

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 8 日現在

機関番号：32619

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26730053

研究課題名(和文) 不合理なユーザの振舞いがもたらす合理的な受付制御方式の研究

研究課題名(英文) Rational Admission Control by Considering Irrational Behavior of Users

研究代表者

宮田 純子 (Miyata, Sumiko)

芝浦工業大学・工学部・助教

研究者番号：90633909

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,900,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ユーザの不合理な行動を考慮する新たな観点による受付制御方式の実現を目的とする。まず、ユーザの不合理な行動として、ストリーミング通信を希望しているユーザが、ストリーミング通信を遠慮するというユーザ行動を考え、待ち行列理論を用いてモデル化を行った。この一見そのユーザにとっては不合理な行動を考慮した受付制御システムで解析することで、全ユーザの合計満足度が大幅に向上可能であることが明らかとなった。さらに、光アクセスネットワークでの受付制御の解析も行った。その結果、不合理な行動を考慮する基盤となるモデル化および評価関数の一般解を完成させることができた。

研究成果の概要(英文)：In this study, main purpose is modeling a call admission control scheme according to a new point of view to consider the irrational behavior of users. As the irrational behavior of users, we assumed that users abandon the requesting the streaming communication. These behaviors look like irrational. However, this model considering the irrational users revealed that the total user's satisfactions can be increased. Moreover, we analyzed a call admission control scheme under the optical access network. As a result, we could derive an exact solution for evaluation formula as a foundation for rational admission control with irrational behavior of users.

研究分野：QoS制御

キーワード：QoS 不合理 ユーザ行動 ユーザ満足度 待ち行列理論

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンやタブレット端末の爆発的な普及により、映画や動画などのストリーミング通信も気軽に視聴できるようになってきたことに伴い、ネットワーク網内が輻輳しないよう、通信の受付を適切に判断する受付制御技術の必要性が高まってきているといえる。一般に図 1 に示すように、受付制御は、通信網内のトラヒック状況およびユーザのトラヒックパターンをもとに、新たなユーザの通信を受け付けるかどうかを決定する。

しかし、既存の受付制御方式は、全てのユーザが合理的に行動することを仮定していた。しかし、実際のユーザは、周りのユーザの接続状況などを表すトラヒック状況(以下、トラヒック情報)を、常に全て得られるとは限らず、必ずしも合理的な行動を取れるとはいえない。したがって、これらのユーザの振舞いを、より現実的に即した、ユーザの振舞いに対する不合理な要素を考慮することで、逆にシステムにとっては合理的なトラヒックパラメータをもとに設計を行うことが可能

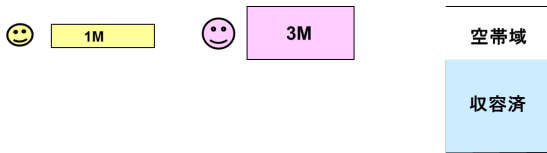


図 1. 有線通信の受付制御

となる。

以上をふまえて申請者は、ユーザの不合理な行動も受付制御結果に影響を与えるという、これまでに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

本研究では、ユーザの不合理な行動を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

研究としては、一般の有線網に対しての解析として行った解析と、光アクセスネットワークに対して行った解析の 2 つがあげられる。本章では、それぞれについて述べていく。

(1) 有線ネットワークの受付制御の解析

まずユーザの不合理な行動として、ストリーミング通信を希望しているユーザが、例えば、トラヒックの負荷が高い場合に、ストリーミング通信を遠慮するというユーザ行動を考え、待ち行列理論を用いてモデル化を行った。具体的には、このユーザ行動は、通信開始の待機、または要求帯域の変更(図 2)として考えた。この一見そのユーザにとっては不合理な行動を考慮した受付制御システムでモデル化し、解析することで、全ユーザの合計満足度が向上可能であるか考察を行う。

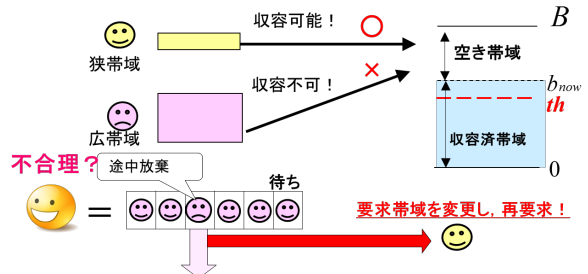


図 2. 不合理なユーザ行動を考慮した受付制御

提案受付制御では、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、フロー収容可否の決定を行い、また収容されず待機中の広帯域フローについても、フロー収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、 $M_1 M_2 / M_1 M_2 / S(m, \xi)$ としてモデル化を行う。待時即時混合モデルは従来から提案されているが、即時フローと待時フローである 2 種類の到着率を、異なる値として評価しているものの、保留時間や要求帯域は、同じ値として評価しており、さらに、待機中の広帯域フローが待ち合わせ放棄することは考慮されていない。

