

明 細 書

発明の名称：帯域測定装置及びプログラム

技術分野

[0001] 本発明は、帯域測定装置及びプログラムに関する。

背景技術

[0002] TCPプロトコルでは、輻輳が起こらないように輻輳ウィンドウのサイズが制御される。例えば、重複ACKが受信された場合に、輻輳ウィンドウのサイズが半分にされる。また、例えば、再送タイムアウトが発生した場合に、輻輳ウィンドウのサイズが一パケット分のサイズに変更される（下記特許文献1）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特表2007-534194号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] 本発明の目的は、再送タイムアウトの発生を考慮して、通信チャネルの帯域幅を推定することである。

課題を解決するための手段

[0005] 上記課題を解決するための請求項1の発明は、輻輳ウィンドウのウィンドウサイズを変化させながらウィンドウサイズ分の数のパケットからなるパケット集合を配信するサーバと、パブリックネットワークを介して通信する帯域測定装置であって、前記帯域測定装置と前記サーバとの通信に用いられる通信チャネルにおけるラウンドトリップタイムの測定値を取得するRTT取得手段と、前記通信チャネルにおけるパケットロス率の測定値を取得するロス率取得手段と、前記サーバから配信されたパケット集合を受信する受信手段と、前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、該パケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケットを前記サーバに

返信する返信手段と、再送タイムアウトが発生しているか否かの再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定する判定手段と、前記判定手段の判定結果に基づいて、前記通信チャネルにおける帯域幅の推定値を算出する算出手段と、を含み、前記算出手段は、前記再送タイムアウト発生条件が満足される場合、前記 R T T 取得手段により取得された測定値、前記ロス率取得手段により取得された測定値、所与の再送タイムアウト時間、及びパケット一つあたりのデータサイズとを含む第 1 の数式に従って、前記帯域幅の推定値を算出すること、を特徴とする帯域測定装置である。

[0006] また、請求項 2 に記載の帯域測定装置は、請求項 1 に記載の帯域測定装置において、前記サーバは、T C P R e n o 方式で前記ウィンドウサイズを変化させ、前記第 1 の数式は、前記帯域幅の推定値を BW と表し、前記 R T T 取得手段により取得された測定値を $R T T$ と表し、前記ロス率取得手段により取得された測定値を p と表し、前記タイムアウト時間を T と表し、前記データサイズを $M S S$ と表した場合、

[0007] [数1]

$$BW = \frac{MSS \cdot \left(\sqrt{\frac{2}{3p}} + \frac{1}{p} \right)}{T + RTT \cdot \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{2}{3p} + \sqrt{\frac{2}{3p}} \right)}$$

であることを特徴としている。

[0008] また、請求項 3 に記載の帯域測定装置は、請求項 1 又は 2 に記載の帯域測定装置に、前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、前記サーバから前回配信されたパケット集合が受信されてから基準時間以上経過しているか否かを判定する手段をさらに備えさせ、前記判定手段が、前記サーバから前回配信されたパケット集合が受信されてから基準時間以上経過しているか否かに基づいて前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定するようにしたことを特徴としている。

[0009] また、請求項 4 に記載の帯域測定装置は、請求項 2 に記載の帯域測定装置に、前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、受信されたパケット集合中のパケット数が、前記サーバから前回受信されたパケット集合中のパケット数の二倍であるか否かを判定する手段をさらに備えさせ、前記判定手段が、前記受信されたパケット集合中のパケット数が前記サーバから前回受信されたパケット集合中のパケット数の二倍であるか否かに基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定するようにしたことを特徴としている。

[0010] また、請求項 5 に記載の帯域測定装置は、請求項 1 又は 2 に記載の帯域測定装置に、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かを判定する手段をさらに備えさせ、前記判定手段が、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かに基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定するようにしたことを特徴としている。

[0011] また、請求項 6 に記載の帯域測定装置は、請求項 3 に記載の帯域測定装置に、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かを判定する手段をさらに備えさせ、前記判定手段が、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かと、前記サーバから前回配信されたパケット集合が受信されてから基準時間以上経過しているか否かと、に基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定するようにしたことを特徴としている。

[0012] また、請求項 7 に記載の帯域測定装置は、請求項 4 に記載の帯域測定装置に、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かを判定する手段をさらに備えさせ、前記判定手段が、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かと、前記受信されたパケット集合中のパケット数が前記サーバから前回受信されたパケット集合中のパケット数の二倍であるか否かと、に基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定するようにしたことを特徴としている。

。

[0013] また、請求項 8 に記載の帯域測定装置は、請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の帯域測定装置において、前記算出手段が、前記再送タイムアウト発生条件が満足されない場合、前記再送タイムアウト時間を含まない第 2 の数式に従って、前記帯域幅の推定値を算出することを特徴としている。

