

品質要求を考慮した動的な帯域制御を行うプロトコルの提案とその性能評価

5 V - 1

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

1 まえがき

映像などの連続メディアのリアルタイム通信において、品質要求（画質の精度や映像の乱れに対する許容度などに関する要求）を保証するための有効手段として帯域確保が注目されている。帯域確保を用いると、遅延やジッタなどの連続メディアの再生における品質劣化の要因を低減させることができる。

このような帯域確保においては一般に、多くの帯域を各コネクションに対して確保すると、確立できるコネクション数は低く制限されてしまう。確立されたコネクションの帯域確保要求をなるべく満足させながら、できるだけ多くのコネクション確立要求を受け入れることが帯域確保の一つの課題となる。

これまでに各コネクションに対して、アプリケーションによって要求された最小の帯域幅を割り当てる方式 [1] や要求された最大の帯域幅をあらかじめ割り当てておいて、ネットワークの混雑度に応じて割り当て帯域幅を制限する方式 [2] 等が提案されているが、これらの方式では多くのコネクション確立要求を受け入れることができる反面、期待どおりの通信品質を確保できない場合が生じる。

本稿では、各アプリケーションが帯域解放交渉および帯域追加要求を行うことによって、期待する品質を保持しながらできるだけ多くのコネクション確立要求を受け入れるための帯域制御プロトコルを提案し、性能分析およびシミュレーションによる性能評価を行う。

2 提案プロトコルの概略

提案プロトコルでは、各コネクションに対してアプリケーションの要求どおりの帯域幅を割り当てることにより、各アプリケーションに対して期待どおり通信品質を提供する。より多くのコネクション確立要求の受け入れを可能とするために、新たなコネクションの確立時や帯域幅の追加要求時には帯域幅を競合するアプリケーションに対する帯域解放交渉が実行される。交渉において各アプリケーションは帯域解放を拒否することも可能で、これによってアプリケーションが期待する通信品質が確実に保証される。

2.1 プロトコルの構成

提案プロトコルは各ノードに配置されたリンク・マネージャ(LM)、アプリケーション・マネージャ(AM)により実現される。

各 LM はそのノードに接続されている通信リンクの帯域幅を管理する。具体的には、帯域幅を確保しているアプリケーションのノードのアドレスと確保している帯域幅の保持、各アプリケーションの通信速度の測定による実際に使用している帯域幅の把握を行う。

各 AM はそのノードに存在するアプリケーションからのコネクション確立要求を受け、要求するコネクション上の各 LM に必要量の帯域確保を依頼する。帯

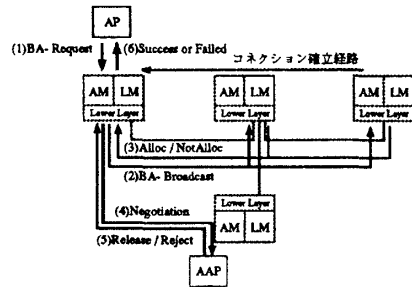


図 1: 帯域解放交渉による帯域確保の流れ

域確保時にあるリンクで十分な帯域幅が得られない場合には、LM から情報（アドレスと確保している帯域幅）を獲得し、それをもとに帯域幅を競合する他のアプリケーションと帯域解放交渉を行う。

2.2 帯域解放交渉による帯域確保の流れ

アプリケーション（以下 AP）のコネクション確立時あるいは帯域追加要求時において帯域解放交渉を実行する場合の一連の処理の流れを図 1 に示す。図中の矢印は交換されるメッセージを示す。メッセージの種類と意味は以下のとおりである：

- (1)BA-Request
AP から AM へのコネクション確立/帯域追加要求
- (2)BA-Broadcast
AM から AP の要求するコネクション上の各 LM への帯域確保要求
- (3)Alloc/NotAlloc
Alloc: LM から AM への帯域確保完了の通知
NotAlloc: 帯域確保失敗の通知
- (4)Negotiation
帯域幅を競合するアプリケーション (AAP) への帯域解放交渉 (解放要求量が添付)
- (5)Release/Reject
Release: AAP から AM に対する帯域解放通知
Reject:解放拒否通知
- (6)Success/Failed
Success: AP への帯域確保成功通知
Failed: AP への帯域確保失敗通知

