

明 細 書

発明の名称：

パラメータ推定装置、パラメータ推定方法、及び、パラメータ推定プログラム

技術分野

[0001] 本発明は、通信スループットを推定する通信スループット予測装置、及び、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する制御パラメータ決定装置に関する。

背景技術

[0002] 単位時間あたりに配信（伝送）されるデータサイズ（データの量）である通信スループットを推定する通信スループット予測装置が知られている。この種の通信スループット予測装置の1つとして、特許文献1に記載されている通信スループット予測装置は、予め定められたデータサイズを有する試験データを送信し、当該試験データの送信が完了するまでに要した時間を測定する。そして、通信スループット予測装置は、測定された時間に基づいて、将来の通信スループットを予測する。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2003-37649号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] ところで、TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) に従った通信に係る通信スループットは、様々な要因（例えば、End-to-End遅延、パケットロス、クロストラヒック、及び、無線通信における電波の強度等）が複雑に作用することにより、短期間のうちに比較的大きく変動する。

[0005] 例えば、上記通信スループット予測装置において、試験データの送信が完了した後に、クロストラヒックが増加することにより通信スループットが低下したり、無線通信における電波の強度が大きくなることにより通信スループットが増加したり、する場合がある。このような場合、上記通信スループット予測装置においては、通信スループットを高い精度にて推定することができない、という問題があった。

[0006] このため、本発明の目的は、上述した課題である「通信スループットの推定に関する精度が過度に低くなる場合が生じること」を解決することが可能なパラメータ推定装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0007] かかる目的を達成するため本発明の一形態であるパラメータ推定装置は、単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得する通信スループット取得手段と、

第1の時点までに上記取得された通信スループットに基づいて、当該第1の時点よりも後の第2の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する関数特定パラメータ推定手段と、

を備える。

[0008] また、本発明の他の形態であるパラメータ推定方法は、単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得し、

第1の時点までに上記取得された通信スループットに基づいて、当該第1の時点よりも後の第2の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する方法である。

[0009] また、本発明の他の形態であるパラメータ推定プログラムは、情報処理装置に、単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得し、

第1の時点までに上記取得された通信スループットに基づいて、当該第1の時点よりも後の第2の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する、処理を実行させるためのプログラムである。

発明の効果

[0010] 本発明は、以上のように構成されることにより、通信スループットの推定に関する精度を高めることができる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の第1実施形態に係る通信スループット予測装置の機能を表すブロック図である。

[図2]本発明の第1実施形態に係る通信スループット予測装置が用いる確率密度関数に従った通信スループットの変動の例を示したグラフである。

[図3]本発明の第1実施形態に係る通信スループット予測装置が用いる確率密度関数に基づいて算出された標準偏差と、実際の通信網において測定された通信スループットに基づいて算出された標準偏差と、を比較したグラフである。

[図4]本発明の第2実施形態に係る配信装置の機能を表すブロック図である。

[図5]本発明の第3実施形態に係る配信システムの機能を表すブロック図である。

[図6]本発明の第4実施形態に係る通信スループット予測装置の機能を表すブロック図である。

[図7]本発明の第5実施形態に係るパラメータ推定装置の機能を表すブロック図である。

[図8]本発明の第6実施形態に係る配信システムの機能を表すブロック図である。

[図9]本発明の第6実施形態に係る配信システムの残余再生時間の変化を示したグラフである。

[図10]比較例としての配信システムの残余再生時間の変化を示したグラフで

ある。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、本発明に係る、パラメータ推定装置、パラメータ推定方法、及び、パラメータ推定プログラム、の各実施形態について図１～図１０を参照しながら説明する。

[0013] <第１実施形態>

図１に示したように、第１実施形態に係る通信スループット予測装置（パラメータ推定装置）１００は、通信スループットを予測する装置である。通信スループットは、単位時間あたりに伝送されるデータの量である。

[0014] 通信スループット予測装置１００は、情報処理装置である。例えば、通信スループット予測装置１００は、パーソナル・コンピュータ、携帯電話端末、PHS（Personal Handyphone System）、PDA（Personal Data Assistance、Personal Digital Assistant）、スマートフォン、カーナビゲーション端末、又は、ゲーム端末等である。

[0015] 通信スループット予測装置１００は、図示しない中央処理装置（CPU；Central Processing Unit）、及び、記憶装置（メモリ及びハードディスク駆動装置（HDD；Hard Disk Drive））を備える。通信スループット予測装置１００は、記憶装置に記憶されているプログラムをCPUが実行することにより、後述する機能を実現するように構成されている。

[0016] （機能）

図１は、上記のように構成された通信スループット予測装置１００の機能を表すブロック図である。通信スループット予測装置１００の機能は、通信スループット測定部（通信スループット取得手段）１０１と、ドリフト算出部１０２と、分散算出部１０３と、通信スループット予測部（通信状態推定手段）１０４と、を含む。なお、ドリフト算出部１０２、及び、分散算出部１０３は、関数特定パラメータ推定手段を構成している。

[0017] 通信スループット測定部101は、通信スループットを予測する対象となるデータの伝送（本例では、ストリーミング方式に従った伝送）における現在（現時点）の通信スループットを測定（取得）する。なお、通信スループット予測装置100は、通信スループットを他の装置から受信することにより取得するように構成されていてもよい。

[0018] 本例では、通信スループットを予測する対象となるデータの伝送は、サーバ装置から、通信網を介して当該サーバ装置と接続されたクライアント装置への、動画を表すデータの伝送である。クライアント装置は、受信したデータに基づいて動画を再生するように構成される。

[0019] また、本例では、サーバ装置は、通信網を介して、TCP/IP（Transmission Control Protocol / Internet Protocol）に従って、クライアント装置へデータを送信する。従って、本例では、通信スループット予測装置100が予測する通信スループットは、サーバ装置とクライアント装置との間で確立されたTCPセッションにおける通信スループットである。

[0020] なお、通信スループット予測装置100は、TCP/IP以外の通信プロトコルであって、データの到達を保証する通信プロトコルに従って伝送されるデータに係る通信スループットを取得するように構成されていてもよい。

[0021] また、ある時刻 t [sec] における現在の通信スループットを $u(t)$ [bps (bit per second)] とすると、現在の通信スループット $u(t)$ は、数式1に示したように、算出される。ここで、 ΔT [sec] は、予め設定された時間（例えば、2 [sec]）である。また、 ΔS [bit] は、時刻 t よりも ΔT だけ前の時刻 $t - \Delta T$ から、時刻 t までの間に伝送されたデータの量（データサイズ）である。

[数1]

$$u(t) = \frac{\Delta S}{\Delta T}$$

[0022] 本例では、通信スループット測定部101は、予め設定された時間間隔（

インターバル) I [sec] 毎に、現在の通信スループット u を測定する。これにより、通信スループット測定部 101 は、通信スループットの時系列データ (時間の経過に伴って測定された一連のデータ) $u(nI)$ を取得する。ここで、 n は、 $1 \sim N$ の整数であり、 N は、第 1 の時点 (本例では、現時点) までに、通信スループット u が測定された回数を表す。

[0023] ドリフト算出部 102 は、通信スループット測定部 101 により取得された通信スループット u の時系列データ $u(nI)$ に基づいて、ドリフトを算出する。ドリフトは、通信スループット u の長期的な時間変化率を表す。なお、ドリフトは、関数特定パラメータの一部を構成している。ここで、関数特定パラメータは、第 1 の時点よりも後の第 2 の時点 (本例では、将来の時点) における通信スループットを確率変数とした確率密度関数 (後述する数式 5 に示される確率密度関数) を特定するためのパラメータである。

[0024] 本例では、ドリフト算出部 102 は、通信スループット測定部 101 により取得された、すべての時系列データ $u(nI)$ のうちの、最新の m 個の時系列データ $u(NI)$, $u((N-1)I)$, $\dots$, $u((N-m+1)I)$ に基づいてドリフトを算出する。

[0025] 具体的には、ドリフト算出部 102 は、最小二乗法を用いることにより、時系列データ $u(NI)$, $u((N-1)I)$, $\dots$, $u((N-m+1)I)$ を近似する 1 次関数の傾きをドリフトとして算出する。即ち、ドリフト算出部 102 は、数式 2 に示したように、ドリフト μ を算出する。ここで、 $\sum X_k$ は、 k を、「 $N-m+1$ 」から「 N 」までの整数のそれぞれとした場合の、 X_k の総和である。

[数2]

$$\mu = \frac{m \sum \{kI u(kI)\} - \sum (kI) \sum u(kI)}{m \sum (kI)^2 - \{\sum (kI)\}^2}$$

[0026] なお、ドリフト算出部 102 は、現時点に近い時点にて測定された通信スループットほど、大きくなる重みを付けた、重み付き最小二乗法を用いるこ

とによりドリフトを算出するように構成されていてもよい。

[0027] また、ドリフト算出部 102 は、時刻 t ($=N I$) における時系列データ $u(n I)$ の微分係数をドリフトとして算出するように構成されていてもよい。この場合、ドリフト算出部 102 は、最も簡単な 3 点公式を用いることにより、ドリフト μ を算出するように構成されることが好適である。

