

通信帯域を考慮した オーバレイマルチキャスト上での ライブストリーミング配信

大谷 晋一郎^{†1} 島田 秀輝^{†2} 佐藤 健哉^{†1}

近年，インターネット上で利用できる様々な動画配信サービスが普及しているが，その中でもオーバレイマルチキャスト上でリアルタイムな動画コンテンツを配信するライブストリーミング配信システムが注目されている．これらの配信システムでは P2P ネットワークを利用しているため，配信元の負荷を軽減しつつ，大規模な配信を行うことができる．一方で，スマートフォンなどの高機能な携帯端末の登場により，視聴者がこれらのサービスを利用する端末の通信環境が多様化してきている．しかし，従来の配信システムでは，単一品質の動画コンテンツの配信しか考慮されていないため，通信環境によってはこれらのサービスを利用できないことが問題となっている．本研究では，この問題を解決するため，視聴者の通信環境に合わせて異なる品質の動画コンテンツを配信できるオーバレイマルチキャスト上でのライブストリーミング配信システムの提案を行う．また，提案システムに対してシミュレーションによる評価を行い，システムの有効性を示す．

The Live Streaming Delivery System on Overlay Multicast that Considers Bandwidth

SHINICHIRO OHTANI,^{†1} HIDEKI SHIMADA^{†2}
and KENYA SATO^{†1}

Recently, a variety of streaming services on the Internet are becoming popular. Above all, the live streaming delivery system that delivers real-time movies on overlay multicast is noticed. These delivery systems use the P2P network. Therefore, a large-scale delivery is possible in addition to reduce the load of the delivery server. On the other hand, high performance mobile phone such as smartphones has been developed. For this reason, the user's communication environment is diversified. However, past delivery system, was only designed to

deliver the movie of single quality, so user's with narrow bandwidth being not able to use service is the problem. In this paper, we propose the live streaming delivery system on the overlay multicast that delivers the different quality movies in consideration of user's bandwidth. We evaluate to the proposal system by the simulation, and show it's effectiveness.

1. はじめに

近年，インターネットを介した様々な動画配信サービスが普及してきている．その中でも，TV の生放送のようにストリーミング方式の動画コンテンツをリアルタイムで配信する Ustream¹⁾ やニコニコ生放送²⁾ などのライブストリーミング配信サービスが注目されている．しかし，これらの配信サービスではクライアント・サーバ型の配信方式が採られているため，同時に多数の視聴者へ配信する場合，配信元となるサーバに多大な負荷が集中することが問題となる．この問題を解決するため，Chainsaw³⁾ や Coolstreaming⁴⁾ など，P2P ネットワークであるオーバレイマルチキャスト上でライブストリーミング配信を行う配信システムが提案されている．オーバレイマルチキャスト上でのライブストリーミング配信システムでは，視聴者となる各ノードが受信したデータを他のノードへと転送することによって，配信の負荷が配信元に集中する問題を解決している．

このような様々な動画配信サービスが登場する一方で，Google の Android 端末や Apple の iPhone など，スマートフォンと呼ばれる高機能な携帯端末が普及してきている．スマートフォンの普及により，インターネットを介した動画配信サービスを様々な場面で利用することが可能となった．しかし，携帯端末は従来の PC 端末と比べ，通信帯域が狭く，処理能力も劣っている．従って，ライブストリーミング配信サービスにおいては，PC 端末と同様の品質（ビットレートや解像度，データサイズ）の動画コンテンツを視聴することが困難となっている．そのため，各視聴者の通信環境に適した品質の動画コンテンツを配信することが求められるが，既存のライブストリーミング配信システムではこれらのことが考慮されていない．

そこで本研究では，多様化した視聴者の通信環境に対応するため，視聴者の通信環境に

^{†1} 同志社大学大学院 工学研究科
Graduate School of Engineering, Doshisha University

^{†2} 同志社大学 理工学部
Faculty of Science and Engineering, Doshisha University

合わせて、異なる品質の動画コンテンツをオーバーレイマルチキャスト上で配信できるライブストリーミング配信システムを提案する。

以下、2章では既存技術として、オーバーレイマルチキャスト上でライブストリーミング配信を実現する Coolstreaming の概要と本研究に適用する際の問題点を述べ、3章で本研究の提案システムについて述べる。4章で提案システムに対するシミュレーション評価について述べ、5章では評価結果に対する考察を行う。6章では関連研究について述べ、そして、最後に7章で本研究のまとめを行う。

