

# ストリーミングアプリケーションの QoS制御に関する 理論的一考察

山岡 克式  
東京工業大学



## 自己紹介



- ▶ 山岡 克式(やまおか かつのり)
  - » 現在 東京工業大学 大学院理工学研究科 集積システム専攻 准教授
  - » インターネット歴は1980年代後半ごろから
    - ▶ 自由な時代だったのでいろいろ触って遊んでいました
  - » 学生時代から現在まで情報通信ネットワークの品質制御技術を研究
    - ▶ 電話網
    - ▶ パケット網
      - » インターネット



## はじめに



### ▶ 今日のお話の趣旨

- ▶ 本格的なQoS制御は高コスト
  - ▶ 当面IPネットワークには導入されないだろう
- ▶ 低コストなQoS制御で通信品質の維持は果たして可能なのか？
  - ▶ 優先制御で大丈夫なのか？
    - ▶ 極めておおざっぱな理論解析により特性を検討

## 従来のストリーミングとインフラ



### ▶ 品質の安定した通信路

- ▶ 再生タイミング内でデータ到着
  - ▶ 電話
    - ▶ 電話回線
    - ▶ ATM
  - ▶ テレビ会議
    - ▶ ISDN
  - ▶ 放送
    - ▶ 放送用電波帯域

### ▶ 回線交換, 専用線

- ▶ 通信開始時にend-end間で帯域確保

# Internet



## ▶ Internet

### ▶▶ 分散パケット通信網

▶ 効率的

▶ 頑強

▶▶ IP

▶ 到達性の保証

▶▶ TCP

▶ 相互接続

### ▶▶ ベストエフォート



# インターネットとストリーミング



## ▶ 通信品質が不安定

### ▶▶ パケット交換方式に由来

▶ 遅延

▶ 遅延変動(jitter)

▶ ビットエラー

## ▶ 品質制御技術の欠如

### ▶▶ 帯域予約

### ▶▶ 遅延保証

**インターネットとストリーミングは相性が悪い**

# インターネットとマルチメディア



## ▶ パケット網

### » データ通信

- ▶ メール
- ▶ ネットニュース
- ▶ ファイル転送

## ▶ 音声, 動画像アプリケーションも古くから存在

### » VAT(音声), NV, VIC(動画像)

### » 1990年代前半

- ▶ 当時のIP接続は64Kbpsや9600bps

# Internetの普及とQoS要求



## ▶ 一般人への普及

### » コンテンツ

- ▶ 動画、音声

## ▶ Clientの性能向上

### » テレビ会議

### » IP phone

QoS

電話網のような通信品質をInternetに要求

# QoS



- ▶ QoS: 通信品質パラメータ
  - » 帯域(Bandwidth)
  - » 遅延(Delay)
  - » 遅延変動(Jitter)
  - » 廃棄率(Loss rate)
- ▶ ストリーミングは一般にQoSにシビア
  - » 特にライブストリーミング
    - ▶ VoIP
    - ▶ ビデオストリーミング
      - » テレビ電話
      - » テレビ会議

# QoS



- ▶ データリンク層(OSI参照モデル第2層)
- ▶ 電話網
  - » ATM
    - ▶ QoS機能を持つ
- ▶ IP網
  - » Ethernet
    - ▶ Best effort

IPで対応できるか?

# ATM



- ▶ Asynchronous Transfer Mode
- ▶ 53bytes固定長セル
  - » ハードウェアスイッチング
  - » 遅延保証計算容易
- ▶ 基本的にはセルの packets 交換制御



0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

# ATMの失敗



- ▶ 厳密なQoS制御
  - » Per flow control
- ▶ 複雑な制御
  - » 高価
  - » 性能不足
    - ▶ ATM: 150Mbps → 600Mbps
    - ▶ Ethernet: 10Mbps → 100Mbps → 1Gbps

QoSは高い!

# InternetのQoS制御



- ▶ RSVP
- ▶ DiffServ

# RSVP



- ▶ ReSerVation Protocol
- ▶ ネットワーク上の帯域予約プロトコル
  - » 送信開始前に送受信間経路の帯域を予約
    - ▶ 電話と同じ
- ▶ ルータのトラヒック制御と分離
  - » QoS制御はルータ任せ
    - ▶ Per flow control必要
    - ▶ 複雑な制御必要
      - » 高価
      - » 性能不足

IPになっても  
やっぱり  
QoSは高い!

