3宛の packets を送信すると共に、計測対象装置3から packets を受信した場合には当該 packets の受信を帯域計測部12に通知する通信部13とを有する。通信部13は、パケット送信部131とパケット受信部133とを有する。

20

【0011】

次に、図3乃至図8を用いて図1及び図2に示した装置の動作を説明する。まず、帯域計測装置1のユーザインターフェース部11は、ユーザに対して計測対象装置3の指定及び計測指示を促し、ユーザから計測対象装置3の指定入力（例えばIPアドレスなどの指定）及び計測指示があると、当該計測対象装置3の指定及び計測指示を受け付け、帯域計測部12に計測対象装置3の指定を含む計測指示を出力する（図3：ステップS1）。帯域計測部12は、ユーザインターフェース部11から計測対象装置3の指定を含む計測指示を受信し、指定計測対象装置3に対して、応答 packets のサイズが一定となるような、要求サイズ S_{small} の要求 packets を送信するように、通信部13の packets 送信部131に指示する。packets 送信部131は、帯域計測部12からの指示に従って、応答 packets のサイズが一定となるような、要求サイズ S_{small} の要求 packets を、指定計測対象装置3に対して送信すると共に、帯域計測部12は、時間の計測を開始する（ステップS3）。

30

【0012】

応答 packets のサイズが一定となるような、要求サイズ S_{small} の要求 packets には、例えば、計測対象装置3のハイポート（ポート番号が1024以上の未使用ポート）に対するUDP（User Datagram Protocol） packets が使用可能である。このようなUDP packets に対しては、計測対象装置3は、不達応答（ICMP Destination Port Unreachable） packets を返信する。この不達応答 packets のサイズは、要求UDP packets のサイズが、所定サイズ以上であれば一定となる。但し、これに限定せず、上記機能を実現可能な他の種別の packets を用いるようにしてもよい。

40

【0013】

要求 packets は、中継ノード1乃至nなど及びそれらをつなぐリンクを介して計測対象装置3に到達し、計測対象装置3は、当該要求 packets にตอบสนองして、応答サイズが一定と

50

なる応答パケットを、要求パケットの送信元である帯域計測装置 1 宛に返信する。なお、中継ノード 1 乃至 n の n がいくつであってもよいし、どのような装置であってもよいし、リンクについてもどのようなものであってもよい。さらに、図 1 では、帯域計測装置 1 から計測対象装置 3 への上りの経路と、計測対象装置 3 から帯域計測装置 1 への下りの経路とが同じであったが、異なる場合にも対処可能である。

【0014】

計測対象装置 3 から、上で述べたようにサイズ一定の応答パケットが送信され、当該応答パケットが帯域計測装置 1 に到達すると、通信部 13 のパケット受信部 133 は、当該応答パケットを受信し、当該応答パケットの受信を帯域計測部 12 に通知する。そうすると、帯域計測部 12 は、ステップ S3 で開始した時間の計測を完了し、計測開始時から計測完了時までのターンアラウンド時間 T_{small} を取得し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S5）。

10

【0015】

図 4 にステップ S3 及び S5 の模式図を示す。サイズ S_{small} の要求パケットを、帯域計測装置 1 から計測対象装置 3 へ送信すると、その間の上りの通信帯域幅に応じた時間 t_1 だけ時間がかかる。そして、計測対象装置 3 では、応答パケットを送信するのに必要な処理を行って、その処理に時間 t_2 がかかる。そして、一定のサイズ S_{fix} を有する応答パケットを、計測対象装置 3 から帯域計測装置 1 へ送信すると、その間の下りの通信帯域幅に応じた時間 t_3 だけ時間がかかる。このようにして、計測されたターンアラウンド時間 T_{small} は、 $T_{small} = t_1 + t_2 + t_3$ という形で表される。

20

【0016】

図 3 の説明に戻って、次に、帯域計測部 12 は、指定計測対象装置 3 に対して、応答パケットのサイズが一定となるような、要求サイズ S_{large} の要求パケットを送信するように、通信部 13 のパケット送信部 131 に指示する。パケット送信部 131 は、帯域計測部 12 からの指示に従って、応答パケットのサイズが一定となるような、要求サイズ S_{large} の要求パケットを、指定計測対象装置 3 に対して送信すると共に、帯域計測部 12 は、時間の計測を開始する（ステップ S7）。

【0017】

要求パケットは、中継ノード 1 乃至 n など及びそれらをつなぐリンクを介して計測対象装置 3 に到達し、計測対象装置 3 は、当該要求パケットに回答して、応答サイズが一定となる応答パケットを、要求パケットの送信元である帯域計測装置 1 宛に返信する。

30

【0018】

計測対象装置 3 から、上で述べたようにサイズ一定の応答パケットが送信され、当該応答パケットが帯域計測装置 1 に到達すると、通信部 13 のパケット受信部 133 は、当該応答パケットを受信し、当該応答パケットの受信を帯域計測部 12 に通知する。そうすると、帯域計測部 12 は、ステップ S7 で開始した時間の計測を完了し、計測開始時から計測完了時までのターンアラウンド時間 T_{large} を取得し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S9）。

【0019】

図 5 にステップ S7 及び S9 の模式図を示す。サイズ S_{large} の要求パケットを、帯域計測装置 1 から計測対象装置 3 へ送信すると、その間の上りの通信帯域幅に応じた時間 t_1 だけ時間がかかる。通常 $t_1 < t_2$ である。そして、計測対象装置 3 では、応答パケットを送信するのに必要な処理を行って、その処理に時間 t_2 がかかる。その後、一定のサイズ S_{fix} を有する応答パケットを、計測対象装置 3 から帯域計測装置 1 へ送信すると、その間の下りの通信帯域幅に応じた時間 t_3 だけ時間がかかる。このようにして、計測されたターンアラウンド時間 T_{large} は、 $T_{large} = t_1 + t_2 + t_3$ という形で表される。

40

【0020】

このように下りの通信時間 t_3 及び計測対象装置 3 における処理時間 t_2 は、第 1 回目の計測（図 4）及び第 2 回目の計測（図 5）で同じになる。すなわち、 $T_{large} - T_{small} = t_3 + t_2 - (t_1 + t_2) = t_3 - t_1$ となる。一方、 $t_3 - t_1$ は、要求パケットのサ

50

イズ差と上りの通信帯域幅 B_{up} から、 $T_{large} - T_{small} = (S_{large} - S_{small}) / B_{up}$ という関係もある。従って、 $T_{large} - T_{small} = T_{large} - T_{small}$ であるから、 B_{up} で解くと、以下のように表される。

$$B_{up} = (S_{large} - S_{small}) / (T_{large} - T_{small}) \quad (1)$$

【0021】

なお、 S も T も全て正の値で増減傾向は同じであるから、 $(S_{small} - S_{large}) / (T_{small} - T_{large})$ というように順番を入れ替えてもよい。さらに付言すると、先に T_{large} を計測するようにしてもよい。

【0022】

帯域計測部 12 は、 $(S_{large} - S_{small}) / (T_{large} - T_{small})$ によって上り帯域幅 B_{up} を算出し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する (ステップ S11)。この段階で、計測結果である上り帯域幅 B_{up} をユーザインターフェース部 11 を介してユーザに対して提示するようにしてもよい。処理は端子 A を介して図 6 の処理に移行する。

10

【0023】

図 6 の処理の説明に移行して、次に、帯域計測部 12 は、指定計測対象装置 3 に対して、要求パケットのサイズ S_{2_small} と同一サイズの応答パケットが返信される要求パケットを送信するように、通信部 13 のパケット送信部 131 に指示する。パケット送信部 131 は、帯域計測部 12 からの指示に従って、要求パケットのサイズ S_{2_small} と同一サイズの応答パケットが返信される要求パケットを送信すると共に、帯域計測部 12 は、時間の計測を開始する (ステップ S13)。

20

【0024】

要求パケットのサイズ S_{2_small} と同一サイズの応答パケットが返信される要求パケットには、例えば、Ping 要求 (ICMP Echo Request) パケットが使用可能である。Ping 要求パケットであれば、Ping 要求パケットを受信すると同一サイズの Ping 応答パケットを返信する。但し、Ping 要求パケットに限定するものではなく、上記機能を実現可能な他の種別のパケットを用いるようにしてもよい。

【0025】

要求パケットは、中継ノード 1 乃至 n など及びそれらをつなぐリンクを介して計測対象装置 3 に到達し、計測対象装置 3 は、当該要求パケットに返信して、応答サイズが一定となる応答パケットを、要求パケットの送信元である帯域計測装置 1 宛に返信する。