(3) において、AM は NotAlloc を受け取った場合には帯域解放交渉の準備を行う。NotAlloc にはリンク上の未使用帯域幅、すでに帯域を確保しているアプリケーションのノードのアドレスと確保している帯域幅、各アプリケーションが実際に使用している帯域幅が情報として添付される。AM はこれらの情報から次式を計算し、その値の大きいアプリケーションほど解放交渉に応じる見込みが高いと判断してその順に交渉を行う。

$$(\text{確保している帯域幅}) - (\text{実際に使用している帯域幅})$$

一方、交渉要求を受けた AAP は確保している帯域幅と使用状況とを比較して解放するか否かを決定する。

Dynamic Bandwidth Control Protocol and its Performance Analysis
 Hiroharu SAKATE, Hirozumi YAMAGUCHI,
 Teruo HIGASHINO and Kenichi TANIGUCHI
 Department of Informatics and Mathematical Sciences,
 Graduate School of Engineering Science, Osaka University
 Toyonaka-shi, Osaka 560 Japan

確保している帯域量よりも実際に使用している帯域幅が少ない場合、その差分量の帯域幅を解放することが望ましいが、今後の帯域幅使用量の増加に備えて解放を拒否することもできる。全てのアプリケーションが拒否する場合には帯域確保成功率が低くなるが、これは課金メカニズムの導入などによって解決されるものと思われる [3]。

交渉は AP が要求するコネクション上に AP が要求する帯域幅を確保できるようになるか交渉相手の候補がなくなるまで繰り返される。

AAP が交渉に応じる機能を持たない場合には、Negotiation を受け取った AAP と同じノードの AM はそれを AAP に渡さずそのまま Reject を返す。

3 性能評価

3.1 性能分析

(a) 提案プロトコルを用いる方式, (b) 各コネクションに対して要求された最小の帯域幅 (*min*) を割り当てる方式 [1], (c) 要求された最大の帯域幅 (*max*) を割り当てる方式 (ATM 等の CBR トラフィックの帯域割り当てとして一般的) の 3 つの帯域確保方式の性能を比較する。

以下、全てのアプリケーションは *min* 以上 *max* 以下の帯域幅を確保できれば通信可能であるが、実際はあるしきい値 $stf(min < stf \leq max)$ 以上の帯域幅を確保したアプリケーションのみ要求を真に満足できるものと仮定する。また、*stf* 以上の帯域幅を確保できた場合でも、実際にはちょうど *stf* の帯域幅を使用して通信を行うものと仮定する。

この仮定のもと、ネットワーク上の任意のノード間に *num* 本のコネクション確立要求を発生させたときに、要求を真に満足できるコネクションの確立数を 3 つの方式で比較する。各方式におけるこの数をそれぞれ $N_{sat-x} (x = a, b, c)$ で表す。

提案プロトコルを用いた方式では、各アプリケーションはコネクション確立要求時に *max* の帯域幅を要求するものとし、帯域解放交渉に応じる場合には $max - stf$ の帯域幅を解放するものとする。

通信リンクの容量を *Cap*, コネクション要求時の通信リンクの帯域使用率を *p*, 帯域解放交渉に応じることができるアプリケーションの割合を *pmt* とすると、(a) において新たなコネクション設定要求が受け入れられるには次式を満足する必要がある:

$$max \leq Cap \cdot (1 - p) + p \cdot \frac{Cap}{max} \cdot pmt \cdot (max - stf)$$

