

動画の品質劣化の許容度を考慮した帯域制御の方式

坂手 寛治 山口 弘純 東野 輝夫 谷口 健一

大阪大学 大学院基礎工学研究科 情報数理系専攻
〒560-8531 大阪府豊中市待兼山町 1-3

本稿では、ネットワークの混雑時には既存ストリームに割り当てられた帯域幅の一部を横取りし、新たなストリームを受け入れる帯域制御の方式を提案する。提案する制御方式では、各ストリームごとに割り当てられている帯域幅の減少量と、許容できる品質劣化の程度を表す値（品質劣化値）の関数がユーザにより与えられるとする。このときに、ネットワークの最小費用フロー問題の解法を用いて、品質劣化値の総和がネットワーク全体で最小となるように既存ストリームからの横取り帯域幅を決定する。従って、本来要求される既存ストリームの品質を保ちながら新しいストリームの生成要求を受け入れることができると考えられる。提案方式を実装し、MPEG1ビデオのストリームに対して品質劣化の関数を与え、ストリームの生成要求を順次発生させながら既存ストリームの品質を表す再生フレームレートを測定したところ、従来方式と比較し高いフレームレートを保ちながらストリームの生成要求を受け入れることができた。また、シミュレーションによる実験の結果、想定するネットワークの規模において実用上問題ない時間で横取り帯域幅を決定できた。

A Preemption-Based Bandwidth Allocation Scheme for Multiple Video Streams

Hiroharu SAKATE, Hirozumi YAMAGUCHI,
Teruo HIGASHINO and Kenichi TANIGUCHI

Division of Informatics and Mathematical Sciences,
Graduate School of Engineering Science, Osaka University
Machikaneyama-cho 1-3, Toyonaka, Osaka 560-8531 Japan

For transmitting high quality video/audio streams over networks, several bandwidth reservation schemes have been proposed. For efficient utilization of limited bandwidth, it is desirable that the bandwidth allocated to each stream can be flexibly decreased/increased according to the congestion of networks, keeping the minimum requirement of the quality of services (QoS) of each stream. Several congestion control methods have been proposed where partial amounts of the bandwidth allocated to the existing streams are preempted when a new connection request occurs. However in these methods, the QoS of the existing streams may be violated due to an extreme preemption. In this paper, a new preemption-based bandwidth control method is proposed. In our method, a quality function is given for each stream in advance which represents the relationship between the amount of allocated bandwidth and its degree of quality. The amount of bandwidth to be preempted is decided according to the quality functions, where the sum of the decrease of quality degrees of all streams is minimized. To do so, we use a technique to solve the minimum cost flow problem. Finally we show that our method realizes a low blocking probability keeping the quality of video streams, via both experimental and simulation results.

1 はじめに

ネットワーク上で動画や音声等を転送する際にユーザが要求する QoS (Quality of Service) [9] を保証するため、RSVP や ST-II などのプロトコルに見られる帯域予約の概念が普及しつつある。帯域予約は動画や音声の連続的なトラフィック (ストリーム) に対して一定量の帯域幅を継続的に割当てることにより、ネットワーク上で発生する遅延のゆらぎやデータ損失の影響を低く抑えることを可能とする。近年このような帯域予約の概念に基づき、限られた帯域幅を有効利用するため各ストリームに割り当てる帯域幅を一定の通信品質を保証しながら制御し、なるべく多数のストリームを受け入れるための方式 (帯域制御方式) に関する研究が行われてきている

[2, 3, 6].

帯域幅の利用率を上げ、かつなるべく多数のストリームを受け入れるためには、定常時には各ストリームの要求通りの帯域幅を割り当てておき、ネットワークの混雑時に新たなストリームの生成要求が発生した場合はある一定の評価基準に基づき既存のストリームの帯域幅を横取りする方法が有用であると考えられる。文献 [2] では、横取りの評価基準としてストリーム間の優先度を採用し、低優先度のストリームからの横取りを認める方法が提案されている。しかし、この方法では横取りにおける品質保持を規定していないため、横取りされたストリームの品質が著しく損なわれる可能性がある。また、文献 [3] では、ストリームの帯域幅と品質との関係を各ストリームごと予め指定し、それを用いて横取りする