30

【0026】

計測対象装置 3 から、上で述べたように要求パケットと同一サイズの Ping 応答パケットが送信され、当該応答パケットが帯域計測装置 1 に到達すると、通信部 13 のパケット受信部 133 は、当該応答パケットを受信し、当該応答パケットの受信を帯域計測部 12 に通知する。そうすると、帯域計測部 12 は、ステップ S13 で開始した時間の計測を完了し、計測開始時から計測完了時までのターンアラウンド時間 T_{2_small} を取得し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する (ステップ S15)。

【0027】

図 7 にステップ S13 及び S15 の模式図を示す。サイズ S_{2_small} の要求パケットを、帯域計測装置 1 から計測対象装置 3 へ送信すると、その間の上りの通信帯域幅に応じた時間 T_{up} だけ時間がかかる。そして、計測対象装置 3 では、応答パケットを送信するのに必要な処理を行って、その処理に時間 T_{proc} がかかる。その後、一定のサイズ S_{2_small} を有する応答パケットを、計測対象装置 3 から帯域計測装置 1 へ送信すると、その間の下りの通信帯域幅に応じた時間 T_{down} だけ時間がかかる。このようにして、計測されたターンアラウンド時間 T_{2_small} は、 $T_{2_small} = T_{up} + T_{proc} + T_{down}$ という形で表される。

40

【0028】

図 6 の説明に戻って、次に、帯域計測部 12 は、指定計測対象装置 3 に対して、要求パケットのサイズ S_{2_large} と同一サイズの応答パケットが返信される要求パケットを送信するように、通信部 13 のパケット送信部 131 に指示する。パケット送信部 131 は、

50

帯域計測部 1 2 からの指示に従って、要求パケットのサイズ S2_large と同一サイズの応答パケットが返信される要求パケットを、指定計測対象装置 3 に対して送信すると共に、帯域計測部 1 2 は、時間の計測を開始する（ステップ S 1 7）。

【 0 0 2 9 】

要求パケットは、中継ノード 1 乃至 n など及びそれらをつなぐリンクを介して計測対象装置 3 に到達し、計測対象装置 3 は、当該要求パケットに回答して、応答サイズが一定となる応答パケットを、要求パケットの送信元である帯域計測装置 1 宛に返信する。

【 0 0 3 0 】

計測対象装置 3 から、上で述べたようにサイズ S2_large の応答パケットが送信され、当該応答パケットが帯域計測装置 1 に到達すると、通信部 1 3 のパケット受信部 1 3 3 は、当該応答パケットを受信し、当該応答パケットの受信を帯域計測部 1 2 に通知する。そうすると、帯域計測部 1 2 は、ステップ S 1 7 で開始した時間の計測を完了し、計測開始時から計測完了時までのターンアラウンド時間 T2_large を取得し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S 1 9）。

10

【 0 0 3 1 】

図 8 にステップ S 1 7 及び S 1 9 の模式図を示す。サイズ S2_large の要求パケットを、帯域計測装置 1 から計測対象装置 3 へ送信すると、その間の上りの通信帯域幅に応じた時間 4 だけ時間がかかる。そして、計測対象装置 3 では、応答パケットを送信するのに必要な処理を行って、その処理に時間 3 がかかる。このように要求パケットのサイズの大小には影響を受けない。その後、要求パケットと同一サイズ S2_large を有する応答パケットを、計測対象装置 3 から帯域計測装置 1 へ送信すると、その間の下りの通信帯域幅に応じた時間 4 だけ時間がかかる。このようにして、計測されたターンアラウンド時間 T2_large は、 $T2_large = 4 + 3 + 4$ という形で表される。

20

【 0 0 3 2 】

ここで、 $4 - 3 = (S2_large - S2_small) / B_up$ であり、 $4 - 3 = (S2_large - S2_small) / B_down$ である。また、 $T2_large - T2_small = 4 + 3 + 4 - (3 + 3 + 3) = 4 - 3 + 4 - 3$ である。さらに、ステップ S 1 1 で上りの通信帯域幅 B_up が求まっているので、まとめると以下のような関係が得られる。

$$B_down = 1 / \{ (T2_large - T2_small) / (S2_large - S2_small) - 1 / B_up \}$$

30

【 0 0 3 3 】

従って、帯域計測部 1 2 は、上記式に従って、下り通信帯域幅 B_down を算出し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S 2 1）。そして、帯域計測部 1 2 は、ユーザインターフェース部 1 1 を介して、上り通信帯域幅 B_up 及び下り通信帯域幅 B_down をユーザに対して提示する（ステップ S 2 3）。例えば、表示装置に表示させたり、印刷装置などに出力するようにしてもよい。さらに、帯域計測装置 1 のハードディスクなどの記録装置に、計測対象装置 3 の識別子などに対応付けて格納するようにしてもよい。

【 0 0 3 4 】

以上のような処理を行うことによって、計測対象装置 3 に特別な機能を設けることなく、帯域計測装置 1 によって使用可能な上り通信帯域幅 B_up 及び下り通信帯域幅 B_down を得ることができるようになる。

40

【 0 0 3 5 】

なお、上り下りを一度に計測する例を示したが、例えば上りだけを計測するようにしてもよい。さらに、何らかの別の手法にて既に上りの使用可能な通信帯域幅 B_up が得られている場合には、ステップ S 1 3 乃至 S 2 1 により下りの使用可能な通信帯域幅 B_down のみを計測するようにしてもよい。

【 0 0 3 6 】

さらに上では述べなかったが、複数回計測を行って、平均値を算出するようにしてもよい。

50

【 0 0 3 7 】

[具体例 1]

図 9 乃至図 1 2 を用いて、帯域幅計測の第 1 の具体例を説明する。ここではイーサネット (Ethernet : 商標) 上の IP 転送を前提とする。また、帯域計測装置 1 及び計測対象装置 3 における MTU (Maximum Transmission Unit) は、共に一般的な 1 5 1 4 バイトであるものとする。

【 0 0 3 8 】

まず、図 9 に示すように、帯域計測装置 1 は、Ether ヘッダ 1 4 バイト、IP ヘッダ 2 0 バイト、UDP ヘッダ 8 バイト及び UDP ペイロード 5 7 2 バイト (中身はどのようなものでもよい) で合計 6 1 4 バイトの小さな UDP パケットを UDP パケット 1 として計測対象装置 3 の例えば 2 0 0 0 0 ポート宛に送信する。これに対して、計測対象装置 3 は、不達パケット、すなわち、ICMP Destination Port Unreachable 応答を帯域計測装置 1 に返信する。この応答ペイロードには、元となる UDP パケットのデータが埋め込まれるが、サイズの上限があるので、要求に係る UDP パケットのサイズが大きい場合には一部のみが埋め込まれる。例えば、ICMP Destination Port Unreachable 応答のサイズは 5 9 0 バイトであり、Ether ヘッダ 1 4 バイト、IP ヘッダ 2 0 バイト、ICMP ヘッダ 8 バイト、ICMP ペイロード 5 4 8 バイトを含む。なお、上限値 5 9 0 バイトは一例であって、計測対象装置 3 の機種やオペレーティングシステム (OS) などに依存する。

【 0 0 3 9 】

帯域計測装置 1 は、UDP パケット 1 の送信から ICMP Destination Port Unreachable 応答の受信までの時間を計測する。図 9 では、5 m s e c と計測されたケースを示している。

【 0 0 4 0 】

一方、図 1 0 に示すように、帯域計測装置 1 は、Ether ヘッダ 1 4 バイト、IP ヘッダ 2 0 バイト、UDP ヘッダ 8 バイト及び UDP ペイロード 1 4 7 2 バイト (中身はどのようなものでもよい) で合計 1 5 1 4 バイトの大きな UDP パケットを UDP パケット 2 として計測対象装置 3 の例えば 2 0 0 0 0 ポート宛に送信する。これに対して、計測対象装置 3 は、不達パケットである ICMP Destination Port Unreachable 応答を帯域計測装置 1 に返信する。この応答は、図 9 の説明と同様で、サイズは 5 9 0 バイトである。

【 0 0 4 1 】

帯域計測装置 1 は、UDP パケット 2 の送信から ICMP Destination Port Unreachable 応答の受信までの時間を計測する。図 1 0 では、6 m s e c と計測されたケースを示している。

【 0 0 4 2 】

このような計測結果及び (1) 式から、上りの通信帯域幅 $B_{up} = \{ (1 5 1 4 - 6 1 4) * 8 / \{ (6 - 5) / 1 0 0 0 \} = 7 2 0 0 0 0 0 0 [b p s] = 7 . 2 [M b p s]$ が得られる。