## コンテンツビジネス



- ▶ 有償でコンテンツを配布
  - » ファイルのダウンロード
  - » CD-ROM, DVD-ROM
  - » 有償メールマガジン
  - » 有償WWWページ
- ▶ 昨今ではストリーミング技術に脚光

## ストリーミング技術を用いたビジネス



- ▶ リアルタイム 中継配信(生放送)
  - » インターネット放送
    - ▶ コンサート
    - ▶ 講演会
    - ▶ E-learning
- ▶ VoIP (Voice over IP)
- ▶ Video Conference



# コンテンツビジネスモデル



## ▶ コンテンツビジネス

### ▶▶ コンテンツクリエイター

▶ 印税収入

### ▶▶ コンテンツホルダー

▶ ポータルサイト登録料

▶ 販売収入

### ▶▶ インターネットサービスプロバイダー

▶ 流通手数料

?

## ▶ 出版業界

### ▶▶ 作家

▶ 印税収入

### ▶▶ 出版社

▶ 販売収入

### ▶▶ 流通小売業

▶ 流通小売手数料

# ISPとコンテンツビジネス



## ▶ データ量課金(従量課金)

▶▶ コンテンツの価値が反映されない

## ▶ 通信品質課金

▶▶ 優れた通信品質を提供する代わりに課金

▶ 品質提供を保証できるのか?

▶ 複数プロバイダをまたがる場合どう分配するか?

現状ではISPはコンテンツビジネスは成功していない

## ISPとストリーミングビジネス



▶ ストリーミングはネットワークに多大な負荷を強いる

- ▶ 設備投資、増強の必要性
- ▶ 通信品質保証機構の導入
- ▶ 他ISPとの利益分担

勝算はあるか？

▶ 勝算がなければISPは参入しない

- ▶ 現状維持: ネットワークは何もサポートしない

高品質なQoS提供は現時点では望み薄

## DiffServの登場



▶ Differentiated Service

▶ RSVPの反省

- ▶ 志が高すぎて実現しにくい

▶ 厳密なQoSを目標

▶ 課金

▶ QoSと料金の関数が作成できるか？

▶ プロバイダ間で利益分配必要

一歩ルーズな制御で名より体を目指す

## 思想の変化



- ▶ QoSからClass of Service(CoS)
  - ▶▶ 通信品質の絶対指定から相対指定に
    - ▶ シグナリングの廃止
      - ▶▶ Best effort
    - ▶ スケーラビリティ
      - ▶▶ Per flowからper classへ
    - ▶ 理想から現実

## EF PHB



- ▶ Expedited Forwarding PHB
  - ▶▶ 優先的パケット転送処理
    - ▶ 低遅延
    - ▶ 低損失
    - ▶ 低jitter
  - ▶ 優先制御により実現
    - ▶▶ Priority queueing

