

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：32702

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2012～2013

課題番号：24800067

研究課題名(和文) 利己的および協力的ユーザ群の振舞いを考慮した受付制御方式に関する研究

研究課題名(英文) Call admission control considering both cooperative users and selfish users

研究代表者

宮田 純子 (Miyata, Sumiko)

神奈川大学・工学部・助手

研究者番号：90633909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,300,000円、(間接経費) 690,000円

研究成果の概要(和文)：既存の受付制御方式は、各ユーザは、他のユーザに影響されず利己的に振る舞うことを仮定しているため、仮に、他のユーザの接続状況に影響されて、他のユーザのために自らの要求を下げる利他的で協力的なユーザも存在する場合に、既存の受付制御方式は、最適な制御とはならない可能性がある。そこで、本研究では、ユーザの利己的および利他的な振舞いをも考慮するという新たな観点による受付制御方式を期間内に実現させることを目的とする。

研究成果の概要(英文)：We have proposed a novel call admission control (CAC) method for maximizing total user satisfaction in a heterogeneous traffic network and showed their effectiveness by using the optimal threshold from numerical analysis. With these CAC methods, it is assumed that only selfish users exist in a network.

However, we need to consider the possibility that some cooperative users exist who would agree to reduce their requested bandwidth to improve another user's Quality of Service (QoS). Under this assumption, conventional CAC may not be optimal. If there are cooperative users in the network, we need control methods that encourage such user cooperation. However, such "encourage" control methods have not yet been proposed. Therefore, in this paper, we propose novel CAC methods for cooperative users by using queueing theory. Numerical analyses show their effectiveness. We also analyze the characteristics of the optimal control parameter of the threshold.

研究分野：工学

科研費の分科・細目：計算機システム・ネットワーク

キーワード：受付制御 待ち行列理論 ユーザ満足度 協力的ユーザ 利己的ユーザ

1. 研究開始当初の背景

近年，マルチメディアアプリケーション，特に，電話や動画像など様々な帯域のストリームフローが増加してきている．これらのストリームフローは，従来から使用されてきたデータ通信とは異なり，パケットロスや遅延などに敏感であるため，通信品質を維持する必要がある．これらの通信品質を維持するためには，網への過剰な収容を抑制するために，通信の新規到着時に網内への収容可否を判断する，受付制御を行う必要がある．一般的な受付制御方式において受け付けられたフローは，その通信が終了するまで，要求した帯域(以下，要求帯域)が保証されるため，通信品質を維持することを可能としてきた．しかし，様々な要求帯域を持つフローが到着する多元トラヒック環境においては，小さな帯域を要求するフローを網内へ収容することにより，網内に空き帯域が存在するにもかかわらず，後から到着する大きな要求帯域をもつフローが収容されず，網内の帯域利用効率が低下してしまう「端数出線効果」が生じてしまう．そのため，従来から提案されてきた多元トラヒック環境における受付制御方式では，資源の帯域利用効率向上を主目的とし，あくまでも網側の視点から制御を行っていた．これに対し，ユーザ側の視点からは，帯域が通信の価値をそのまま反映しているとは限らない昨今，このような帯域利用効率向上を目的とした従来方式を用いると，個々のユーザに対して大きな不満をもたらす問題が生じる．

さらに，近年多く採用されている定額制通信サービスにおいては，各ユーザは，同一の料金を支払っている「同等レベルのサービスを受けるべきユーザ」であるため，より多くのユーザが満足できる網設計を実現させるべきである．そこで，代表者は，より多くのユーザが満足できる網設計を実現させるために，網の状態に応じた適切な受付制御により全ユーザ満足度を向上させる，従来とは全く逆の発想に基づく受付制御方式をこれまでに提案し，有効性を示している．上記の提案受付制御方式は，各ユーザは，他のユーザに影響されず利己的に振る舞う(以下，利己的ユーザ)ことを仮定していた．しかし，実ネットワークにおいては，他のユーザの接続状況に影響されて，

