

# モバイルネットワークにおけるマルチメディア配信制御技術

Multimedia Streaming Technologies on Mobile Networks

里田浩三  
Kozo Satoda

大芝崇  
Takashi Oshiba

吉田裕志  
Hiroshi Yoshida

中島一彰  
Kazuaki Nakajima

NEC サービスプラットフォーム研究所  
Service Platforms Research Laboratories, NEC Corporation

## 1 まえがき

モバイルネットワークを介した映像配信, 映像コミュニケーションなどのマルチメディアサービスが普及してきている。モバイルネットワークでは電波状態などの影響でアプリケーションが利用できる通信スループットが変動し, ユーザの体感品質が悪化するという問題がある。このため, モバイルネットワークで利用できる通信スループットを推定・予測することで, マルチメディア体感品質を向上する技術が重要になってきている。

## 2 マルチメディア配信システムの分類

本稿で対象とするマルチメディア配信システムを図1に示す。本図は一方向の配信システムであるが, 双方向も対象とする。対象とするメディアは, あらかじめ録画・保存されている蓄積型メディアとリアルタイムにメディア生成しながら配信するリアルタイム型メディアに分類できる。配信サーバからの配信方式は, メディアのフレーム単位に付与されるタイムスタンプに従って配信するタイムスタンプ方式と, タイムスタンプに関係なくメディアを一つのファイルとして配信するファイル転送方式に分類できる。ネットワーク上の配信プロトコルは実時間性を重視するが到達性は保証されないUDPと, 到達性は保証するが実時間性は低いTCPに分類できる。これらを組み合わせたメディア配信の分類と代表的なメディア配信アプリケーション例を図2に示す。

本稿ではアプリケーションとして, TCPを利用した映像配信(HTTPストリーミング, プログレッシブダウンロード)とUDPを利用した双方向コミュニケーションとを想定し, TCPおよびUDPの通信スループットの推定・予測技術と, HTTPを利用した映像配信サービスの体感品質を向上する技術について述べる。

## 3 ネットワークスループット推定・予測技術

本章ではTCPおよびUDPで利用可能な通信スループットを予測および高速に推定する技術を紹介する。

### 3.1 TCPスループットの確率的拡散予測方式

これまで将来のTCPスループットを予測し, 確定的なTCPスループットを一意に求める試みがなされてきたが, 変動するTCPスループットを高精度に予測することはできていなかった。これに対し, 我々は30秒後のTCPスループットの広がり(確率的拡散)を80%以上の精度で予測することができるTCPスループットの確率的拡散予測方式を提案している[1]。本方式では過去

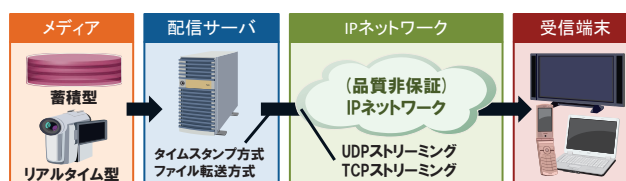


図1 対象とするマルチメディア配信システム

		タイムスタンプ方式	ファイル転送方式
UDP	リアルタイム型	双方向コミュニケーション ライブビデオ配信	
	蓄積型	映像配信 (RTSPストリーミング)	
TCP	リアルタイム型	ライブビデオ配信 (遅延あり)	
	蓄積型	映像配信 (HTTPストリーミング)	映像ダウンロード 映像プログレッシブダウンロード

図2 マルチメディア配信の分類とアプリケーションのTCPスループットデータを用いて, 将来のTCPスループットの振る舞いをWiener過程でモデリングすることで, 時間 $t$ 後のTCPスループット $x$ の確率密度関数 $f(x, t)$ を

$$f(x, t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2 t}} \exp\left(-\frac{(x - x_0 - \mu t)^2}{2\sigma^2 t}\right) \quad (1)$$

と求めることができる。 $x_0$ は現在時刻でのTCPスループット,  $\mu, \sigma$ はそれぞれ過去のデータから得られたドリフトと標準偏差である。本式で得られる確率密度分布を図3に示す。本図の赤実線で描かれた曲線の関数は,  $x^\pm(t) = x_0 + \mu t \pm \alpha\sigma\sqrt{t}$ となる(上側の曲線を $x^+$ , 下側の曲線を $x^-$ )。 $\alpha$ は確率予測範囲を定める定数であり,  $\alpha$ を変えることで, 将来のTCPスループットの広がりを任意の精度で予測できる。 $\alpha = 3$ の場合は $x^\pm(t)$ にTCPスループットが収まる確率が $3\sigma = 99.7\%$ になる。

### 3.2 実時間UDPスループット推定方式

双方向コミュニケーションでは, 相手とのコミュニケーションを阻害しない実時間(例えば数百ミリ秒以下)でUDPスループットを測定し, 遅延やパケットロスによるメディア品質劣化が発生しないようにメディア品質を制御することが求められる。

