

# 動画配信システムにおける QoS 制御とオンラインアルゴリズムについて

福田 和真, 鷹取 功人, 田中 聡

三菱電機株式会社 情報技術総合研究所

E-mail: {kfukuda,takatori,stanaka}@isl.melco.co.jp

動画配信システムにおける QoS 制御方式の評価方法自体はまだ確立しておらず, 現在でも QoS 制御方式についてのさまざまな提案は行われているが, 提案されている方式間での客観的な評価もほとんど行われていない.

本論文では, 動画配信システムにおける QoS 制御をオンラインアルゴリズムと捉えて単純なモデル化を行い, その評価方法についてオンラインアルゴリズムにおける評価方法の応用を検討する.

## On an Online Algorithm and a QoS-Control in the Video Distributing System

Kazuma Fukuda, Norihito Takatori, Satoshi Tanaka

MITSUBISHI ELECTRIC CORPORATION  
INFORMATION TECHNOLOGY R&D CENTER

We have not established the evaluation method of a QoS control in Video distribution system yet. Although various methods of a QoS control are also proposed, we have hardly been shown objective evaluations between those systems.

In this paper, we catch a QoS control in Video distribution system with on-line algorithm, modelize it simply, and consider applying the evaluation in on-line algorithm to it.

### 1 はじめに

インターネット上におけるパケット通信は, 使用する帯域幅や遅延時間などが基本的に保証されない“ベストエフォート”型である. しかし, インターネット上で音声や動画などの連続メディア情報をストリーミング配信するとき, 動的に変化する利用可能な帯域幅や遅延時間のゆらぎ(ジッタ)などに適応する必要がある. そのために行う制御は(アプリケーションレベルの) QoS 制御と呼ばれる.

動画配信システムの QoS 制御による再生品質についての客観的な評価方法は, 一部の要因について評価する方法<sup>1</sup>やそれらの組合せなどは知られているが, 総合的に評価できる客観的な方法は知られていない. そのため, 複数の観察者による主観的な評価<sup>2</sup>が行われている. ま

た, 提案されている方式間での客観的な比較もほとんど行われていない. なお, 動画の符号化方式やその再生品質自体の評価方法などの研究も多く行われているが, それらについても主観的な評価方法が多い.

オンラインアルゴリズムは, 未来の情報がない状況で現在の状況に対する行動を決定するアルゴリズムと述べることができる. この観点から, 動画配信における QoS 制御もこれまでに得られた各種状況だけで制御の方針を決定するものであるため, QoS 制御の方式もオンラインアルゴリズムの一つとして考えることができる.

本論文では, 動画配信システムにおける QoS 制御をオンラインアルゴリズムと捉えてモデル化を行い, その評価についてオンラインアルゴリズムにおける評価方法の応用を検討する.

<sup>1</sup>例えば, PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) など.

<sup>2</sup>例えば, MOS (Mean Opinion Score)[1] など.

## 2 動画配信システムと QoS 制御

まず最初に、一般的な動画配信システムの概略的な構成と QoS 制御の考え方などについて概要を述べる。

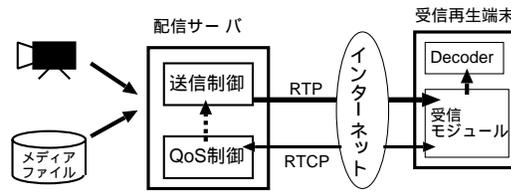


図 1: 動画配信システム構成

### 2.1 動画配信システムの構成概要

動画配信システムにおける一般的な構成の概要図としては図 1 のような形となる。配信サーバから配信されるメディアは事前に符号化されたファイルであったり、リアルタイムなライブ映像(エンコーダは配信サーバの外部にあり、ネットワーク経由で映像情報を取得する)であったりする。

IETF で標準化されているインターネット上で音声や動画などのメディアパケットを配信するプロトコルとして RTP (Real-time Transport Protocol[2]) がある。RTP はメディアパケットを配信する内容だけでなく、End-to-End での周期的な通信状況のモニタリング<sup>3</sup>などを行うためのプロトコル RTCP (RTP Control Protocol) も含んでいる。RTCP により得られる情報は“フィードバック情報”とも呼ばれる。

RTP/RTCP ではその下位層で使用するトランスポート層でのプロトコルを特定していないが、(リアルタイム性の要求から) UDP を使用することがほとんどである。ただし、FireWall などの対応のために TCP (または/かつ HTTP) 上に搭載されることもある。

なお、標準技術を用いない独自方式のものも多数存在する。例えば、Microsoft 社の Windows Media Technologies や Real Networks 社の Real System (最近では Helix という名前もある) などである。ただし、最近では RTP をサポートするシステムは多くなっている。(実際の動画配信システムにおいては、RTP 以外にもいくつかのプロトコルが必要となる。)