[数3]

$$\mu = \frac{3u(NI) - 4u((N-1)I) + u((N-2)I)}{2\Delta T}$$

[0028] ところで、 ΔT が比較的小さい値に設定されている場合、測定された通信スループット $u(n I)$ は、比較的大きく変動する。このような場合、ドリフト算出部 102 は、ローパスフィルタ（例えば、IIR (Infinite Impulse Response) フィルタ）の通過によって、時系列データ $u(n I)$ を平滑化し、平滑化された時系列データ $u(n I)$ に基づいて微分係数を算出するように構成されることが好適である。これによれば、高い精度にてドリフトを算出することができる。

[0029] 分散算出部 103 は、通信スループット測定部 101 により取得された通信スループット u の時系列データ $u(n I)$ の分散 σ^2 を算出する。なお、分散は、関数特定パラメータの一部を構成している。

[0030] 具体的には、分散算出部 103 は、数式 4 に示したように、不偏分散を分散 σ^2 として算出する。ここで、 u_{ave} は、通信スループット測定部 101 により取得された、すべての時系列データ $u(n I)$ のうちの、最新の m 個の時系列データ $u(N I)$ 、 $u((N-1) I)$ 、 $\dots$ 、 $u((N-m+1) I)$ を平均した値である。

[数4]

$$\sigma^2 = \frac{1}{m-1} \sum \{u_{ave} - u(kI)\}^2$$

[0031] なお、本例では、通信スループット予測装置 100 は、第 1 の時点として

現時点（即ち、関数特定パラメータを算出する処理を実行する時点）を用いるように構成されている。ところで、通信スループット予測装置１００は、第１の時点として、現時点よりも前の時点を用いてもよい。この場合、通信スループット予測装置１００は、第１の時点よりも後の時点である範囲において、現時点よりも前の時点、現時点、又は、現時点よりも後の時点、を第２の時点として用いてもよい。

[0032] 通信スループット予測部１０４は、ドリフト算出部１０２により算出されたドリフト μ と、分散算出部１０３により算出された分散 σ^2 と、数式５に示した確率密度関数 $f(u, t)$ と、に基づいて、将来の時刻 t における実際の通信スループットが目標範囲内にある確率を算出する。ここで、目標範囲は、予め設定された通信スループットの範囲である。

[数５]

$$f(u, t) = N(u_0 + \mu t, \sigma^2 t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 t}} \exp \left\{ -\frac{(u - u_0 - \mu t)^2}{2\sigma^2 t} \right\}$$

[0033] なお、通信スループット予測部１０４は、将来の時刻 t における目標確率範囲の上限値及び下限値を算出するように構成されていてもよい。ここで、目標確率範囲は、当該目標確率範囲に亘って、上記確率密度関数 $f(u, t)$ を積分した値を、予め設定された目標確率値とする、通信スループットの範囲である、また、目標確率値は、目標となる確率の値である。

[0034] 更に、通信スループット予測部１０４は、算出された、目標確率範囲の上限値及び下限値の少なくとも１つに基づいて、データの伝送が完了するまでに要する時間を推定するように構成されていてもよい。

[0035] また、通信スループット予測部１０４は、算出された、目標確率範囲の上限値及び下限値の少なくとも１つに基づいて、第１の時点以降の期間において伝送可能なデータの量を推定するように構成されていてもよい。

[0036] このように、通信スループット予測部１０４は、ドリフト算出部１０２により算出されたドリフト μ と、分散算出部１０３により算出された分散 σ^2 と

、数式 5 に示した確率密度関数 $f(u, t)$ と、に基づいて、将来の時刻 t における通信スループット u を確率的に予測している、とすることができる。

[0037] ここで、数式 5 の導出方法について説明する。本例では、数式 5 は、通信スループットが、ドリフトを有するブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出される。通信スループットが、ドリフトを有するブラウン運動を行うように変化することは、通信スループットを確率変数とした確率過程 W が、一般化されたウィーナー過程であることに対応している。

[0038] 確率過程 $B(t)$ が、分散が σ^2 であるウィーナー過程（即ち、ブラウン運動）である場合、下記の（１）～（３）の条件を満足する。

（１） $B(t)$ は、独立増分である

（２）任意の $s, t > 0$ に対して、 $B(s+t) - B(s)$ は、 $N(0, \sigma^2 t)$ に従う

（３） $B(0) = 0$ 、且つ、 $B(t)$ は、 $t = 0$ で連続である

[0039] ここで、 $N(\mu, \sigma^2)$ は、期待値が μ であり、且つ、分散が σ^2 である正規分布を表す。また、 $B(t)$ が独立増分であることは、 $0 \leq s \leq t \leq s' \leq t'$ である場合、 $B(t) - B(s)$ と $B(t') - B(s')$ とが独立な確率変数となることを意味している。

[0040] 更に、確率過程 $W(t)$ が一般化されたウィーナー過程（即ち、ドリフトを持つブラウン運動）である場合、 $W(t)$ は、上記 $B(t)$ を用いて、数式 6 に示したように表される。

[数6]

$$W(t) = \mu t + \sigma B(t)$$

[0041] 加えて、一般化されたウィーナー過程 $W(t)$ の t [sec] 後における確率変数 x に対する確率密度関数 $f_w(x)$ は、数式 7 に示したように表される。

[数7]

$$f_w(x) = N(\mu t, \sigma^2 t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 t}} \exp \left\{ -\frac{(x - \mu t)^2}{2\sigma^2 t} \right\}$$

[0042] 従って、通信スループット u が一般化されたウィーナー過程に従って変化する場合、現時点の時刻 t を 0 [sec] とし、現時点（即ち、 $t = 0$ [sec]）における通信スループット u を $u(0) = u_0$ とおくと、将来の時刻 t [sec] における通信スループット u を確率変数とした確率密度関数 $f(u, t)$ は、数式 5 に示したように表される。このようにして、数式 5 は導出される。

[0043] 図 2 は、数式 5 に示した確率密度関数 $f(u, t)$ に従った通信スループットの変動の例を示したグラフである。現時点（ $t = 0$ ）から、100 [sec] 後までの通信スループットは、複数の実線により表されている。この通信スループットは、 $\mu = 5$ 、 $\sigma = 50$ 、且つ、 $u_0 = 1144$ [kbps] である場合において、確率密度関数 $f(u, t)$ に基づくモンテカルロ法によるシミュレーションを、複数回、行うことにより取得された値である。

[0044] ところで、数式 5 に示したように、通信スループット u の確率密度関数 $f(u, t)$ の分散は、時刻 t に正比例して変化する。即ち、確率密度関数 $f(u, t)$ の標準偏差は、時刻 t の平方根 $t^{1/2}$ に正比例して変化する。図 2 の一点鎖線は、時刻 t の平方根 $t^{1/2}$ に正比例して変化する値を表す曲線である。

[0045] 従って、図 2 において、シミュレーションにより取得された通信スループットの変動の幅（または、ばらつき）は、一点鎖線の範囲内にあるため、時刻 t の平方根 $t^{1/2}$ に正比例して変化していることが分かる。

[0046] 図 3 は、数式 5 に示した確率密度関数 $f(u, t)$ に基づいて算出された標準偏差と、実際の通信網において測定された通信スループットに基づいて算出された標準偏差と、を比較したグラフである。破線は、実際の通信網において測定された通信スループットに基づいて算出された標準偏差である。

また、実線は、数式 5 に示した確率密度関数 $f(u, t)$ に基づいて算出された（即ち、時間 t の平方根 $t^{1/2}$ に正比例して変化する）標準偏差である。

[0047] ここで、測定された通信スループットに基づいて標準偏差を算出する方法について、より具体的に説明する。先ず、予め設定された時間 ΔT が経過する毎に、実際の通信スループットを測定する。

[0048] 通信スループットが測定された時刻 t_0 において、過去に測定された通信スループットに基づいて、ドリフト $\mu(t_0)$ 、及び、標準偏差 $\sigma(t_0)$ を算出する。その後、時刻 $t_1 (> t_0)$ において測定された通信スループット $u(t_1)$ と、時刻 t_0 において測定された通信スループット $u(t_0)$ と、数式 8 と、に基づいて、予測時間 $T (= t_1 - t_0)$ に対する、正規化された通信スループット v を算出する。

[数8]

$$v = \frac{u(t_1) - u(t_0) - \mu(t_0)T}{\sigma(t_0)}$$

[0049] このような処理を、 ΔT が経過する毎に、且つ、種々の予測時間 T に対して、実行する。そして、各予測時間 T に対して、正規化された通信スループット v のヒストグラム（頻度分布）を取得する。そして、各予測時刻 T に対して、取得されたヒストグラムに基づいて上記標準偏差を算出する。

[0050] 図 3 において、数式 5 に示した確率密度関数 $f(u, t)$ に基づいて算出された標準偏差は、実際の通信網において測定された通信スループットに基づいて算出された標準偏差に十分に近い値を有している。即ち、通信スループット予測装置 100 により特定される確率密度関数は、実際の通信網における通信スループットを高い精度にて表している、とすることができる。

[0051] 以上、説明したように、本発明の第 1 実施形態に係る通信スループット予測装置 100 によれば、通信スループットの推定に関する精度を高めることができる。具体的には、通信スループット予測装置 100 によれば、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精