他のユーザのために自らの要求を下げたりする利他的で協力的なユーザ(以下，協力的ユーザ)も存在する可能性があるため，全ユーザが利己的と仮定していたこれまでの受付制御方式は，最適な制御方式とならない可能性がある．したがって，より実ネットワークに即した受付制御を実現させるためには，利己的ユーザおよび協力的ユーザの両者の振舞いも考慮した新たな受付制御を行う必要がある．以上をふまえて申請者は，ユーザの利己的および利他的な振舞いも受付制御結果に影響を与えるという，これまででない新たな発想を用いた受付制御方式のアイデアの着想に至った．

2. 研究の目的

既存の受付制御方式は，各ユーザは，他のユーザに影響されず利己的に振る舞うことを仮定しているため，仮に，他のユーザの接続状況に影響されて，他のユーザのために自らの要求を下げる利他的で協力的なユーザも存在する場合に，既存の受付制御方式は，最適な制御とはならない可能性がある．そこで，本研究では，ユーザの利己的および利他的な振舞いをも考慮するという新たな観点による受付制御方式を期間内に実現させることを目的とする．

3. 研究の方法

本研究では，フローの種類を i ($i = 1$ は狭帯域フロー， $i = 2$ は広帯域フロー)とする．また， b_{now} は， b_i が到着した時点でのネットワークに収容されているフローの合計帯域， B は，網の全帯域とする．

提案受付制御の動作手順を下記に示す．

1. 新規到着フローを b_i とする．
2. 新規フローが到着した時，その時点で既に収容されているフローの帯域の合計 b_{now} を計算する．
3. トータル帯域 b_{now} が，閾値 th に到達しているかどうかを判断する．
4. b_{now} が th 未満で，到着フローが狭帯域フローの場合，その到着フロー収容時， B に到達しているかどうかを判断する．仮に，到着フロー収容時に B を超えない場合には，その到着フローを収容し， B を超える場合には，呼損として扱う．
5. 到着フローが広帯域で，そのフローが仮に網内に収容された場合に，広帯域フ

ローのバッファ容量も考慮した帯域 $B + B_{wait}$ に到達するかどうか判断する。到達しない場合には、バッファ内で待機するものとする。

6. 段階(5)で $B + B_{wait}$ に到達している場合には、その到着フローを要求するユーザが協力的ユーザかどうかを判断する。仮に協力的ユーザの場合には、即座に狭帯域フローとして再要求する。利己的ユーザの場合には、呼損として扱う。

7. バッファ内で待機している間、 b_{now} が th に到達しているかどうかを判断する。閾値に到達しない場合には、待機ユーザは、網内に收容される。

8. 待機中のユーザが、待機を諦める場合に、そのユーザが協力的ユーザの場合には、即座に狭帯域フローとして再要求を行う。一方で、そのユーザが利己的ユーザの場合には、呼損として扱う。

提案手法では、広帯域を要求するユーザのうち、協力的なユーザは即座により小さな帯域である狭帯域へ変更し、その協力的なユーザの割合 δ は既知であるとする。次章にて、この受付制御を待ち行列システムによってモデル化し、理論解析によりその特性を明らかにする。

4. 研究成果

本受付制御では、フローが到着した時点で、狭帯域、広帯域フローそれぞれについて、フロー收容可否の決定を行い、また收容されず待機中の広帯域フローについても、フロー收容可否の決定を行う。そこで、二種類の到着がある即時待時混合システム、 $M_1M_2/M_1M_2/S(m, \xi)$ としてモデル化を行う。本稿で提案する協力的ユーザを考慮した即時待時混合モデルにおいては、即時フローと待時フローである二種類の要求帯域、到着率を、それぞれ異なる値をとるものとし、待機中の広帯域フローは、ランダムに待ち合わせ放棄すると仮定する。ただし、基礎検討のため、本研究においては、各フローの平均保留時間および広帯域フローの平均待ち合わせ滞在時間は同一とする。本研究においては、到着するユーザのうち、他のユーザのために協利行動をとる協力的ユーザが存在するものとし、全到着ユーザに対する協力的ユーザの割合 δ は既知とする。このようなモデル化のもと、このモデルより導出されるシステム内状態確率から、最終

