

## 論文審査の結果の要旨

氏名 古賀 久志

近年、インターネットが一般に普及するにつれ、ビデオや音声などのマルチメディアデータをインターネット経由でリアルタイム再生したいという要求が強まっている。しかしながら、現在のインターネットではパケットロスやジッタ（遅延のゆらぎ）などの不安定要因によりリアルタイムストリーミングの実現が困難である。本研究では、このような現状をふまえ、将来のインターネットで高品質なリアルタイムマルチメディアストリーミングを実現するために、パケットロスとジッタにどう対策すべきかをエンドホストでのエラー隠蔽アルゴリズムと中継ネットワーク上のルータでの品質保証アルゴリズムの観点から検討している。

第2章では DV という高品質なビデオデータフォーマットをインターネット経由でストリーミング再生を行う際のエラー隠蔽技術について述べている。DV は既存の MPEG2 と比べるとデータが大容量化しており、ビデオデータエンコーディング時の圧縮率がその分低くパケットロスには強いという特徴を持っている。本研究では実際に動く DV ストリーミングシステムを開発し、その中でパケットロス発生時に過去のビデオフレームの同等部分のデータを再利用するという単純なパケットロス隠蔽技術が十分効果があることを示している。

第3章では、ルータでパケットをバッファリングしてジッタを吸収するキューイングアルゴリズムについて理論的な解析を行なっている。従来の研究ではルータでのバッファ数に制限を付けて解析を行なった結果があるが、本研究ではストリーミングのリアルタイム性を考慮し、バッファ数の制限だけではなく、ルータにパケットが存在できる時間 (Permitted Delay Time と学位申請者は呼んでいる) が高々定数時間  $L$  以内であるという制限を付けて解析を行い、ジッタ吸収には Permitted Delay Time の方がバッファ数よりも重要なファクターであるという結果を得ている。オンラインアルゴリズムの評価方法としては最適オフライン解との相対比較で評価する competitive analysis を用いて解析を行なっており、この評価尺度で最良のオンラインアルゴリズムを提示している。さらに、本アルゴリズムがパケット到着列に対してどれだけジッタを吸収するかを定量的に解析し、その結果からルータにどれだけのバッファを用意すべきかを考察している。そして、ルータを  $D$  台多段接続した場合についても解析を行ない、提案した最良オンラインアルゴリズムが少なくとも  $(D - 1)$  台のルータで  $\frac{L}{2}$  だけジッタが吸収できることを解析的に示している。

第4章では、ルータで  $m$  本の複数キューをスケジューリングする際の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比較する枠組みを Balanced Schedul-

ing 問題 (BSP) として提案し、理論的な解析結果を与えている。これはすべてのキューに同じ量のバッファを割り当てると仮定すると、スケジューリング期間中の最大キュー長が短くなるアルゴリズムが少ないメモリ量でパケットロスを防ぐことに着目し、スケジューリング期間中の最大キュー長でもって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評価するものである。BSP は 1 サーバスケジューリング問題の一種であるが見なせるが、従来の典型的なスケジューリング問題では Job 全体の待ち時間合計を最小化するのが目的なのに対し、BSP ではキュー (Job) 毎に性能指標をバランスさせようとする点が大きく異なっている。今後、インターネットの品質保証技術の必要性が増すに連れ、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が重要になると思われる。本研究ではキュー長が最大のキューを選んでパケットを出力する GREEDY アルゴリズムが最良のスケジューリングであることを解析的に示している。BSP は最大キュー長をバランスさせる問題であるが、本研究の第 5 章ではキュー毎に発生する遅延をバランスさせる問題を DBSP (Delay Balanced Scheduling Problem) として提案し、その問題に対するオンラインスケジューリングアルゴリズムの能力限界を示している。

本研究は、将来のリアルタイムマルチメディアストリーミング通信を見据えて従来にない新しいモデルを構築し理論的解析に成功している点で、今後の関連分野の研究に寄与するところ大であると認められる。また、実際に動く DV ストリーミングシステムを完成させた点も、リアルタイムマルチメディアストリーミング技術の発展に貢献するところ大であると認められる。これらの点において、本論文は高く評価され、審査委員全員で、博士 (理学) の学位を授与するにふさわしいと判断した。

なお、本論文の第 2 章は陣崎 明氏との共同研究であるが、DV ストリーミングシステムのハードウェア、ファームウェアの開発は論文提出者が主体となって行ったものであり、論文提出者の寄与が十分であると判断する。