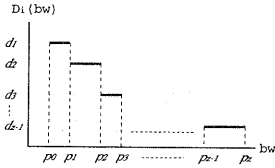


図 1: 品質関数

帯域幅を決定する方法が提案されている。この方法では、通信品質の劣化度を考慮した横取り帯域幅の決定が可能である一方、帯域幅を競合するストリームの競合形態を限定し簡単化するために単一ユーザのストリーム間での横取りのみを仮定している。このため、ビデオ会議システムなど複数ユーザがそれぞれストリームを生成する環境において有効な帯域幅利用が実現できない可能性も考えられる。また、横取りの際の品質劣化の程度をなるべく抑える工夫もなされていない。

本稿では、各ストリームの帯域幅と通信品質との関係を予め指定し、任意の競合形態において品質劣化度を最小とするような横取り帯域幅を決定する帯域制御方式を提案する。提案方式では、割り当てる帯域幅に対しその帯域幅が品質に及ぼす影響の程度を品質関数として各ストリームに与える。新しいストリームの生成時に帯域が不足する場合は、この品質関数に基づき競合する各ストリームの品質劣化度の総和が最小となるよう競合する各ストリームから横取りする帯域幅を決定する。これにより横取りに伴う品質劣化の影響を低く抑えながらなるべく多数のストリームを生成させることができる。一般に、2つ以上のストリームが複数リンク上で競合を生じる場合、競合するリンクすべてを考慮して横取りする帯域幅を決定しなければならない。提案手法ではネットワークの最小費用フロー問題[10]の解法を用いてそれを効率良く決定するようにしている。

最後に、提案方式の有用性を評価するため、実装およびシミュレーションに基づく性能評価実験を行った。その結果、提案方式の適用により各ストリームの品質を高く保持しながら多数のストリームに帯域幅を割り当てることができることを確認できた。また、横取り帯域幅の決定は想定したネットワークの規模において十分短い時間で行えることも示している。

以下、2章では提案方式について述べ、3章では行った性能評価の結果と行った考察について述べる。4章でまとめと今後の課題について述べる。

2 提案する帯域制御方式

2.1 ストリームの受け入れ方針

ネットワークはノード N_k ($1 \leq k \leq p$) とノード間のリンク L_j ($1 \leq j \leq q$) からなる連結無向グラフであり、 L_j の現在の未使用帯域幅を r_j で表

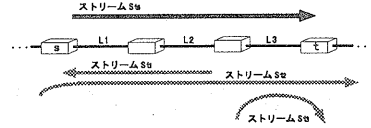


図 2: ストリーム S_{t_1} の生成要求

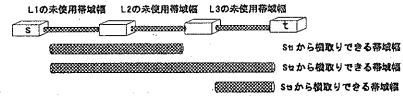


図 3: S_{t_1} に割当て可能な帯域幅

す。任意の2ノード間の閉路を含まない経路をストリームとよぶ。ストリーム S_{t_i} ごとに要求帯域幅の最大/最小が定められており、それらを $Bmax_i / Bmin_i$ で表す。 S_{t_i} に現在割り当てられている帯域幅を $Balloc_i$ とする。また、 S_{t_i} が通過するすべてのリンクの集合を LS_i で表す。

今、 $S_{t_1}, \dots, S_{t_{n-1}}$ が存在するとき新たなストリーム S_{t_n} を生成するとする。既存の経路設定プロトコルにしたがって S_{t_n} のための経路が設定される (LS_i が決定される) と、 S_{t_n} は必要とする帯域幅の最大値 ($Bmax_n$) と最小値 ($Bmin_n$) を申告する。

まず以下の条件を満足可能か否かを確かめる。

[受け入れ条件1] LS_i に属するすべてのリンク L_j に対し、 $Bmin_n \leq r_j$

この条件を満足できれば S_{t_n} に少なくとも $Bmin_n$ の帯域幅を割り当てることができるため、各 L_j に帯域幅 $Balloc_n = \min_{L_j \in LS_n} \{L_j, Bmax_n\}$ を予約し、 S_{t_n} に帯域幅 $Balloc_n$ を割り当てる (現時点で割り当て可能な帯域幅を割り当てる)。満足できないなら必要最小限の帯域幅 $Bmin_n$ も不足しているため、 LS_i のいずれかのリンク上で通過する各既存ストリーム S_{t_l} に対し、 $\delta_l = Balloc_l - Bmin_l$ の帯域幅を横取り対象とする。 δ_l を S_{t_l} の横取り可能帯域幅とよぶ。このとき以下の条件を満足可能か否かを確かめる。