的にフロー收容が許可されなかった確率 (トータル呼損率: r_{total}) を求める。このトータル呼損率を最小にする最適な閾値 th_{opt} を用いて受付制御を行うことにより、收容されるトータルフロー数の最大化が実現される。

$M_1M_2/M_1M_2/S(m, \xi)$ のモデル化において、いま、狭帯域フローの要求帯域によりそれぞれの要求帯域を正規化 ($b_1 = 1$) すると、フローが收容されている状態は、帯域を意味する S 個のサーバに、フロー到着時に、狭帯域フローおよび広帯域フローがそれぞれ1個のサーバおよび m 個のサーバを占有している状態であると考えることができる。狭帯域フローは空きサーバがあれば、また広帯域フローは m 個の空きサーバがあれば、それぞれ網内に收容され、それ以外の場合は、呼損となる。さらに、広帯域フローは、 m 個以上の空きサーバがある場合でも、使用中のサーバが th 個以上であれば、バッファに入り待機状態となる。待機中の広帯域フローは、ランダムに退去するものとし、さらに、 th により呼損となった場合や待機中に退去する場合に、そのユーザが協力的ユーザの場合には、狭帯域フローとして即座に再要求するものとする。

まず、両フローに対してパラメータを設定する。新規フローの到着率 λ_1 と λ_2 はポアソン到着、各フローの継続時間(保留時間) $_{\mu}^1$ は指数分布に従うものとし、広帯域フローの平均待合せ滞在時間も、 $_{\mu}^1$ の指数分布とする。ただし、 $\mu_3 = \xi \mu_2$ とする。また、狭帯域フローと広帯域フローそれぞれの1フローあたりのトラヒック密度 ρ_1, ρ_2 を、 $\rho_1 = \frac{\lambda_1}{\mu}$ 、 $\rho_2 = \frac{\lambda_2}{\mu}$ とする。

また、網内收容本数を n_1 [本]、 n_2 [本]、待ちフロー数を n_3 [本] とし、状態が (n_1, n_2, n_3) のときの定常状態における状態確率を $P_{(n_1, n_2, n_3)}$ とする。さらに、ネットワークへの狭帯域フローの最大收容数を $N_1 (= B)$ [本]、広帯域フローの最大收容数を $N_2 (= \lfloor \frac{B}{b_2} \rfloor)$ [本]、バッファに入る広帯域フローの最大待機数を N_3 [本] とする。

提案受付制御方式においては、定常状態が存在する。したがって、 $P_{(n_1, n_2, n_3)}$ は定常状態確率を表すこととなる。次節にて、この $P_{(n_1, n_2, n_3)}$ を求めるために、状態遷移図から状態方程式を立式する。