プレミアム・サービス

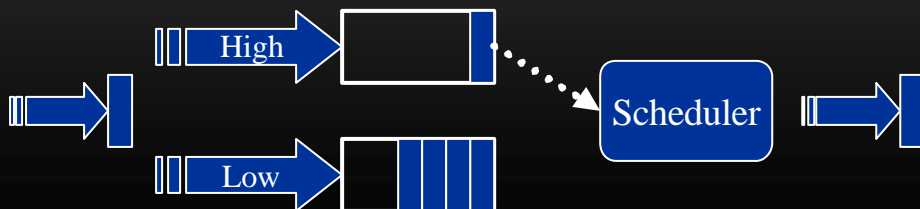
## Priority queuing

### ▶ 優先制御

- ▶ 高優先クラスパケットがあるときはそちらを処理
- ▶ 高優先クラスがない時には低優先クラスを処理

### ▶ 割り込み優先制御

### ▶ 非割り込み優先制御



## 優先制御は万能か？

### ▶ 低優先クラスが停滞する危険性

### ▶ 高優先クラス

- ▶ 低優先クラスによるQoS低下はない
- ▶ 高優先クラスフロー同士は対等
- ▶ 高優先クラスが増えるとQoS低下

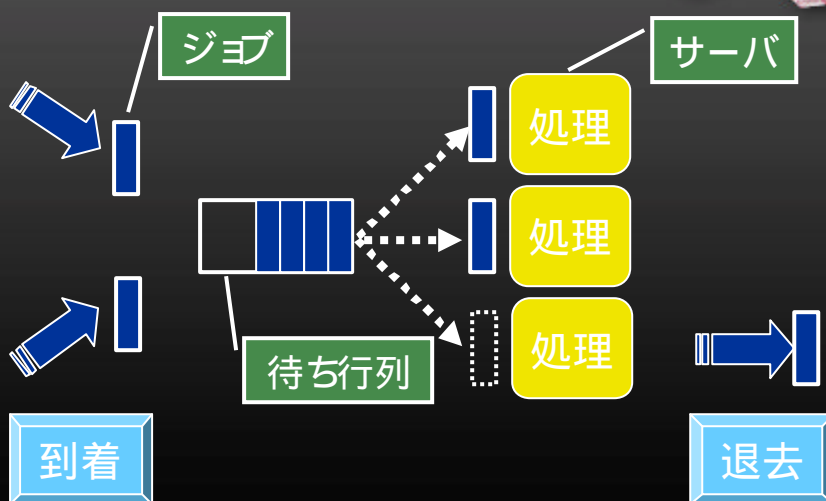
待ち行列値論により  
特性解析

# 待ち行列理論



- ▶ ジョブが確率的に到着し処理されるシステムの特性を数学的に解析する理論
  - ▶ システムの解析や設計に利用
    - ▶ ジョブがサービスを受けるまでの待ち時間
    - ▶ サービスを待つジョブが作る行列の長さ
    - ▶ 呼損率
    - ▶ システムの稼働率

# 待ち行列システム



## M/M/1システム



- ▶ ジョブの到着: ランダム到着
  - » ポアソン分布
- ▶ サーバの処理: ランダム終了
  - » 指数分布
- ▶ サーバ数: 1
- ▶ 最大行列長: 無限大まで許容

## M/M/1システム



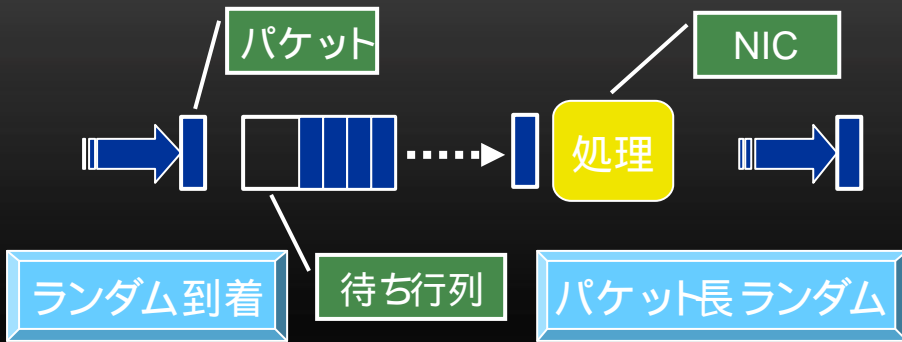
- ▶ パラメータ
  - » ジョブの到着率
  - » サーバの処理率  $\mu$
  - » システムの利用率  $\rho = \frac{\lambda}{\mu}$
- ▶ 理論式の導出結果

