

平成 21 年 5 月 15 日現在

研究種目：若手研究(B)	
研究期間：2007～2008	
課題番号：19700093	
研究課題名（和文）	アプリケーション層マルチキャストプロトコル実装・評価のためのフレームワークの開発
研究課題名（英文）	A Framework for Development and Evaluation of Application Layer Multicast Protocols
研究代表者	梅津 高朗(UMEDU TAKAAKI) 大阪大学・大学院情報科学研究科・助教
研究者番号：10346474	

研究成果の概要：アプリケーションレイヤーマルチキャスト(ALM)方式を用いたプロトコルの設計・実装支援を目標とした，プラットフォームの提案・開発を行った．ALM アプリケーションの開発が容易になるだけでなく，実際に稼働した時の性能計測なども容易に行えるようデバッグ環境を整え，作成した ALM アプリケーションの実証試験を容易に行うための環境もあわせて構築した．提案システムは，広く使われるよう web サイトにて公開しており，既に世界中のいくつかの研究機関などで使用もされている．

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007 年度	1,500,000	0	1,500,000
2008 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,800,000	390,000	3,190,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機ネットワーク

キーワード：マルチキャスト，オーバーレイネットワーク，ミドルウェア，ソフトウェア設計支援，プロトコル性能評価

1. 研究開始当初の背景

昨今，電子ビデオ会議，ファイル交換，チャットといったアプリケーションで利用される，インターネットを介したマルチメディアデータ配信は次世代の社会インフラとして多くの注目を集めている．その際，サーバから全てのユーザに対して直接に一对一通信を用いてデータを配信することは，すべてのユーザに対するデータ転送がデータ配信サーバやその付近のネットワークを

通過するため，局所的に過大な処理能力が必要となり，大規模な実装は現実的ではない．そのため，負荷を効率的に分散するため，各ユーザに対して一对一の配信を行うのではなく，配信者とユーザの間に位置するサーバやルータ群でデータのコピーを行うことで多数のユーザに対してデータの配信を行う IP マルチキャスト技術が標準化され，実際の製品にも実装されてきている．しかし，IP マルチキャストを利用するためには，インターネットを構成するルータ群

にマルチキャスト用の機能が必要なため、任意の環境で即座に利用できるまでに浸透するためにはまだ多くの時間が必要である。そこで、その代替手段として注目を集めている技術が、アプリケーション層マルチキャスト(Application Layer Multicast, 以下 ALM)方式である。ALM 方式では、ルータでデータのコピーを行う代わりに、各ユーザのコンピュータ上でデータのコピーを作成してそれらを他のユーザに対して配信する方法を採る。一度、末端のユーザにまで配信したデータを再度他のノードへと転送することになるため、純粋な IP マルチキャスト方式に比較すると回線の利用効率は下がるが、一対一通信に比較して効率的であり、ルータ群に一切の変更を加えることなく配信元のサーバとユーザの端末上のソフトウェアだけでスケーラブルなシステムが実現できるという優位性を持つ。

しかし ALM 方式では、配信に個々に性能が異なるユーザの端末や回線を利用することになるため、効率的な実装には、回線や計算能力に余裕のある端末へと処理を割り振り、適切に経路を決定してデータを配信することが非常に重要となる。また、一般的なプロトコルで想定されているデータ配信では、経路がサーバやルータのみで構成されているため、比較的、経路の可用性を仮定しやすい。一方で ALM では、経路上に任意のタイミングでネットワークから切断される可能性のあるユーザ端末を含むため、経路切断時の適切な復帰処理など、プロトコル設計において考慮すべき事項が非常に多い。そのため、効率的な ALM プロトコルを実現するための研究が盛んに実施されている。例えば、米 University of California の Host multicast フレームワークや、米 Washington University の帯域の利用効率を考慮したプロトコル、仏 INRIA Rhône-Alpes のグループコミュニケーションに対する ALM 技術の適用研究など、様々な ALM 方式に関する研究がなされている。