【 0 0 4 3 】

次に、図 1 1 に示すように、帯域計測装置 1 は、Ether ヘッダ 1 4 バイト、IP ヘッダ 2 0 バイト、ICMP ヘッダ 8 バイト及び ICMP ペイロード 5 7 2 バイト (中身はどのようなものでもよい) で合計 6 1 4 バイトの小さな Ping 要求パケット (すなわち、ICMP Echo Request) を Ping 要求パケット 1 として計測対象装置 3 に送信する。これに対して、計測対象装置 3 は、Ether ヘッダ 1 4 バイト、IP ヘッダ 2 0 バイト、ICMP ヘッダ 8 バイト及び Ping 要求パケット 1 と同一の ICMP ペイロード 5 7 2 バイトで合計 6 1 4 バイトの小さな Ping 応答パケット (すなわち、ICMP Echo Reply) を Ping 応答パケット 1 として返信する。

【 0 0 4 4 】

帯域計測装置 1 は、Ping 要求パケット 1 の送信から Ping 応答パケット 1 の受信までの時間を計測する。図 1 2 では、7 m s e c と計測されたケースを示している。

【 0 0 4 5 】

10

20

30

40

50

一方、図12に示すように、帯域計測装置1は、Etherヘッダ14バイト、IPヘッダ20バイト、ICMPヘッダ8バイト及びICMPペイロード1472バイト(中身はどのようなものよい)で合計1514バイトの大きなPing要求パケットをPing要求パケット2として計測対象装置3に送信する。これに対して、計測対象装置3は、Etherヘッダ14バイト、IPヘッダ20バイト、ICMPヘッダ8バイト及びPing要求パケット2と同一のICMPペイロード1472バイトで合計1514バイトの大きなPing応答パケットをPing応答パケット2として返信する。

【0046】

帯域計測装置1は、Ping要求パケット2の送信からPing応答パケット2の受信までの時間を計測する。図12では、14msと計測されたケースを示している。

10

【0047】

このような計測結果、上りの通信帯域幅B_{up}及び(2)式から、下りの通信帯域幅B_{down} = $1 / \{ \{ (14 - 7) / 1000 \} / \{ (1514 - 614) * 8 \} - 1 / 7200000 \} = 1200000 [bps] = 1.2Mbps$ が得られる。

【0048】

このように要求も応答も1パケットに入るサイズで計測処理を行うことも可能であるが、図9乃至図12からも時間差は短くなる可能性が高い。このような場合には、計測誤差を多分に含んだ形となるので、計測精度を高めるのは難しい。

【0049】

[具体例2]

20

次に、図13乃至図16を用いて、帯域幅計測の第2の具体例を説明する。ここではイーサネット(Ethernet:商標)上のIP転送を前提とする。また、帯域計測装置1及び計測対象装置3におけるMTU(Maximum Transmission Unit)は、共に一般的な1514バイトであるものとする。さらに、以下でも述べるようにフラグメント化を利用するものとする。

【0050】

まず、図13に示すように、帯域計測装置1は、Etherヘッダ14バイト、IPヘッダ20バイト、UDPヘッダ8バイト及びUDPペイロード1472バイト(中身はどのようなものでもよい)で合計1514バイトの小さなUDPパケットをUDPパケット1として計測対象装置3の例えば20000ポート宛に送信する。これに対して、計測対象装置3は、不達パケット、すなわち、ICMP Destination Port Unreachable応答を帯域計測装置1に返信する。この応答のICMPペイロードには、元となるUDPパケットのデータが埋め込まれるが、サイズの上限があるので、一部のみが埋め込まれる。例えば、ICMP Destination Port Unreachable応答のサイズは590バイトであり、Etherヘッダ14バイト、IPヘッダ20バイト、ICMPヘッダ8バイト、ICMPペイロード548バイトを含む。なお、上限値590バイトは一例であって、計測対象装置3の機種やオペレーティングシステム(OS)などに依存する。

30

【0051】

帯域計測装置1は、UDPパケット1の送信からICMP Destination Port Unreachable応答の受信までの時間を計測する。図13では、6msと計測されたケースを示している。

40

【0052】

一方、図14に示すように、帯域計測装置1は、14792バイトのUDPペイロードのUDPパケットの送信を行う。但し、MTUから10パケットにフラグメント化される。すなわち、最初のパケットは、Etherヘッダ14バイト、IPヘッダ20バイト、UDPヘッダ8バイト及びUDPペイロード1472バイトで合計1514バイトのUDPパケット1として計測対象装置3の例えば20000ポート宛に送信される。残り9つのUDPパケットは、Etherヘッダ14バイト、IPヘッダ20バイト及びUDPペイロード1480バイトで合計1514バイトのUDPパケット2として計測対象装置3の例えば20000ポート宛に送信される。

50

【 0 0 5 3 】

これに対して、計測対象装置 3 は、フラグメント化された 1 0 個の U D P パケットを受信して U D P パケットを再構築するが、応答できないポートが指定されているので、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト、I C M P ヘッダ 8 バイト、I C M P ペイロード 5 4 8 バイトで合計 5 9 0 バイトの I C M P Destination Port Unreachable 応答を帯域計測装置 1 に返信する。なお、ペイロードには、受信した U D P パケットのペイロードの一部が含まれる。

【 0 0 5 4 】

帯域計測装置 1 は、U D P パケットの送信から I C M P Destination Port Unreachable 応答の受信までの時間を計測する。図 1 4 では、2 1 m s e c と計測されたケースを示している。

10

【 0 0 5 5 】

このような計測結果及び (1) 式から、上りの通信帯域幅 $B_{up} = \{ (1 5 1 4 * 1 0 - 1 5 1 4) * 8 / \{ (2 1 - 6) / 1 0 0 0 \} \quad 7 2 6 7 2 0 0 [b p s] = 7 . 3 [M b p s]$ が得られる。

【 0 0 5 6 】

次に、図 1 5 に示すように、帯域計測装置 1 は、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト、I C M P ヘッダ 8 バイト及び I C M P ペイロード 5 7 2 バイト (中身はどのようなものよい) で合計 6 1 4 バイトの小さな P i n g 要求パケット (すなわち、I C M P Echo Request) を P i n g 要求パケット 1 として計測対象装置 3 に送信する。これに対して、計測対象装置 3 は、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト、I C M P ヘッダ 8 バイト及び P i n g 要求パケット 1 と同一の I C M P ペイロード 5 7 2 バイトで合計 6 1 4 バイトの小さな P i n g 応答パケット (すなわち、I C M P Echo Reply) を P i n g 応答パケット 1 として返信する。

20

【 0 0 5 7 】

帯域計測装置 1 は、P i n g 要求パケット 1 の送信から P i n g 応答パケット 1 の受信までの時間を計測する。図 1 5 では、7 m s e c と計測されたケースを示している。

【 0 0 5 8 】

一方、図 1 6 に示すように、帯域計測装置 1 は、1 4 7 9 2 バイトの I C M P ペイロードの P i n g 要求を送信しようとする。但し、M T U から 1 0 パケットにフラグメント化される。すなわち、最初の I C M P Echo Request パケットは、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト、I C M P ヘッダ 8 バイト及び I C M P ペイロード 1 4 7 2 バイトで合計 1 5 1 4 バイトの P i n g 要求パケット 1 として計測対象装置 3 宛に送信される。残り 9 つの I C M P Echo Request パケットは、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト及び I C M P ペイロード 1 4 8 0 バイトで合計 1 5 1 4 バイトの P i n g 要求パケット 2 として計測対象装置 3 宛に送信される。

30

【 0 0 5 9 】

これに対して、計測対象装置 3 は、フラグメント化された 1 0 個の I C M P Echo Request パケットを受信して P i n g 要求を再構築する。さらに、再構築された P i n g 要求に含まれる I C M P ペイロードを含む P i n g 応答を、帯域計測装置 1 に送信しようとする。そうすると、M T U から 1 0 パケットにフラグメント化される。すなわち、最初の I C M P Echo Reply パケットは、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト、I C M P ヘッダ 8 バイト及び I C M P ペイロード 1 4 7 2 バイトで合計 1 5 1 4 バイトの P i n g 応答パケット 1 として計測対象装置 3 宛に送信される。残り 9 つの I C M P Echo Reply パケットは、Ether ヘッダ 1 4 バイト、I P ヘッダ 2 0 バイト及び I C M P ペイロード 1 4 8 0 バイトで合計 1 5 1 4 バイトの P i n g 応答パケット 2 として帯域計測装置 1 宛に送信される。帯域計測装置 1 は、フラグメント化された 1 0 個のパケットを受信し、P i n g 応答を再構築する。

40

【 0 0 6 0 】

帯域計測装置 1 は、P i n g 要求の送信から再構築された P i n g 応答受信までの時間

50

を計測する。図 16 では、112 msec と計測されたケースを示している。

【0061】

このような計測結果、上りの通信帯域幅 B_{up} 及び (2) 式から、下りの通信帯域幅 $B_{down} = 1 / \{ \{ (112 - 7) / 1000 \} / \{ (1514 * 10 - 1514) * 8 \} - 1 / 7267200 \} = 1211200 [bps] \quad 1.2Mbps$ が得られる。