システムの性能を  
決める重要な値

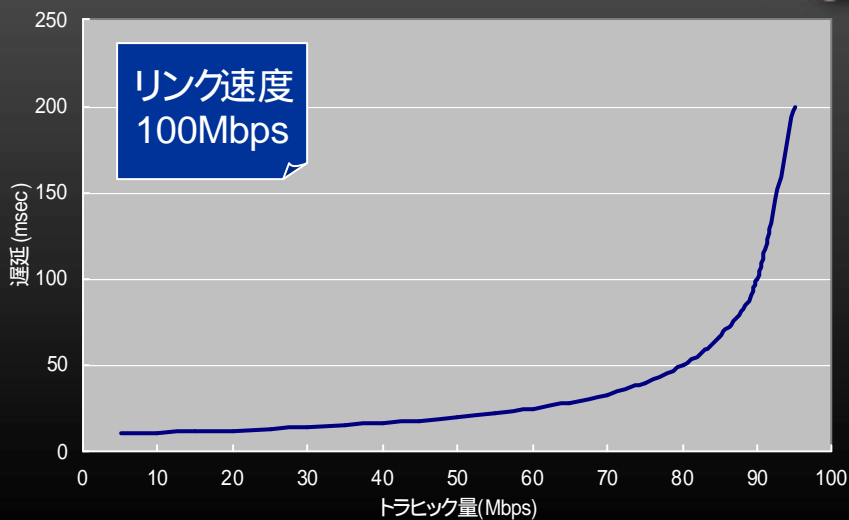
- » システム内の平均ジョブ数  $N = \frac{\rho}{1 - \rho}$
- » 平均遅延時間  $D = \frac{N}{\lambda}$