しかし、実プラットフォームでの実装や実験環境整備の煩雑さなどから、先行研究の多くはシミュレーション実験による性能評価に留まっている場合が多い。米 Washington University での ALM 技術の応用研究や、米 Carnegie Mellon University における実証実験などでは、実環境での実験も報告されているが、個々の実装には多くの労力が必要であると共に、実装の方法に依存して実ネットワーク上でのプロトコルの性能に差が出ると考えられ、プロトコル間の公正かつ比較評価を行うのが困難であるなどの問題がある。これらの問題を解決するためには、多くの ALM アプリケーションの実装に利用できる汎用的なミドルウェアの開発が重要である

と考えられる。

2. 研究の目的

そこで本研究では、ALM 方式を対象とした、実装支援プラットフォームの提案・開発を行う。ミドルウェアでは、(1)スループットや遅延測定機能、(2)アプリケーションのデバッグ機能や、(3)遠隔操作機能、(4)トポロジ表示機能等も提供することで、ALM アプリケーションの開発が容易になるだけでなく、実際に稼働した時の性能計測なども容易に行えるようにする。また、作成した ALM アプリケーションの実証試験を容易に行うための環境もあわせて提供する。ここでは世界中に配置されているサーバからなる PlanetLab 上での実験を支援する機能を、我々の研究グループが開発している P2P 環境用デバッグを拡張することで実現する。また、本ミドルウェア・実証実験用ソフトウェアは多くのプラットフォームに対応するため、Java 言語を用いて実装し、マルチメディア送受信は JMF(Java Media Framework)を利用することでマルチメディアストリーミング向けの通信プロトコルである RTP/RTCP に対応させる。

なお、ALM の実装事例の他にも、岩手県立大におけるネットワーク状況に応じて動的にトランスコーディングを行うミドルウェアや、台湾の National Center for High-Performance Computing における限られたネットワーク帯域を有効に利用するためにリアルタイムストリームを共有するミドルウェアなどがある提案されているが、いずれも ALM アプリケーションの開発および運用支援を目指したものではない。また、米 Rice University で提案されているミドルウェアは P2P プロトコル開発に利用できる汎用 API を提案している点で本ミドルウェアと類似しているが、遠隔実行やデバッグ機能を含む開発支援機能は提供していない。提案フレームワークにより、実環境における公正かつ客観的な ALM プロトコルの実装評価を行うための負荷を低減し、より実用的なシステム設計が可能な環境作りを目指す。

3. 研究の方法

アプリケーションレイヤマルチキャスト(ALM)方式を用いたプロトコルの設計・実装支援を目標とした、プラットフォームの提案・開発を行う。ミドルウェアでは、(1)スループットや遅延測定機能、(2)アプリケーションのデバッグ機能や、(3)遠隔操作機能、(4)トポロジ表示機能等も提供することで、ALM アプリケーションの開発が容易になるだけでなく、実際に稼働した時の性能計測な

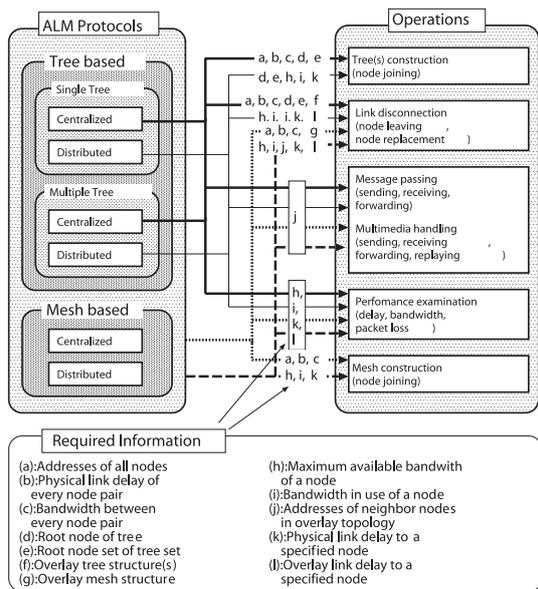


図 1: ALM プロトコルの分類

ども容易に行えるようにする。また、作成した ALM アプリケーションの実証試験を容易に行うための環境もあわせて提供する。ここでは世界中に配置されているサーバからなる PlanetLab 上での実験を支援する機能を、我々の研究グループが開発している P2P 環境用デバッガを拡張することで実現する。

