

論文の内容の要旨

論文題目 Algorithms for Guaranteeing Communication Quality
 in Network Communications

(ネットワーク通信において通信品質を保証するアルゴリズム)

氏名 古賀久志

近年、インターネットに代表されるネットワーク通信が急速に一般に普及し、音声や動画など新しい種類のデータをネットワーク経由で送受する要求が出てきている。こうしたマルチメディアデータを安定して再生するには、データ（パケット）を絶え間なく送ることが大切である。しかしながら、現状のインターネットは Best-Effort 型通信であり、パケットが届かなかったりと通信が不安定であるため、この要求を満たすことは難しい。

本研究の目的は、将来のインターネットで通信の品質保証を行うことにより安定してマルチメディアデータをリアルタイムに再生できるネットワーク環境の構築である。通信は送信元、受信先のエンドホストおよび、その間のネットワークがその構成要素であり、本研究では、エンドホストでの通信保証と中継ネットワークでの通信保証に分けて考える。ここで、エンドホストでの通信保証とはパケットを受信するホスト内でなんらかの対策を行って、末端ユーザに対する見掛け上の通信品質を上げることを意味し、中継ネットワークでの通信保証とはネットワーク自体が通信の品質保証を行ういわゆる QoS ネットワークを作ることを意味する。

エンドホストでの通信保証に関しては、従来のビデオストリーミングソフトでもやっ

ているものはあるが、1.5Mbps 程度の低帯域を想定している。今後ネットワークの高帯域化が進むにつれ、より高品質なビデオフォーマットが使われるのは必須であり、本研究では高品質なビデオフォーマットとして DV を取り上げてユーザーへの見かけ上の通信品質を向上する方法を提案する。エンドホストでの通信品質保証を中継ネットワークから切り離したことにより、我々の提案手法は現在の Best-Effort 型ネットワークにも適用可能であり、実際に動くシステムとして民生 DV 機器の映像をインターネット経由でリアルタイム中継するシステムを開発した。このシステムでは、パケットロスがあった時にそれを隠蔽する技術 及び 受信側ホストでのバッファリングによってパケット毎の遅延のゆらぎ（ジッタ）を吸収する技術によって安定したビデオ再生を実現する。

中継ネットワークでの通信品質保証については、配送経路途中にあるルータでのパケットスケジューリングを工夫して通信品質を向上することを目標として、理論的なモデル上でオンラインアルゴリズムを検討し、スケジューリングアルゴリズムの性質について考察する。オンラインアルゴリズムの解析手法としては最適オフラインアルゴリズムとの性能を比較する competitiveness を用いる。この解析手法は入力に確率分布を仮定しないため、確率分布でモデル化できないがネットワークの品質を悪化させるバーストラフィック発生時についても評価を与えられるという利点がある。特に、本論文では上記 DV 中継システム がジッタとパケットロスに対して対策を行なっているという特徴を踏まえて、ジッタ制御およびパケットロス防止を実現する QoS ネットワークを主に研究対象とする。

まず、ジッタについては、ルータ内にパケットをバッファリングすることにより、ジッタを吸収するオンラインアルゴリズムを検討する。既存研究ではルータ内のバッファがあふれない限り、いくらでも長くパケットをルータ内に格納できるという条件でアルゴリズムの解析を行ったものが知られているが、この仮定では通信のリアルタイム性を考慮されていない。そこで本研究では、ルータ内にパケットを保持できる時間に上限があるという条件を新規に追加して解析を行う。その結果、オンラインアルゴリズムの competitiveness はバッファ数よりもむしろルータ内のパケット保持時間に依存することを示す。さらに、具体的に本問題に対する最適オンラインアルゴリズムを考案し、ジッタをどれだけ吸収するかについても定量的に明らかにする。

次に、パケットロスについて述べる。現在のネットワーク通信におけるパケットロスはルータでバッファが足りなくなるのが原因である。本論文では、ルータでオンラインスケジューラが m 本のキューからパケットをスケジューリングする際に、どれだけバッファを用意すればパケットロスを防げるかを調べ、その大小でスケジューリングアルゴリズムのパケットロス防止能力を測る枠組みを提案する。少ないバッファ量でパケットロスを防ぐには最大キュー長を短くする必要がある、この新しい問題を Balanced Scheduling Problem (BSP) と呼ぶことにする。本論文では、具体的に BSP に対して、GREEDY アルゴリズムは $\Theta(\log m)$ -competitive を達成し、ほぼ最適となるのに対し、ROUND ROBIN は m -competitive となり自明な upper bound を越えら

れないことを示す。従来のスケジューリング問題ではトータルの待ち時間や応答時間を最小にすることを目的とする場合が多いが、今後 QoS ネットワークに対して理論的な解析を行うには、BSP のようにキュー毎に性能指標をバランスさせるモデルを構築することが重要である。