# ルータのモデル化

## ▶ ルータをM/M/1システムでモデル化



# M/M/1システムの平均遅延



# Priority queuing

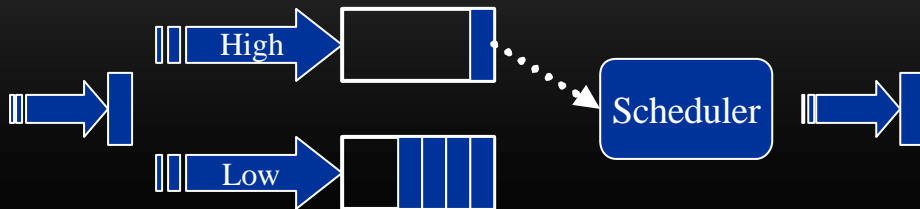
## ▶ 割り込み優先制御

▶▶ 高優先クラスの品質に低優先クラスは影響しない

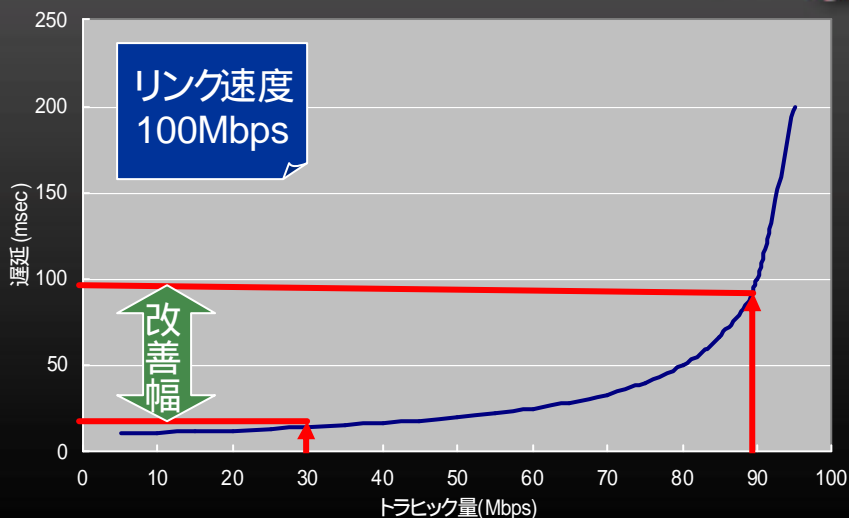
▶▶ 高優先クラスのトラフィック量だけで品質決定

## ▶ 非割り込み優先制御

▶▶ 高優先クラスは割り込み優先よりも品質劣化

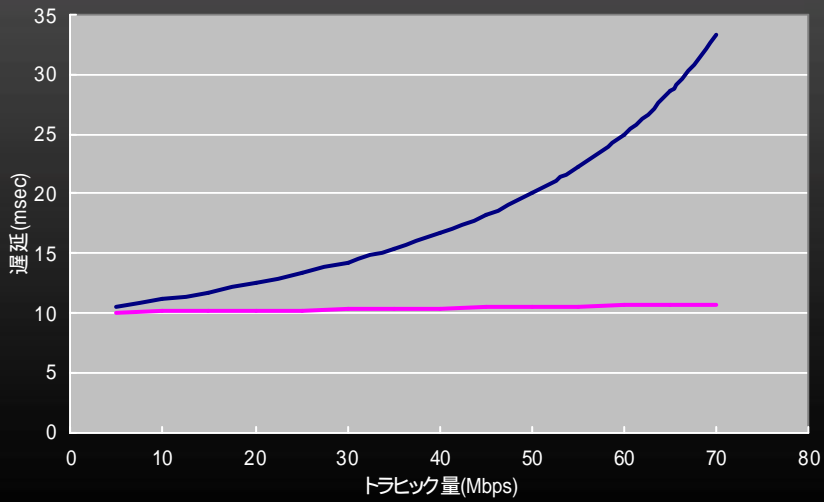


# M/M/1システムの平均遅延

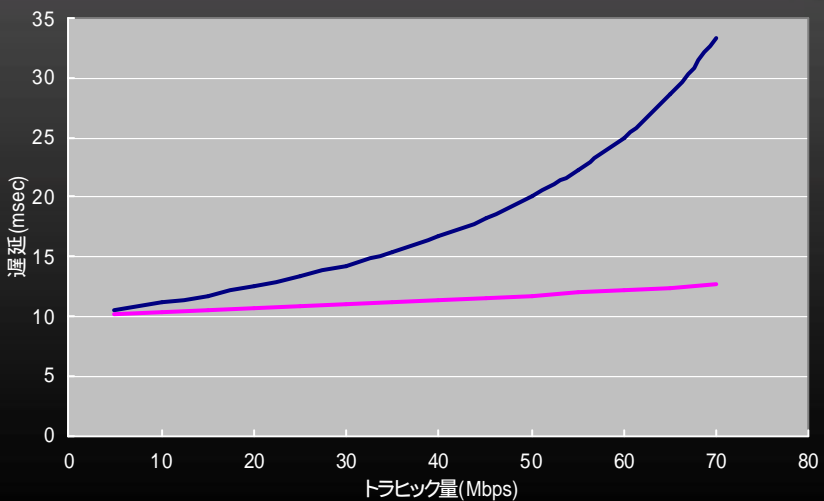




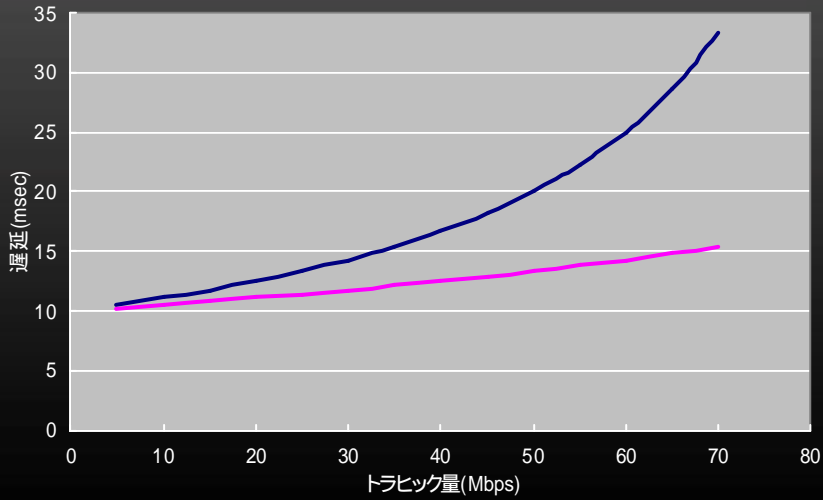
## 優先制御の効果(高優先10%)