現実的な ALM アプリケーションとしては数人～十数人からなるチャット、電子ビデオ会議、数百人～数万人からなるファイル交換、インターネットゲーム、マルチメディア配信、遠隔講義システムが挙げられる。これらのアプリケーションの性質を規模、遅延、帯域の観点から分類した。

これらの ALM アプリケーションの特性に基づき、多くの異なる ALM プロトコルが考案されている。既存の ALM プロトコルにおけるオーバーレイネットワークのトポロジと配信木の数、及び制御方式に基づく分類と、それらプロトコルで実行する基本的なオペレーションおよびそのために必要な情報を図 1 に示す。提案ミドルウェアはこれらの性質を十分考慮し、幅広い汎用性を実現するように設計する。

本ミドルウェアが提供する機能は以下の 5 つである。

- (1) トポロジ管理機能
- (2) 基本通信支援機能
- (3) マルチメディア支援機能
- (4) パフォーマンスモニタリング機能
- (5) PlanetLab 上での実行支援機能

実装実験

ミドルウェアを利用して ALM アプリケーションを実装し、ミドルウェアの実用性と API 利用による実装支援の効果を調べた。ALM

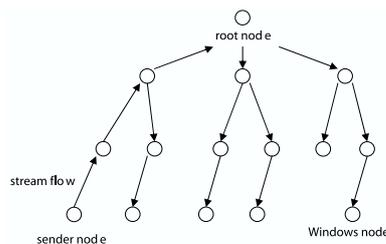


図 2: MODE によるストリーム配信の例 (次数 3, 参加ノード数 15)

アプリケーションとして、既存のプロトコル MODE[1]を用いたビデオチャットアプリケーションを実装した。ミドルウェアの提供する制御メッセージの送信や接続ノード取得機能、ストリームの送受信、転送機能を利用することで、容易に実装することができた。また、MODE を用いた既存のチャットアプリケーションプログラムにミドルウェアが提供するストリームの送受信機能を追加する形でも実装を行った。この場合は始めから実装した場合に比べ、さらに容易に実装することができた。変更に必要な時間は約 2 時間、約 150 行をプログラムに追加するだけであった。このように、ミドルウェアを利用することで、新たにプロトコルを実装する場合も、既存のプロトコル実装にストリーム配信機能を持たせる場合にも、ミドルウェアは有用であることが分かる。

実装したビデオチャットアプリケーションの動作試験と性能評価を PlanetLab 上の端末を利用して行った。MODE のパラメータとしては次数が考えられる。次数が大きいと帯域を圧迫し、ストリームの品質が低下する。次数が小さいと、転送回数の増加によるストリームの品質低下や転送にかかる遅延が大きくなる。ここでは、実環境での性能試験を行うことで、最適なパラメータ設定を求める実験を行う。次数を 4,8,12 に設定し、それぞれ参加ノード数 50 で実験を行った。木の最も長い経路を流れたストリームを視聴することができれば、木全体でストリームを視聴できると考えられる。実験方法を以下に示す。PlanetLab 上の 49 ノードを参加させ、最後に Windows 端末を参加させて、木を構築する。Windows 端末と PlanetLab 上のあるノード間の経路が最も長くなっていることを確認し、その PlanetLab 上のノードからストリーム配信を行う。ストリームが木全体に転送され、Windows 端末で視聴できるか確認する。

MODE を利用したストリーム配信の例を図 2 に示す。実験の結果、全ての場合に Windows 端末でストリームを視聴することができたが、最も品質が良かったのは次数 8 の場合であった。次数 12 のときはルートノードのネットワーク負荷が大きかったこと、次数 4 のときは転送回数が 7 回と多くなった