度にて、通信スループット（例えば、目標確率範囲の上限値及び下限値）を推定することができる。

[0052] なお、第1実施形態の変形例に係る通信スループット予測装置100は、数式5に示した確率密度関数 $f(u, t)$ に代えて、通信スループットがブラウン運動（即ち、ドリフトを有しないブラウン運動）を行うように変化することを仮定することにより導出された確率密度関数を用いるように構成されていてもよい。なお、通信スループットが、ドリフトを有しないブラウン運動を行うように変化することは、通信スループットを確率変数とした確率過程 W が、ウィーナー過程であることに対応している。

[0053] この場合、この変形例に係る通信スループット予測装置100は、第1実施形態に係る説明において、 $\mu = 0$ とすることにより、説明される。また、この場合、通信スループット予測装置100の機能は、ドリフト算出部102を含まないことが好適である。

[0054] <第2実施形態>

次に、本発明の第2実施形態に係る配信装置について説明する。第2実施形態に係る配信装置は、上記第1実施形態に係る通信スループット予測装置100に対して、コンテンツを配信する点、及び、関数特定パラメータに基づいて、配信するコンテンツの符号化レートを決定する点において相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

[0055] 図4に示したように、第2実施形態に係る配信装置（パラメータ推定装置）200は、コンテンツを表すデータを送信（配信）する装置である。配信装置200は、情報処理装置である。配信装置200は、図示しない中央処理装置（CPU）、及び、記憶装置（メモリ及びHDD）を備える。配信装置200は、記憶装置に記憶されているプログラムをCPUが実行することにより、後述する機能を実現するように構成されている。

[0056] （機能）

図4は、上記のように構成された配信装置200の機能を表すブロック図である。配信装置200の機能は、通信スループット測定部（通信スループ

ット取得手段) 201 と、ドリフト算出部 202 と、分散算出部 203 と、レート制御部 (制御パラメータ決定手段) 204 と、コンテンツ蓄積部 205 と、データ送信部 206 と、を含む。なお、ドリフト算出部 202、及び、分散算出部 203 は、関数特定パラメータ推定手段を構成している。

[0057] 通信スループット測定部 201、ドリフト算出部 202、及び、分散算出部 203 は、第 1 実施形態に係る、通信スループット測定部 101、ドリフト算出部 102、及び、分散算出部 103 とそれぞれ同じ機能を有する。なお、通信スループット測定部 201 は、後述するデータ送信部 206 によるデータの送信における通信スループットを測定する。

[0058] レート制御部 204 は、ドリフト算出部 202 により算出されたドリフト μ と、分散算出部 203 により算出された分散 σ^2 と、数式 9 と、数式 10 と、に基づいて、将来の時刻 t において送信されるデータの符号化レート r^* を算出 (決定) する。本例では、符号化レートは、データを送信するために用いられる制御パラメータを構成している。

[0059] 具体的には、レート制御部 204 は、数式 9 に示した残余再生時間 $T_p(t)$ を常に 0 より大きな値とするという制約条件の下で、数式 10 に示した評価関数 J の値を最小にする符号レート r^* を算出する。

[数9]

$$T_p(t) = T_p(0) + \int_0^t \frac{1}{r} (u_0 + \mu\tau - \alpha\sigma\sqrt{\tau}) d\tau - pt$$

[数10]

$$J = \int_0^t \left\{ a_1 \frac{1}{r^2} + a_2 (r_{ave} - r)^2 \right\} dt$$

[0060] ここで、残余再生時間 T_p [sec] は、クライアント装置の記憶装置に記憶されているデータのうちの未だ再生していない部分に基づいてコンテンツを再生可能な時間である。ここで、クライアント装置は、ストリーミング方式に従って、配信装置 200 からコンテンツを表すデータを受信しながら、

受信したデータを記憶装置に記憶させ且つ記憶されているデータに基づいてコンテンツを再生するように構成される。

[0061] また、 p [（無次元）] は、ユーザからの指示に応じて設定された再生レートである。再生レートは、単位時間あたりに再生されるコンテンツの再生時間である。換言すると、再生レートは、コンテンツの再生速度を等速再生に対応する再生速度にて除した値である。また、 r [bps] は、配信装置 200 により送信されるデータの符号化レートである。

[0062] α は、目標となる確率の値である目標確率値に応じて予め設定された係数である。係数 α の詳細については、後述する。また、 a_1 及び a_2 のそれぞれは、予め設定された係数である。係数 a_1 及び係数 a_2 の詳細については、後述する。また、 r_{ave} は、現時点までに配信装置 200 が送信したデータの符号化レートを平均した値である。

[0063] クライアント装置におけるコンテンツの再生を停止させないためには、残余再生時間 $T_p(t)$ が 0 よりも大きい状態を常に維持する必要がある。従って、上述したように、レート制御部 204 は、数式 9 に示した残余再生時間 $T_p(t)$ を常に 0 より大きな値とするという制約条件の下で、符号レート r^* を算出する。

[0064] 次に、数式 9 の導出方法について説明する。

ところで、将来の通信スループット u が取り得る値の範囲は、確率密度関数 $f(u, t)$ により表されるように（図 2 に示したように）、時刻 t の平方根 $t^{1/2}$ に正比例して拡散する。

[0065] 従って、目標確率範囲の下限值 $u_{inf}(t)$ は、数式 11 に示したように求められる。目標確率範囲は、通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、確率密度関数 $f(u, t)$ を積分した値を目標確率値とする範囲である。換言すると、目標確率値は、将来の時刻 t における実際の通信スループットが、目標確率範囲の下限值 $u_{inf}(t)$ 以上である確率である。

[数11]

$$u_{inf}(t) = u_0 + \mu t - \alpha \sigma \sqrt{t}$$

[0066] 本例では、目標確率値は、99.87%に設定される。この場合、目標確率範囲は、 $-3\sigma \leq u \leq +\infty$ である範囲である。従って、係数 α は、3に設定される。なお、目標確率値が、84.13%に設定された場合、目標確率範囲は、 $-\sigma \leq u \leq +\infty$ である範囲である。従って、この場合、係数 α は、1に設定される。

[0067] また、残余再生時間 T_p に関する微分方程式は、数式12に示したように表される。

[数12]

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{u}{r} - p$$

[0068] 数式12における通信スループット u に、数式11に示した、目標確率範囲の下限值 $u_{inf}(t)$ を代入するとともに、両辺を時刻0～ t の範囲で積分することにより、数式9は導出される。

[0069] このように、数式9は、通信スループットが、目標確率範囲の下限值であることを仮定することにより導出される。即ち、レート制御部204は、将来の通信スループットが、目標確率範囲の下限值であることを仮定して、符号化レートを r^* を算出する、とすることができる。従って、レート制御部204は、より安全(=フェールセーフ)な(即ち、残余再生時間が0以下になりにくい)符号化レートを算出するように構成されている、とすることができる。

[0070] 次に、数式10の導出方法について説明する。

ところで、符号化レートが高いデータほど、コンテンツの再生品質(コンテンツが動画である場合には、画質)が高くなる。また、クライアント装置が受信するデータの符号化レートの変動が小さくなるほど、コンテンツの再生品質の変動(コンテンツが動画である場合には、画質のちらつき)が抑制される。その結果、ユーザが感じるコンテンツの再生品質が高くなる。

[0071] 即ち、符号化レート r が高くなるほど小さくなるとともに、符号化レート r の変動が小さくなるほど小さくなる値を有するように、評価関数 J を定め

ることが好適であると考えられる。

[0072] そこで、本例では、符号化レート r の 2 乗に反比例する第 1 項と、平均値 r_{ave} と符号化レート r との差の 2 乗に比例する第 2 項と、の和を、時刻 0 から t に亘って積分した関数を、評価関数 J として定める。

[0073] 第 1 項の比例係数 a_1 、及び、第 2 項の比例係数 a_2 のそれぞれは、正の値である。第 1 項は、符号化レート r が高くなるほど小さくなる値を有する。また、第 2 項は、符号化レート r の変動が小さくなるほど小さくなる値を有する。

このようにして、数式 10 は導出される。

[0074] なお、レート制御部 204 は、予め設定された更新周期が経過する毎に、符号化レート r^* を算出し直す。

[0075] コンテンツ蓄積部 205 は、1 つのコンテンツ（例えば、映像又は音声等を表す情報）を、複数の異なる符号化レートにて符号化したデータを予め記憶（蓄積）する。

[0076] データ送信部 206 は、コンテンツ蓄積部 205 に記憶されているデータのうちの、レート制御部 204 により算出された最新の符号化レート r^* にて符号化されたデータを取得し、取得されたデータを、配信装置 200 と通信可能に接続されたクライアント装置へ送信（配信）する。

[0077] 本例では、データ送信部 206 は、レート制御部 204 により算出された符号化レート r^* にて符号化されたデータがコンテンツ蓄積部 205 に記憶されていない場合、当該符号化レート r^* を超えない範囲において最大の符号化レートにて符号化されたデータを取得する。

[0078] なお、データ送信部 206 は、レート制御部 204 により算出された符号化レート r^* にて符号化されたデータがコンテンツ蓄積部 205 に記憶されていない場合、当該符号化レート r^* に最も近い符号化レートにて符号化されたデータを取得するように構成されていてもよい。