【0062】

以上のようにサイズ S_{large} を大きくすることによって計測時間が長くなり、計測誤差を減少させることができ、結果的に通信帯域幅の精度が向上する。

【0063】

[応用例 1]

帯域計測装置 1 は、個別に指定された計測対象装置 3 について計測する場合もあるが、予め設定された又は指定された複数の計測対象装置 3 について計測する必要がある場合もある。但し、単純に上で述べたような処理をシリアルに実施するのでは時間がかかりすぎる。

【0064】

そこで図 17 に示すように、例えば計測対象装置 B 乃至 D の 3 台について計測を行う場合には、計測対象装置 B に対する上り計測用の要求パケット B1、計測対象装置 C に対する上り計測用の要求パケット C1 及び計測対象装置 D に対する上り計測用の要求パケット D1 を、所定の間隔を空けつつ連続して送信する。そうすると、計測対象装置 B 乃至 D から、点線矢印で示すように順番に応答パケットが返ってくる。これによって T_{small} が計測対象装置 B 乃至 D それぞれについて計測される。なお、応答パケットの到着順番が入れ替わる場合もあるが、IP アドレスなどにより区別可能である。

【0065】

同様に、計測対象装置 B に対する上り計測用の要求パケット B2、計測対象装置 C に対する下り計測用の要求パケット C2 及び計測対象装置 D に対する下り計測用の要求パケット D2 を、所定の間隔を空けつつ連続して送信する。そうすると、計測対象装置 B 乃至 D から、点線矢印で示すように順番に応答パケットが返ってくる。これによって T_{large} が計測対象装置 B 乃至 D それぞれについて計測される。

【0066】

このように、多重化して計測時間を短縮しつつ、各計測対象装置について上りの通信帯域幅を算出することができるようになる。図 17 では省略しているが、下りについても同様に多重化して計測を行うことによって、下りの通信帯域幅をそれぞれについて計測することができる。

【0067】

図 18 を用いて処理内容をまとめて説明する。まず、帯域計測装置 1 のユーザインターフェース部 11 は、ユーザに対して計測対象装置の指定及び計測指示を促し、ユーザから複数の計測対象装置 3 の指定入力 (例えば IP アドレスなどの指定) 及び計測指示があると、当該複数の計測対象装置 3 の指定及び計測指示を受け付け、帯域計測部 12 に複数の計測対象装置 3 の指定を含む計測指示を出力する (図 18 : ステップ S31)。帯域計測部 12 は、ユーザインターフェース部 11 から複数の計測対象装置 3 の指定を含む計測指示を受信し、指定された複数の計測対象装置 3 に対して順番に、上り計測用の要求パケットを送信するように、通信部 13 のパケット送信部 131 に指示する。パケット送信部 131 は、帯域計測部 12 からの指示に従って、上り計測用の要求パケットをそれぞれ送信すると共に、帯域計測部 12 は、時間の計測を開始する (ステップ S33)。

【0068】

要求パケットは、中継ノード 1 乃至 n など及びそれらをつなぐリンクを介して各計測対象装置 3 に到達し、各計測対象装置 3 は、当該要求パケットに回答して、応答パケットを、要求パケットの送信元である帯域計測装置 1 宛に返信する。

【0069】

複数の計測対象装置 3 の各々から応答パケットが送信され、当該応答パケットが帯域計

10

20

30

40

50

測装置 1 に到達すると、通信部 1 3 のパケット受信部 1 3 3 は、当該応答パケットを受信し、当該応答パケットの受信を帯域計測部 1 2 に通知する。そうすると、帯域計測部 1 2 は、ステップ S 3 3 で開始した時間の計測をそれぞれ完了し、計測開始時から計測完了時までのターンアラウンド時間を取得し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S 3 5）。

【 0 0 7 0 】

図 1 8 では示していないが、上で述べたように上り通信帯域幅を計測するためには 2 回時間を計測する必要があるため、もう一度要求パケットを各計測対象装置に送信し、当該要求パケットに対する応答パケットを各計測対象装置から受信することによって、2 度目の時間を計測する。但し、図 1 7 に示すように 2 回の計測をシリアルに実行するのではなく、ステップ S 3 3 で 2 種類の要求パケットを連続して各計測対象装置に送信すると共に、ステップ S 3 5 で 2 種類の応答パケットを連続して受信して 2 回の時間計測を完了するようにしてもよい。適切な間隔で要求パケットを送信するにすれば、計測対象装置について多重化するだけでなく 2 回の測定をも多重化させることができる。

10

【 0 0 7 1 】

その後、帯域計測部 1 2 は、 $(S_large - S_small) / (T_large - T_small)$ によって上り帯域幅 B_up を、複数の計測対象装置の各々について算出し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S 3 7）。この段階で、各計測結果である上り帯域幅 B_up をユーザインターフェース部 1 1 を介してユーザに対して提示するようにしてもよい。

20

【 0 0 7 2 】

次に、帯域計測部 1 2 は、指定された複数の計測対象装置 3 に対して順番に、下り計測用の要求パケットを送信するように、通信部 1 3 のパケット送信部 1 3 1 に指示する。パケット送信部 1 3 1 は、帯域計測部 1 2 からの指示に従って、下り計測用の要求パケットをそれぞれ送信すると共に、帯域計測部 1 2 は、時間の計測を開始する（ステップ S 3 9）。

【 0 0 7 3 】

要求パケットは、中継ノード 1 乃至 n など及びそれらをつなぐリンクを介して各計測対象装置 3 に到達し、各計測対象装置 3 は、当該要求パケットに回答して応答パケットを、要求パケットの送信元である帯域計測装置 1 宛に返信する。

30

【 0 0 7 4 】

複数の計測対象装置 3 の各々から、上で述べたように応答パケットが送信され、当該応答パケットが帯域計測装置 1 に到達すると、通信部 1 3 のパケット受信部 1 3 3 は、当該応答パケットを受信し、当該応答パケットの受信を帯域計測部 1 2 に通知する。そうすると、帯域計測部 1 2 は、ステップ S 3 9 で開始した時間の計測を完了し、計測開始時から計測完了時までのターンアラウンド時間を取得し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S 4 1）。

【 0 0 7 5 】

ステップ S 3 9 及び S 4 1 は、ステップ S 3 3 及び S 3 5 について上で述べた事項がそのまま適用できる。

40

【 0 0 7 6 】

その後、帯域計測部 1 2 は、 $B_down = 1 / \{ (T2_large - T2_small) / (S2_large - S2_small) - 1 / B_up \}$ に従って、各計測対象装置 3 について下り通信帯域幅 B_down を算出し、例えばメインメモリなどの記憶装置に格納する（ステップ S 4 3）。そして、帯域計測部 1 2 は、ユーザインターフェース部 1 1 を介して、各計測対象装置 3 について上り通信帯域幅 B_up 及び下り通信帯域幅 B_down をユーザに対して提示する（ステップ S 4 5）。例えば、表示装置に表示させたり、印刷装置などに出力するようにしてもよい。さらに、帯域計測装置 1 のハードディスクなどの記録装置に、計測対象装置 3 の識別子などに対応付けて格納するようにしてもよい。

【 0 0 7 7 】

50

以上のような処理を行うことによって、複数の計測対象装置について全体の計測時間を短縮させつつ、帯域計測装置 1 のみによって各計測対象装置について上り通信帯域幅 B_{up} 及び下り通信帯域幅 B_{down} とを得ることができるようになる。

【 0 0 7 8 】

なお、計測対象装置 3 の設置場所がわかっているならば、例えば、地域ごとの帯域幅分布といった図を生成するようなことも可能である。

【 0 0 7 9 】

[応用例 2]

使用可能な通信帯域幅は、時間変化する場合もある。従って、図 19 に示すように、計測周期 W を設定して、計測周期 W 毎に、繰り返し計測を行うようにしてもよい。すなわち、第 n 回目の計測では、省略表示しているが、要求パケットの送信と応答パケットの受信とを 4 回行って、上り通信帯域幅 B_{up} 及び下り通信帯域幅 B_{down} を計測する。また、計測周期 W 後に、第 $n + 1$ 回目の計測でも、省略表示しているが、要求パケットの送信と応答パケットの受信とを 4 回行って、上り通信帯域幅 B_{up} 及び下り通信帯域幅 B_{down} を計測する。このような処理を繰り返すことによって、使用可能な通信帯域幅の時間変化を観測することができる。

【 0 0 8 0 】

図 20 を用いて処理内容をまとめておく。まず、帯域計測装置 1 のユーザインターフェース部 11 は、ユーザに対して計測対象装置の指定、計測周期 W の指定及び計測指示を促し、ユーザから 1 又は複数の計測対象装置 3 の指定入力（例えば IP アドレスなどの指定）、計測周期 W の指定及び計測指示があると、当該 1 又は複数の計測対象装置 3 の指定、計測周期 W の指定及び計測指示を受け付け、帯域計測部 12 に 1 又は複数の計測対象装置 3 の指定及び計測周期 W の指定を含む計測指示を出力する（図 20：ステップ S51）。