ことが品質の低下につながったと考えられる。このようにプロトコルやアプリケーションを実装して実環境でテストを行うことで、最適なパラメータ設定を行ったり、不具合を発見したりすることができる。提案するミドルウェアはプロトコルやアプリケーションの実装支援、PlanetLab上での実験支援、ストリームの品質情報取得機能などを提供することで、プロトコルやアプリケーションの開発に貢献することができる。

参考文献

[1] T. M. Baduge, 廣森聡仁, 山口弘純, 東野輝夫, “帯域制約のもとで遅延最小のオーバレイマルチキャスト木を構築する分散アルゴリズム,” 電子情報通信学会論文誌 (D-I), vol. J88-D-I, no. 11, pp. 1648-1658, 2005.

4. 研究成果

提案した開発環境をウェブサイトで公開した。また、マルチメディア分野で非常に著名な国際会議の一つである NOSSDAV2007 にて発表を行った[国際会議 2]。発表後、公開した ALMmiddleware の利用に関する問い合わせが複数あり、いくつかの研究機関では実際に利用されている。

また、提案開発環境の主要な部分を再利用する形でセンサーネットワークプロトコル向けの設計・開発支援環境 D-Sense の開発を行っている。こちらはネットワークマネジメントに関する国際会議 MMNS2008 において発表を行った[国際会議 1]。また、マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウムにおいて発表を行った際に[学会発表 2], 推薦論文として選出された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 0 件)

学会発表[3]の“ワイヤレスセンサネットワークの設計開発支援環境 D-sense”が推薦論文として選出された。

[国際会議] (計 2 件)

[1] Kazushi Ikeda, Shunsuke Mori, Yuya Ota, Takaaki Umedu, Akihito Hiromori, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, “D-sense: An Integrated Environment for Algorithm Design and Protocol Implementation in Wireless Sensor Networks”, Proceedings of Management of Converged Multimedia Networks and

Services (MMNS2008) 2008, pp. 20-32, 2008. 8, Crete.

[2] Kazushi Ikeda, Thilmee Malinda Baduge, Takaaki Umedu, Hirozumi Yamaguchi, Teruo Higashino, “A Middleware for Implementation and Evaluation of Application Layer Multicast Protocols in Real Environments”, Proceedings of the 17th International workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV2007), pp. 125-130, 2007.6, Urbana-Champaign.

[学会発表] (計 4 件, 内, 受賞 3 件)

[1] 中田 圭佑, 前田 久美子, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 輝夫, “災害救助・避難訓練を目的とした無線ネットワークシステムの開発支援環境の提案”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウム 野口賞, および, 優秀論文賞, 2008.7, 北海道.

[2] 森 駿介, 梅津 高朗, 廣森 聡仁, 山口 弘純, 東野 輝夫, “ワイヤレスセンサネットワークの設計開発支援環境 D-sense”, マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02008) シンポジウム 優秀プレゼンテーション賞, および, 最優秀論文賞, 2008.7, 北海道.

[3] 池田 和史, Thilmee M. Baduge, 梅津 高朗, 山口 弘純, 東野 輝夫, “アプリケーション層マルチキャストプロトコルの設計開発および性能評価を支援するミドルウェアの設計と実装”, 情報処理学会 マルチメディア, 分散, 協調とモバイル (DICOM02007) シンポジウム 最優秀プレゼンテーション賞, 2007.7, 鳥羽市.

[その他]

• ALM middleware

<http://www-higashi.ist.osaka-u.ac.jp/software/ALM/middlewareAPI/>

アプリケーションレイヤマルチキャストプロトコル設計, 実装支援ミドルウェア.

• D-sense

<http://www-higashi.ist.osaka-u.ac.jp/software/WSN/D-sense/>

ワイヤレスセンサネットワークの設計, 開発のための統合開発環境.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

梅津 高朗 (UMEDU TAKAAKI)

大阪大学・大学院情報科学研究科・助教

研究者番号：10346174