[0014] また、上記課題を解決するための請求項 9 の発明は、輻輳ウィンドウのウィンドウサイズを変化させながらウィンドウサイズ分の数のパケットからなるパケット集合を配信するサーバと、パブリックネットワークを介して通信するコンピュータを、前記コンピュータと前記サーバとの通信に用いられる通信チャネルにおけるラウンドトリップタイムの測定値を取得する R T T 取得手段、前記通信チャネルにおけるパケットロス率の測定値を取得するロス率取得手段、前記サーバから配信されたパケット集合を受信する受信手段、前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、該パケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケットを前記サーバに返信する返信手段、

再送タイムアウトが発生しているか否かの再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定する判定手段、前記判定手段の判定結果に基づいて、前記通信チャネルにおける帯域幅の推定値を算出する算出手段、として機能させ、前記算出手段が、前記再送タイムアウト発生条件が満足される場合、前記 R T T 取得手段により取得された測定値、前記ロス率取得手段により取得された測定値、所与の再送タイムアウト時間、及びパケット一つあたりのデータサイズとを含む第 1 の数式に従って、前記帯域幅の推定値を算出することを特徴とするプログラムである。

発明の効果

[0015] 請求項 1、9 の発明によれば、再送タイムアウトの発生を考慮して、通信チャネルの帯域幅を推定できる。

[0016] 請求項 2 の発明によれば、特にサーバが T C P R e n o 方式で輻輳ウィンドウのサイズを変化させる場合に、通信チャネルの帯域幅を正確に推定で

きる。

- [0017] 請求項 3、4、5、6、7 の発明によれば、本構成を有しない場合に比較して、より高い精度で、再送タイムアウトの発生を検知できる。また、請求項 8 の発明によれば、再送タイムアウトの発生有無を考慮して、通信チャネルの帯域幅を推定できる。

図面の簡単な説明

- [0018] [図1]サービスシステムの構成の一例を示す図である。
[図2]携帯端末に実装される通信ポートを示す図である。
[図3]ウィンドウサイズの制御について説明するための図である。
[図4]ウィンドウサイズの制御について説明するための図である。
[図5]パケット数の時間推移の一例を示す図である。
[図6]V P N通信ポート間の通信を説明するための図である。
[図7] r t t 列の一例を示す図である。
[図8]携帯端末にて実行される処理を示すフロー図である。
[図9]携帯端末にて実行される処理を示すフロー図である。
[図10]スループット方程式の問題点を説明するための図である。

発明を実施するための形態

- [0019] 図 1 は、サービスシステム 1 の構成の一例を示す図である。サービスシステム 1 は、サービスサーバ 4 と、複数の基地局アンテナ 6 と、携帯端末 2 と、を含む。サービスサーバ 4 は、通信事業者から或る通信チャネル X を借り受けている仮想移動体通信事業者（以下、MVNO (Mobile Virtual Network Operator) と表記する）が所有しているサーバであり、パブリックネットワークたる WAN (Wide Area Network) に接続されている。WAN は、インターネットとも呼ばれる。サービスサーバ 4 と、MVNO の顧客の携帯端末 2 と、は通信チャネル X を介して通信している。
- [0020] サービスサーバ 4 は、MVNO の顧客の携帯端末 2 に対して各種情報処理サービス（例えば、動画のストリーミング配信サービス）を提供する。具体的には、サービスサーバ 4 には、ネットワークインタフェースに対応する I

P通信ポート（１）がオペレーティングシステムによりソフトウェア的に実装されている。ＩＰ通信ポート（１）には、サービスサーバ４のＩＰアドレスが割り当てられており、情報処理サービスに関するデータが、ＩＰ通信ポート（１）から携帯端末２へと送信される。

[0021] また、本実施形態の場合、サービスサーバ４には、ＶＰＮ（Virtual Private Network）サーバソフトウェアがインストールされており、ＶＰＮサーバソフトウェアによりＶＰＮ通信ポート（１）がソフトウェア的に実装されている。ＶＰＮ通信ポート（１）には、バーチャルプライベートネットワーク（以下、ＶＰＮと表記する）におけるＩＰアドレスが割り当てられる。

[0022] ＶＰＮ通信ポート（１）の意義については後述する。

[0023] また、基地局アンテナ６は、携帯端末２をＷＡＮに無線接続するためのアンテナである。

[0024] また、携帯端末２は、ＭＶＮＯの顧客が情報処理サービスを利用するために用いられるコンピュータであり、マイクロプロセッサ、主記憶、ディスプレイ、スピーカ、無線通信インタフェース、及びＧＰＳ（Global Positioning System）情報を随時受信するＧＰＳ受信機などを備える。ＧＰＳ情報は、携帯端末２の位置を示す。ここでは、携帯端末２は、いわゆるＡｎｄｒｏｉｄ（登録商標）オペレーティングシステムがインストールされた携帯電話である。主記憶には、オペレーティングシステム及びＭＶＮＯによってネットワーク配信された通信測定プログラムが格納され、マイクロプロセッサはこれらに従って各種情報を実行する。なお、通信測定プログラムは、ＤＶＤ（登録商標）－ＲＯＭ等のコンピュータ読み取り可能な情報記憶媒体から読み出されて主記憶に格納されてもよい。