一方で、本稿で提案する協力的ユーザを考慮した待時即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力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、最終的にフロー収容が許可されなかった確率(トータル呼損率: r_{total})を求め、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、収容されるトータルフロー数の最大化が実現される。

$M_1 M_2 / M_1 M_2 / S(m, \xi)$ 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、フローが収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られることができる。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、それぞれ網内に収容され、それ以外の場合には、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 ρ_1 と ρ_2 はポアソン到着、各フローの継続時間(保留時間) $1/\mu$ 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、 $1/\mu$ の指数分布とする。ただし、 $\mu_3 = \mu_2$ 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、 $\rho_1 = 1/\mu$, $\rho_2 = 2/\mu$ とする。

また、網内収容本数を 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収容数を $N_1(=B)$ [本], 広帯域フローの最大収容数を $N_2(=B/b_2)$ [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。そこで、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。

立式した状態方程式から、トータル呼損率を下記のように導出した。

$$r_{total} = \frac{(\rho_1 + \rho_2 \delta) \tau_1 + (\rho_2 - \rho_2 \delta) (\tau_2 + \tau_3)}{(\rho_1 + \rho_2 \delta) + (\rho_2 - \rho_2 \delta)}$$

$$\tau_1 = \sum_{n_2=0}^{N_2} \sum_{n_3=0}^{N_3} P(B - b_2 n_2, n_2, n_3)$$

$$\tau_2 = \sum_{n_2=0}^{N_2} P(B - b_2 n_2, n_2, N_3)$$

$$\tau_3 = \sum_{n_3=1}^{N_3} \sum_{n_2=0}^{N_2} \frac{n_3 \mu_3 P(B - b_2 n_2, n_2, n_3)}{\lambda_2}$$

(2) 光アクセス網での受付制御解析

さらに、申請者は、受付制御を用いる具体的なネットワークとして、光アクセスネットワークの一種である PON(Passive Optical Network)に着目して、上り通信に対する受付制御の解析も行った。

提案受付制御では、図3に示すように、OLTから等距離にある N 個の ONU が接続されてい

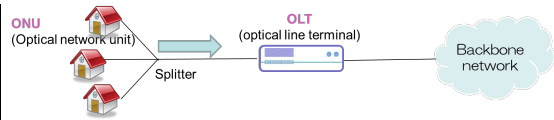


図 3. EPON の概要

る EPON(Ethernet-PON)を想定する。一般に EPON では、OLT から ONU への通信を意味する下り通信において WDM (Wavelength-division multi plexing)を用いるのに対し、ONU から OLT への通信を意味する上り通信においては、TDMA (Time Division Multiple Access)を用いるため、上り通信の衝突を防ぐために適切なデータ送信のタイミングのスケジューリングを行う動的帯域割当 (DBA: Dynamic Bandwidth Allocation)が必要となる。そのため、この上り通信時間は、パケット伝送のためのデータ区間とパケット伝送制御のための予約区間とに分けられ、予約区間中に ONU が送信要求を OLT に送り、これに対する資源割当応答を受け取ることで通信資源の予約を行う。この通信資源予約に対して、受付制御のモデル化を行った。

通信資源予約を適切に行うためのメッセージは、メディアアクセス方式である MPCP (MultiPoint Control Protocol)によって定められている。MPCP では、各 ONU が送信要求(キューにたまっているデータ量)を 64-byte の REPORT メッセージとして OLT に送り、これに対して OLT は REPORT メッセージの情報をもとに各 ONU の送信時間 (transmission window: TW)と送信開始時刻 (8)を算出し、これらの情報を各 ONU に対して 64-byte の GATE メッセージとして送信する。このやり取りは、全 ONU のパケット送信完了期間であるサイクルタイムごとに行われ、次サイクルの各 ONU のデータ送信のスケジュールを決定する。

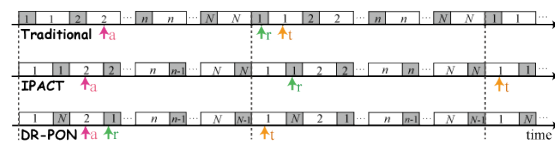


図 4. 提案法と IPACT の相違点

本研究で対称にしたシステムである IPACT(Interleaved Polling with Adaptive Cycle Algorithm)は、最も普及している EPON の予約システムである。しかし、IPACT では、予約するための REPORT メッセージ (予約区間)を自身のデータ区間の後に設置させているため、パケットが到着するタイミングによっては当該パケットの待ち時間が非常に大きくなる問題点があることが本研究により明らかになった。例えば、パケットの到着(図中 4 a)の時刻によっては、送信要求の送出時刻(図中 4 r)の遅延にともない、そのパケッ

