

## 論文内容の要旨

博士論文題目

Sender-Initiated Multicast for small group communications  
(少人数グループを対象としたマルチキャスト通信機構の開発)

氏 名 Vasaka Visoottiviseth

Current IP multicast offers efficient multipoint-to-multipoint data delivery for large group communications. Nevertheless, it suffers from deployment issues such as configuration complexity, lack of sufficient group management, and global address allocation. IP multicast also suffers from a scalability problem because the router has to maintain forwarding states for all multicast distribution trees passing through it. Thus, the number of forwarding entries increases with the number of groups. While IP multicast was designed for large group communications, we can learn from various statistical studies on how multicast communications are under way, which are publicly available on many web pages, that most multicast sessions presently are relatively small and consist less than 50 receivers. Therefore, supporting small multicast group should be appropriate for the present applications.

In this dissertation, we propose Sender-Initiated Multicast (SIM) as an alternative multicast forwarding scheme for small group communications such as teleconferencing and file distribution. SIM eliminates the cost of allocating global multicast address, by routing packets according to receiver unicast addresses attached to packet headers. The key feature of SIM is in its Preset mode, which can lessen the costs of route lookups and provides cost-efficient packet forwarding by using a SIM Forwarding Information Base (FIB) maintained on routers. Moreover, a SIM tunnel will be automatically created between two routers that act as multicast branching points. Thus, SIM can gain scalability by maintaining FIB entries only on the branching routers.

Furthermore, all multicast applications today use the connectionless and unreliable protocol such as the User Datagram Protocol (UDP) to achieve multicast communications. However, developing a reliable protocol over UDP is as complicated as developing TCP. Moreover, the existing reliable multicast protocols have been designed for general purposes, while different levels of reliability are required by multicast applications.

In order to achieve reliability, we also propose the Multicast extension to Transmission Control Protocol (M/TCP), a TCP extension that enables multicast transmission to the existing TCP applications. M/TCP is designed for small multicast groups based on SIM. M/TCP has the following features. First, M/TCP can be applied to those applications that a sender triggers data transfer (sender-initiated), for example, FTP and SMTP. Second, it requires implementation only on the sender. Third, it provides multiple transmission rates by re-classifying receivers in multiple multicast groups.

In this dissertation, I describe the SIM mechanism in detail and present evaluated results through implementation and simulation results. I show how SIM can achieve low cost of maintaining forwarding information, cost-efficient packet forwarding, and incrementally deployment. Moreover, I also implement M/TCP on FreeBSD kernel and evaluate the performance from the implementation. I show through the evaluation that M/TCP can gain better performance than unicast in proportion to the number of receivers. Further, M/TCP is not limited to SIM, but also can be used with other network protocols, such as XCAST, which the receivers are explicitly known by the sender.

## (論文審査結果の要旨)

本論文では、インターネットにおける少人数間の同一データ配信を効率よく行うマルチキャスト通信に焦点をあて、既存のマルチキャストにおけるアクセス制御問題、ドメイン間ルーティングによるセキュリティ問題、およびグローバルなマルチキャストアドレス割当問題を解決するとともに、グループ数におけるスケーラビリティを持つプロトコルを開発した。具体的には、マルチキャストルーティングプロトコル (SIM) および信頼性マルチキャストプロトコル (M/TCP) を設計・実装を行い、性能評価を通じてシステムの有効性を明らかにしている。

本論文の主な成果は以下に要約される。

1. 少人数グループ通信において、スケーラビリティを持つマルチキャストルーティングプロトコル (SIM) を設計した。本提案プロトコルのモデルにより、アクセス制御、グローバルなマルチキャストアドレス割り当て、ドメイン間マルチキャストルーティングといった既存のマルチキャストが抱えている問題を解決することができた。さらに、SIM の有効性を証明するために、FreeBSD 上での実装を行い、実装実験とシミュレーションにより SIM の総合的な評価を行なった。評価結果として、既存の IP マルチキャストにおける転送状態保持によるルータ資源の消費を軽減でき、導入コストの高さが問題とされている小規模グループでのマルチキャスト配送においても XCAST 方式によるパケット処理効率の向上を確認し、グループ数におけるスケーラビリティを持つということを証明できた。

2. 上記のマルチキャストルーティングモデルを用いて、さらに TCP を拡張した信頼性マルチキャストプロトコル (M/TCP) を設計・実装した。これにより、すべての受信者がデータを受け取ること、データが順序通りに受信者に到着すること、データが重複しないことを保証することができた。さらに、本提案プロトコルにより、既存の TCP アプリケーションに対応するマルチキャスト通信が可能となった。また、性能評価を行った結果、ユニキャスト通信と比し、受信者数が増加するにつれて本提案方式が有効なことを確認できた。

3. 少人数に対応することでマルチキャストの展開を促進させることができた。既存のインフラストラクチャでは、すべてのネットワーク要素に変更を加える必要があった。それに対して、本提案モデルでは送信側とルータのみを更新すればよいため、受信者側には何ら変更を加えずにデータを受け取ることが可能となった。さらに、従来のマルチキャストでは不可能な TCP 通信に対応したため、より幅広いアプリケーションを通じてマルチキャストの効果を証明し、実際の普及に高い可能性を与えた。

以上のように、同一データの効率のよい通信を可能にする基本技術として本論文では、ネットワークの負荷を減らし、グループ数においてスケーラビリティのある新たなプロトコルの提案と実装をした。さらに、定性的・定量的に評価を行い、プロトコルの有効性を示した。学術上だけでなく、実際のプロトコルの実装をし標準化活動も行っており、その貢献度は大きい。よって本論文は博士 (工学) 学位論文として価値あるものと認める。