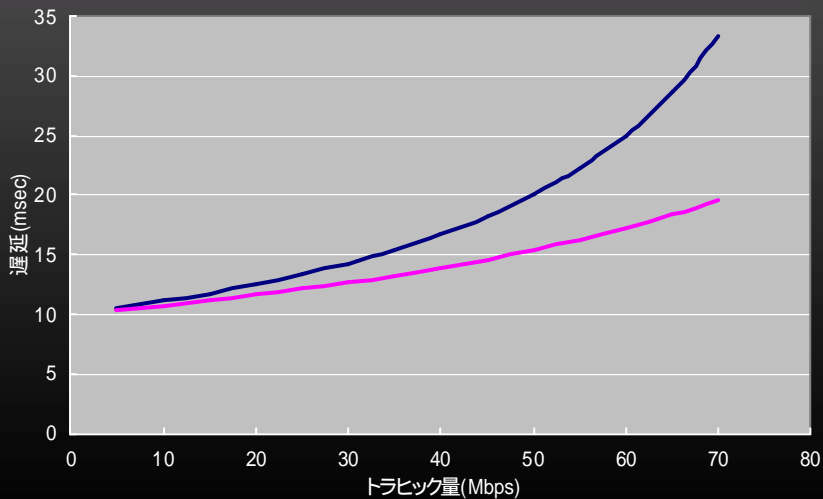
## 優先制御の効果(高優先30%)



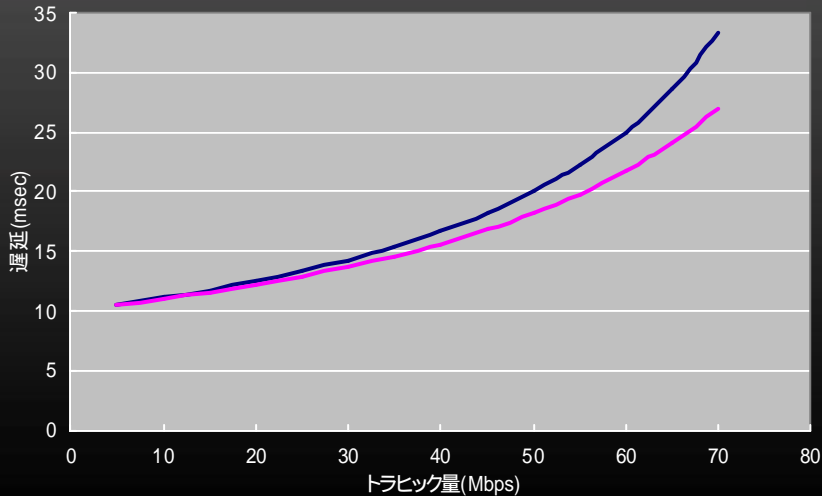
## 優先制御の効果(高優先50%)



## 優先制御の効果(高優先70%)



## 優先制御の効果(高優先90%)



## 優先制御の特性

- ▶ 高優先クラスは確実にQoS改善
  - » 低優先クラスのQoS劣化のもとで
- ▶ 利用率が高くなるとQoS改善効果増加
  - » ただしそれ以上に根本的なQoSが悪化
- ▶ 高優先の比率が高くなるとQoS改善効果減少
  - » 一般には高優先クラスが全トラヒックの1割くらいまでであれば効果的といわれている

高負荷かつ高優先クラスの比率が高いときしか  
優先制御は効果的に機能しない

# ストリーミングと優先制御



## ▶ VoIP

- ▶ 優先制御で何とかかな , , , ?
  - ▶ 帯域小
  - ▶ 全トラフィックの1割以下に押さえられれば , , ,
- ▶ ユーザが少々のQoS劣化を許容
  - ▶ 無料なら許す
  - ▶ ユーザが携帯電話の劣悪QoS環境に慣れた

## ▶ 動画像ストリーミング

- ▶ 優先制御では絶望的 ?
  - ▶ 帯域大
- ▶ ユーザがQoS劣化を許容しにくい
  - ▶ 再生中に画像が消えたり止まったりするのはちょっと , , ,

# おわりに



## ▶ QoSは高コスト

- ▶ 性能を上げると高価に
- ▶ 安価では性能が出ない

## ▶ QoSでもうけるのは難しい

- ▶ 儲からないとQoSのために投資しない

## ▶ 安価なQoS制御ではたいしたことができない

- ▶ QoS制御が効果的に働くとシチュエーションはかなり限定的
  - ▶ 理論もあなどれないところがありますよ