[受け入れ条件2] 各 L_j ごと、そのリンクにおいて横取り可能な帯域幅も加えた帯域幅をそのリンクの未使用帯域幅 r'_j とみなす。このときすべての L_j に対し $Bmin_n \leq r'_j$

この条件を満足できれば S_{t_n} の受け入れが確定する。そうでなければ S_{t_n} は受け入れられない。

2.2 ストリームの品質関数

提案方式では横取りによる品質劣化度が最小となるように、各ストリームから横取りする帯域幅を決定する。この目的のため、各ストリーム S_{t_i} に対し、帯域幅を引数とする関数 $D_i(bw)$ を指定する。 $D_i(bw)$ はストリーム S_{t_i} に割り当てられている帯

域幅が bw であるとき、単位あたりの帯域幅が減少することによって発生する品質劣化の影響の大きさ(品質劣化値)を表す。 $D_i(bw)$ の値はストリームの特性などにより異なるが、動画においては一般に bw の値が小さくなるに伴い $D_i(bw)$ の値は大きくなると考えられる [4]。例えば St_i が MPEG ストリームであるとする。帯域幅の減少に伴い MPEG における基本的なフレームドロップ方式に基づいて B, P, I の順でドロップする場合、品質に対する影響度はこの順で大きくなると考えられる。結果として、帯域幅 bw の減少に伴い $D_i(bw)$ の値は大きくなる。

上述の議論に従い、本稿では以下の形式で $D_i(bw)$ が設定されるとする。

$$D_i(bw) = \begin{cases} d_0 & (0 \leq bw \leq p_0) \\ d_1 & (p_0 \leq bw < p_1) \\ d_2 & (p_1 \leq bw < p_2) \\ \dots & \dots \\ d_{z-1} & (p_{z-1} \leq bw \leq p_z) \end{cases}$$

ただし $d_0 = \infty$, $p_0 = Bmin_i$, $p_z = Bmax_i$, $d_{s-1} \geq d_s$ ($0 \leq s < z-1$) であるとする。したがって品質関数のグラフは必ず右下がりの階段状となるものと仮定する(図1)。各定数 d_i ($0 \leq i < z-1$) はストリームに割り当てられている帯域幅 bw の範囲が $p_i \leq bw < p_{i+1}$ のときの単位あたりの帯域幅の減少に伴う品質劣化値である。 $0 < bw < Bmin_i$ では帯域幅の減少が行われないうえ品質劣化値として ∞ を設定する。

2.3 横取り帯域幅の決定方法

2.3.1 定式化

今ネットワーク上に $n-1$ のストリーム St_1, \dots, St_{n-1} が存在するもて新たなストリーム St_n の生成要求があるとする。提案方式では 2.1 節の受け入れ条件 2 のみ満足可能な場合に、横取りによる各ストリームの品質劣化値の総和が最小となるよう、各ストリームからの横取り帯域幅を決定する。

提案方式は以下で定式化される。

[受け入れ条件] (2.1 節より)

$$\forall j (1 \leq j \leq q) \quad Bmin_j \leq r_j + \sum_{1 \leq i \leq n-1} f_{ij} \cdot \delta_i \quad (1)$$

$$\forall i (1 \leq i \leq n) \quad Bmin_i \leq Balloc_i - \delta_i \quad (2)$$

[品質劣化値の総和の最小化]

$$\min \sum_{1 \leq i \leq n-1} \int_{Balloc_i - \delta_i}^{Balloc_i} D_i(x) dx \quad (3)$$

上記の式を満たす δ_i ($1 \leq i \leq n-1$) が存在するならそれを決定する。存在しない場合はストリーム St_n は受け入れられない。ここで f_{ij} は以下で定義される。

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & St_i \text{ が } L_j \text{ を利用} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