### 2.2 QoS 制御について

配信サーバの QoS 制御では、これまでに得られたフィードバック情報に基づいて現在の通信状態を推測し、次の配信方針を決定する。実際には、送信レートの増減方針を決定し送信レートを求めることになる。なお、送信レート

<sup>3</sup>受信端末(再生クライアント)から配信サーバへ、パケットロス率、ジッタ評価値、受信済パケットの最大シーケンス番号などの情報が送信される。

は“End-to-End における利用可能な帯域幅”でもあり、End-to-End 内の各々の経路の帯域幅における最小値(ボトルネックとなるリンクの帯域幅)でもある。

なお、フィードバック情報における一般的な傾向として例えば次のようなものが知られている。

- パケットロスが発生した場合には通信経路上で輻輳が発生し通信状態が非常に悪い状態である。
- ジッタの変動や Round Trip Time (RTT) が大きくなると、通信状態が不安定である。(悪化の傾向)

実際の送信レートが利用可能な帯域幅を超えているとパケットロスの発生につながり、受信端末での再生品質が悪化する。しかし、利用可能な帯域幅よりも送信レートが少なすぎると、そのときの状況における再生品質としては不十分である。そのため、送信レートを求めるときは利用可能な帯域幅に近い値となることが求められる。

送信制御では、QoS 制御で求められた送信レートに適応するようにパケットの送出制御などを行う。その方法にはフレーム数や画質の調整などがある<sup>4</sup>。

トランスポート層におけるプロトコルとして TCP を利用する場合はプロトコルレベルで欠損したパケットの再送制御や帯域制御が行われているが、リアルタイム性に関する制御が行われない。そのため、TCP 上で実現する動画配信システムであっても、QoS 制御の必要性は変わらない。

なお、我々が開発した動画配信システムや現在実現している QoS 制御方式は文献 [3, 4, 5] で詳述している。パケットロス率とジッタ評価値を利用して通信状態を推測し、これまでに推測した結果から今後の通信状態の傾向を予測し、送信レートを決定するものである。(我々の提

<sup>4</sup>動画は可変長符号であることが多いので、実際にはそれぞれのフレームの大きさなども考慮し、局所的な符号化レートの増減にも対応することが必要となる。

案以前の他の研究者による QoS 制御方式では、これまでの通信状態の傾向から決定していくような方法はあまり見られない.)

### 3 QoS 制御とオンラインアルゴリズム

前節で動画配信システムと QoS 制御を概説したが、未来の情報がない状態で現在の行動を決定する QoS 制御は、そのアルゴリズムとしてはオンラインアルゴリズムであるということもできる。ここでは、QoS 制御をオンラインアルゴリズムとして捉えたときの評価方法について検討する。

#### 3.1 QoS 制御の単純なモデル

ここで、QoS 制御のアルゴリズムを非常に単純化したモデルを考える。

議論を容易にするために、通信状態の判定はフィードバック情報から一意に決定でき<sup>5</sup>、判定結果は“良”または“否”で得られるものとする。なお、この結果は、現在の通信経路上の状態における現在の送信レートについての判定結果である。(相対的な判定と言える。)

これらから、QoS 制御のオンラインアルゴリズムは次のような流れとなる。

1. (定期的に受信する) フィードバック情報からそのときの通信状態を判定。
2. 判定結果に基づいて送信レートの変更方針(増加, 変更無し, 減少)を決定。
3. 送信レートを計算。(得られたフィードバック情報も利用)

もし、ある 2 つのアルゴリズムにおいて送信レートを算出する部分が同じであったとしても、変更方針の決定の仕方によりその結果が異なるであろうことは自然とわかる。

送信レートの変更方針を決定する方法として、判定したそのときの結果だけから単純に決定する方法を考えることもできるが、我々が文献 [3] で提案した方法を簡略化して説明する。

通信状態の判定はフィードバック情報が得られたときに定期的に行われる。それでこれまでに判定された結果を利用する。その簡単な利用の例としては、表 1 のような規則で決定する

<sup>5</sup>実際の判定において輻輳の発生の検出は比較的容易であるが、輻輳となる前の通信状態の程度の検出は難しい。

		現在の判定結果	
		良	否
前回 の 判定 結果	良	増	減(少)
	否	変更無し	減(大)

表 1: 送信レートの変更方針

方法である。これは、通信状態が良い状態が続く場合にのみ送信レートを増加し、悪い状態から良い状態になっただけでは増加しないものである。

送信レートの計算方法としては、フィードバック情報から現在の送信レートに対して増減する割合を算出することが多い。なお、フィードバック情報に対してある閾値を設定し、それとの比較による方法を取る場合もある。そのときの閾値は静的であったり(送信レートの変更などに適応して)動的であったりする。