[0079] 以上、説明したように、本発明の第 2 実施形態に係る配信装置 200 によれば、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づ

いて、高い精度にて、符号化レートを決定することができる。

[0080] 更に、本発明の第2実施形態に係る配信装置200は、通信スループットが、目標確率範囲の下限値であることを仮定することにより制御パラメータを決定する。

[0081] これによれば、決定された符号化レートに対して十分に高い通信スループットにてデータが伝送される確率を十分に高めることができる。この結果、配信装置200（サーバ装置）がコンテンツを表すデータをストリーミング方式に従ってクライアント装置へ配信する場合において、クライアント装置におけるコンテンツの再生品質が過度に低下する確率を十分に低くすることができる。

[0082] なお、第2実施形態に係る配信装置200は、制御パラメータとして符号化レートを決定するように構成されていたが、符号化レート以外の制御パラメータを決定するように構成されていてもよい。

[0083] また、第2実施形態に係る配信装置200は、通信スループットが、目標確率範囲の下限値であることを仮定することにより制御パラメータを決定するように構成されていたが、通信スループットが、目標確率範囲の上限値であることを仮定することにより制御パラメータを決定するように構成されていてもよい。

[0084] <第3実施形態>

次に、本発明の第3実施形態に係る配信システムについて説明する。第3実施形態に係る配信システムは、上記第2実施形態に係る配信装置200に対して、クライアント装置が符号化レートを決定する点において相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

[0085] 図5に示したように、第3実施形態に係る配信システム1は、コンテンツを再生するクライアント装置300と、コンテンツを表すデータを配信するサーバ装置400と、を備える。クライアント装置300とサーバ装置400とは、通信網（本例では、IP（Internet Protocol）網）を介して互いに通信可能に接続されている。

[0086] クライアント装置300及びサーバ装置400のそれぞれは、情報処理装置である。クライアント装置300及びサーバ装置400のそれぞれは、図示しない中央処理装置（CPU）、及び、記憶装置（メモリ及びHDD）を備える。クライアント装置300及びサーバ装置400のそれぞれは、記憶装置に記憶されているプログラムをCPUが実行することにより、後述する機能を実現するように構成されている。

[0087] （機能）

図5は、上記のように構成された配信システム1の機能を表すブロック図である。

クライアント装置300の機能は、データ受信部301と、コンテンツ再生部302と、通信スループット測定部（通信スループット取得手段）303と、ドリフト算出部304と、分散算出部305と、レート制御部（制御パラメータ決定手段）306と、を含む。なお、ドリフト算出部304、及び、分散算出部305は、関数特定パラメータ推定手段を構成している。

[0088] データ受信部301は、サーバ装置400により送信（配信）された、コンテンツを表すデータを受信しながら、受信したデータを、クライアント装置300が備える記憶装置に記憶させる。

[0089] コンテンツ再生部302は、上記記憶装置に記憶されているデータに基づいてコンテンツを再生する。本例では、コンテンツ再生部302は、出力装置としてのディスプレイ及びスピーカを介して、コンテンツを再生する。

[0090] 通信スループット測定部303、ドリフト算出部304、及び、分散算出部305は、第1実施形態に係る、通信スループット測定部101、ドリフト算出部102、及び、分散算出部103とそれぞれ同じ機能を有する。なお、通信スループット測定部303は、データ受信部301によるデータの受信における通信スループットを測定する。

[0091] レート制御部306は、第2実施形態に係るレート制御部204と同じ機能を有する。更に、レート制御部306は、算出された符号化レート r^* をサーバ装置400へ送信する。

[0092] サーバ装置 400 の機能は、コンテンツ蓄積部 401 と、データ送信部 402 と、を含む。コンテンツ蓄積部 401 は、第 2 実施形態に係るコンテンツ蓄積部 205 と同じ機能を有する。

[0093] データ送信部 402 は、クライアント装置 300 により送信された符号化レートを受信する。データ送信部 402 は、コンテンツ蓄積部 401 に記憶されているデータのうちの、受信された最新の符号化レート r^* にて符号化されたデータを取得し、取得されたデータをクライアント装置 300 へ送信する。

[0094] 本例では、データ送信部 402 は、受信された符号化レート r^* にて符号化されたデータがコンテンツ蓄積部 401 に記憶されていない場合、当該符号化レート r^* を超えない範囲において最大の符号化レートにて符号化されたデータを取得する。

[0095] 以上、説明したように、本発明の第 3 実施形態に係る配信システム 1 によれば、第 2 実施形態に係る配信装置 200 と同様の作用及び効果を奏することができる。

[0096] <第 4 実施形態>

次に、本発明の第 4 実施形態に係る通信スループット予測装置について説明する。第 4 実施形態に係る通信スループット予測装置は、上記第 1 実施形態に係る通信スループット予測装置 100 に対して、通信スループットが幾何ブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された確率密度関数を用いる点において相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

[0097] 図 6 に示したように、通信スループット予測装置 500 は、第 1 実施形態に係る通信スループット予測装置 100 と同様の構成を有する情報処理装置である。

[0098] (機能)

図 6 は、上記のように構成された通信スループット予測装置 500 の機能を表すブロック図である。通信スループット予測装置 500 の機能は、通信

スループット測定部（通信スループット取得手段）501と、関数特定パラメータ推定部（関数特定パラメータ推定手段）502と、通信スループット予測部（通信状態推定手段）503と、を含む。

[0099] 通信スループット測定部501は、第1実施形態に係る通信スループット測定部101と同じ機能を有する。

[0100] 関数特定パラメータ推定部502は、通信スループット測定部501により測定された通信スループット u に基づいて、将来における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する。

[0101] 本例では、通信スループット予測装置500は、数式13に示したように、通信スループットが、幾何ブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された確率密度関数 $f(u, t)$ を用いる。

[数13]

$$f(u, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\theta^2 t}} \exp \left\{ -\frac{1}{2\theta^2 t} \left(\log \frac{u}{u_0} - \left(\kappa - \frac{\theta^2}{2} \right) t \right)^2 \right\}$$

[0102] ここで、第1のパラメータ κ は、「percentage drift」とも呼ばれる。第1のパラメータ κ は、現時刻における通信スループット u に対する増加比率の平均を表す。また、第2のパラメータ θ は、「percentage volatility」とも呼ばれる。第1のパラメータ κ 、及び、第2のパラメータ θ は、関数特定パラメータを構成している。

[0103] 具体的には、関数特定パラメータ推定部502は、数式14と、通信スループット測定部501により測定された通信スループット u と、に基づいて、変換後通信スループット u' を算出する。

[数14]

$$u' = \log \frac{u}{u_0}$$

[0104] そして、関数特定パラメータ推定部502は、数式3における通信スルー

プット u に、算出された変換後通信スループット u' を代入することにより、変換後通信スループット u' に対するドリフト μ を算出する。

[0105] 加えて、関数特定パラメータ推定部 502 は、数式 4 における通信スループット u に、算出された変換後通信スループット u' を代入することにより、変換後通信スループット u' に対する分散 σ^2 を算出する。

[0106] そして、関数特定パラメータ推定部 502 は、算出されたドリフト μ と、算出された分散 σ^2 と、数式 15 と、数式 16 と、に基づいて（即ち、数式 15 及び数式 16 からなる連立方程式を解くことにより）、第 1 のパラメータ κ 、及び、第 2 のパラメータ θ を算出（推定）する。

[数15]

$$\kappa - \frac{\theta^2}{2} = \mu$$

[数16]

$$\theta = \sigma$$

[0107] 通信スループット予測部 503 は、関数特定パラメータ推定部 502 により算出された、第 1 のパラメータ κ 、及び、第 2 のパラメータ θ と、数式 13 に示した確率密度関数 $f(u, t)$ と、に基づいて、将来の時刻 t における実際の通信スループットが目標範囲内にある確率を算出する。

[0108] なお、通信スループット予測部 503 は、将来の時刻 t における目標確率範囲の上限値及び下限値を算出するように構成されていてもよい。更に、通信スループット予測部 503 は、算出された、目標確率範囲の上限値及び下限値の少なくとも 1 つに基づいて、データの伝送が完了するまでに要する時間を推定するように構成されていてもよい。

[0109] また、通信スループット予測部 503 は、算出された、目標確率範囲の上限値及び下限値の少なくとも 1 つに基づいて、第 1 の時点以降の期間において伝送可能なデータの量を推定するように構成されていてもよい。

[0110] また、通信スループット予測部 503 は、関数特定パラメータ推定部 50

2により算出された第1のパラメータ κ と、数式17と、に基づいて、将来の時刻 t における通信スループットの平均値（期待値） $E[u(t)]$ を算出するように構成されていてもよい。

[数17]

$$E[u(t)] = u_0 \exp(\kappa t)$$

[0111] また、通信スループット予測部503は、関数特定パラメータ推定部502により算出された、第1のパラメータ κ 、及び、第2のパラメータ θ と、数式18と、に基づいて、将来の時刻 t における通信スループットの標準偏差 $V[u(t)]$ を算出するように構成されていてもよい。