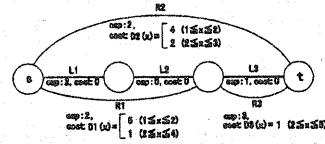


図 4: 輸送路グラフ

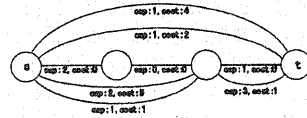


図 5: 輸送路グラフの辺分割

2.3.2 最小費用フロー問題への帰着

上記 (1), (2), (3) を満たす δ_i ($1 \leq i \leq n-1$) を以下の手順で高速に求めることが可能である(ただし、図 6(a) のように不連続なリンク上で帯域幅競争を起こしている場合の解法は次節で議論する)。輸送路グラフの生成 図 2 のように新たなストリーム St_n がノード s からノード t へ $Bmin_n$ 以上の帯域幅を要求したとする。提案方式では、各リンク $L1, L2, L3$ の未使用帯域幅と既存ストリーム St_1, St_2, St_3 からの横取り帯域幅が利用可能である(図 3)。ここで、未使用帯域幅と横取り可能帯域幅をそれぞれノード間の辺として表現したグラフ(輸送路グラフ)を考える。例えば図 4 では $L1, L2, L3$ が各リンクの未使用帯域幅, $R1, R2, R3$ がストリーム St_1, St_2, St_3 からの横取り可能帯域幅を表す辺であり、 cap がその帯域幅を表す。ここで、 St_n に $Bmin_n$ の帯域幅を割り当てることは、輸送路グラフにおいて各辺の cap をその辺を通して輸送可能な最大流量とみなしたときに、ノード s から t へ至る流量 $Bmin_n$ の輸送路を確保することに等しい。この場合の各辺 $R2, R3, R4$ の流量が St_1, St_2, St_3 に対する横取り帯域幅となる。

また、横取り帯域幅に対応する $R1, R2, R3$ の品質関数値をコスト ($cost$) として与える。したがって、より大きな品質劣化を起こす横取り帯域幅を表す辺には高いコストが与えられる。このように設定することにより、前節で述べた目的関数 (3) を満たす横取り帯域幅を決定する問題は、 s から t への流量 $Bmin_n$ 、コストの総和が最小の輸送路を求める問題に帰着できる。

輸送路グラフの辺分割 ここで、各ストリームの品質関数値は割当てられている帯域幅により異なるため、各辺のコストは流量によって変化する。例えば、辺 $R1$ においては流量 3 の場合はコストは 1 であるのに対し、流量 1 の場合はコストは 5 となる。このような場合は従来知られている輸送路問題の解法を単純には適用できない。ただし、各品質関数はある定義域では定数となるように定義されている (2.2 節、

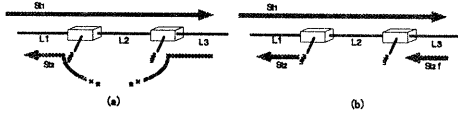


図 6: 不連続なリンク上での帯域幅競争

図 1 参照) ため, 各辺のコストが定数値となるよう品質関数を定義域分割し, それぞれの定義域ごとに辺を付加する. 例えば, 辺 R_1 は $D_1(bw)$ の定義域分割により 2 つの枝に分割される (図 5). 現在ストリーム St_i に割り当てられている帯域幅を $Balloc_i$ とすると, 一般には 2.2 節の品質関数 $D_i(bw)$ に対し, 各定義域 $p_{s-1} \leq bw < p_s$ に対応する辺のコスト $cost$ は d_s , 最大流量 cap は $p_s - p_{s-1}$ となる. ただし $p_{s-1} \leq Balloc_i < p_s$ であれば最大流量 cap を $Balloc_i - p_{s-1}$ とする.

なお, 辺を分割した場合, 定義域の最小値がより大きい辺から順に輸送路として選択されなければならない. 例えば, St_1 から帯域幅 3 を横取りする場合はコスト 1 の辺 ($2 \leq bw < 4$) の最大流量 2 が輸送路として利用されることを決定した後にコスト 5 の辺 ($1 \leq bw < 2$) から流量 1 を利用することを決定しなければならない. ここで, 品質関数 $D_i(bw)$ は $d_{s-1} \leq d_s$ となるよう定義されていることから, コスト最小の輸送路を求める際には必ずコストの小さい辺 (すなわち定義域の最小値がより大きい辺) から優先的に選択される. したがって, 辺分割後は通常の輸送路決定問題として扱うことができる.

各枝のコストが定数の場合には, コスト最小の輸送路決定問題は最小費用フロー問題として知られており, $O((m+n) \log n) m \log n$ (m : 枝の数, n : 頂点の数) の計算時間で求解するアルゴリズムが存在する [10]. そのようなアルゴリズムを用いて求められた輸送路の R_1, R_2, R_3 における流量が各ストリームからの横取り帯域幅となる.