2. 既存技術

オーバーレイマルチキャスト上でライブストリーミング配信を行う代表的な既存技術として、Coolstreaming について説明する。

2.1 ネットワーク構成

Coolstreaming はオーバーレイマルチキャスト上でライブストリーミング動画の配信を行う。オーバーレイマルチキャストとは P2P ネットワークを利用した動画コンテンツの配信であり、視聴者となるノードが受信した動画コンテンツのデータを他のノードへ転送することによって、サーバ・クライアント型の配信で問題となっていた配信の際の配信元への負荷の集中を解決している。オーバーレイマルチキャストは配信ネットワークのトポロジにより、ツリー型とメッシュ型に分類することができる。Coolstreaming は図 1 に示すメッシュ型のトポロジで配信ネットワークを構成する。メッシュ型のトポロジは、各ノードが複数のデータ受信先を持っているため、配信中のノードの離脱に強く、耐障害性が高い配信システムとなっている。

2.2 動画コンテンツ配信

Coolstreaming では、配信される動画コンテンツは配信元によって時間方向にセグメントという単位で分割され、データの受信はセグメント単位で行われる。各ノードは自身が所持していないセグメントを他のノードに要求することで、動画コンテンツの受信を実現する。各ノードは mCache と呼ばれるキャッシュに他のノードの情報を複数保持しており、その中から目的のセグメントを持つノードを接続先として選択し、送信要求を行うことで動画コンテンツを受信する。配信ネットワークに参加する際は、配信元から通知されたノード情報を mCache に格納することにより受信を開始する。

2.3 ノード管理

Coolstreaming では、配信ネットワークを動的に変化させることでノードの参加や離脱に

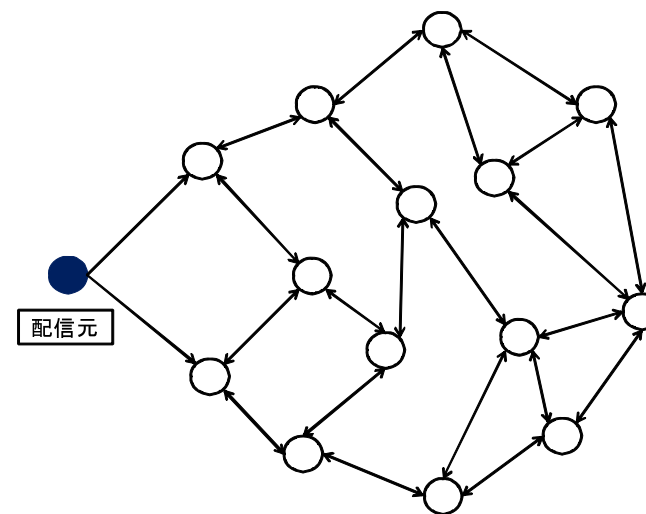


図 1 メッシュ型のオーバーレイマルチキャスト
Fig.1 Overlay multicast of mesh type.

よるノード数の増減に対処している。また、ライブストリーミング配信ではストリーミング方式でデータを配信するため、受信したデータは一時的にメモリに蓄えられるが、再生後消去される。各ノードが所持するデータが時間経過と共に変化しているため、各ノードが所持しているデータの情報をネットワーク中に広報する必要がある。Coolstreaming では、SCAM⁵⁾ を用いることでノードの情報をネットワーク中に広報している。これらの処理により、各ノードの mCache が常に最新の状態に保たれ、安定した動画コンテンツの配信を実現している。

2.4 問題点

Coolstreaming では 1 つの動画コンテンツに対して、1 つの配信ネットワークが構築される。従って、品質が異なる動画コンテンツを配信する場合、品質ごとに動画コンテンツを用意し、個別の配信ネットワークを構築しなければならない。しかし、この手法では、従来のサーバ・クライアント型の配信方式と同様に、配信元となるノードに負荷が集中することや、あらかじめ品質が異なる複数の動画を用意しなければならないことが問題となる。

3. 提案システム

3.1 システム概要

2.4 節で述べたように、オーバレイマルチキャスト上でライブストリーミング配信を実現する Coolstreaming などの従来の配信システムでは、ノードの通信環境に合わせて品質が異なる動画コンテンツを配信する場合、品質ごとに動画コンテンツを用意し、複数の配信ネットワークを構築しなければならないことが問題となる。本研究では、この問題を解決するため、1つの配信ネットワーク中で複数の品質の動画コンテンツを配信することが可能な配信システムを提案する。Coolstreaming を拡張し、配信ネットワーク中で動画コンテンツの品質を変換することで、提案システムを実現する。