[数18]

$$V[u(t)] = u_0^2 \exp(2\kappa t) \{ \exp(\theta^2 t) - 1 \}$$

[0112] このように、通信スループット予測部503は、関数特定パラメータ推定部502により算出された、第1のパラメータ κ 、及び、第2のパラメータ θ と、数式13に示した確率密度関数 $f(u, t)$ と、に基づいて、将来の時刻 t における通信スループット u を確率的に予測している、とすることができる。

[0113] ここで、数式13の導出方法について説明する。上述したように、数式13は、通信スループットが、幾何ブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出される。従って、通信スループット u に対する確率微分方程式は、数式19に示したように表される。ここで、 W_t は、ウィーナー過程を表す。

[数19]

$$du = \kappa u \cdot dt + \theta u \cdot dW_t$$

[0114] 数式19を解くことにより、通信スループット u を表す数式20が導出される。更に、数式20に基づいて、将来における通信スループット u を確率

変数とした確率密度関数を表す数式 13 が導出される。

[数20]

$$u = u_0 \exp \left\{ \left(\kappa - \frac{\theta^2}{2} \right) l + \theta W_t \right\}$$

[0115] 以上、説明したように、本発明の第4実施形態に係る通信スループット予測装置500によれば、第1実施形態に係る通信スループット予測装置100と同様の作用及び効果を奏することができる。

[0116] なお、第2実施形態に係る配信装置200、及び、第3実施形態に係る配信システム1のそれぞれも、通信スループットが幾何ブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された確率密度関数を用いるように構成されていてもよい。

[0117] <第5実施形態>

次に、本発明の第5実施形態に係るパラメータ推定装置について図7を参照しながら説明する。

第5実施形態に係るパラメータ推定装置600は、

単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得する通信スループット取得部（通信スループット取得手段）601と、

上記取得された通信スループットに基づいて、将来における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する関数特定パラメータ推定部（関数特定パラメータ推定手段）602と、

を備える。

[0118] これによれば、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精度にて、通信スループットを推定することができる。また、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精度にて、符号化レート等の制御パラメータを決定することもできる。

[0119] <第6実施形態>

次に、本発明の第6実施形態に係る配信システムについて説明する。第6実施形態に係る配信システムは、上記第2実施形態に係る配信装置200に対して、関数特定パラメータに基づいて停止時間を決定する点において相違している。ここで、停止時間は、コンテンツを表すデータの送信を停止する時間である。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

[0120] ところで、サーバ装置が、コンテンツを表すデータを、ストリーミング方式に従ってクライアント装置へ送信している間に、クライアント装置のユーザがコンテンツの再生を中止した場合、既にクライアント装置が受信していたデータのうちの、未再生の部分は、使用されない。即ち、この部分は、サーバ装置からクライアント装置へ無駄に送信されたデータである。このような無駄に送信されたデータによって、通信負荷が無駄に大きくなってしまう虞がある。

[0121] そこで、第6実施形態に係る配信システムにおいて、サーバ装置は、コンテンツを表すデータをクライアント装置へ送信する送信処理と、所定の停止時間だけ当該データの送信を停止する停止処理と、を交互に繰り返し実行する。このとき、サーバ装置は、残余再生時間を目標残余再生時間に近づけるように停止時間を決定する。

[0122] ここで、残余再生時間は、クライアント装置により受信されたデータのうちの未だ再生されていない部分に基づいて、クライアント装置がコンテンツを再生可能な時間である。また、目標残余再生時間は、残余再生時間の目標値である。

これにより、無駄に多くのデータが、サーバ装置からクライアント装置へ送信されることを回避することができる。

[0123] 具体的に述べると、図8に示したように、第6実施形態に係る配信システム2は、コンテンツを再生するクライアント装置700と、コンテンツを表すデータを配信するサーバ装置（パラメータ推定装置）800と、を備える。クライアント装置700とサーバ装置800とは、通信網（本例では、1

P (Internet Protocol) 網) を介して互いに通信可能に接続されている。

[0124] クライアント装置 700 及びサーバ装置 800 のそれぞれは、情報処理装置である。クライアント装置 700 及びサーバ装置 800 のそれぞれは、図示しない中央処理装置 (CPU)、及び、記憶装置 (メモリ及び HDD) を備える。クライアント装置 700 及びサーバ装置 800 のそれぞれは、記憶装置に記憶されているプログラムを CPU が実行することにより、後述する機能を実現するように構成されている。

[0125] (機能)

図 8 は、上記のように構成された配信システム 2 の機能を表すブロック図である。

クライアント装置 700 の機能は、データ受信部 701 と、バッファ部 702 と、コンテンツ再生部 703 と、を含む。

[0126] データ受信部 701 は、サーバ装置 800 により送信 (配信) された、コンテンツを表すデータを受信しながら、受信したデータをバッファ部 702 に記憶させる。

[0127] コンテンツ再生部 703 は、バッファ部 702 に記憶されているデータに基づいて、当該データが表すコンテンツを再生する。本例では、コンテンツ再生部 703 は、出力装置としてのディスプレイ及びスピーカを介して、コンテンツを再生する。

[0128] サーバ装置 800 の機能は、通信スループット測定部 (通信スループット取得手段) 801 と、ドリフト算出部 802 と、分散算出部 803 と、停止時間決定部 (制御パラメータ決定手段) 804 と、コンテンツ蓄積部 805 と、データ送信部 806 と、を含む。なお、ドリフト算出部 802、及び、分散算出部 803 は、関数特定パラメータ推定手段を構成している。また、コンテンツ蓄積部 805 は、第 2 実施形態に係るコンテンツ蓄積部 205 と同じ機能を有する。

[0129] 通信スループット測定部 801、ドリフト算出部 802、及び、分散算出

部 803 は、第 1 実施形態に係る、通信スループット測定部 101、ドリフト算出部 102、及び、分散算出部 103 とそれぞれ同じ機能を有する。なお、通信スループット測定部 801 は、後述するデータ送信部 806 によるデータの送信における通信スループットを測定する。

[0130] 停止時間決定部 804 は、ドリフト算出部 802 により算出されたドリフト μ と、分散算出部 803 により算出された分散 σ^2 と、に基づいて、停止時間を算出（決定）する。本例では、停止時間は、データを送信するために用いられる制御パラメータを構成している。なお、停止時間決定部 804 の詳細な機能については後述する。

[0131] データ送信部 806 は、ストリーミング方式に従って、コンテンツ蓄積部 805 に記憶されているデータをクライアント装置 700 へ送信する送信処理と、停止時間決定部 804 により決定された停止時間だけ当該データの送信を停止する停止処理と、を交互に繰り返し実行する。

[0132] データ送信部 806 は、1 回の送信処理において、予め設定されたデータ量だけデータを送信する。即ち、データ送信部 806 が 1 回の送信処理において送信するデータは、コンテンツを表すデータを、上記データ量毎に分割することにより生成された複数の部分データの 1 つである。

[0133] ここで、停止時間決定部 804 の詳細な機能について説明する。

停止時間決定部 804 は、データ送信部 806 が送信処理の実行を終了する毎に、送信処理の実行を終了する時点にて、次にデータ送信部 806 が実行する停止処理における停止時間を決定する。

[0134] 次に、停止時間の決定方法の概要について説明する。

停止時間決定部 804 は、残余再生時間を、予め設定された目標残余再生時間以上に維持する範囲において、当該残余再生時間を当該目標残余再生時間に近づけるように、停止時間を決定する。

[0135] ここで、残余再生時間は、クライアント装置 700 のバッファ部 702 に記憶されているデータ（即ち、クライアント装置 700 により受信されたデータ）のうちの未だ再生されていない部分に基づいて、クライアント装置 7

00がコンテンツを再生可能な時間である。また、目標残余再生時間は、残余再生時間の目標値（例えば、10秒、又は、30秒等）である。

[0136] 本例では、停止時間決定部804は、将来の通信スループットが、目標確率範囲の下限值であることを仮定することにより停止時間を決定する。

[0137] 次に、停止時間の決定方法の詳細について説明する。

ここでは、コンテンツを表すデータが、 n 個の部分データ（セグメント） v_i （ $i = 1, 2, \dots, n$ ）に分割される場合を想定する。各部分データ v_i のデータサイズ（データ量）を s_i と置く。また、各部分データ v_i に基づいてコンテンツを再生可能な時間である再生時間を τ_i と置く。

[0138] いま、 $i - 1$ 番目の部分データ v_{i-1} を送信する送信処理の実行をデータ送信部806が終了した時点にて、停止時間決定部804が、 i 番目の部分データ v_i を送信する送信処理の直前に実行される停止処理における停止時間 a_i を決定する場合を想定する。ここで、 $i - 1$ 番目の部分データ v_{i-1} を送信する送信処理の実行をデータ送信部806が終了した時点 t を0と置く。

[0139] 先ず、停止時間決定部804は、数式21が成立するか否かを判定する。なお、数式21が成立することは、時点 t の、0（現時点）から送信終了上限時点 T_{sup} までの範囲（即ち、現時点から送信終了上限時点 T_{sup} だけ後の時点までの期間）内の期間において、 i 番目の部分データ v_i の送信を完了可能であることを表す。