[0025] 携帯端末２は、無線通信インタフェースによりいずれかの基地局アンテナ６（例えば、近くの基地局アンテナ６）に無線接続されることにより、ＷＡＮに無線接続される。なお、携帯端末２の接続先の基地局アンテナ６は、携帯端末２の移動に応じて切り替わる。携帯端末２が高速で移動している場合、接続先の基地局アンテナ６が頻繁に切り替わる。ちなみに、図１では、携

帯端末2を一台しか示していないが、MVNOの顧客は複数おり、実際には、通信チャネルXを介してサービスサーバ4と通信する携帯端末2が複数存在している。

[0026] 図2は、携帯端末2にソフトウェア的に実装される通信ポートを示す図である。本実施形態の場合、同図に示すように、携帯端末2では、オペレーティングシステムにより、IP通信ポート(2)とVPN通信ポート(2)とが実装される。まず、IP通信ポート(2)について説明する。

[0027] IP通信ポート(2)は、図1に示すIP通信ポート(1)と通信を行うための通信ポートであり、携帯端末2のIPアドレスが割り当てられている。サービスサーバ4は、IP通信ポート(1)から、輻輳ウィンドウ(Congestion Window)のウィンドウサイズ「Ws」分の数のパケット(DATA[N+1]、DATA[N+2]、・・・、DATA[N+Ws])からなるパケット集合を配信しており、携帯端末2は、IP通信ポート(2)により、サービスサーバ4から配信されたパケット集合を受信する。また、携帯端末2は、パケット集合を受信すると、受信したパケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケット(ACK[N+1]、ACK[N+2]、・・・、ACK[N+Ws])をIP通信ポート(2)から返信する。なお、ウィンドウサイズ「Ws」は、パケット数として表現される。また、ここでは、パケット一つ当たりのデータサイズMSSは1500バイトである。

[0028] ウィンドウサイズ「Ws」は一定ではない。すなわち、サービスサーバ4は、輻輳(Congestion)の発生を避けるために、ウィンドウサイズ「Ws」を適宜変化させている。図3及び図4は、ウィンドウサイズ「Ws」の制御について説明するための図である。上述のように、サービスサーバ4が、「Ws」個のパケットからなるパケット集合を送信すると(S101)、それを受信した携帯端末2は、受信したパケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケットをIP通信ポート(2)から返信する(S201)。

[0029] そして、サービスサーバ4が、携帯端末2から送信された確認応答パケットすべてを受信すると、図3に示すように、サービスサーバ4は、ウィンドウサイズ「 W_s 」を更新し（S102）、S101以降のステップを再度実行する。

[0030] 本実施形態では、サービスサーバ4は、TCP Reno方式でウィンドウサイズを制御している。TCP Reno方式のウィンドウ制御については、RFC (Request for Comment)に記載されている(<http://tools.ietf.org/html/rfc2001>)。簡単に説明すると、いわゆるスロースタートが実行中である場合、すなわち、ウィンドウサイズ「 W_s 」が閾値「 W_{th} 」未満である場合、S102でサービスサーバ4は、ウィンドウサイズ「 W_s 」を二倍する。また、スロースタートではなくいわゆる輻輳回避が実行中である場合、すなわち、ウィンドウサイズ「 W_s 」が閾値「 W_{th} 」以上である場合、S102でサービスサーバ4は、ウィンドウサイズ「 W_s 」を「1」だけインクリメントする。従って、ウィンドウサイズ「 W_s 」は、スロースタート実行中、指数関数的に増加し、スロースタート実行後の輻輳回避中、線形的に増加することとなる。

[0031] 但し、いわゆる重複ACKが発生した場合、すなわち、一つのパケットについてそのパケットに対応する確認応答パケットACKを重複して受信した場合、S102でサービスサーバ4は、早期回復アルゴリズムに従い、ウィンドウサイズ「 W_s 」を半減する。

[0032] また、再送タイムアウト（以下、RTO (retransmission timeout) と表記する）が発生した場合、すなわち、パケット集合の送信からタイムアウト時間T_{out}経過しても、当該パケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケットACK全部が受信されない場合、サービスサーバ4は、図4に示すように、図3のS102の代わりに、S102Aのステップを実行する。すなわち、S102Aでサービスサーバ4は、ウィンドウサイズ「 W_s 」を「1」に更新する。そして、サービスサーバ4は、S101以降のステップを再度実行する。なお、閾値「 W_{th} 」は、RTOが発生したとき

