

令和元年6月18日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15K00139

研究課題名（和文）メッセージ分割指向のQoSバランシングトラフィック制御に関する研究

研究課題名（英文）QoS balancing traffic control when message segmentations occur

研究代表者

池川 隆司（IKEGAWA, Takashi）

早稲田大学・理工学術院総合研究所（理工学研究所）・客員上級研究員（研究院客員教授）

研究者番号：00721804

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,500,000円

研究成果の概要（和文）：Webページ転送のようなアプリケーションでは巨大なデータ（メッセージ）が発生する。コンピューターネットワークでは、このようなメッセージを宛先まで円滑に転送するために、ペイロード長を超えるメッセージを受信した送信元は、複数のデータセグメントに分割するとともに各データセグメントにヘッダーを付与し、パケットを生成する。したがって、ペイロード長は、コンピューターネットワークユーザへのQoS（Quality of Service：サービス品質）を保証するための重要な制御・管理パラメータとなる。本研究では、代表的なQoSであるグッドプットや平均応答時間を最適化するペイロード長の近似解を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パケットの最大長を意味するペイロード長は、コンピューターネットワークの設計・制御上、重要なパラメータである。今まで、この値は、通信回線上で送信可能なデータ長の制限やプロトコル仕様等の要因によって定められており、QoSを最適化する観点では検討されていなかった。

本研究で得られたペイロード長の決定方法は、グッドプットや平均往復応答時間のようなコンピューターネットワークユーザのQoSの最適化をもたらすため、本決定方法が実装された場合は、コンピューターネットワークユーザの満足度が向上すると期待される。

研究成果の概要（英文）： We study the payload size optimization schemes to guarantee the quality of service (QoS) such as goodput and mean response time for computer networks when message segmentations occur. Sizes of messages, that is data generated by applications such as when transferring content of Web pages, are frequently larger than the payload size. To convey such messages over a network, a sender implements a message-segmentation function. It divides a single message into multiple segments of data when it is larger than the payload size. Furthermore, the sender creates a packet by adding an appropriate header to each segment.

First, we indicated that the curves of goodput are concave in payload size when corrupted packets are retransmitted by error-recovery functions. Second, we showed that the curves of the mean response time are convex in payload sizes when segmented packets within a message arrival over a physical link in bursts.

研究分野：情報ネットワーク・オペレーションズリサーチ

キーワード：コンピューターネットワーク メッセージ分割 ペイロード長 グッドプット 平均応答時間 ビット誤り 集団待ち行列 無線ネットワーク

## 1. 研究開始当初の背景

### (1) コンピューターネットワークにおける制御パラメータと QoS 保証

インターネットに代表されるコンピューターネットワークでは、ペイロード長(転送可能なパケットでのデータ部分の最大長)、ウィンドウサイズ、タイムアウト値、宛先までのルートのような QoS (Quality of Service) に影響を与える様々な制御パラメータが存在する。そのため、QoS に対する制御パラメータの最適化は、コンピューターネットワークの設計・管理において、重要な課題となっている(引用文献の Section 1.4)。

通信回線を使ったパケット(回線上で転送されるデータ単位)の転送時間は、パケット長を通信回線容量(速度)で割ることによって得られる。さらに、パケットがビット誤りとなる確率はパケット長にほぼ比例する。したがって、パケット長の最大値を制限するペイロード長は、重要な制御パラメータの1つとなる。

そこで、本研究では QoS を最適化するペイロード長について考察する。

### (2) メッセージ分割と誤り回復

図1に、コンピューターネットワークの送信局を抽象化したモデルを示す。

送信局は、メッセージと呼ばれるデータが発生するアプリケーション層と、そのメッセージを受信局まで誤りなく転送させるパケット転送層の2層から構成されていると仮定する。