2.3.3 線形計画問題への帰着

上記の方法は例えば図 6(a) の St_1 と St_2 のように不連続な複数リンク上で帯域幅を競争を引き起こす (L_1 と L_3 では重なっているが, L_2 では重なっていない) 場合は前述の最小費用フロー問題の解法を適用できない. その場合は 2.3.1 節の (3) を目的関数とし, 不等式 (1), (2) を満足する解を線形計画問題の解法を用いて求解することができる.

線形計画問題の解法としてシンプレックス法 [10] などが知られている. 一般にシンプレックス法は多くの場合線形オーダーの計算時間で解けるが, 最悪指数オーダーの計算時間を要することが知られているため, ネットワークの規模や問題によっては効率良く最適解を求められない場合も考えられる. そのような場合には図 6(b) のように一つのストリーム St_2 を仮想的な複数のストリーム St'_2, St''_2 とみなして前述のアルゴリズムを適用することもできる (た

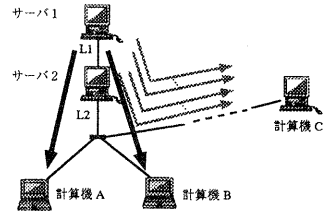


図 7: 実験を行ったネットワーク

解像度 [pixels]	320 × 240
色数 [bits]	24
フレームレート [fps]	24

図 8: 実験に用いた MPEG1 データ

だしこの場合は最適解ではない).

3 性能評価

3.1 実装による評価実験

本節では, サーバからの MPEG1 データを受信しながらリアルタイムに再生するクライアントプログラムを利用し提案方式の性能評価実験を行った結果を述べる. MPEG1 の転送には UDP/IP を用い, ストリームに十分な帯域幅を割り当てることができないときには, B, P, I フレームの順にフレームをドロップさせる. 図 7 に実験を行ったネットワークの概略を示す. 計算機 A, B はそれぞれ独立にサーバ 1 に対して動画送信を要求する. 帯域幅の競争を発生させるため, 計算機 C はサーバ 1 及びサーバ 2 に対し, 複数の動画送信要求 (ストリームの生成要求) を行う. 提案方式の実装機構はサーバ 2 に設置され, 各ストリームの帯域使用状況と各リンクの未使用帯域幅を管理する. なお, A, B, C から全くストリームが生成されていない状態での各リンク L_1, L_2 の未使用帯域幅を共に $10Mbps$, その他のリンクについては十分な帯域幅を利用できるように設定した.

ここで, A, B が動画転送によるストリームを発生させているときに C が生成するストリーム数を時間と共に増加させる. このとき以下を測定した.

- A, B が受信する動画のフレームレートの遷移
- L_1, L_2 において必要最小以上の帯域幅が割り当てられたストリーム数

実験では図 8 のような MPEG1 のデータを 2 種類用いた. 各データには以下の品質関数を与える.

$$Da(x) = \begin{cases} \infty & (0 \leq x < 0.8) \\ 3 & (0.8 \leq x \leq 1.5) \end{cases}$$

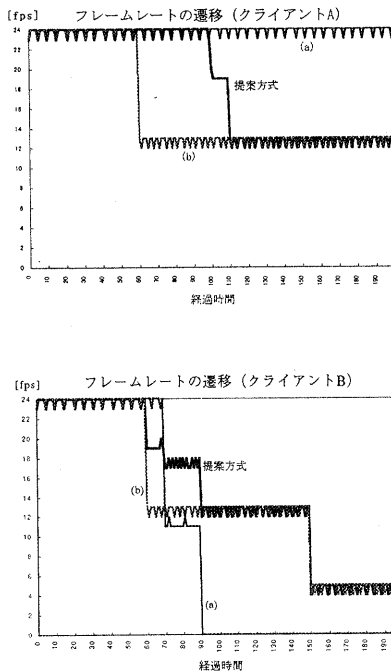


図 9: 各ストリームのフレームレートの遷移

表 1: 最小要求以上の帯域幅が割り当てられたストリーム数

	提案	(a)	(b)
ストリーム数	19	12	18

$$Db(x) = \begin{cases} \infty & (0 \leq x < 0.3) \\ 10 & (0.3 \leq x < 0.8) \\ 1 & (0.8 \leq x \leq 1.5) \end{cases}$$