[数21]

$$\int_0^{T_{sup}} u_{inf}(t) dt \geq s_i$$

[0140] ここで、送信終了上限時点 T_{sup} は、数式22により表される。ここで、通信スループット境界時点 t_c は、通信スループットの、目標確率範囲の下限值 $u_{inf}(t)$ が0となる時点である。また、推定精度上限時点 l は、通信スループットの推定精度が比較的高く維持される上限の時点である。推定精度上限時点 l は、予め設定された値である。推定精度上限時点 l は、10秒～数

10秒の範囲内の値に設定されることが好適である。

[数22]

$$T_{\text{sup}} = \min \{t_c, I\}$$

[0141] なお、通信スループット境界時点 t_c は、目標確率範囲の下限值 $u_{\text{inf}}(t)$ と0とが等しいことを表す、数式23を解くことにより求められる。

[数23]

$$u_0 + \mu t - \alpha \sigma \sqrt{t} = 0$$

[0142] ドリフト算出部802により算出されたドリフト μ が0である場合、数式23から数式24が導出される。従って、停止時間決定部804は、数式25に基づいて通信スループット境界時点 t_c を算出する。

[数24]

$$\alpha^2 \sigma^2 t - u_0^2 = 0$$

[数25]

$$t_c = \left(\frac{u_0}{\alpha \sigma} \right)^2$$

[0143] ドリフト算出部802により算出されたドリフト μ が0でない場合、数式23から数式26が導出される。更に、数式26から、時点 t に関する2次方程式としての数式27が導出される。

[数26]

$$(u_0 + \mu t)^2 = (\alpha \sigma \sqrt{t})^2$$

[数27]

$$\mu^2 t^2 + (2\mu u_0 - \alpha^2 \sigma^2) t + u_0^2 = 0$$

[0144] 数式 27 の、実数の範囲における解が存在するか否かを表す判別式は、数式 28 に示したように表される。

[数28]

$$D = \alpha^2 \sigma^2 (\alpha^2 \sigma^2 - 4\mu u_0)$$

[0145] 数式 28 における値 D が負である場合、数式 27 の、実数の範囲における解が存在しない。従って、この場合、停止時間決定部 804 は、数式 29 に示したように、通信スループット境界時点 t_c を ∞ に設定する。

[数29]

$$t_c = \infty \quad \text{where } D < 0$$

[0146] 一方、数式 28 における値 D が 0 以上である場合、数式 27 の、実数の範囲における解が存在する。従って、この場合、停止時間決定部 804 は、数式 30 に基づいて、通信スループット境界時点 t_c を算出する。

[数30]

$$t_c = \frac{\alpha^2 \sigma^2 - 2\mu u_0 - \alpha \sigma \sqrt{\alpha^2 \sigma^2 - 4\mu u_0}}{2\mu^2} \quad \text{where } D \geq 0$$

[0147] 停止時間決定部 804 は、数式 21 が成立しないと判定された場合、停止時間 a_i として 0 を決定する。この場合、現時点から送信終了上限時点 T_{sup} までの期間の全体に亘ってデータを送信しても、 i 番目の部分データ v_i の送信を完了することができない。従って、現時点から直ちに、 i 番目の部分データ v_i の送信を開始することが好適である。これにより、クライアント装置 700 における残余再生時間が過度に短くなることを回避することができる。

[0148] 一方、停止時間決定部 804 は、数式 21 が成立すると判定された場合、最小残余再生時間 $T_{min}(0)$ 、及び、最小残余再生時間 $T_{min}(T_{sup})$ のそれぞれを算出する。ここで、最小残余再生時間 $T_{min}(a_i)$ は、現時点から送信終了時点 b_i までの期間における残余再生時間 $T_p(t)$ の最小値であ

る。送信終了時点 b_i は、 i 番目の部分データ v_i の送信を終了（完了）する時点である。最小残余再生時間 $T_{\min}(a_i)$ は、数式 31 により表される。

[数31]

$$T_{\min}(a_i) = \min_{t \in [0, b_i]} T_p(t)$$

[0149] ここで、時点 t における残余再生時間 $T_p(t)$ は、数式 32 及び数式 33 により表される。

[数32]

$$T_p(t) = T_p(0) - t \quad t \in [0, a_i)$$

[数33]

$$T_p(t) = T_p(0) - t + \frac{\int_{a_i}^t u_{\inf}(\xi) d\xi}{s_i} \tau_i \quad t \in [a_i, b_i]$$

[0150] また、送信終了時点 b_i は、数式 34 により求められる。数式 34 は、数式 35 から導出される。なお、停止時間 a_i は、現時点から停止時間後の時点にて、 i 番目の部分データ v_i の送信が開始するため、送信開始時点とも呼ばれる。

[数34]

$$u_0(b_i - a_i) + \frac{1}{2}\mu(b_i^2 - a_i^2) - \frac{3}{2}\alpha\sigma\left(b_i^{\frac{3}{2}} - a_i^{\frac{3}{2}}\right) = s_i$$

[数35]

$$\int_{a_i}^{b_i} u_{\inf}(t) dt = s_i$$

[0151] ところで、最小残余再生時間 $T_{\min}(a_i)$ は、停止時間 a_i の増加に伴って単調に減少する。従って、最小残余再生時間 $T_{\min}(0)$ が目標残余再生時間 T_r よりも小さい場合、停止時間決定部 804 は、停止時間 a_i として 0 を決

定する。

- [0152] また、最小残余再生時間 $T_{min}(0)$ が目標残余再生時間 T_r 以上であり、且つ、最小残余再生時間 $T_{min}(T_{sup})$ が目標残余再生時間 T_r よりも小さい場合、停止時間決定部 804 は、最小残余再生時間 $T_{min}(a_i)$ を目標残余再生時間 T_r と一致させるように、停止時間 a_i を決定する。
- [0153] 具体的には、停止時間決定部 804 は、現時点 ($t = 0$) から送信終了上限時点 ($t = T_{sup}$) までの範囲内の複数の異なる仮停止時間 c_i のそれぞれに対して、最小残余再生時間 $T_{min}(c_i)$ を算出し、目標残余再生時間 T_r と最も近い最小残余再生時間 $T_{min}(c_i)$ が算出される基となった仮停止時間 c_i を、停止時間 a_i として決定する。
- [0154] また、最小残余再生時間 $T_{min}(T_{sup})$ が目標残余再生時間 T_r よりも大きい場合、停止時間決定部 804 は、送信終了時点 b_i を送信終了上限時点 T_{sup} に設定する。更に、停止時間決定部 804 は、送信終了時点 $b_i (= T_{sup})$ と数式 34 とに基づいて停止時間 a_i を決定する。
- [0155] このようにして、停止時間決定部 804 は、残余再生時間 $T_p(t)$ を目標残余再生時間 T_r 以上に維持する範囲において、残余再生時間 $T_p(t)$ を目標残余再生時間 T_r に近づけるように、停止時間 a_i を決定している、とすることができる。
- [0156] 次に、本実施形態に係る配信システム 2 が奏する効果について説明する。
- 図 9 は、配信システム 2 における残余再生時間の変化を示したグラフである。図 9 において、破線は、通信スループットを表し、一点鎖線は、符号化レートを表し、実線は、残余再生時間を表す。
- [0157] ここでは、符号化レートが 750 kbps であるコンテンツを表すデータが送信される場合を想定している。更に、目標残余再生時間 T_r は、10 秒に設定されている。また、各部分データ v_i のデータサイズは、当該部分データ v_i に基づいてコンテンツを 10 秒だけ再生可能なサイズである。
- [0158] また、本例では、通信スループットは、図 9 に示したように、比較的大きく変動する。このような場合であっても、配信システム 2 によれば、残余再

生時間が0となることを回避するとともに、残余再生時間が過度に大きくなることを防止することができる。

[0159] 一方、図10は、比較例としての配信システム（比較用配信システム）における残余再生時間の変化を示したグラフである。この比較用配信システムは、配信システム2に対して、通信スループットが、将来に亘って、現時点の通信スループットと同じ値を有することを仮定することにより停止時間を決定する点において相違している。

[0160] 図10に示したように、この比較用配信システムによれば、残余再生時間が0となる場合が生じる。即ち、残余再生時間が過度に小さくなることにより、クライアント装置におけるコンテンツの再生品質が過度に低下する確率が相対的に高い。

[0161] 以上、説明したように、本発明の第6実施形態に係るサーバ装置800によれば、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精度にて、停止時間を決定することができる。

[0162] 更に、本発明の第6実施形態に係るサーバ装置800は、通信スループットが、目標確率範囲の下限值であることを仮定することにより制御パラメータとしての停止時間を決定する。

[0163] これによれば、決定された停止時間に対して十分に高い通信スループットにてデータが伝送される確率を十分に高めることができる。この結果、クライアント装置700におけるコンテンツの再生品質が過度に低下する確率を十分に低くすることができる。

[0164] 更に、本発明の第6実施形態に係るサーバ装置800は、残余再生時間を、目標残余再生時間以上に維持する範囲において、当該残余再生時間を当該目標残余再生時間に近づけるように、停止時間を決定する。

[0165] これによれば、残余再生時間が過度に小さくなることを回避することができる。この結果、クライアント装置700におけるコンテンツの再生品質が過度に低下することをより一層確実に回避することができる。