【 0 0 8 1 】

帯域計測部 12 及び通信部 13 は、上で述べたように帯域計測処理を実施する（ステップ S53）。なお、計測周期の時間計測も開始する。具体的処理内容は同じなので説明は省略する。そして、計測終了イベント（例えばユーザに指示された又は終了時刻になったなど）が検出されない場合には（ステップ S55：No ルート）、帯域計測部 12 は、計測周期 W になったか判断する（ステップ S57）。まだ計測周期 W になっていない場合には、ステップ S57 に戻る。一方、計測周期 W になった場合には（ステップ S57：Yes ルート）、ステップ S53 に戻る。すなわち帯域計測を実施する。

【 0 0 8 2 】

また、計測終了イベントが検出された場合には（ステップ S55：Yes ルート）、処理を終了する。

【 0 0 8 3 】

以上のような処理を実施すれば各計測対象装置との使用可能な通信帯域幅の時間変化を把握することができるようになる。例えば、時間遷移をグラフなどで表すようにしてもよい。

【 0 0 8 4 】

以上本技術の実施の形態について説明したが、本技術はこの実施の形態に限定されるわけではない。例えば、図 2 の機能ブロック図は一例であって、実際のプログラムモジュール構成と異なる場合もある。さらに、処理順番については処理結果が同じであれば入れ替えたり、並列して実施する様にできる場合もある。

【 0 0 8 5 】

なお、帯域計測装置 1 及び計測対象装置 3 は、コンピュータ装置であって、図 21 に示すように、メモリ 2501 と CPU 2503 とハードディスク・ドライブ (HDD) 2505 と表示装置 2509 に接続される表示制御部 2507 とリムーバブル・ディスク 2511 用のドライブ装置 2513 と入力装置 2515 とネットワークに接続するための通信制御部 2517 とがバス 2519 で接続されている。オペレーティング・システム (OS: Operating System) 及び本実施例における処理を実施するためのアプリケーション・プ

10

20

30

40

50

プログラムは、HDD 2505に格納されており、CPU 2503により実行される際にはHDD 2505からメモリ2501に読み出される。必要に応じてCPU 2503は、表示制御部2507、通信制御部2517、ドライブ装置2513を制御して、必要な動作を行わせる。また、処理途中のデータについては、メモリ2501に格納され、必要があればHDD 2505に格納される。本技術の実施例では、上で述べた処理を実施するためのアプリケーション・プログラムはコンピュータ読み取り可能なリムーバブル・ディスク2511に格納されて頒布され、ドライブ装置2513からHDD 2505にインストールされる。インターネットなどのネットワーク及び通信制御部2517を経由して、HDD 2505にインストールされる場合もある。このようなコンピュータ装置は、上で述べたCPU 2503、メモリ2501などのハードウェアとOS及び必要なアプリケーション・プログラムとが有機的に協働することにより、上で述べたような各種機能を実現する。

【0086】

本実施の形態をまとめると以下のようになる。

【0087】

第1の帯域計測方法は、ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を計測対象装置に機能を付加することなく計測するための方法である。そして本方法は、第1のデータサイズを有し且つ計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第1のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置からレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第1のリクエストの送信からレスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、第2のデータサイズを有し且つ計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第2のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置からレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第2のリクエストの送信からレスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、第1のデータサイズと第2のデータサイズの差を第1の時間と第2の時間の差で除することによって、計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第1の通信帯域を算出するステップとを含む。

【0088】

このようにすれば計測対象装置について特別な機能を付加することなく、上りについての使用可能な通信帯域幅を計算することができるようになる。

【0089】

第2の帯域計測方法は、第1のデータサイズを有し且つ計測対象装置に第1のデータサイズの第1のレスポンスを返信させる第1のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置から第1のレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第1のリクエストの送信から第1のレスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、第2のデータサイズを有し且つ計測対象装置に第2のデータサイズの第2のレスポンスを返信させる第2のリクエストを、計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置から第2のレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第2のリクエストの送信から第2のレスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、第1の時間と第2の時間の差を第1のデータサイズと第2のデータサイズの差で除した値から、計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出するステップとを含む。

【0090】

このようにすれば計測対象装置について特別な機能を付加することなく、下りについての使用可能な通信帯域幅を計算することができるようになる。なお、上りの通信帯域幅の情報が必要であるが、どのような手段によって得られた情報であってもよい。

【0091】

10

20

30

40

50

例えば、第3のデータサイズを有し且つ計測対象装置に固定サイズの第3のレスポンスを返信させる第3のリクエストを、計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置から第3のレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第3のリクエストの送信から第3のレスポンスの受信までの第3の時間を特定するステップと、第4のデータサイズを有し且つ計測対象装置に固定サイズの第4のレスポンスを返信させる第4のリクエストを、計測対象装置に対してネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、計測対象装置から第4のレスポンスを受信した場合、時間の計測を停止して、第4のリクエストの送信から第4のレスポンスの受信までの第4の時間を特定するステップと、前記第3のデータサイズと第4のデータサイズの差を第3の時間と第4の時間の差で除することによって、計測対象装置へのデータ送信において使用可能な通信帯域を算出するステップとによって取得するようにしてもよい。

10

【0092】

また、第1のデータサイズと第2のデータサイズのうち少なくとも大きいサイズについては、フラグメント化されるデータサイズである場合もある。第1のデータサイズと第2のデータサイズの差が大きいほど、計測精度を高めることができる。1パケットあたりのサイズに限度が設定されている場合には、フラグメント化が行われる。

【0093】

さらに、第1の帯域計測方法における第1及び第2のリクエストが、未使用ポートに対するUDPパケットであり、そのレスポンスが、不達応答である場合もある。現在インターネットに接続可能な装置であれば、容易に対応可能である。

20

【0094】

また、第2の帯域計測方法における第1及び第2のリクエストが、Ping要求パケットであり、第1及び第2のレスポンスが、Ping応答パケットである場合もある。現在インターネットに接続可能な装置であれば、容易に対応可能である。

【0095】

さらに、複数の計測対象装置について通信に使用可能な通信帯域の計測を行う場合には、リクエストの送信を所定の時間差で複数の計測対象装置について多重化して実施するようにしてもよい。これによって複数の計測対象装置について計測する場合にも、シリアルに計測する場合に比して短時間で計測することができる。

30

【0096】

さらに、使用可能な通信帯域を所定の周期で計測するようにしてもよい。これによって、使用可能な通信帯域の時間変化を把握することができるようになる。

【0097】

なお、本発明に係る方法をコンピュータに実行させるためのプログラムを作成することができ、当該プログラムは、例えばフレキシブル・ディスク、CD-ROM、光磁気ディスク、半導体メモリ、ハードディスク等のコンピュータ読み取り可能な記憶媒体又は記憶装置に格納される。なお、処理途中のデータについては、コンピュータのメモリ等の記憶装置に一時保管される。

【0098】

以上の実施の形態に関し、さらに以下の付記を開示する。

40

【0099】

(付記1)

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するためのプログラムであって、

第1のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第1のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第1のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第1の時間を特定するステッ

50

ブと、

第2のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズのレスポンスを返信させる第2のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第2のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、

前記第1のデータサイズと前記第2のデータサイズの差を前記第1の時間と前記第2の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第1の通信帯域を算出するステップと、

10

をコンピュータに実行させるための帯域計測プログラム。

【0100】

(付記2)

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するためのプログラムであって、

第1のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第1のデータサイズの第1のレスポンスを返信させる第1のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第1のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第1のリクエストの送信から前記第1のレスポンスの受信までの第1の時間を特定するステップと、

20

第2のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第2のデータサイズの第2のレスポンスを返信させる第2のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第2のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第2のリクエストの送信から前記第2のレスポンスの受信までの第2の時間を特定するステップと、

前記第1の時間と前記第2の時間の差を前記第1のデータサイズと前記第2のデータサイズの差で除した値から、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、前記計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出するステップと、

30

をコンピュータに実行させるための帯域計測プログラム。

【0101】

(付記3)

第3のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズの第3のレスポンスを返信させる第3のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第3のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第3のリクエストの送信から前記第3のレスポンスの受信までの第3の時間を特定するステップと、

40

第4のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズの第4のレスポンスを返信させる第4のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第4のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第4のリクエストの送信から前記第4のレスポンスの受信までの第4の時間を特定するステップと、

前記第3のデータサイズと前記第4のデータサイズの差を前記第3の時間と前記第4の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な通信帯域を算出するステップと、

をさらに、コンピュータに実行させるための付記2記載の帯域計測プログラム。

50

【 0 1 0 2 】

(付記 4)

前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズのうち少なくとも大きいサイズについては、フラグメント化されるデータサイズである