トの送出時刻(図中 4 t)が遅くなる．本研究では，図 4 中に示すように，REPORT メッセージを送るタイミングを m-ONU 個分(図では，m=1)遅らせることで平均遅延時間を減少させる DR-MPCP 方式を提案し，その性能を M/G/1 モデルを用いて解析する．タイミングを ONU 個分(図では，m=1)遅らせることで平均遅延時間を減少させる DR-PON 方式を提案し，その性能を M/G/1 モデルを用いて解析する．

本モデルにおいて，パケットは各 ONU で独立にポアソン到着するものとし，サービス時間の 1 次モーメントおよび 2 次モーメントを \bar{X} および \bar{X}^2 とする．また予約区間の 1 次モーメントおよび 2 次モーメントを \bar{v} および v^2 ，分散を σ_v^2 とする．さらに，全トラヒックのトラヒック密度を $\rho = \lambda \bar{X}$ とする．平均遅延時間 \bar{W} は，パケット到着時に伝送中のパケット残余サービス時間 \bar{W}_R ，データ区間の待ち時間 \bar{W}_Q および予約区間の待ち時間 \bar{W}_R の合計である．

DR-MPCP 方式では，古典方式に比べて \bar{W}_R が変化するため，古典方式の \bar{W}_R^c と DR-PON 方式の \bar{W}_R^p の差分 $\Delta \bar{W}_R$ を計算する必要がある．DR-PON 方式のパケットの到着位置は，6 通りに場合分け可能である．この 6 通りとは，自身のデータ区間および予約区間，自身の予約区間後の他 ONU のデータ区間および予約区間，また，自身の予約区間までに伝送されたデータ区間および予約区間に到着した場合である．

この場合分けにしたがい，期待値を計算すると $\Delta \bar{W}_R = (N - m - 1)$ となる．したがって，平均遅延時間 \bar{W} は，以下のように導出された．

$$\bar{W} = \frac{\lambda \bar{X}^2}{2(1-\rho)} + \frac{(3N - \rho - 2m)\bar{v}^2}{2(1-\rho)} + \frac{\sigma_v^2}{2\bar{v}}$$

4. 研究成果

(1) 有線ネットワークの受付制御の解析

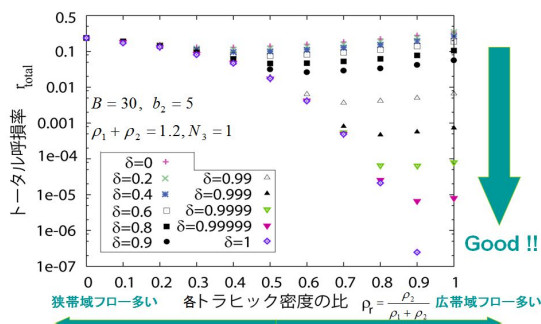


図 5. トータル呼損率

図 5 に示すように，不合理な行動を取るユーザの割合の値を変化させた場合のトータル呼損率特性を示す．これらのグラフより，の値が大きい場合に，トータル呼損率をより低減可能であることが分かる．同様に，トラヒック密度の比率である ρ_1/ρ_2 が高くなればなるほど，広帯域フローとして到着する

ユーザが増えるため，トータル呼損率が低減する．すなわち，不合理なユーザの行動である帯域を小さくするという行動によって，より多くのユーザを収容可能であることが明らかとなった．

(2) 光アクセス網での受付制御解析

平均遅延に関して MATLAB を用いて数計算を行う．ONU の数は，8 または 16 または 32 とし，上り通信の帯域は $C_{up} = 1$ Gb/s とした．ガードタイムは，分散なしの $t_g = 1 \mu s$ ，MPCP スタンドより REPORT メッセージのサイズ L_R を 64byte とし，平均予約時間は $1.512 \mu s$ ，分散 $\sigma_v^2 = 0$ とする．