に更新される。すなわち、閾値「 W_{th} 」は、 RTO が発生したとき、そのときのウィンドウサイズ「 W_s 」の四分の一に更新される。また、閾値「 W_{th} 」は、そのほかのタイミングにも更新される。すなわち、更新前の閾値「 W_{th} 」が記憶されるようになっており、 RTO の発生後、ウィンドウサイズ「 W_s 」が更新前の閾値「 W_{th} 」に達したときに、閾値「 W_{th} 」が更新前の値に戻される。

[0033] なお、 T_{out} が特許請求の範囲に記載の「 T 」に相当する。

[0034] ちなみに、重複 ACK や RTO は輻輳の発生時に発生する。そのため、輻輳発生時のウィンドウサイズ「 W_s 」を「 W 」と表した場合、サービスサーバ4から送信されるパケット集合中のパケット数の時間推移は図5のようになる傾向がある。横軸が時間を示し、縦軸がパケット数を示す。細い実線がパケット数の時間推移を示す。なお、太い実線は、閾値「 W_{th} 」の値の推移を示す。また、 T_1 は、 RTO 発生時の時刻を示す。また、 T_2 は、 T_1 からタイムアウト時間 T_{out} 経過後の時刻、すなわちスロースタートの実行が開始される時刻、を示す。また、 T_3 は、スロースタートの実行が終了される時刻、すなわち、ウィンドウサイズ「 W_s 」が閾値「 W_{th} 」に達した時刻を示す。また、 T_4 は、スロースタート終了後、ウィンドウサイズ「 W_s 」が、輻輳発生時のウィンドウサイズ「 W 」の半分である「 $W/2$ 」に達した時刻を示す。上述のように、重複 ACK が発生したときに、ウィンドウサイズ「 W_s 」が半減されている。また、 RTO が発生したときに、ウィンドウサイズ「 W_s 」が「1」に更新されている。それだけでなく、閾値「 W_{th} 」が、時刻 T_1 で RTO が発生したときのウィンドウサイズ「 W 」の四分の一に更新されている。またその後、時刻 T_2 から時刻 T_3 の間スロースタートが実行され、ウィンドウサイズ「 W_s 」が、閾値「 W_{th} 」に達するまで指数関数的に増加している。また、時刻 T_3 の後輻輳回避が実行され、ウィンドウサイズ「 W_s 」が線形的に増加している。また、時刻 T_4 でウィンドウサイズ「 W_s 」が、更新前の閾値「 W_{th} 」、すなわち、輻輳が発生したときのウィンドウサイズ「 W 」の二分の一に達したとき、閾値「 W_{th} 」

h」が更新前の値に更新されている。

[0035] なお、以下、 T_2 から T_3 までの期間をスロースタート期間と呼び、 T_3 から T_4 までの期間をリカバリ期間と呼ぶ。

[0036] このようにパケット数が推移する傾向があるので、スロースタート期間の長さ「 $T_3 - T_2$ 」を T_{slow} と表した場合、以下の数式が成立する。

[0037] [数2]

$$2^{T_{\text{slow}}} = W/4$$

[0038] よって、ウィンドウサイズ「 W_s 」のおおよその更新間隔 RTT_{ref} を時間の単位として用いた場合、 T_{slow} は、以下のように近似される。

[0039] [数3]

$$T_{\text{slow}} \sim RTT_{\text{ref}} \cdot \log_2 \frac{W}{4}$$

[0040] また、スロースタート期間に送信されるパケット数の総和を P_{slow} と表した場合、 P_{slow} は、以下の数式であらわされる。

[0041] [数4]

$$P_{\text{slow}} = \sum_0^{W/4} 2^x$$

[0042] よって、 P_{slow} は、以下のように表される。

[0043] [数5]

$$P_{\text{slow}} = \frac{W}{4} - 1$$

[0044] 一方、リカバリ期間の長さ「 $T_4 - T_3$ 」を T_{recovery} と表した場合、 T_{recovery} は、 RTT_{ref} を用いて以下のように近似される。

[0045]

[数6]

$$T_{\text{recovery}} \sim RTT_{\text{ref}} \cdot \frac{W}{4}$$

[0046] また、スロースタート期間に送信されるパケット数の総和を P_{recovery} と表した場合、 P_{recovery} は、台形の面積を求める公式から以下になる。

[0047] [数7]

$$P_{\text{recovery}} = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{W}{2} + \frac{W}{4} \right) \cdot \frac{W}{4} - 1$$

$$\therefore P_{\text{recovery}} = \frac{3}{32} \cdot W^2 - 1$$

[0048] 従って、 T_4 から T_1 までの期間（以下、 RTO 期間と表記する）の長さ T_{total} 及び RTO 期間中に送信された総データ量 P_{total} は、以下のように近似される。

[0049] [数8]

$$T_{\text{total}} \sim T_{\text{out}} + RTT_{\text{ref}} \cdot \left(\log_2 \frac{W}{4} + \frac{W}{4} \right)$$

$$P_{\text{total}} \sim MSS \cdot \left(\frac{W}{4} + \frac{3}{32} \cdot W^2 - 2 \right)$$