付記 1 又は 2 記載の帯域計測プログラム。

【 0 1 0 3 】

(付記 5)

前記第 1 及び第 2 のリクエストが、未使用ポートに対する U D P パケットであり、前記レスポンスが、不達応答である

付記 1 記載の帯域計測プログラム。

10

【 0 1 0 4 】

(付記 6)

前記第 1 及び第 2 のリクエストが、P i n g 要求パケットであり、前記第 1 及び第 2 のレスポンスが、P i n g 応答パケットである

付記 2 記載の帯域計測プログラム。

【 0 1 0 5 】

(付記 7)

複数の計測対象装置について通信に使用可能な通信帯域の計測を行う場合には、前記リクエストの送信を所定の時間差で前記複数の計測対象装置について多重化して実施する

付記 1 乃至 6 のいずれか 1 つ記載の帯域計測プログラム。

20

【 0 1 0 6 】

(付記 8)

前記使用可能な通信帯域を所定の周期で計測する

付記 1 乃至 7 のいずれか 1 つ記載の帯域計測プログラム。

【 0 1 0 7 】

(付記 9)

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための方法であって、

第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

30

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 1 の時間を特定するステップと、

第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズのレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 2 の時間を特定するステップと、

40

前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差を前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第 1 の通信帯域を算出するステップと、

を含み、コンピュータに実行される帯域計測方法。

【 0 1 0 8 】

(付記 10)

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための帯域計測装置であって、

第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 1 のデータサイズの第 1 のレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワーク

50

を介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第 1 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記第 1 のレスポンスの受信までの第 1 の時間を特定するステップと、

第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 2 のデータサイズの第 2 のレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信するとともに、時間の計測を開始するステップと、

前記計測対象装置から前記第 2 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記第 2 のレスポンスの受信までの第 2 の時間を特定するステップと、

前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差を前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差で除した値から、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、前記計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出するステップと、

を含み、コンピュータに実行される帯域計測方法。

【 0 1 0 9 】

(付 記 1 1)

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための帯域計測装置であって、

制御部と、

通信部と、

を有し、

前記制御部は、

前記通信部に、第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に固定サイズのレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

前記通信部が前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 1 の時間を特定し、

前記通信部に、第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記固定サイズのレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

前記通信部が前記計測対象装置から前記レスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記レスポンスの受信までの第 2 の時間を特定し、

前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差を前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差で除することによって、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な第 1 の通信帯域を算出する、

帯域計測装置。

【 0 1 1 0 】

(付 記 1 2)

ネットワークを介して接続されている計測対象装置との間の通信で使用可能な帯域を前記計測対象装置に機能を付加することなく計測するための帯域計測装置であって、

制御部と、

通信部と、

前記制御部は、

前記通信部に、第 1 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 1 のデータサイズの第 1 のレスポンスを返信させる第 1 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

前記通信部が前記計測対象装置から前記第 1 のレスポンスを受信した場合、前記時間の

10

20

30

40

50

計測を停止して、前記第 1 のリクエストの送信から前記第 1 のレスポンスの受信までの第 1 の時間を特定し、

前記通信部に、第 2 のデータサイズを有し且つ前記計測対象装置に前記第 2 のデータサイズの第 2 のレスポンスを返信させる第 2 のリクエストを、前記計測対象装置に対して前記ネットワークを介して送信させるとともに、時間の計測を開始し、

前記通信部が前記計測対象装置から前記第 2 のレスポンスを受信した場合、前記時間の計測を停止して、前記第 2 のリクエストの送信から前記第 2 のレスポンスの受信までの第 2 の時間を特定し、

前記第 1 の時間と前記第 2 の時間の差を前記第 1 のデータサイズと前記第 2 のデータサイズの差で除した値から、前記計測対象装置へのデータ送信において使用可能な既知の通信帯域の逆数を引いた値のさらに逆数として、前記計測装置からのデータ受信において使用可能な通信帯域を算出する、