- When $0 \leq b_{now} < th$ (State A)
 $(\lambda_1 + \lambda_2 + n_1\mu_1 + n_2\mu_2)P_{(n_1, n_2, n_3)}$
 $= \lambda_1 P_{(n_1-1, n_2, n_3)} + \lambda_2 P_{(n_1, n_2-1, n_3)}$
 $+ \mu_1(n_1 + 1)P_{(n_1+1, n_2, n_3)}$
 $+ \mu_2(n_2 + 1)P_{(n_1, n_2+1, n_3)}$ (1)
- When $(th \leq b_{now} < th + b_2)$ (State B)
 $(\lambda_1 + \lambda_2 + n_1\mu_1 + n_2\mu_2 + n_3\mu_3)P_{(n_1, n_2, n_3)}$
 $= \lambda_1 P_{(n_1-1, n_2, n_3)} + \lambda_2 P_{(n_1, n_2-1, n_3)}$
 $+ \mu_1(n_1 + 1)P_{(n_1+1, n_2, n_3)}$
 $+ \mu_2(n_2 + 1)P_{(n_1, n_2+1, n_3)}$
 $+ (\mu_2 n_2 + \mu_3(n_3 + 1)(1 - \delta))P_{(n_1, n_2, n_3+1)}$
 $+ \delta\lambda_2 P_{(n_1-1, n_2+1, n_3-1)}$ (2)
- When $(th < b_{now} < th + b_2)$ (State C)
 $(\lambda_1 + \lambda_2 + n_1\mu_1 + n_2\mu_2 + n_3\mu_3)P_{(n_1, n_2, n_3)}$
 $= \lambda_1 P_{(n_1-1, n_2, n_3)} + \lambda_2 P_{(n_1, n_2, n_3-1)}$
 $+ \mu_1(n_1 + 1)P_{(n_1+1, n_2, n_3)}$
 $+ \mu_2(n_2 + 1)P_{(n_1, n_2+1, n_3)}$
 $+ (\mu_2 n_2 + \mu_3(n_3 + 1)(1 - \delta))P_{(n_1, n_2, n_3+1)}$
 $+ \delta\lambda_2 P_{(n_1-1, n_2+1, n_3-1)}$ (3)

ここで、全ての状態確率の和は、1となるため、下記の式が成り立つ。

$$\sum_{(n_1, n_2) \in \{A, B, C, D, E, F, G\}} P(n_1, n_2, n_3) = 1, \quad (4)$$

式(7)において、A, B, C, D, E, Fはそれぞれの状態A, B, C, D, E, Fの集合の意味である。全状態に関する上記の状態方程式は、状態確率 $P(n_1, n_2, n_3)$ を未知数とする多元連立一次方程式となる。

これらの状態方程式から得られる $P(n_1, n_2, n_3)$ を用いて、狭帯域フローの呼損率 r_1 、広帯域フローの呼損率 r_2 および広帯域フローの待ち合せ放棄率 r_3 を、式(6)(7)(8)より導出する。これらの呼損率を利用して、狭帯域広帯域両フローの満足度を対等に扱った場合のトータル呼損率 r_{total} を式(5)と定義する。

$$r_{total} = \frac{(\rho_1 + \rho_2 \delta)r_1 + (\rho_2 - \rho_2 \delta)(r_2 + r_3)}{(\rho_1 + \rho_2 \delta) + (\rho_2 - \rho_2 \delta)} \quad (5)$$

$$r_1 = \sum_{n_3=0}^{N_3} \sum_{n_2=0}^{N_2} P(B - b_2 n_2, n_2, n_3) \quad (6)$$

$$r_2 = \sum_{n_2=0}^{N_2} P(B - b_2 n_2, n_2, N_3) \quad (7)$$

$$r_3 = \sum_{n_3=1}^{N_3} \sum_{n_2=0}^{N_2} \frac{n_3 \mu_3 P_{(B-b_2 n_2, n_2, n_3)}}{\lambda_2} \quad (8)$$

狭帯域フローの呼損率 r_1 、広帯域フローの呼損率 r_2 および広帯域フローの待ち合せ放棄率 r_3 は、式(9)(10)(11)のようになる。 r_1 および r_2 は、新規に到着したフローを収容する場合に必要となる隣接状態への遷移が不可能な状態である確率の総和である。また、 r_3 は、到着率 λ_2 で到着する広帯域フローのうち、待ち合わせ放棄が起こる確率

($\sum_{n_3=1}^{N_3} \sum_{n_2=0}^{N_2} n_3 \mu_3 P_{(B-b_2 n_2, n_2, n_3)}$) の割合である。これらの呼損率をもとに、協力的ユーザの割合 δ を変動させた場合のトータル呼損率 r_{total} を求めていく。