パケット転送層は、ペイロード長の最適化問題に関わるメッセージ分割機能と誤り回復機能を具備している。

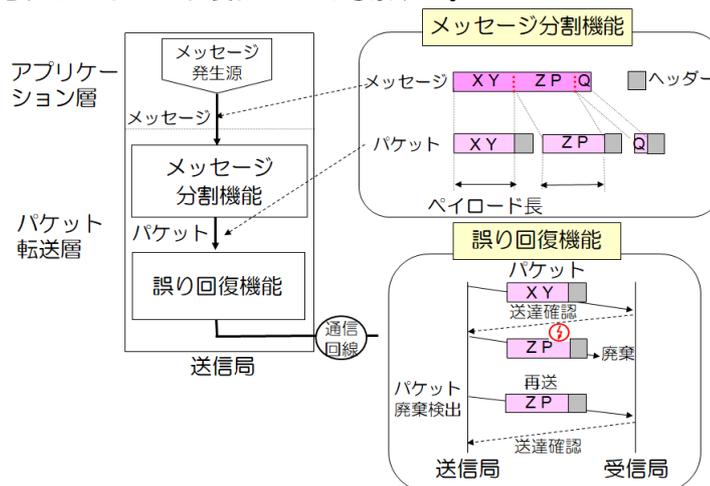


図1 コンピューターネットワークモデル

メッセージ分割機能: Web

ページ転送のようなアプリケーションでは、巨大なメッセージが頻繁に発生する。コンピューターネットワークでは、このようなメッセージを宛先まで円滑に転送するために、ペイロード長を超えるメッセージを受信した送信局は、そのメッセージを複数のデータセグメントに分割する。さらに、各データセグメントにヘッダーを付与しパケットを生成する(引用文献)。

誤り回復機能: Web ページや電子メールのように高い信頼性が求められるアプリケーションをサポートするために、コンピューターネットワークには誤り回復機能が具備される(引用文献)。図1に示されるように、ビット誤りや輻輳により廃棄されたパケットは、送信局により検出され再送される。

パケット転送層の具体例なプロトコルとして、インターネットの端末で具備される TCP (Transmission Control Protocol) (引用文献の Section 3.5) や無線 LAN の端末で具備される IEEE 802.11 MAC (media access control) (引用文献の Section 7.3) が挙げられる。

### (3) トレードオフと最適なペイロード長

前述のコンピューターネットワークでは、QoS をグッドプット(受信局によって単位時間当たり正しく受信される平均ビット数)と平均応答時間とすると、これらの QoS に対して、次のトレードオフが発生する。

(a) グッドプットを QoS とした時のパケット当たりのオーバーヘッドとビット誤りによるパケット廃棄率の関係

メッセージ分割機能により生成された(分割)パケットがビット誤りにより廃棄され、廃棄パケットが再送されるシナリオにおいてグッドプットを QoS とした場合を考える。

・ペイロード長が非常に大きい場合: パケット当たりの転送可能なアプリケーションのデータ量は大きくなるため、パケット当たりのオーバーヘッド(つまりヘッダー)比率は小さくなる。

しかし、パケットがビット誤りとなる確率はパケットの長さに比例するため、この場合、パケットは頻繁にビット誤りとなる。その結果、多数の無駄なパケット再送を引き

- 起こしてしまい、グッドプットは小さくなってしまふ。
- ・ペイロード長が上記の値より小さい場合：ビット誤りによるパケット廃棄率は減少していく。その結果、送信成功するまでに必要な平均再送数は減少し、グッドプットは大きくなっていく。
  - ・ペイロード長が非常に小さい場合：ビット誤りによるパケット廃棄はほとんど発生しない。しかし、パケット当たりのオーバーヘッド比率が無視できないため、グッドプットは小さくなってしまふ。

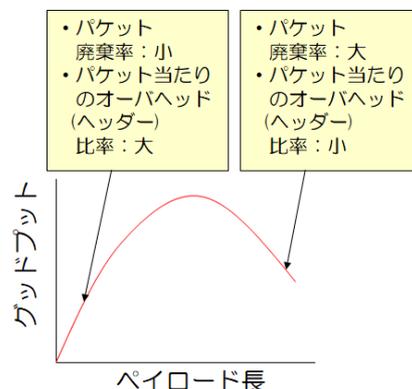


図2 ペイロード長に対するグッドプット

以上の考察より、パケット当たりのオーバーヘッド比率とビット誤りによるパケット廃棄率との間にはトレードオフの関係があることがわかる。よって、このシナリオではグッドプットを最大化するペイロード長が存在する（図2参照）。