3.2 動画コンテンツの品質変換

動画コンテンツの品質を変換する手法としては一般的にトランスコーディングが用いられる。トランスコーディングでは、動画コンテンツを再エンコードし、解像度やビットレートなどを変更することで、品質の変換を実現する。しかし、オーバレイマルチキャスト上でのライブストリーミング配信では、各ノードがデータの受信と送信、動画コンテンツの再生といった多くの処理を行わなければならない。従って、PC 端末に比べ、処理能力が劣る携帯端末での利用も考慮に入れた本研究において、ノードにオーバレイマルチキャストに関する処理以外の負荷をかけることは望ましくない。

そこで本研究では、動画コンテンツの符号化方式に MPEG-4 を用い、フレーム数を削減することで、ノードへの処理負荷をかけた動画コンテンツの品質変換を実現する。また、MPEG-4 は動画コンテンツに対して高い圧縮率での符号化を実現しているため、帯域が狭い携帯端末での利用を想定している本研究に適している。

動画コンテンツは複数の連続したフレーム（静止画像）の集合として成り立っている。MPEG-4 の動画コンテンツを構成するフレームには以下の3種類がある。

- I フレーム
通常の静止画像と同じように符号化されるフレーム。
 - P フレーム
前のフレームとの差分を用いて符号化されるフレーム。
 - B フレーム
前のフレームと後のフレームとの差分を用いて符号化されるフレーム。
- MPEG-4 では、図2に示すように、I フレームと P フレームが一定間隔で配置され、そ

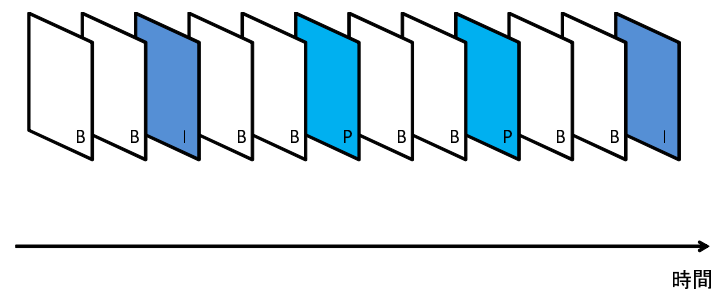


図2 MPEG-4のフレーム構成
Fig.2 Frame construction of MPEG-4.

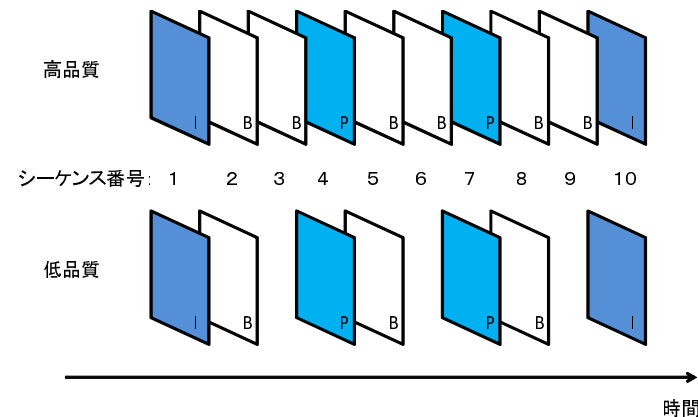


図3 フレーム数の削減
Fig.3 Reduction of number of frames.

の間に複数の B フレームが挿入される。動画コンテンツはこのフレーム配置が周期的に繰り返されることによって構成される。MPEG-4 では、I フレームと P フレームだけでも最低限の再生を行えるようになっており、その間に配置される B フレームが多いほど、動画コンテンツの品質が向上する。従って、MPEG-4 では B フレームのフレーム数を減らすことにより、動画コンテンツの品質を落とすことが可能である。フレーム数削減の例を図3に示す。