制御パラメータである閾値 th を変動させた場合の最適なトータル呼損率 r_{opt} および最適な閾値 th_{opt} を示す。これらの特性解析においては、各トラヒックパラメータの値を、 $B = 30, b_2 = 5, \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = 1$ としている。また、協力的ユーザの割合 δ は、0から1まで変動させる。 δ が0の場合には、協力的ユーザが全く存在せず、全てのユーザが利己的に振舞うことを意味し、一方で、 δ が1の場合には、全てのユーザが協力的ユーザであり、利己的ユーザは全く存在しないことを意味する。すなわち、 δ が0の場合における最適なトータル呼損率 r_{opt} は、既存提案方式と同じ値になることに注意されたい。

さらに、各フローのトラヒック密度の和 $\rho_t (= \rho_1 + \rho_2)$ は、トータル呼損率に大きな影響を与えるパラメータであることが明らかになっている。そのため、本稿の特性解析においても、 ρ_t の値を固定し、各フ

ローのトラヒック密度の比率 $\rho_r = \frac{\rho_2}{\rho_1 + \rho_2}$ を変動させることで、トータル呼損率および最適な閾値特性を解析する。この ρ_r の値は、 $\rho_r = 0$ の場合には、定常的に広帯域フローより多くの狭帯域フローが到着することを意味し、逆に、 $\rho_r = 1$ の場合には、定常的に狭帯域フローより多くの広帯域フローが到着することを意味する。

図4.1に、横軸を ρ_r とした場合の、ユーザの

待機を存在しない場合の r_{opt} 特性及びユーザの待機を考慮した場合の r_{opt} を示す。協力的ユーザの割合 $\delta = 0.4$ および 0.8 と設定した。このグラフより、バッファを加えることにより、 r_{opt} を大きく低減可能であることがわかる。さらに、協力的ユーザが多くなればなるほど、ユーザの待機の許容によるトータル呼損率の低減は、大きくなることも明らかとなった。

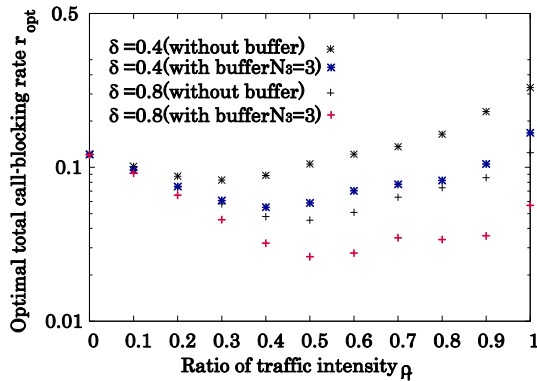


図 4.1. Optimal total call blocking rate ($B = 30$).

5. 主な発表論文

雑誌論文 (計3件)

Shunki Nakamura, Kazuhiro Suzuki, Tetsuya Morizumi, Sumiko Miyata, Hirotsugu Kinoshita, “Detecting Covert Channels Using a Transitive Closure Algorithm,” IEICE Transactions on Fundamentals, Vol.J96-A, No.4, pp.175-183, Apr.2013 (In Japanese).

Sumiko Miyata, Tutomu Murase and Katsunori Yamaoka, “Novel Access-Point Selection for User QoS and System Optimization Based on User Cooperative Moving,” IEICE Transactions on Communications, Vol.E95-B, No.6, pp.1953-1964, Jun. 2012.

Sumiko Miyata and Katsunori Yamaoka, “Equality based Flow-admission control by using mixed loss and delay system,” IEICE Transactions on Communications, Vol.E95-B, No.03, pp.832-844, Apr. 2012.

学会発表 (計24件)

Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, Hirotsugu Kinoshita, “Optimal

threshold configuration with equality based call admission control with cooperative users (mixed loss and delay system),” In Proc. of IEEE ICNC 2014, Feb.3-6. 2014, Honolulu, Hawaii.

Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, Hirotsugu Kinoshita, “Optimal threshold characteristics of call admission control by considering cooperative behavior of users (loss model),” In Proc. of IEEE PACRIM 2013, Aug.27-29. 2013, Victoria, Canada. 他22件

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮田 純子 (Miyata Sumiko)

神奈川大学・工学部・助手

研究者番号：10564784