[0050] なお、図5によれば、ウィンドウサイズ「 W_s 」が「 $W/2$ 」であるときから「 W 」に達するまでの期間に、一回パケットロスが発生したと考えられる。従って、パケットロス率 p は以下のように近似される。

[0051]

[数9]

$$p \sim \frac{1}{\left(\frac{W}{2} \cdot \left(\frac{W}{2} + W\right) \cdot \frac{1}{2}\right)}$$

$$\therefore p \sim \frac{32}{3W^2}$$

[0052] よって、輻輳発生時のウィンドウサイズ「W」は、以下のように近似される。

[0053] [数10]

$$W \sim \sqrt{\frac{32}{3p}}$$

[0054] 従って、 T_{total} 及び P_{total} は、パケットロス率 p を用いて以下のように表される。

[0055] [数11]

$$T_{total} \sim T_{out} + RTT_{ref} \cdot \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{2}{3p} + \sqrt{\frac{2}{3p}} \right)$$

$$P_{total} \sim MSS \cdot \left(\sqrt{\frac{2}{3p}} + \frac{1}{p} \right)$$

[0056] 次に、VPN通信ポート（2）について説明する。VPN通信ポート（2）は、VPN通信ポート（1）とVPNを介して通信するための通信ポートであり、VPNにおけるIPアドレスが割り当てられる。VPN通信ポート（2）は、情報処理サービスを受けるために利用されるのではなく、通信チ

チャネルXにおけるラウンドトリップタイムを得るために用いられる。すなわち、携帯端末2は、VPN通信ポート(2)からダミーパケットDUMMYを繰り返し送信している。

[0057] 図6は、VPN通信ポート(2)とVPN通信ポート(1)との間の通信を説明するための図である。まず、携帯端末2(正確には、携帯端末2のマイクロプロセッサ)は、VPN通信ポート(2)からダミーパケットDUMMYを送信し(S301)、パラメータ t_1 の値を、現在時刻 T_c に設定する(S302)。ダミーパケットDUMMYの送信後、ダミーパケットDUMMYを受信したサービスサーバ4から確認応答パケットDUMMY-ACKが返信される(S401)。確認応答パケットDUMMY-ACKを受信すると、携帯端末2のマイクロプロセッサは、パラメータ t_2 の値を現在時刻 T_c に設定し(S303)、パラメータ t_1 が示す時刻からパラメータ t_2 が示す時刻までの時間を、ラウンドトリップタイム rtt として算出する(S304)。

[0058] そして、携帯端末2のマイクロプロセッサは、S304で算出した rtt を、ラウンドトリップタイム rtt のデータ列(以下、 rtt 列と表記する)の最後の要素として主記憶に保存し(S305)、S301以降のステップを再度実行する。例えば、 rtt 列に「L(Lは0又は正の整数)」個のラウンドトリップタイム rtt が含まれている場合、S304で算出された rtt が、S305において、 rtt 列の「L+1」番目の要素として主記憶に保存されることになる。図7に、 rtt 列の一例を示す。なお、本実施形態では、重複ACKが発生した場合(DUMMY-ACKが重複して受信された場合)、S304で得られた rtt に所定のフラグ値が関連づけられる。

[0059] この携帯端末2では、この rtt 列に基づいて、通信チャネルXの帯域幅(単位時間あたりに流れるデータ量)の推定値BWが定期的に算出され、サービスサーバ4に届けられる。サービスサーバ4では、携帯端末2から受け取った推定値BWに基づいて例えばパケットシェイピングが行われ、通信チ

チャネルXへと送信される単位時間当たりのデータ量が随時調整されることとなる。

[0060] 図8及び図9は、推定値BWの算出のため、携帯端末2のマイクロプロセッサが定期的に行う処理を示すフロー図である。まず、マイクロプロセッサ(RTT取得手段)は、主記憶に記憶されるrtt列を読み出す(S501)。そして、マイクロプロセッサ(RTT取得手段)は、rtt列に基づいて、通信チャネルXにおけるラウンドトリップタイムの測定値RTT_{measure}を算出する(S502)。本実施形態の場合、S502でマイクロプロセッサは、rtt列中の全rttの平均をRTT_{measure}として算出する。RTT_{measure}が特許請求の範囲に記載の「RTT」に相当する。

[0061] また、マイクロプロセッサ(ロス率取得手段)は、通信チャネルXにおけるパケットロス率の測定値pを取得する(S503)。測定値pの取得方法は、多々あるが、本実施形態の場合、マイクロプロセッサは、rtt列に基づいて測定値pを算出する。具体的に、S503でマイクロプロセッサは、rtt列中のrttの総数に対する、上記所定のフラグ値が関連づけられたrttの数の割合いを、測定値pとして算出する。