$Da(x)$ は、B フレームのドロップを必要とする帯域幅の範囲での品質劣化値を 3 とし、P、I フレームのドロップは許容しない（品質劣化値 ∞ ）。一方、 $Db(x)$ は、B 及び P フレームのドロップを必要とする帯域幅の範囲での品質劣化値をそれぞれ 1 及び 10 とし、I フレームのドロップは許容しない。この実験では、これらの品質関数をユーザにとっての各フレームの重要度に基づいて決定している。計算機 A は品質関数 $Da(x)$ を持つストリームを扱い、計算機 B は $Db(x)$ を持つストリームを扱う。C はいずれかの品質関数を持つストリームをランダムに生成する。

比較実験には 1 章で述べた 2 つの方式、(a) ストリーム間の優先度のみを考慮した横取り方式 [2]、(b) 単一ユーザが扱うストリームの間でのみ横取りを行う方式 [3]、を用いた。方式 (a) については、全てのストリームが帯域予約時に 1.5 Mbps の帯域幅を要

求すると仮定した。また、 $Db(x)$ が与えられるストリームより $Da(x)$ が与えられるストリームに高い優先度を設定し、前者は後者から帯域幅の横取りが可能であるとし、どのストリームから横取りするかはランダムに決定した。方式 (b) についてはほぼ同じ品質関数を用いる。ただし方式 (b) では品質関数が定数となる定義域全体を 1 ブロックとしたブロックごとの帯域幅割り当てを行っている。したがって各ストリームに割り当てられる帯域幅は 0.3 Mbps、0.8 Mbps、1.5 Mbps のいずれかとなる。

図 9 は A、B が受信する動画ストリームのフレームレートの遷移である。この実験では、一定の経過時刻ごとに C の新規ストリームが生成される。いずれの方式においても A のストリームの品質を優先させているため、A では高いフレームレートが保持されている。しかし B のストリームでは、方式 (a) を用いた場合には、90 秒後に帯域幅が急激に減少し通信が中断した。また方式 (b) についても、早い段階からフレームレートの低下が見られるのに対し、提案方式では最適な横取り帯域幅を計算しているため、高いフレームレートが長く維持されている。

また、表 1 は実際に生成されたストリーム数である。例えば品質関数 $Da(x)$ を持つストリームでは 0.8 Mbps 以上、 $Db(x)$ を持つストリームでは 0.3 Mbps 以上が最小必要帯域幅であり、それ以下となる場合ストリームは維持されない。方式 (a)、(b) と比較し提案方式ではより多くのストリームを生成できることがわかった。

3.2 シミュレーションによる評価実験

図 10 の 3 つのネットワークポロジでストリームをランダムに生成した場合の提案方式、方式 (a)、(b) の各性能を以下の 4 つのパラメータから比較した。

- ストリームの生成率
- ストリームの平均フレームレート
- 横取りにより減少する平均フレームレート
- リンクの平均帯域利用率

平均フレーム数の計算では、生成を拒否されたストリームもフレームレート 0 のストリームとして計算した。

ここでは、前節で用いた $Db(x)$ 、以下の $Dc(x)$ 、 $Dd(x)$ のいずれかの品質関数を持つ MPEG1 データを仮定し、いずれを持つかは生成要求時にランダムに決定されるとした。

$$Dc(x) = \begin{cases} \infty & (0 \leq x < 0.2) \\ 8 & (0.2 \leq x < 0.5) \\ 1 & (0.5 \leq x \leq 1.2) \end{cases}$$

$$Dd(x) = \begin{cases} \infty & (0 \leq x < 0.4) \\ 6 & (0.4 \leq x < 0.7) \\ 1 & (0.7 \leq x \leq 1.5) \end{cases}$$

表 2: 各ネットワークポロジでのシミュレーション実験結果

パラメータ [単位]	トポロジ (1)			トポロジ (2)			トポロジ (3)			平均		
	提案	(a)	(b)	提案	(a)	(b)	提案	(a)	(b)	提案	(a)	(b)
ストリーム生成率 [%]	80.0	81.7	66.7	49.0	47.0	48.0	51.0	49.0	46.7	60.0	59.0	53.8
平均フレームレート [fps]	17.0	13.1	16.7	10.1	10.0	7.4	16.1	12.1	13.9	14.4	11.7	12.7
減少平均フレームレート [fps]	2.6	5.6	4.6	4.9	10.0	7.5	2.9	5.6	6.7	3.5	7.1	6.3
リンクの平均帯域使用率 [%]	76.4	69.6	70.0	84.4	77.0	80.5	66.1	63.0	61.1	75.6	69.9	70.5