提案システムでは、上記のフレーム数削減による動画コンテンツの品質変換を配信ネットワーク中で実現する。他のノードからデータを受信する際、必要に応じて B フレームのフレーム数を減らすことにより、動画コンテンツの品質を落とす。この処理を実現するため、提案システムでは Coolstreaming とは異なり、動画コンテンツをフレーム単位で処理する。配信の際、配信元が動画コンテンツをフレーム単位で分割することにより、各ノードは動画コンテンツのフレームごとに受信を行うことができる。各フレームにはシーケンス番号を割り当て、受信の際、特定の B フレームに割り当てられたシーケンス番号のフレームに対して送信要求を行わないことで B フレームのフレーム数を削減する。I フレームと P フレームは一定間隔で配置されているため、それらのシーケンス番号と配置間隔が判れば、B フレームのシーケンス番号を知ることが可能である。これらの情報は配信ネットワークに参加する際、配信元から通知されるものとする。

3.3 ネットワーク構成

動画コンテンツの品質は高品質から低品質へという方向にしか変換することができない。これは、3.2 節で述べたフレーム数の削減による品質変換を行う場合も同様である。従って、各ノードは必ず、自身が要求する品質以上の動画コンテンツを持つノードからデータを受信しなければならない。

提案システムでは、この問題を解決するため、受信する動画コンテンツの品質（フレーム数）によってノードをいくつかのグループに分類する。同じグループに所属するノードには同じ品質の動画コンテンツが配信される。各ノードは同じグループに所属するノードか、より高品質の動画コンテンツが配信されるグループに所属するノードを接続先として選択する。自身より高品質の動画コンテンツが配信されるグループからデータを受信する場合は、3.2 節で述べた方法でフレーム数を削減し、品質を変換する。ノードが所属するグループは自身の帯域や処理能力を考慮してノード自身が選択するものとする。

図 4 に配信システムの配信ネットワークの構成例を示す。ここでは、配信元と同様のフレーム数の動画コンテンツを受信する高品質グループ、最低限のフレーム数の動画コンテンツを受信する低品質グループ、そして、それらの中間程度のフレーム数の動画コンテンツを受信する中品質グループの 3 つに分類している。実環境に適用する場合は、配信元の動画コンテンツのフレーム数を考慮して最適なグループ数を決定する必要がある。

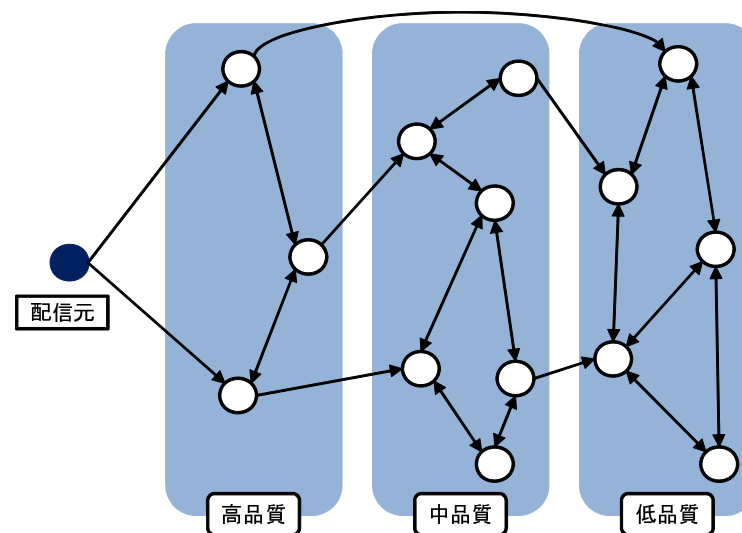


図 4 提案システムのネットワーク構成
Fig.4 Network configuration of proposal system.

4. 評価

4.1 QualNet

本研究では、提案システムを評価するため、シミュレータとして QualNet⁶⁾ を用いる。QualNet は Scorable Network Technologies(SNT) 社が販売する大規模ネットワークシミュレータである。OSI 参照モデルの各層に対応した様々なプロトコルが実装されており、それらを組み合わせることでネットワークモデルのシミュレーション評価を行うことができる。また、独自に開発したプロトコルに対する評価を可能である。本研究では、QualNet のアプリケーション層のプロトコルに Coolstreaming と提案システムを実装することで、提案システムのネットワークモデルに対する評価を行う。

4.2 評価シナリオ

提案システムと Coolstreaming に対してシミュレーションによる評価を行う。ノード数がそれぞれ 30, 60, 90, 120, 150 個のノードと 1 個の配信元ノードで構成される配信ネットワーク上でのライブストリーミング配信を想定し、評価を行う。ただし、ノードの参加や