UDPの可用帯域を推定するためにパケットペア方式やパケットトレイン方式などが研究されてきたが, 可用帯域推定に数秒から数十秒の時間がかかることが知られ

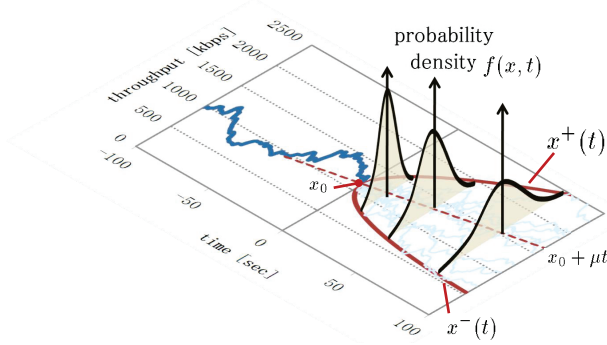


図3 TCP スループットの確率的拡散予測

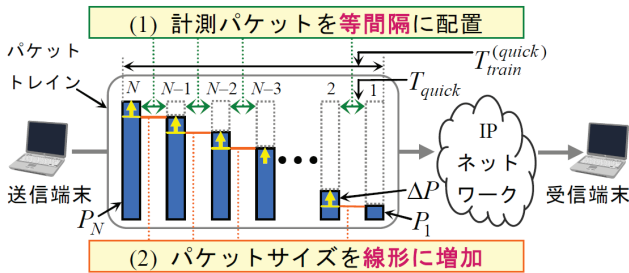


図4 実時間 UDP スループット推定方式

ている。また、通信可能なスループット推定には大量のデータを実際に流す必要があった。これに対し、我々は平均 182ms で UDP の通信スループットを推定できる PathQuick を提案している [2]。

PathQuick の UDP スループット推定方式を図 4 に示す。PathQuick では送信端末が連続した UDP パケットで構成されるパケットトレインを送信し、受信端末で到着するパケットごとの受信レートを測定することで利用可能な通信スループットを推定する。送信するパケットトレインは、等間隔にパケットを配置し、それぞれのパケットサイズが線形に増加するように構成されている。すなわち、送信端末からこのパケットトレインを送出すると、送信レートが徐々に高くなるようになっている。受信端末ではパケットトレインの各パケットの受信レートを測定し、受信レートが増加しなくなるタイミングを見つかることで UDP の通信スループットを推定する。送信レートが徐々に高くなるようにパケットトレインを構成することで、一度のパケットトレイン送出で通信スループットを推定することができ、実時間で大量のデータを流さずに UDP スループット推定が可能である。

#### 4 TCP スループット予測に基づく適応映像配信技術

モバイルネットワークにおいて高い視聴品質を実現する適応映像配信技術について述べる [1][3]。

##### 4.1 適応映像配信制御方式

図 1 に示した配信システムに対して、蓄積型メディアの配信モデルを支配する方程式は次のようになる [3]。

$$\frac{dT_p}{dt} = \frac{x}{r} - p \quad (2)$$

$T_p$  は受信端末の再生バッファ量、 $x$  は TCP スループッ

表 1 適応配信評価結果

	予測なし方式	予測方式
平均映像ビットレート	559.2 kbps	510.9 kbps
総再生停止時間	59.0 秒	0.0 秒

ト、 $r$  は映像ビットレート、 $p$  は再生レートである。早送りや巻戻しをせず、等速で再生している場合  $p = 1$ 、二倍速で再生している場合  $p = 2$  となる。 $T_p = 0$  となると再生バッファが空になり、映像再生が停止する。

将来の TCP スループットが  $x^-(t)$  であるという仮定のもとで、本方程式を解析的に解くことで、TCP スループットの変動に対して安全側の制御を行う。ある短い時間  $[0, T]$  は一定の映像ビットレートで通常再生を行なっている ( $p = 1$ ) と仮定した場合、 $T$  秒後の再生バッファ量  $T_p(T)$  秒は解析的に求まる。求まった  $T_p(T)$  を目標値  $T_r$  に近づけるように映像ビットレート  $r$  を制御する。

##### 4.2 適応映像配信制御方式の評価

スループット予測を用いた適応映像配信制御方式と予測を用いない適応映像配信制御方式の性能比較を行った。予測を用いない方式は、 $x^-(t)$  ではなく、現時点での TCP スループット  $x_0$  を用いて制御を実施する。利用した蓄積映像は、300 秒のコンテンツであり、2 秒ごとのチャンクに分割されている。それぞれのチャンクは 250 から 1500 kbps の 7 種類の映像ビットレートで符号化されている。制御パラメータは  $T_r = 3$  秒、 $T = 10$  秒、 $\alpha = 2$  を用いた。配信サーバと受信端末は有線ネットワークで接続し、3G ネットワークで実測した TCP スループットの時系列データに従って、映像配信の TCP スループットを制限できるようになっている。評価結果を表 1 に示す。予測を利用した場合、映像視聴の再生停止が発生していない。平均映像ビットレートが 48.3 kbps 低下しているが、TCP スループット予測により数十 kbps の低下の代わりに再生停止の回避が可能である。

#### 5 まとめ

本稿では、モバイルネットワークの通信スループットを推定・予測することでマルチメディアサービスの体感品質を向上するマルチメディア配信制御技術を紹介した。

#### 参考文献

- [1] 吉田裕志, 里田浩三, 野垣智士, “TCP スループットの確率的拡散予測に基づく映像配信制御,” インターネットコンファレンス 2011 論文集, pp.57–66, Oct. 2011.
- [2] T. Oshiba and K. Nakajima, “Quick and simultaneous estimation of available bandwidth and effective UDP throughput for real-time communication,” Proc. 16th IEEE Symposium on Computers and Communications, pp.1123–1130, June 2011.
- [3] 吉田裕志, 里田浩三, “映像パケットの流体モデルに基づく映像ストリーミング制御,” 信学技報 IN2008-201, pp.411–416, Mar. 2009.