#### 3.2 送信レートについてのコスト

動画を配信する期間  $[0, T]$  において、時刻  $t$  における実際の利用可能な帯域幅を  $R(t)$ 、配信時のフィードバック情報を入力に取ったときに“計算された”最適なアルゴリズムによる送信レートを  $R_{OPT}(t)$ 、あるオンラインアルゴリズムを  $R_A(t)$  とする。なお、 $R_{OPT}(t)$  や  $R_A(t)$  は十分に長い時間で眺めると連続的であるが、局所的にはフィードバック情報を得る時間間隔で変化するために不連続的(イメージ的には階段状)である。

“計算される”送信レートは可能なかぎり  $R(t)$  に近いほうがよい。そのため、コストとして  $R(t)$  との差分を利用したものを考える。(図 2) なお、現実には  $R(t)$  を超えるより小さいほうがよいが、ここでは単純にするためにどちらも同じコストと考える。

送信レートについての最適なアルゴリズムによるコストを  $C_{OPT}$ 、あるオンラインアルゴリズムについてのものを  $C_A$  とすると、それぞれは次で表すことができる<sup>6</sup>。

<sup>6</sup>不連続的に考えるのであれば、不連続な区間に対する差分の和で置き換えられる。

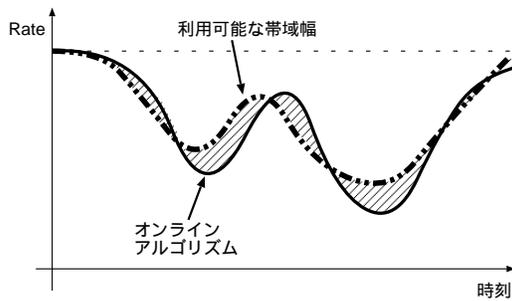


図 2: 送信レートのコストについて

$$C_{OPT} = \int_0^T |R(t) - R_{OPT}(t)| dt$$

$$C_A = \int_0^T |R(t) - R_A(t)| dt$$

送信レートは QoS 制御として“計算された”レートとして扱っているが、これらを配信制御で“実際にパケットを送出した”レートとして考えると、システム全体に近いコストとして見ることもできる。

### 3.3 評価について

それぞれのコスト  $C_{OPT}$ ,  $C_A$  から、オンラインアルゴリズムの評価として競合比を考えることができる。この場合、競合比は次として考えることができる。

$$\frac{C_A}{C_{OPT}}$$

QoS 制御をオンラインアルゴリズムとして捉えたとき、この競合比が小さければ良いアルゴリズムとして考えることができる。また、最適なオンラインアルゴリズムとの比較ではなく、異なる 2 つの QoS 制御の比較という意味でも利用できるかもしれない。

なお、 $C_{OPT}$  が 0 となることも考えることができるが、実際にはそのようになりそうにはない。そのため、 $C_{OPT} \neq 0$  と考えて差し支えない。

この競合比を解析していくことで、QoS 制御の方式についての評価も可能となることは想像できる。実際の解析については、QoS 制御のより詳細なモデル化などと含めて現在検討中である。

## 4 終わりに

本論文では、動画配信システムにおける QoS 制御をオンラインアルゴリズムと捉えて単純なモデル化を行い、その評価方法について検討した。コストとして送信レートを考慮したものであり、競合比として考えることができるものである。今後は今回の単純なモデル化においてこの競合比がどの程度になるのか解析を行う必要がある。また、配信制御に関連してコストを求める方法への拡張も検討していく必要がある。

なお、動画配信システムにおける QoS 制御方式の評価方法自体はまだ確立しておらず、現在でも QoS 制御方式についてのさまざまな提案は行われているが、提案されている方式間での客観的な評価もほとんど行われていない。

そのため、今回の検討を動画配信システムにおける再生品質的なところまで含めた QoS 制御のアルゴリズムの評価方法を検討することが大きな課題である。検討において、さまざまな要因に対するモデル化や再生品質の知覚的な評価をどこまでモデル化できるかが大きな鍵となる。

## 参考文献

- [1] 稲積, 磯谷, 吉田, 酒井, 堀田. “低ビットレート動画通信における最適フレームレートの画像依存性”. 情処学会 AVM 研究会 研究報告 2000-AVM-20, Vol. 2000, pp. 19-24, 2000.
- [2] H. Schulzrinne, S. Casner, R. Frederick, and V. Jacobson. “RTP: A Transport Protocol for Real-Time Application”. IETF RFC1889, 1996.
- [3] 下間, 福田, 奥村, 鷹取, 大野, 水野. “RTP を利用した動画配信システムにおける QoS 制御方式”. 情処学会論文誌, Vol. 43, No. 8, pp. 2697-2706, 2002.
- [4] 奥村, 福田, 鷹取, 大野, 臼井. “MPEG-4 ストリーミング配信 ~DiamondStream~”. DICOMO2002, Vol. 2002, No. 9, pp. 145-148, 2002.
- [5] 福田, 奥村, 鷹取, 大野, 下間. “RTP を利用した動画配信システムにおける QoS 制御方式”. 情処学会 DPS 研究会 研究報告 2000-DPS-99, Vol. 2000, No. 88, pp. 49-54, 2000.