[0062] そして、マイクロプロセッサは、S504以降のステップを実行することにより、推定値BWを算出する。

[0063] ところで、よく知られた下記スループット方程式により、推定値BWを算出してもよいように思われる。

[0064] [数12]

$$BW = C \cdot \frac{MSS}{RTT_{measure}} \cdot \frac{1}{p^k}$$

[0065] なお、「C」及び「k」は、所定の定数である。

[0066] しかしRTOが発生している状況下では、スループット方程式が成り立たなくなる。なぜなら、RTOが発生している最中は、パケットの送信が行われない。そのため、RTOが発生しているときに測定されるラウンドトリッ

プタイムは、 RTT_{measure} とかけ離れた値になるからである。従って、 RTO が発生している状況下で上記スループット方程式を用いた場合、実際の帯域幅より相当小さい推定値 BW が得られることになる。

[0067] 図10は、スループット方程式の問題点を説明するための図であり、 RTO が発生している状況下での、「 $BW \times (RTT_{\text{measure}} / MSS)$ 」と p との関係を示す図である。縦軸は、「 $BW \times (RTT_{\text{measure}} / MSS)$ 」の値を対数目盛りで示し、横軸は、 p の値を対数目盛で示している。中抜きされた正方形が、 RTO 発生時の双方の関係を示し、点線が、スループット方程式における双方の関係を示している。同図に示すように、 RTO 発生時では、「 $BW \times (RTT_{\text{measure}} / MSS)$ 」の値が点線を大きく下回っている。

[0068] そこで、この携帯端末2では、 RTO が発生しているか否か、すなわち RTO 発生条件が満足されるか否かによって、推定値 BW の算出に用いる数式を変化させる。すなわち、この携帯端末2では、 RTO 発生条件が満足されない場合、上記スループット方程式により推定値 BW を算出し、 RTO 発生条件が満足される場合、タイムアウト時間 T_{out} を含む下記特別スループット方程式により推定値 BW を算出する。

[0069] [数13]

$$BW = \frac{MSS \cdot \left(\sqrt{\frac{2}{3p}} + \frac{1}{p} \right)}{T_{\text{out}} + RTT_{\text{measure}} \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \log_2 \frac{2}{3p} + \sqrt{\frac{2}{3p}} \right)}$$

[0070] ここで、 RTO 発生条件は、以下の条件(1)～条件(3)のいずれか一つが成立する場合に、満足される。すなわち、条件(1)～条件(3)のいずれか一つが成立する場合、 RTO が発生していると目される。

[0071] 条件(1)：携帯端末2が高速で移動している（接続先の基地局アンテナ6が切り替わりやすい）。

条件(2)：パケット集合を受信してから基準時間 T_{th} （例えば T_{th} は3秒

）以上経過した後に、次のパケット集合を受信した。

条件（３）：受信したパケット集合中のパケット数が、前回受信したパケット集合中のパケット数の２倍である（スロースタート期間中である）。

[0072] 具体的には、マイクロプロセッサは、Ｓ５０４以降、以下の処理を実行する。すなわち、Ｓ５０４でマイクロプロセッサ（判定手段）は、携帯端末２が高速で移動しているか否かを判定する。すなわち、Ｓ５０４でマイクロプロセッサは、ＧＰＳ受信機が随時受信しているＧＰＳ情報に基づいて携帯端末２の移動速度 v を算出し、移動速度 v が閾値 v_{th} 以上であるか否かを判定する（Ｓ５０４）。なお、Ｓ５０４では、条件（１）の成否が判定されている。

[0073] 携帯端末２では、パケット集合が受信されるたびに、そのパケット集合が受信されてからの経過時間が計測されるようになっている。マイクロプロセッサ（判定手段）は、携帯端末２が高速で移動していない場合（Ｓ５０４のＮ）、ＩＰ通信ポート（２）を監視する。そして、ＩＰ通信ポート（２）がパケット集合を受信した場合、前回パケット集合が受信されてからの経過時間が基準時間 T_{th} 以上であるか否かを判定する（Ｓ５０５）。なお、Ｓ５０５では、条件（２）の成否が判定されている。

[0074] 前回パケット集合が受信されてからの経過時間が基準時間 T_{th} 未満である場合（Ｓ５０５のＮ）、マイクロプロセッサは、受信したパケット集合中のパケット数を主記憶に記録し、ＩＰ通信ポート（２）を監視する。そして、マイクロプロセッサ（判定手段）は、ＩＰ通信ポート（２）がパケット集合を受信した場合、受信したパケット集合中のパケット数が主記憶に記録したパケット数の２倍であるか否かを判定する（Ｓ５０６）。なお、Ｓ５０６では、条件（３）の成否が判定されている。