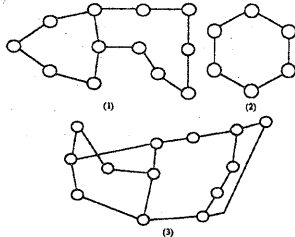


図 10: ネットワークポロジ

表 3: 横取り帯域幅の計算時間

横取りの候補の数	10	20	30
計算時間 [sec]	0.001	0.005	0.011

また、方式 (a) におけるストリームの優先度は $Db(x)$, $Dc(x)$, $Dd(x)$ の順に高くなるとした。

表 2 に実験結果を示す。方式 (a) では多数のストリームが生成可能であるが、フレームレートがやや低く、横取りに伴う減少量も大きい。方式 (b) ではフレームレートは高いが、ストリーム生成率がやや低い。提案方式では、多数のストリームを生成でき、かつ高い平均フレームレートが実現されていることが各リンクの帯域使用率からもわかる。

表 3 は、シミュレーション実験時に横取り帯域幅の計算に要した時間を測定した結果である。ストリーム数が 30 程度の場合もほぼ瞬時に計算が終了していることがわかる。また、2.2.3 節で述べた近似解法を用いて求解してみたところ、ほぼ瞬時に求解できるかわりに横取り帯域幅の総和は最適な横取り帯域幅の総和に対して平均して 10% 程度の増加が見られた。しかし、横取り帯域幅をシンプレックス法により計算する場合に、1 秒以内に求解できなかった確率が 0.13% と低かったことから、ほとんどのケースにおいてほぼ瞬時に最適な横取り帯域幅が計算でき、かつ計算に時間がかかることが予想される場合も最適に近い解が得られることが予想できる。

4 まとめ

本稿では、なるべく多数のストリームに品質を保証できる帯域幅を割り当てることを目的とした、横取りに基づく帯域制御方式を提案し、その評価実験

を行った。横取りに基づく従来の帯域割り当て方式には、横取りの際に必要な以上の帯域幅の通信品質の劣化を伴うなどの問題があったが、提案方式では各ストリームに設定された品質関数に基づき、品質劣化の影響が最小となるような横取り帯域幅を決定できる。評価実験により、提案方式では各ストリームの品質を保証しながら多数のストリームを生成できることがわかった。

本稿では MPEG 符号化方式を仮定して評価実験を行ったが、今後、他の動画の符号化方式において提案方式が有用であることを示すために、例えば H.261[8] などテレビ会議システムで多く用いられる符号化などに対しても評価実験を行っていく予定である。

参考文献

- [1] P.P. White, "RSVP and Integrated Services in the Internet: A Tutorial," *IEEE Communications Magazine*, pp.100-106, 1997.
- [2] A. Gupta, W. Howe, M. Moran and Q. Nguyen, "Resource Sharing for Multi-party Real-time Communication," *Proc. of INFOCOM'95*, pp.1230-1237, 1995.
- [3] N. Shacham, "Preemption-Based Admission Control in Multimedia Multiparty Communications," *Proc. of INFOCOM'95*, pp.827-834, 1995.
- [4] R.T. Aptecker, J.A. Fisher, V.S. Kisimov and H. Neishlos, "Video Acceptability and Frame Rate," *IEEE Multimedia*, Vol. 8, No. 10, pp.32-40, 1995.
- [5] W.C. Lee, M. G. Hluchy and P.A. Humbiet, "Routing Subject to Quality of Service Constraints in Integrated Communication Networks," *IEEE Network*, pp.46-55 (Jul/Aug 1995).
- [6] S. Jamin, S.J. Shenker and P.B. Danzig, "Comparison of Measurement-based Admission Control Algorithm for Controlled-Load Service," *Proc. of INFOCOM'97*, pp. 975-982, 1997.
- [7] N. Shacham, "Multipoint Communication by Hierarchically Encoded Data," *Proc. of INFOCOM'92*, pp.2107-2114, 1992.
- [8] "Video Codec for Audiovisual Services at $p \times 64$ kbits," *ITU-T Recommendation H.261*.
- [9] 村田正幸, "マルチメディアネットワークにおける通信品質保証の実現と課題," 信学論 B-I, Vol. J80, No. 6, pp.296-304, 1996.
- [10] 小野勝章, "計算を中心とした線形計画法," 日科技連.