全ての通信リンクにおいて帯域使用率が *p* 以下となる確率が統計等から $Pr(p)$ で与えられる場合には、1 リンクに対する帯域確保成功率は上式で等号が成り立つときの *p* の値 p_{thres} を用いて $Pr(p_{thres})$ で表される。したがって *m* 本のリンクで構成される通信路においてコネクションを確立する場合の成功率は次式で表される:

$$\{Pr(p_{thres})\}^m$$

ここで経路選択の候補として *n* 本の経路が存在するとし、*n* 本の経路に対して順に確立要求を行うことができるとする。各経路には *m* 本のリンクが存在し、それらの帯域使用率が全て *P* で与えられると仮定すると、コネクション成功率は次式で表される:

$$1 - (1 - \{Pr(p_{thres})\}^m)^n$$

これより N_{sat-a} が導出される:

$$N_{sat-a} = num \cdot (1 - (1 - \{Pr(\frac{1 - \frac{max}{Cap}}{1 - pmt \cdot \frac{max - stf}{max}})\}^m)^n) \quad (1)$$

一方 (b) では、 $min < stf$ の場合次式が成り立つ:

$$N_{sat-b} = 0 \quad (2)$$

(c) では (a) と同様の計算により次式が導かれる:

$$N_{sat-c} = num \cdot (1 - (1 - \{Pr(1 - \frac{max}{Cap})\}^m)^n) \quad (3)$$

(1)(2)(3) には、 $N_{sat-b} \leq N_{sat-c} \leq N_{sat-a}$ の関係が成り立つ。具体的に、 $Cap = 1, max = 0.4, stf = 0.2, min = 0.1, pmt = 0.7, m = 3, n = 1, num = 100$ を代入すると全リンクが $Pr(p) = p$ の特性を持つネットワークでは次のような値が得られる:

$$N_{sat-a} = 78.7, N_{sat-b} = 0, N_{sat-c} = 21.6$$

3.2 シミュレーションによる評価

前節の (a)(c) の性能を実際のネットワークおよびトポロジ上での帯域使用率のもとで評価するために、シミュレーション実験を行った。評価尺度には前節と同じ $N_{sat-x} (x = a, c)$ を用い、ネットワーク上の任意の 2 ノード間に $max = 0.4, stf = 0.2, min = 0.1$ のコネクション確立要求を単位時間あたり $num (0 < num < 200)$ 回の頻度で発生させた。 *pmt* は前節と同様 0.7 に設定した。図 2 に実験で用いたネットワークのトポロジと測定結果を示す。コネクションの確立要求が一定の頻度で生成されるようなネットワーク環境では、(a) は (c) に対しておよそ $\frac{max}{stf}$ 倍のコネクションに満足な帯域を割り当てられることが確認された。

4 あとがき

本稿では確立されたコネクションに対して品質要求を保持しながら、できるだけ多くのコネクション確立要求を受け入れるための帯域制御プロトコルを提案し、その性能分析およびシミュレーションによる性能評価を行った。提案プロトコルの実装による実環境のもとでの性能評価、提案プロトコルを有効利用できるアプリケーションの開発などが今後の課題である。

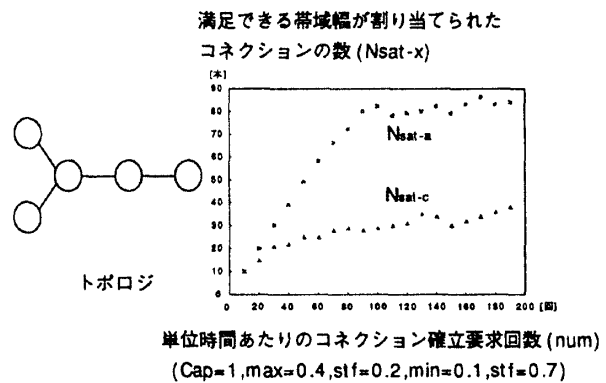


図 2: シミュレーションに用いたトポロジと測定結果

参考文献

- [1] M.D.Marco and V.Trecordi: "Bandwidth Renegotiation in ATM Networks for High-speed Computer Communications," *Proc. of GLOBECOM '95*, pp.393-398 (Nov 1995).
- [2] W C.Lee and M G.Hluchyj: "Dynamic Connection Management for Call-Level QOS Guarantee in Integrated Communication Networks," *Proc. of INFOCOM '94*, pp.1073-1082 (1994).
- [3] R.Cocchi, D.Estrin, S.Shenker and L.Zhang: "Pricing in computer networks: Motivation, formulation and example," *IEEE/ACM Trans. Networking*, vol.1, pp614-627 (1993).