[0075] そして、Ｓ５０４で肯定的な判定結果が得られた場合（Ｓ５０４のＹ）、又は、Ｓ５０５で肯定的な判定結果が得られた場合（Ｓ５０５のＹ）、又は、Ｓ５０６で肯定的な判定結果が得られた場合（Ｓ５０６のＹ）、マイクロプロセッサ（算出手段）は、上記特別スループット方程式に従って推定値 B

Wを算出し（S 5 0 7）、算出した推定値BWをサービスサーバ4に送信する。

[0076] 一方、S 5 0 4、S 5 0 5、及びS 5 0 6のいずれにおいても肯定的な判定結果が得られなかった場合（S 5 0 6のN）、R T Oが発生していないと考えられる。そこで、この場合、マイクロプロセッサ（算出手段）は、上記スループット方程式で推定値BWを算出し、算出した推定値BWをサービスサーバ4に送信する。但し、本実施形態の場合、マイクロプロセッサは、上記スループット方程式で推定値BWを算出する際に、 $R T T_{\text{measure}}$ の代わりに、以下で説明する $R T T_{\text{pure}}$ を用いる。

[0077] すなわち、マイクロプロセッサは、 $r t t$ 列が表す $r t t$ の変化のパターン（以下、オリジナルパターンと表記する）に対してフーリエ変換を実行し（S 5 0 8）、周波数スペクトルを取得する。そして、マイクロプロセッサは、フィルタリングを実行し、周波数スペクトルから高周波成分を除去する（S 5 0 9）。すなわち、マイクロプロセッサは、周波数スペクトルから、予め定められた基準周波数 f_{ref} 以上の周波成分を除去する。

[0078] そして、マイクロプロセッサは、フィルタリングされた後の周波数スペクトルに対して逆フーリエ変換を実行し（S 5 1 0）、オリジナルパターンから高周波成分を除去したパターンを算出する。そして、マイクロプロセッサは、S 5 1 0の結果得られたパターンに基づいて上記 $R T T_{\text{pure}}$ を算出する（S 5 1 1）。ここでは、S 5 1 1でマイクロプロセッサは、S 5 1 0の結果得られたパターンの時間平均を $R T T_{\text{pure}}$ として算出する。

[0079] そして、マイクロプロセッサは、上記スループット方程式に従って推定値BWを算出し（S 5 1 2）、算出した推定値BWをサービスサーバ4に送信する。なお、ここでは、 $R T T_{\text{measure}}$ の代わりに $R T T_{\text{pure}}$ が用いられているが、勿論、 $R T T_{\text{measure}}$ が用いられてもよい。

[0080] なお、本発明の実施形態は、上記実施形態だけに限らない。

[0081] 例えば、基地局アンテナ6は、無線アクセスポイントであってもよい。

- [0082] また、S 5 0 7 でマイクロプロセッサ（算出手段）は、上記特別スループット方程式で推定値BWを算出する際に、上記 $RTT_{measure}$ の代わりに上記 RTT_{pure} を用いてもよい。この場合、 RTT_{pure} が特許請求の範囲に記載の測定値「 RTT 」に相当することとなる。
- [0083] また、マイクロプロセッサ（算出手段）は、S 5 0 4、S 5 0 5、及びS 5 0 6 のいずれにおいても肯定的な判定結果が得られた場合にのみ、S 5 0 7 のステップを実行してもよい。すなわち、上記条件（１）～条件（３）のすべてが成立する場合に、 RTO 発生条件が満足されることとしてもよい。
- [0084] また、S 5 0 4、S 5 0 5、及びS 5 0 6 の全部ではなく、一部だけが実行されてもよい。例えば、これら３つのステップのうちの２つだけが実行されてもよいし、１つだけが実行されてもよい。例えば、S 5 0 4 とS 5 0 5 とだけが実行される場合、「上記条件（１）乃至上記条件（３）」のうちのいずれか一つの成立ではなく、「条件（１）及び条件（２）」のうちのいずれか一つの成立が、 RTO 発生条件が満足されることの条件となる。また例えば、S 5 0 5 だけが実行される場合、条件（１）乃至条件（３）うちのいずれか一つの成立ではなく、条件（２）の成立が、 RTO 発生条件が満足されることの条件となる。
- [0085] また、S 5 0 5 でマイクロプロセッサ（判定手段）は、前回パケット集合が受信されてからの経過時間が基準時間 T_{th} 以上であるか否かを判定する代わりに、今回受信したパケット集合中のパケット数が「１」であるか否かを判定してもよい。すなわち、「パケットを一つのみ含むパケット集合の受信」を条件（２）としてもよい。 RTO が発生するとウィンドウサイズ「 Ws 」が「１」に設定されるからである。

符号の説明

- [0086] １ サービスシステム、２ 携帯端末、４ サービスサーバ、６ 基地局アンテナ。

請求の範囲

[請求項1]

輻輳ウィンドウのウィンドウサイズを変化させながらウィンドウサイズ分の数のパケットからなるパケット集合を配信するサーバと、パブリックネットワークを介して通信する帯域測定装置であって、