[0166] 次に、第6実施形態の変形例に係る配信システム2について説明する。こ

の変形例に係る配信システム 2 は、第 6 実施形態に係る配信システム 2 に対して、停止時間を決定する方法が簡略化されている点において相違している。従って、以下、かかる相違点を中心として説明する。

[0167] この変形例に係る停止時間決定部 804 は、 i 番目の部分データ v_i の送信を終了（完了）する時点である送信終了時点 b_i における残余再生時間 $T_p(b_i)$ を目標残余再生時間 T_r に近づけるように、停止時間 a_i を決定する。

[0168] ところで、送信終了時点 b_i における残余再生時間 $T_p(b_i)$ は、数式 33 から導出された数式 36 により求められる。

[数36]

$$T_p(b_i) = T_p(0) - b_i + \tau_i$$

[0169] ここで、残余再生時間 $T_p(t)$ が目標残余再生時間 T_r に一致する時点である目標一致時点を b_r と置くと、目標一致時点 b_r は、数式 36 から導出された数式 37 により表される。

[数37]

$$b_r = T_p(0) + \tau_i - T_r$$

[0170] 先ず、停止時間決定部 804 は、数式 37 に基づいて目標一致時点 b_r を算出する。

そして、目標一致時点 b_r が、0 から送信終了上限時点 T_{sup} までの範囲内の値である場合、停止時間決定部 804 は、送信終了時点 b_i として目標一致時点 b_r を決定する。

[0171] 一方、目標一致時点 b_r が、0 から送信終了上限時点 T_{sup} までの範囲内の値でない場合、停止時間決定部 804 は、送信終了時点 b_i として送信終了上限時点 T_{sup} を決定する。

[0172] そして、停止時間決定部 804 は、決定された送信終了時点 b_i と、数式 34 と、に基づいて停止時間 a_i を決定する。このとき、停止時間 a_i が、0 から送信終了時点 b_i までの範囲内の値でない場合、停止時間決定部 804 は、

停止時間 a_i を 0 に決定し直す。

[0173] このようにして、停止時間決定部 804 は、送信終了時点 b_i における残余再生時間 $T_p(b_i)$ を目標残余再生時間 T_r に近づけるように、停止時間 a_i を決定する。

[0174] この変形例に係る配信システム 2 によっても、第 6 実施形態に係る配信システム 2 と同様の作用及び効果を奏することができる。

[0175] 以上、上記実施形態を参照して本願発明を説明したが、本願発明は、上述した実施形態に限定されるものではない。本願発明の構成及び詳細に、本願発明の範囲内において当業者が理解し得る様々な変更をすることができる。

[0176] 例えば、上記各実施形態において、パラメータ推定装置は、第 1 の時点までに取得された通信スループットに基づいて、当該第 1 の時点よりも後の第 2 の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定するように構成されていた。ところで、上記各実施形態の変形例において、パラメータ推定装置は、ある期間において取得された通信スループットに基づいて、当該期間よりも前（過去）の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定するように構成されていてもよい。

[0177] なお、上記各実施形態においてパラメータ推定装置の各機能は、CPU がプログラム（ソフトウェア）を実行することにより実現されていたが、回路等のハードウェアにより実現されていてもよい。

[0178] また、上記各実施形態においてプログラムは、記憶装置に記憶されていたが、コンピュータが読み取り可能な記録媒体に記憶されていてもよい。例えば、記録媒体は、フレキシブルディスク、光ディスク、光磁気ディスク、及び、半導体メモリ等の可搬性を有する媒体である。

[0179] また、上記実施形態の他の変形例として、上述した実施形態及び変形例の任意の組み合わせが採用されてもよい。

[0180] <付記>

上記実施形態の一部又は全部は、以下の付記のように記載され得るが、以

下には限られない。

[0181] (付記 1)

単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得する通信スループット取得手段と、

第 1 の時点までに前記取得された通信スループットに基づいて、当該第 1 の時点よりも後の第 2 の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する関数特定パラメータ推定手段と、

を備えるパラメータ推定装置。

[0182] これによれば、通信スループットの推定に関する精度を高めることができる。従って、例えば、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精度にて、通信スループットを推定することができる。また、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精度にて、符号化レート等の制御パラメータを決定することもできる。

[0183] (付記 2)

付記 1 に記載のパラメータ推定装置であって、

前記特定された関数特定パラメータに基づいて、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する制御パラメータ決定手段を備えるパラメータ推定装置。

[0184] これによれば、高い精度にて、符号化レート等の制御パラメータを決定することができる。

[0185] (付記 3)

付記 2 に記載のパラメータ推定装置であって、

前記制御パラメータ決定手段は、前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の上限値又は下限値

であることを仮定することにより前記制御パラメータを決定するように構成されたパラメータ推定装置。

[0186] (付記4)

付記2又は付記3に記載のパラメータ推定装置であって、
前記制御パラメータは、前記送信されるデータの符号化レートであり、
前記制御パラメータ決定手段は、前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の下限値であることを仮定することにより前記符号化レートを決定するように構成されたパラメータ推定装置。

[0187] これによれば、決定された符号化レートに対して十分に高い通信スループットにてデータが伝送される確率を十分に高めることができる。この結果、例えば、サーバ装置がコンテンツを表すデータをストリーミング方式に従ってクライアント装置へ配信する場合において、クライアント装置におけるコンテンツの再生品質が過度に低下する確率を十分に低くすることができる。

[0188] (付記5)

付記2又は付記3に記載のパラメータ推定装置であって、
ストリーミング方式に従って、コンテンツを表す前記データをクライアント装置へ送信する送信処理と、所定の停止時間だけ当該データの送信を停止する停止処理と、を交互に繰り返し実行するように構成され、
前記制御パラメータは、前記停止時間であり、
前記制御パラメータ決定手段は、前記クライアント装置により受信された前記データのうちの未だ再生されていない部分に基づいて前記コンテンツを再生可能な時間である残余再生時間を、予め設定された目標残余再生時間に近づけるように、前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確

率値とする範囲である、目標確率範囲の下限值であることを仮定することにより前記停止時間を決定するように構成されたパラメータ推定装置。

[0189] これによれば、決定された停止時間に対して十分に高い通信スループットにてデータが伝送される確率を十分に高めることができる。この結果、クライアント装置におけるコンテンツの再生品質が過度に低下する確率を十分に低くすることができる。

[0190] (付記 6)

付記 5 に記載のパラメータ推定装置であって、
前記制御パラメータ決定手段は、前記送信処理の実行を終了する時点にて、次に実行する前記停止処理における前記停止時間を決定するように構成されたパラメータ推定装置。

[0191] (付記 7)

付記 5 又は付記 6 に記載のパラメータ推定装置であって、
前記制御パラメータ決定手段は、前記残余再生時間を、前記目標残余再生時間以上に維持する範囲において、当該残余再生時間を当該目標残余再生時間に近づけるように、前記停止時間を決定するように構成されたパラメータ推定装置。

[0192] これによれば、残余再生時間が過度に小さくなることを回避することができる。この結果、クライアント装置におけるコンテンツの再生品質が過度に低下することをより一層確実に回避することができる。

[0193] (付記 8)

付記 1 乃至付記 7 のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、
前記推定された関数特定パラメータに基づいて、通信スループット、データの伝送が完了するまでに要する時間、及び、前記第 1 の時点以降の期間において伝送可能なデータの量、の少なくとも 1 つを推定する通信状態推定手段を備えるパラメータ推定装置。

[0194] これによれば、推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数に基づいて、高い精度にて、通信スループット、データの伝送が完了す

るまでに要する時間、及び／又は、第 1 の時点以降の期間において伝送可能なデータの量、を推定することができる。

[0195] (付記 9)

付記 1 乃至付記 8 のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、
前記確率密度関数は、前記通信スループットがブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された関数であるパラメータ推定装置。

[0196] 通信スループットの変化は、ブラウン運動によりよく表される。従って、上記のように構成されたパラメータ推定装置によれば、高い精度にて、通信スループットを推定できるとともに、高い精度にて、制御パラメータを決定することができる。

[0197] (付記 10)

付記 1 乃至付記 8 のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、
前記確率密度関数は、前記通信スループットが、ドリフトを有するブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された関数であるパラメータ推定装置。

[0198] 通信スループットの変化は、ドリフトを有するブラウン運動によりよく表される。従って、上記のように構成されたパラメータ推定装置によれば、高い精度にて、通信スループットを推定できるとともに、高い精度にて、制御パラメータを決定することができる。

[0199] (付記 11)

付記 1 乃至付記 8 のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、
前記確率密度関数は、前記通信スループットが幾何ブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された関数であるパラメータ推定装置。

[0200] 通信スループットの変化は、幾何ブラウン運動によりよく表される。従って、上記のように構成されたパラメータ推定装置によれば、高い精度にて、通信スループットを推定できるとともに、高い精度にて、制御パ

ラメータを決定することができる。

[0201] (付記 1 2)

単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得し、

第 1 の時点までに前記取得された通信スループットに基づいて、当該第 1 の時点よりも後の第 2 の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する、パラメータ推定方法。

[0202] (付記 1 3)