帯域計数装置。

【図面の簡単な説明】

【0111】

【図 1】本技術の実施の形態におけるシステム概要図である。

【図 2】帯域計測装置の機能ブロック図である。

【図 3】本技術の実施の形態における処理フローを示す図である。

【図 4】上り通信帯域幅の 1 回目の計測の概要を示す図である。

【図 5】上り通信帯域幅の 2 回目の計測の概要を示す図である。

【図 6】本技術の実施の形態における処理フローを示す図である。

【図 7】下り通信帯域幅の 1 回目の計測の概要を示す図である。

【図 8】下り通信帯域幅の 2 回目の計測の概要を示す図である。

【図 9】フラグメントなしの場合における上り通信帯域幅の 1 回目の計測の概要を示す図である。

【図 10】フラグメントなしの場合における上り通信帯域幅の 2 回目の計測の概要を示す図である。

【図 11】フラグメントなしの場合における下り通信帯域幅の 1 回目の計測の概要を示す図である。

【図 12】フラグメントなしの場合における下り通信帯域幅の 2 回目の計測の概要を示す図である。

【図 13】フラグメントありの場合における上り通信帯域幅の 1 回目の計測の概要を示す図である。

【図 14】フラグメントありの場合における上り通信帯域幅の 2 回目の計測の概要を示す図である。

【図 15】フラグメントありの場合における下り通信帯域幅の 1 回目の計測の概要を示す図である。

【図 16】フラグメントありの場合における下り通信帯域幅の 2 回目の計測の概要を示す図である。

【図 17】複数の計測対象装置について計測する場合の概要を示す図である。

【図 18】複数の計測対象装置について計測する場合の処理フローを示す図である。

【図 19】周期的な計測処理の概要を説明するための図である。

【図 20】周期的な計測処理の処理フローを示す図である。

【図 21】コンピュータの機能ブロック図である。

【符号の説明】

【0112】

1 帯域計測装置 3 計測対象装置 5 ブロードバンドルータ

1 1 ユーザーインターフェース部 1 2 帯域計測部

1 3 通信部

1 3 1 パケット送信部 1 3 3 パケット受信部

10

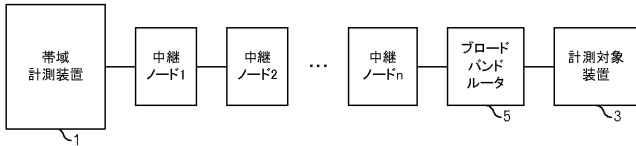