(b) 平均応答時間を QoS とした時の平均待ち時間と平均転送時間の関係

メッセージ分割機能により生成された（分割）パケット群が通信回線にバースト的に到着するシナリオにおいて、平均応答時間を QoS とした場合を考える（図3参照）。

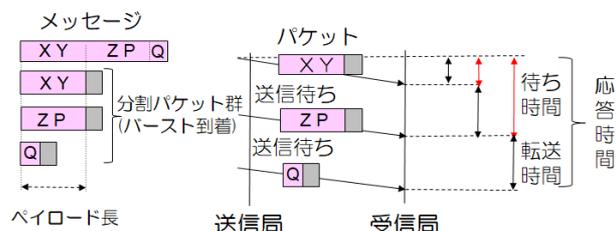


図3 分割パケット群のバースト到着と応答時間

- ・ペイロード長が非常に大きい場合：メッセージ分割はほとんど発生しない。そのため、パケット到着のバースト性により生じる平均待ち時間は十分小さい。一方、パケットの平均転送時間は、メッセージのそれとほぼ等しいため、メッセージ分割が発生しない場合と比べて大きくなる。
- ・ペイロード長が上記の値より小さい場合：メッセージ当たりの平均分割パケット数は増加していく。その結果、パケット到着のバースト性が増し、パケットの平均待ち時間は増大する。一方、メッセージ分割により平均パケット長は小さくなるため、平均転送時間は小さくなっていく。結果的に、平均待ち時間は増加していくが、相対的に平均転送時間は小さくなるため、平均応答時間は減少していく。
- ・ペイロード長が非常に小さい場合：メッセージ当たりの平均分割パケット数は著しく増加し、平均待ち時間は平均転送時間と比べて極めて大きくなる。その結果、平均応答時間は大きくなってしまふ。

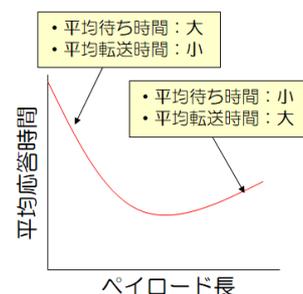


図4 ペイロード長に対する平均応答時間

以上の考察より、平均待ち時間と平均転送時間との間にはトレードオフの関係があることがわかる。よって、平均応答時間を最小化するペイロード長が存在する（図4参照）。

2. 研究の目的

前述したように、メッセージ分割が発生する場合、

- シナリオ1：無線ネットワークのようにパケットがビット誤りにより廃棄され再送される時
- シナリオ2：分割パケット群が通信回線にバースト的に到着する時

において、それぞれグッドプットと平均応答時間を最適化するペイロード長が存在する。

しかしながら、今まで、前述のシナリオにおいて、メッセージ長の分布が陽に与えられた時、各種 QoS を最適化するペイロード長の問題を取り扱っていなかった。そこで、本研究では、メッセージ長の分布が与えられ、数値解が得られる仮定のもとで、最適なペイロード長の傾向や近似解を考察することを目的とする。

3. 研究の方法

最初に、研究代表者が考案したメッセージ分割の数理モデル（引用文献）をもとに、メッセージ長の分布とペイロード長が与えられた時、パケット長の分布を導出する数理モデルを考案した。

次に、前述のシナリオごとに数理モデルを考案した。

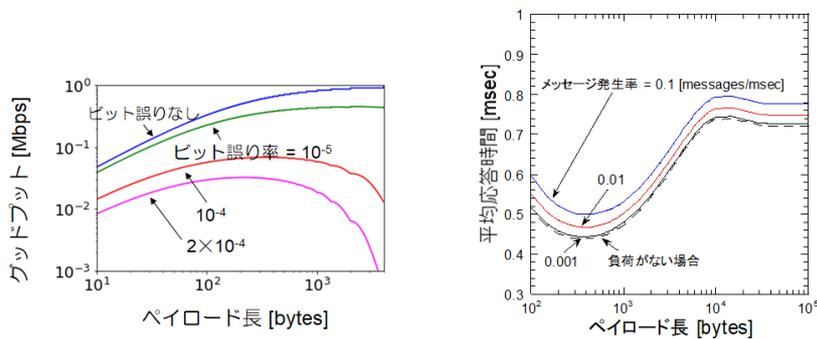


図5 ビット誤りが独立に発生する場合の  
ペイロード長に対するグッドプット

図6 ペイロード長に対する平均応答時間

シナリオ1：無線ネットワーク上でバースト的に発生するビット誤りの発生過程を二次元のマルコフ連鎖を使って表現した。さらに、パケットの(再)送信の振る舞いを、再生理論を使って表現した。