付記 1 2 に記載のパラメータ推定方法であって、
前記特定された関数特定パラメータに基づいて、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する、パラメータ推定方法。

[0203] (付記 1 4)

付記 1 3 に記載のパラメータ推定方法であって、
前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の上限値又は下限値であることを仮定することにより前記制御パラメータを決定するように構成されたパラメータ推定方法。

[0204] (付記 1 5)

付記 1 2 乃至付記 1 4 のいずれかに記載のパラメータ推定方法であって、
前記推定された関数特定パラメータに基づいて、通信スループット、データの伝送が完了するまでに要する時間、及び、前記第 1 の時点以降の期間において伝送可能なデータの量、の少なくとも 1 つを推定する、パラメータ推定方法。

[0205] (付記 1 6)

情報処理装置に、
単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得し

、

第 1 の時点までに前記取得された通信スループットに基づいて、当該第 1 の時点よりも後の第 2 の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する、処理を実行させるためのパラメータ推定プログラム。

[0206] (付記 17)

付記 16 に記載のパラメータ推定プログラムであって、

前記情報処理装置に、更に、

前記特定された関数特定パラメータに基づいて、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する、処理を実行させるためのパラメータ推定プログラム。

[0207] (付記 18)

付記 17 に記載のパラメータ推定プログラムであって、

前記処理は、

前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の上限値又は下限値であることを仮定することにより前記制御パラメータを決定するように構成されたパラメータ推定プログラム。

[0208] (付記 19)

付記 16 乃至付記 18 のいずれかに記載のパラメータ推定プログラムであって、

前記情報処理装置に、更に、

前記推定された関数特定パラメータに基づいて、通信スループット、データの伝送が完了するまでに要する時間、及び、前記第 1 の時点以降の期間において伝送可能なデータの量、の少なくとも 1 つを推定する、処理を実行させるためのパラメータ推定プログラム。

[0209] なお、本発明は、日本国にて２０１１年７月８日に出願された特願２０１１－１５１３４９の特許出願、及び、日本国にて２０１１年９月５日に出願された特願２０１１－１９２６４２の特許出願、に基づく優先権主張の利益を享受するものであり、当該特許出願にて開示された内容のすべてが本明細書に含まれるものとする。

産業上の利用可能性

[0210] 本発明は、通信スループットを推定する通信スループット予測装置、及び、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する制御パラメータ決定装置等に適用可能である。

符号の説明

- [0211] １ 配信システム
- １００ 通信スループット予測装置
 - １０１ 通信スループット測定部
 - １０２ ドリフト算出部
 - １０３ 分散算出部
 - １０４ 通信スループット予測部
 - ２００ 配信装置
 - ２０１ 通信スループット測定部
 - ２０２ ドリフト算出部
 - ２０３ 分散算出部
 - ２０４ レート制御部
 - ２０５ コンテンツ蓄積部
 - ２０６ データ送信部
 - ３００ クライアント装置
 - ３０１ データ受信部
 - ３０２ コンテンツ再生部
 - ３０３ 通信スループット測定部
 - ３０４ ドリフト算出部

- 305 分散算出部
- 306 レート制御部
- 400 サーバ装置
- 401 コンテンツ蓄積部
- 402 データ送信部
- 500 通信スループット予測装置
- 501 通信スループット測定部
- 502 関数特定パラメータ推定部
- 503 通信スループット予測部
- 600 パラメータ推定装置
- 601 通信スループット取得部
- 602 関数特定パラメータ推定部
- 2 配信システム
- 700 クライアント装置
- 701 データ受信部
- 702 バッファ部
- 703 コンテンツ再生部
- 800 サーバ装置
- 801 通信スループット測定部
- 802 ドリフト算出部
- 803 分散算出部
- 804 停止時間決定部
- 805 コンテンツ蓄積部
- 806 データ送信部

請求の範囲

- [請求項1] 単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得する通信スループット取得手段と、
- 第1の時点までに前記取得された通信スループットに基づいて、当該第1の時点よりも後の第2の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する関数特定パラメータ推定手段と、
- を備えるパラメータ推定装置。
- [請求項2] 請求項1に記載のパラメータ推定装置であって、
- 前記特定された関数特定パラメータに基づいて、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する制御パラメータ決定手段を備えるパラメータ推定装置。
- [請求項3] 請求項2に記載のパラメータ推定装置であって、
- 前記制御パラメータ決定手段は、前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の上限値又は下限値であることを仮定することにより前記制御パラメータを決定するように構成されたパラメータ推定装置。
- [請求項4] 請求項2又は請求項3に記載のパラメータ推定装置であって、
- 前記制御パラメータは、前記送信されるデータの符号化レートであり、
- 前記制御パラメータ決定手段は、前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の下限値であることを仮定することにより前記符号化レートを決定するように構成されたパラメータ推定装置。

- [請求項5] 請求項2又は請求項3に記載のパラメータ推定装置であって、
 ストリーミング方式に従って、コンテンツを表す前記データをクライアント装置へ送信する送信処理と、所定の停止時間だけ当該データの送信を停止する停止処理と、を交互に繰り返し実行するように構成され、
 前記制御パラメータは、前記停止時間であり、
 前記制御パラメータ決定手段は、前記クライアント装置により受信された前記データのうちの未だ再生されていない部分に基づいて前記コンテンツを再生可能な時間である残余再生時間を、予め設定された目標残余再生時間に近づけるように、前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の下限值であることを仮定することにより前記停止時間を決定するように構成されたパラメータ推定装置。
- [請求項6] 請求項5に記載のパラメータ推定装置であって、
 前記制御パラメータ決定手段は、前記送信処理の実行を終了する時点にて、次に実行する前記停止処理における前記停止時間を決定するように構成されたパラメータ推定装置。
- [請求項7] 請求項5又は請求項6に記載のパラメータ推定装置であって、
 前記制御パラメータ決定手段は、前記残余再生時間を、前記目標残余再生時間以上に維持する範囲において、当該残余再生時間を当該目標残余再生時間に近づけるように、前記停止時間を決定するように構成されたパラメータ推定装置。
- [請求項8] 請求項1乃至請求項7のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、
 前記推定された関数特定パラメータに基づいて、通信スループット、データの伝送が完了するまでに要する時間、及び、前記第1の時点

以降の期間において伝送可能なデータの量、の少なくとも1つを推定する通信状態推定手段を備えるパラメータ推定装置。

[請求項9] 請求項1乃至請求項8のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、

前記確率密度関数は、前記通信スループットがブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された関数であるパラメータ推定装置。

[請求項10] 請求項1乃至請求項8のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、

前記確率密度関数は、前記通信スループットが、ドリフトを有するブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された関数であるパラメータ推定装置。

[請求項11] 請求項1乃至請求項8のいずれかに記載のパラメータ推定装置であって、

前記確率密度関数は、前記通信スループットが幾何ブラウン運動を行うように変化することを仮定することにより導出された関数であるパラメータ推定装置。

[請求項12] 単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得し、

第1の時点までに前記取得された通信スループットに基づいて、当該第1の時点よりも後の第2の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する、パラメータ推定方法。

[請求項13] 請求項12に記載のパラメータ推定方法であって、

前記特定された関数特定パラメータに基づいて、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する、パラメータ推定方法。

[請求項14] 請求項13に記載のパラメータ推定方法であって、

前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且

つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目標確率値とする範囲である、目標確率範囲の上限値又は下限値であることを仮定することにより前記制御パラメータを決定するように構成されたパラメータ推定方法。

[請求項15] 請求項12乃至請求項14のいずれかに記載のパラメータ推定方法であって、

前記推定された関数特定パラメータに基づいて、通信スループット、データの伝送が完了するまでに要する時間、及び、前記第1の時点以降の期間において伝送可能なデータの量、の少なくとも1つを推定する、パラメータ推定方法。

[請求項16] 情報処理装置に、

単位時間あたりに伝送されるデータの量である通信スループットを取得し、

第1の時点までに前記取得された通信スループットに基づいて、当該第1の時点よりも後の第2の時点における通信スループットを確率変数とした確率密度関数を特定するための関数特定パラメータを推定する、処理を実行させるためのパラメータ推定プログラム。

[請求項17] 請求項16に記載のパラメータ推定プログラムであって、

前記情報処理装置に、更に、

前記特定された関数特定パラメータに基づいて、データを送信するために用いられる制御パラメータを決定する、処理を実行させるためのパラメータ推定プログラム。

[請求項18] 請求項17に記載のパラメータ推定プログラムであって、

前記処理は、

前記通信スループットが、当該通信スループットの範囲であり、且つ、当該範囲に亘って、前記推定された関数特定パラメータにより特定される確率密度関数を積分した値を、目標となる確率の値である目

標確率値とする範囲である、目標確率範囲の上限値又は下限値であることを仮定することにより前記制御パラメータを決定するように構成されたパラメータ推定プログラム。

[請求項19] 請求項16乃至請求項18のいずれかに記載のパラメータ推定プログラムであって、

前記情報処理装置に、更に、

前記推定された関数特定パラメータに基づいて、通信スループット、データの伝送が完了するまでに要する時間、及び、前記第1の時点以降の期間において伝送可能なデータの量、の少なくとも1つを推定する、処理を実行させるためのパラメータ推定プログラム。