20

30

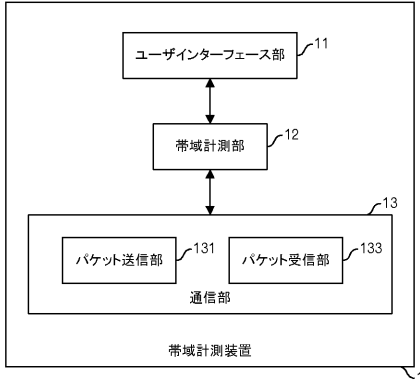
40

50

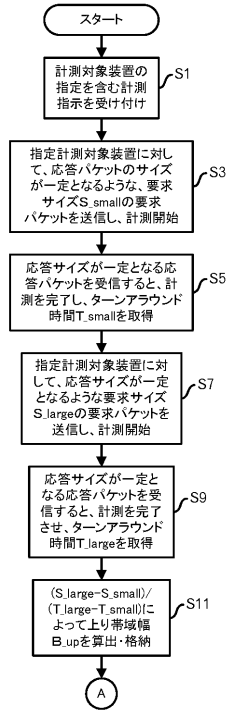
【図1】



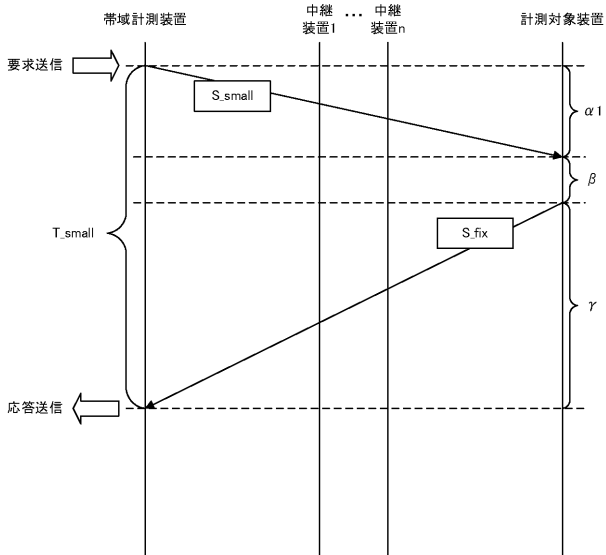
【図2】



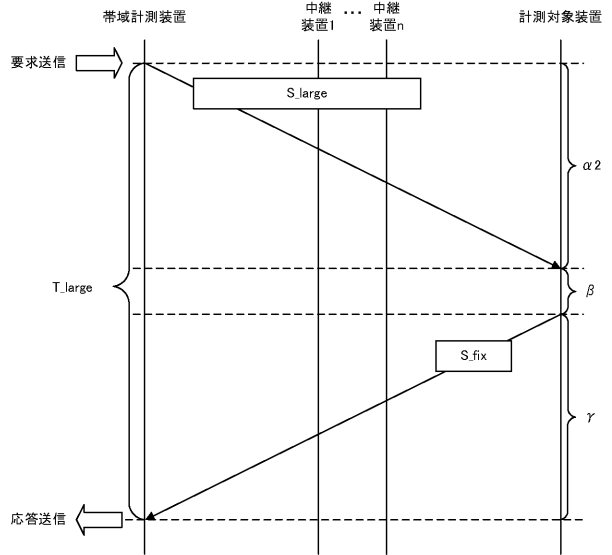
【図3】



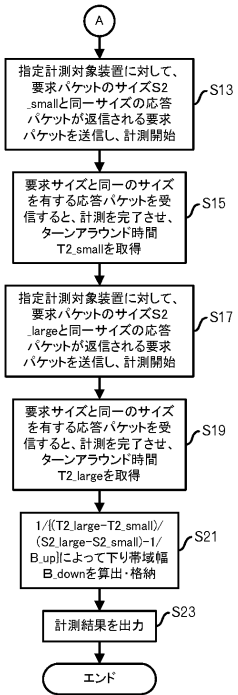
【図4】



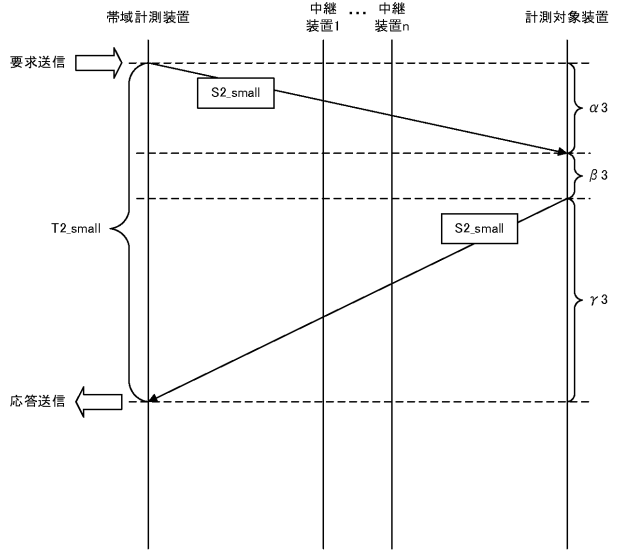
【図5】



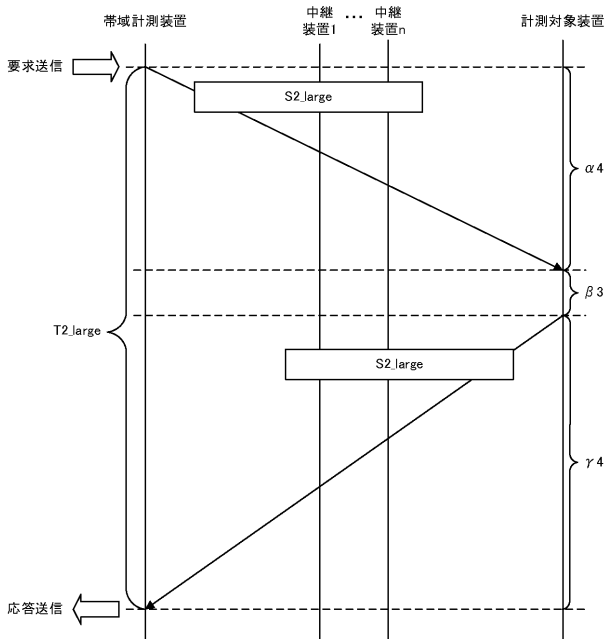
【 図 6 】



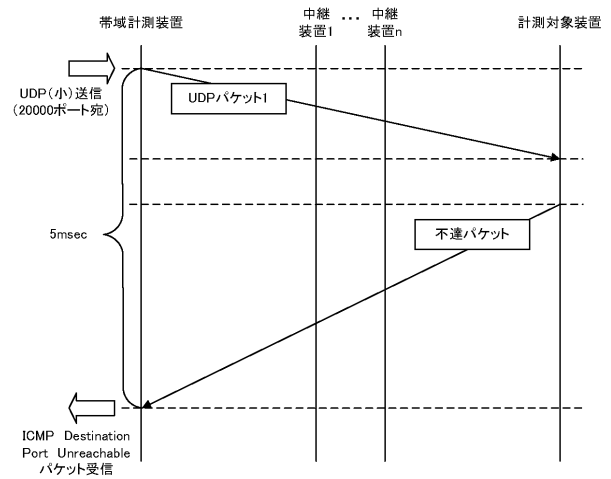
【 図 7 】



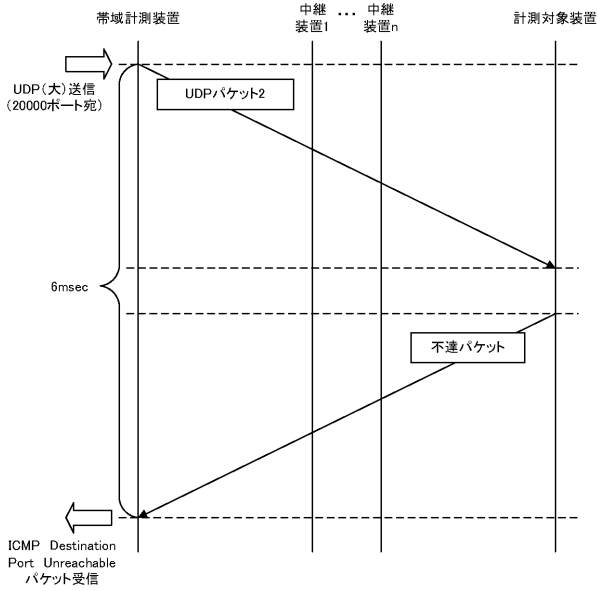
【 図 8 】



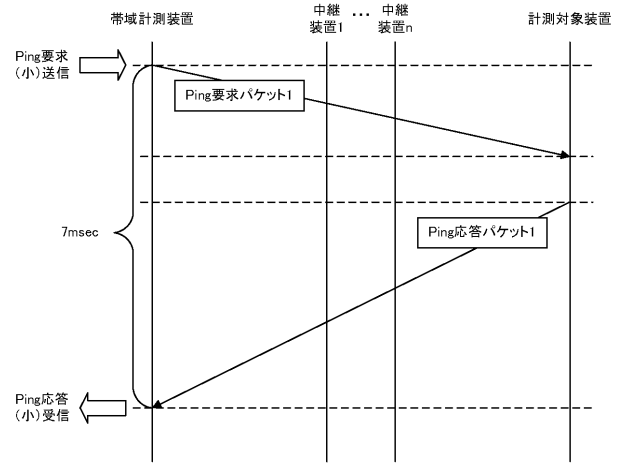
【 図 9 】



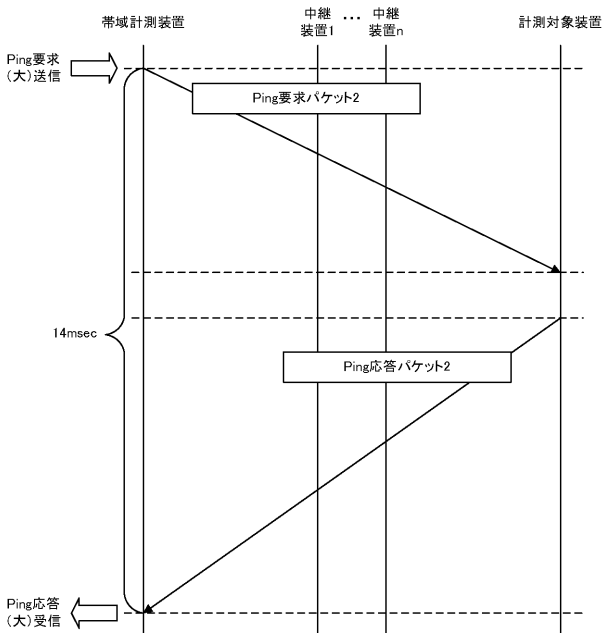
【 図 1 0 】



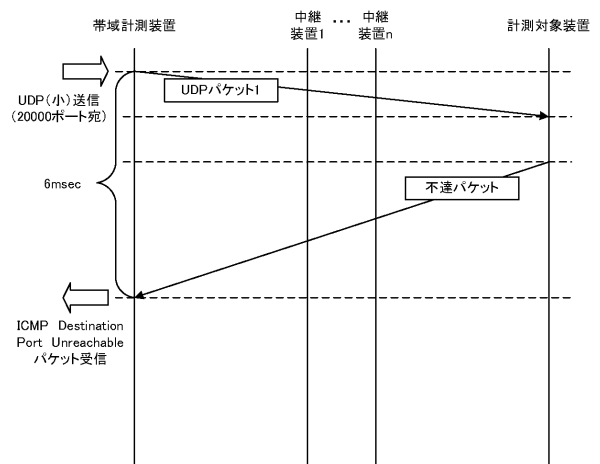
【 図 1 1 】



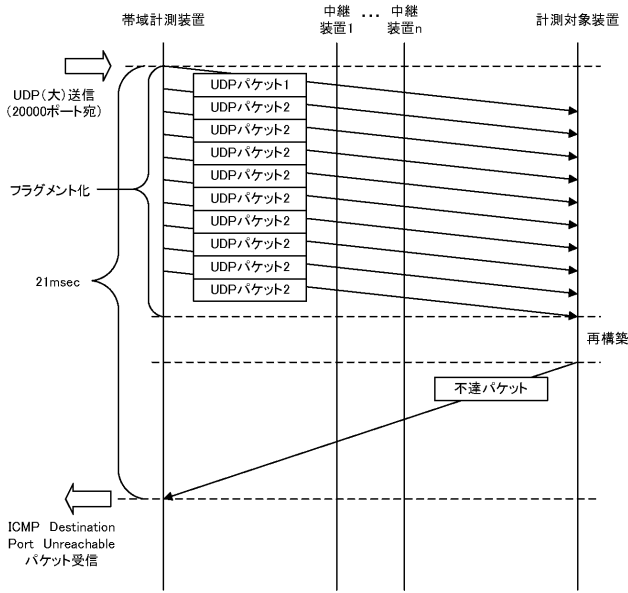
【 図 1 2 】



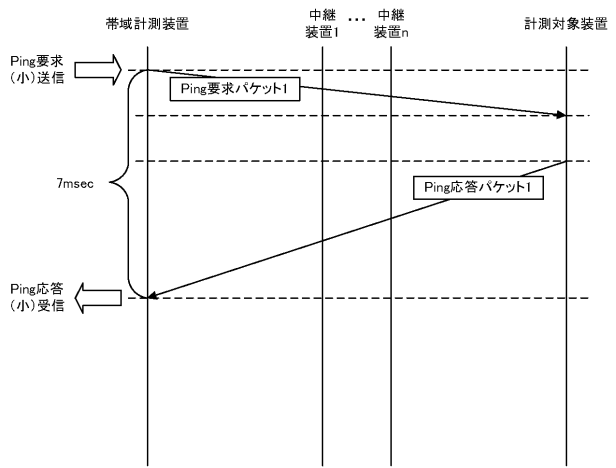
【 図 1 3 】



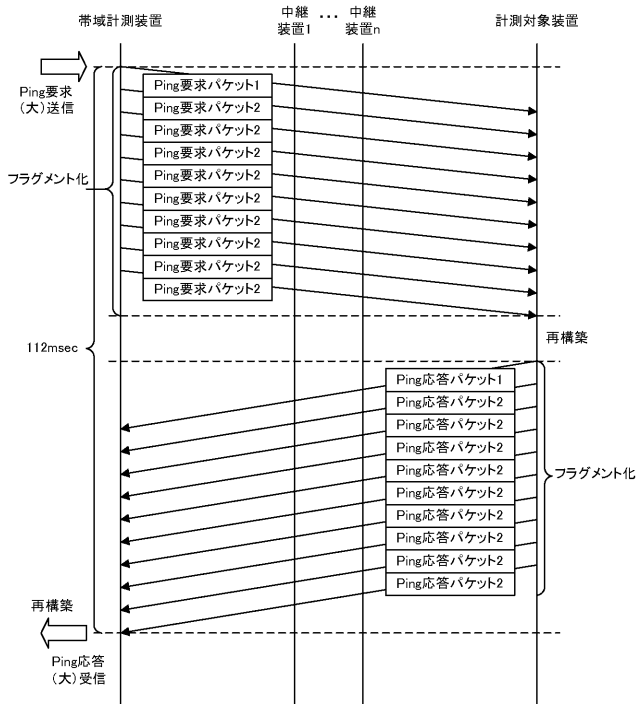
【 図 1 4 】



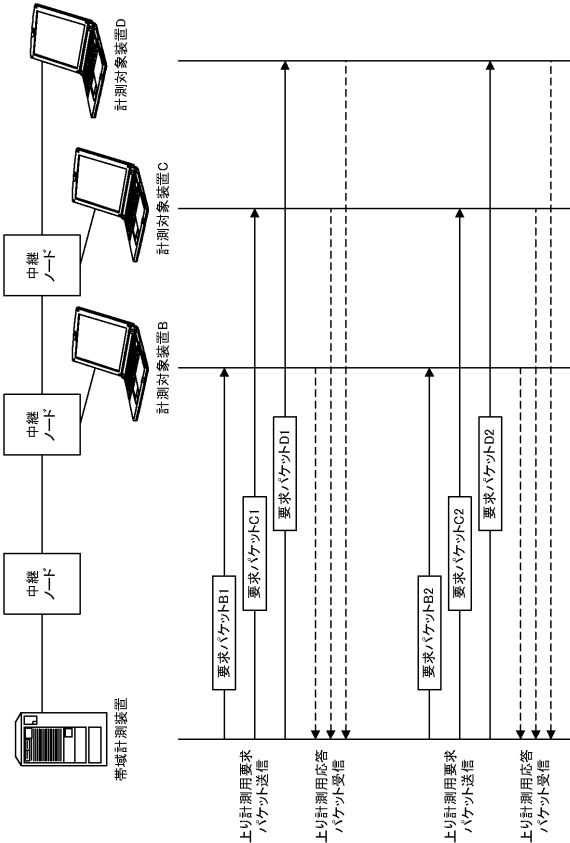
【 図 1 5 】



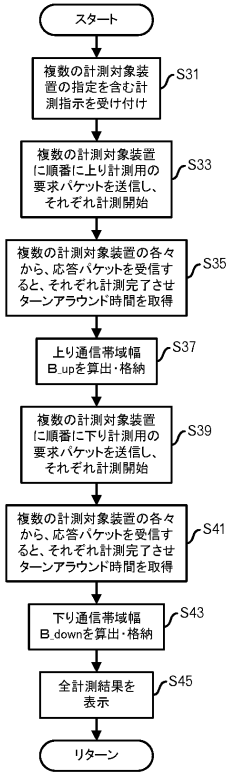
【 図 1 6 】



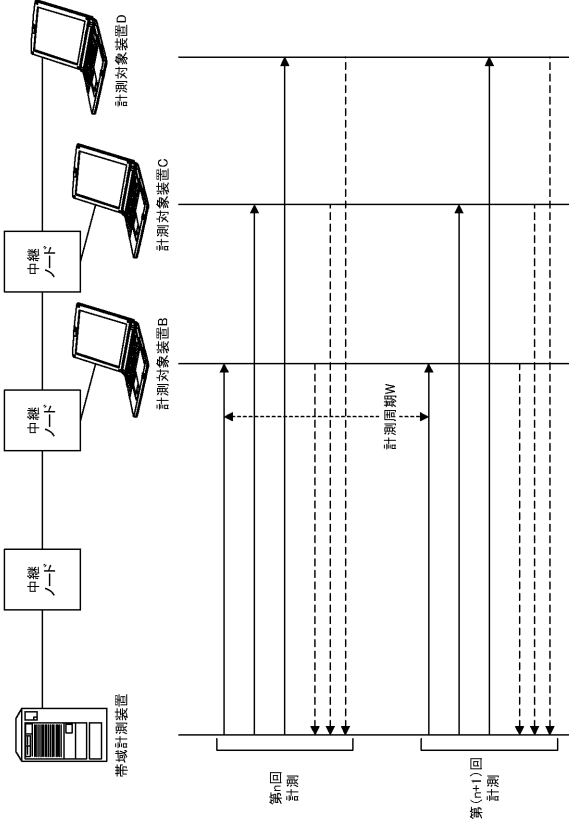
【 図 1 7 】



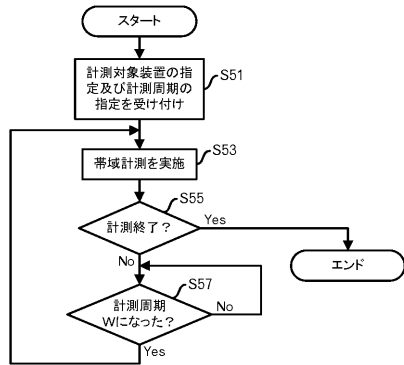
【図18】



【図19】



【図20】



【図21】