前記帯域測定装置と前記サーバとの通信に用いられる通信チャネルにおけるラウンドトリップタイムの測定値を取得するR T T取得手段と、

前記通信チャネルにおけるパケットロス率の測定値を取得するロス率取得手段と、

前記サーバから配信されたパケット集合を受信する受信手段と、

前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、該パケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケットを前記サーバに返信する返信手段と、

再送タイムアウトが発生しているか否かの再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定する判定手段と、

前記判定手段の判定結果に基づいて、前記通信チャネルにおける帯域幅の推定値を算出する算出手段と、

を含み、

前記算出手段は、

前記再送タイムアウト発生条件が満足される場合、前記R T T取得手段により取得された測定値、前記ロス率取得手段により取得された測定値、所与の再送タイムアウト時間、及びパケット一つあたりのデータサイズとを含む第1の数式に従って、前記帯域幅の推定値を算出すること、

を特徴とする帯域測定装置。

[請求項2]

前記サーバは、T C P R e n o方式で前記ウィンドウサイズを変化させ、

前記第1の数式は、前記帯域幅の推定値をBWと表し、前記R T T

取得手段により取得された測定値を RTT と表し、前記ロス率取得手段により取得された測定値を p と表し、

前記タイムアウト時間を T と表し、前記データサイズを MSS と表した場合、

[数1]

$$BW = \frac{MSS \cdot \left(\sqrt{\frac{2}{3p}} + \frac{1}{p} \right)}{T + RTT \cdot \left(\frac{1}{2} \log_2 \frac{2}{3p} + \sqrt{\frac{2}{3p}} \right)}$$

であること、

を特徴とする請求項 1 に記載の帯域測定装置。

[請求項3]

前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、前記サーバから前回配信されたパケット集合が受信されてから基準時間以上経過しているか否かを判定する手段をさらに含み、

前記判定手段は、

前記サーバから前回配信されたパケット集合が受信されてから基準時間以上経過しているか否かに基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定すること、

を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の帯域測定装置。

[請求項4]

前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、受信されたパケット集合中のパケット数が、前記サーバから前回受信されたパケット集合中のパケット数の二倍であるか否かを判定する手段をさらに含み、

前記判定手段は、

前記受信されたパケット集合中のパケット数が前記サーバから前回受信されたパケット集合中のパケット数の二倍であるか否かに基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定すること

、

を特徴とする請求項 2 に記載の帯域測定装置。

[請求項5] 前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かを判定する手段をさらに含み、

前記判定手段は、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かに基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定すること、を特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の帯域測定装置。

[請求項6] 前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かを判定する手段をさらに含み、

前記判定手段は、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かと、前記サーバから前回配信されたパケット集合が受信されてから基準時間以上経過しているか否かと、に基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定すること、

を特徴とする請求項 3 に記載の帯域測定装置。

[請求項7] 前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かを判定する手段をさらに含み、

前記判定手段は、前記帯域測定装置が高速移動条件を満足する移動速度で移動しているか否かと、前記受信されたパケット集合中のパケット数が前記サーバから前回受信されたパケット集合中のパケット数の二倍であるか否かと、に基づいて、前記再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定すること、

を特徴とする請求項 4 に記載の帯域測定装置。

[請求項8] 前記算出手段は、前記再送タイムアウト発生条件が満足されない場合、前記再送タイムアウト時間を含まない第 2 の数式に従って、前記帯域幅の推定値を算出すること、

を特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の帯域測定装置。

[請求項9] 輻輳ウィンドウのウィンドウサイズを変化させながらウィンドウサイズ分の数のパケットからなるパケット集合を配信するサーバと、パブリックネットワークを介して通信するコンピュータを、

 前記コンピュータと前記サーバとの通信に用いられる通信チャネルにおけるラウンドトリップタイムの測定値を取得するR T T取得手段、

 、

 前記通信チャネルにおけるパケットロス率の測定値を取得するロス率取得手段、

 前記サーバから配信されたパケット集合を受信する受信手段、

 前記サーバから配信されたパケット集合が受信された場合に、該パケット集合中のパケットそれぞれに対応する確認応答パケットを前記サーバに返信する返信手段、

 再送タイムアウトが発生しているか否かの再送タイムアウト発生条件が満足されるか否かを判定する判定手段、

 前記判定手段の判定結果に基づいて、前記通信チャネルにおける帯域幅の推定値を算出する算出手段、

 として機能させるためのプログラムであって、

 前記算出手段は、

 前記再送タイムアウト発生条件が満足される場合、前記R T T取得手段により取得された測定値、前記ロス率取得手段により取得された測定値、所与の再送タイムアウト時間、及びパケット一つあたりのデータサイズとを含む第1の数式に従って、前記帯域幅の推定値を算出すること、

 を特徴とするプログラム。