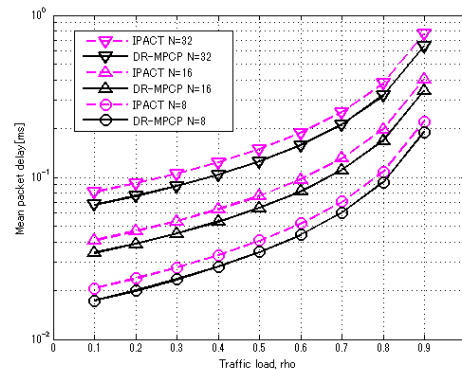


図 6. 提案法と IPACT の平均遅延時間

パケットペイロードサイズは，64byte から 1518byte の間で次のように，64byte(47%)，300byte(5%)，594byte(15%)，1300byte(5%)，1518byte(28%)と分布させる．インターフレームギャップは，12byte とし，各パケットの平均サービス時間は，0.608，2.496，4.848，10.946，12.240 μs で $\bar{X} = 5.090 \mu s$ および $\bar{X}^2 = 51.468 (\mu s)^2$ とする．各 ONU のパケットは，で MN で到着し， ρ は，0.05 から 0.95 まで変化させた．

図 6 は，トラヒック密度を変化させた場合の平均遅延時間を示している．黒色の実線が提案法の平均遅延時間であり，赤色の点線が従来の IPACT における平均遅延時間である．このグラフより，平均遅延時間が減少していることが明らかとなった．

本受付制御では，一般的に使用されている PON における，通信要求から通信開始までの待ち時間が大きくなってしまいう問題点を発見し，その問題点を解決することで，大幅に待ち時間を削減可能であることを明らかにした．この解析結果は，全て厳密解で導出しているため，これまでに行った一般的な有線ネットワークにおける不合理なユーザの行動を考慮したモデル化に拡張可能であると考えている．今後は，この光アクセスネットワークに対しても，不合理なユーザ行動を考慮した合理的なシステムを解析していく予定である．

5. 主な発表論文等
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計1件)

Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka and Hirotsugu Kinoshita "Optimal threshold configuration methods for flow admission control with cooperative users," IEICE Trans. Commun, vol.E97-B, No.12, pp.2706-2719, Dec 1, 2014.

http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=e97-b_12_2706

[学会発表](計24件)

- (1) Sumiko Miyata, Ken-ichi Baba, Katsunori Yamaoka, Hirotsugu Kinoshita, "Exact mean packet delay analysis for Long-Reach Passive Optical Networks," IEEE GLOBECOM 2015, 2015年12月6日~12月10日, USA.
- (2) Sumiko Miyata, Ken-ichi Baba, Katsunori Yamaoka, Hirotsugu Kinoshita, "DR-MPCP: Delayed REPORT message for MultiPoint Control Protocol in EPON," IEEE RNDM 2015, 2015年10月5日~10月7日, Germany.
- (3) Rie Jimbo, Sumiko Miyata, Kazumitsu Matsuzawa, Hirotsugu Kinoshita, "RDFization of Database for Folk Implements and Ontology-assisted Information Retrieval System," Proc. of IEEE ICCE 2015, pp. 490-491, 2015年6月6日~6月8日, Taiwan.
- (4) Toshihide Hanyu, Sumiko Miyata, Tetsuya Morizumi, Hirotsugu Kinoshita, "Development of the folk implements database for the digital archive," Proc. of IEEE ICCE 2015, pp. 484-485, 2015年6月6日~6月8日, Taiwan.
- (5) Kazuki, Tanabe, Sumiko Miyata, Ken-ichi Baba, Katsunori Yamaoka, "Threshold Configuration of Emergency Trunk Reservation Considering Traffic Intensity for Accepting More General Telephone Calls," IEEE RNDM2014, pp. 165-170, Nov. 17-19, 2014, Spain.
- (6) Kazuki, Tanabe, Sumiko Miyata, Ken-ichi Baba, Katsunori Yamaoka, "Why Are So Many Lines Still Reserved for Emergency Telephone Calls in Emergency Situations?," In Proc. of NETWORKS2014, Sep. 17-19 2014, Portugal.
- (7) Sumiko Miyata, Kazuhiro Suzuki, Tetsuya Morizumi and Hirotsugu Kinoshita, "Access control model for

the My Number national identification program in Japan," In Proc. of IEEE COMPSAC 2014, pp.152-157, Jul.21-25 2014, Sweden.

- (8) Kazuki Tanabe, Sumiko Miyata, Katsunori Yamaoka, "Accepting More General Telephone Calls in Emergency Situations by Limiting General Call Holding Time under Trunk Reservation Control," In Proc. of IEEE CQR 2014, Jun. 13-15, 2014, USA.
(他, 国内会議 16件)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

宮田 純子 (Sumiko Miyata)

芝浦工業大学・工学部・助教

研究者番号: 90633909