シナリオ2：分割パケットのバースト的到着とパケットの転送を集団到着型待ち行列を使って表現した。

#### 4. 研究成果

##### (1) シナリオ1でのグッドプットの最適化問題

図5に、ビット誤りが独立に発生し、メッセージ長が一定値4000 bytesの時、様々なビット誤り率におけるペイロード長に対するグッドプットを示す。図5より、グッドプットはペイロード長に対して上に凸であることがわかる。つまり、1節で述べた傾向を示すことが、数値例より確認された。

##### (2) シナリオ2での平均応答時間の最適化問題

図6に、メッセージ長が平均4137 bytesの指数分布に従う時、様々なメッセージ発生率におけるペイロード長に対する平均応答時間を示す。図6より、平均応答時間はペイロード長に対して下に凸であることがわかる。

メッセージ長が指数分布に従う時、平均応答時間の陽解が得られる。この陽解を使って、メッセージ発生率が十分小さい時の平均応答時間を最小にするペイロード長の近似解を得ることができる。この近似値は、平均メッセージ長を  $l_m$ 、ヘッダー長を  $l_h$  とすると、 $\sqrt{2l_m l_h}/3$  として与えられることを示した。

#### <引用文献>

J. Kurose and K. Ross, "Computer Networking: A Top-Down Approach", Pearson Education Limited, 2016

T. Ikegawa, Y. Kishi and Y. Takahashi, "Data-Unit-Size Distribution Model when Message Segmentations Occur", Performance Evaluation, Vol. 69, No. 1, pp. 1-16, Jan., 2012, DOI: 10.1016/j.peva.2011.05.004.

T. Ikegawa and Y. Takahashi, "Sliding Window Protocol with Selective-Repeat ARQ: Performance Modeling and Analysis", Telecommunication Systems, Vol. 34, No. 3-4, pp. 167-180, April, 2007, DOI: 10.1007/s11235-007-9032-6.

#### 5. 主な発表論文等

[雑誌論文](計5件)

T. Ikegawa, "Effect of payload size on mean response time when message segmentations occur: Case of burst packet arrival", 12th EAI International Conference on Performance Evaluation Methodologies and Tools, VALUETOOLS 2019, 査読有, pp. 7-14, Palma de Mallorca, Spain, March, 2019  
DOI:10.1145/3306309.3306313

池川 隆司, メッセージ分割が発生する時のペイロード長が平均応答時間に及ぼす影響—バースト的にパケットが到着する場合—, 第35回(2018年度)待ち行列シンポジウム「確率モデルとその応用」, 査読無, pp.133-142, 2019年1月.

T. Ikegawa, "Effect of payload size on goodput when message segmentations occur for wireless networks: Case of packet corruptions recovered by stop-and-wait protocol",

査読無, arXiv:1903.10171, 2019年3月  
<https://arxiv.org/abs/1903.10171>

T. Ikegawa, "Effect of payload size on mean response time when message segmentations occur using M<sup>X</sup>/G/1 queueing model", 査読無, arXiv:1803.10553, 2018年3月  
<https://arxiv.org/abs/1803.10553>

T. Ikegawa, "Effect of Retransmitted Packet Size Preservation Property on Data-Unit-Size Distribution and Goodput for Stop-and-Wait Protocol", 査読無, arXiv:1610.00149, 2016年10月  
<https://arxiv.org/abs/1610.00149>

[学会発表](計1件)

T. Ikegawa, "Effect of Payload Size on Goodput when Message Segmentations Occur for Wireless Networks: Case of Packet-Corruptions Recovered by Stop-and-Wait Protocol", the Thirteenth International Symposium on Operations Research and Its Applications, ISORA 2018, 査読有, Guizhou China, August 22-26, 2018

[その他]

ホームページ等

<http://www.ms.u-tokyo.ac.jp/career/research.html#traffic>

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名: 岸 康人

ローマ字氏名: (KISHI, yasuhito)

所属研究機関名: 松蔭大学

部局名: 観光メディア文化学部メディア情報文化学科

職名: 教授

研究者番号(8桁): 50552999

(2)研究協力者

なし

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。