離脱による配信中のノード数の増減は考慮しない。QualNet ではパケット単位でデータの送受信が行われる。評価シナリオでは、すべてのノードが 1000 パケットを受信した時点で配信ネットワークへの配信が完了したとみなし、シミュレーションを終了する。

各ノードは他のノードの情報を mCache に保持しており、その中から接続先を選択し、pull 型の通信を行うことでパケットを受信する。各ノードが mCache に格納できる最大接続先数は 5 とする。パケットには、あらかじめシーケンス番号が割り当てられており、各ノードはシーケンス番号順にパケットを受信する。各ノードが所持できる最大パケット数を 100 とし、それ以上のパケットを受信した場合、古いシーケンス番号のパケットから順に消去する。この処理によりストリーミング方式と同様の配信を実現する。

各ノードのパケット受信手順を以下に示す。

- (1) mCache の中から接続先となるノードを選択する。
- (2) 接続先のノードに対して自身が持っていないシーケンス番号のパケットの送信要求を行う。
- (3) 送信要求を受けたノードは送信可能なら指定されたパケットを送信する。
- (4) パケットの受信に成功した場合、シーケンス番号を 1 つ進め、(1) に戻る。

パケットの受信に失敗した場合、mCache の中から他のノードを選び、(2) に戻る。

mCache に格納された全ての接続先に送信要求を行っても目的のパケットを受信できない場合、そのシーケンス番号のパケットは受信に失敗したとみなし、次のシーケンス番号のパケットの送信要求を行う。

提案システムでは、受信する動画コンテンツの品質によって、ネットワーク中のノードはグループ分けされる。評価シナリオでは、高品質グループ、中品質グループ、低品質グループの 3 グループがあり、それぞれに同数のノードが所属していると想定する。それぞれのグループが受信するパケットサイズは高品質 512byte、中品質 256byte、低品質 128byte とする。また、Coolstreaming を用いた配信では、すべてのノードが受信するパケットサイズは 512byte とする。

4.3 評価項目

提案システムの有効性を示すため、4.2 節で示した評価シナリオにおいて、以下の 2 項目に関する評価を行う。

- パケット到達時間
- パケット到達率

パケット到達時間は、ネットワーク中のすべてのノードへパケットが行き渡るまでの時間

である。この時間が短いほど、遅延が小さい配信システムとなる。

また、パケット到達率は、各ノードのパケット受信の成功率の平均であり、この数値が高いほど再生中に映像の途切れが発生しない安定した配信となる。

4.4 評価結果

図 5 にパケット到達時間に対する評価結果を示し、図 6 にパケット到達率に対する評価結果を示す。それぞれの評価項目で、提案システムは Coolstreaming と同等の結果となっている。

5. 考察

本研究では、Coolstreaming を拡張することで、1 つの配信ネットワーク中での異なる品質の動画コンテンツを配信を実現している。提案システムでは、この配信を実現するため、ノードのグループ分けによるネットワーク構成の変更や各ノードの接続先、データ配信方向の限定などを行なっているが、図 5 と図 6 に示される評価結果から、動画コンテンツの配信に対して、それらの変更が影響を与えていないことが確認できる。このことから、提案システムはノードごとに異なる品質の動画コンテンツの配信を従来の配信システムと同水準で行えることができると考えられる。

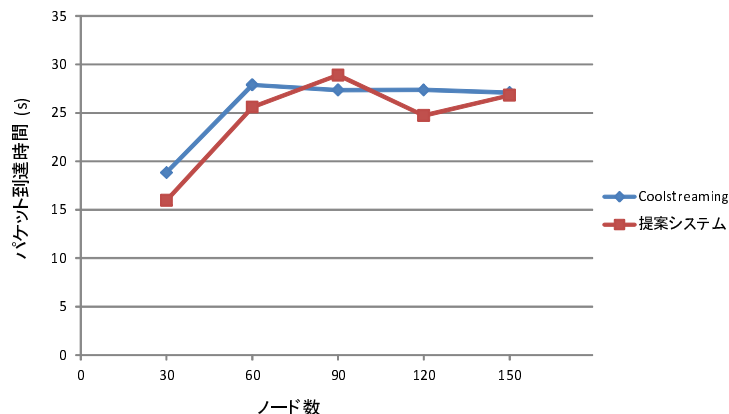


図 5 パケット到達時間
Fig.5 Packet arrival time.

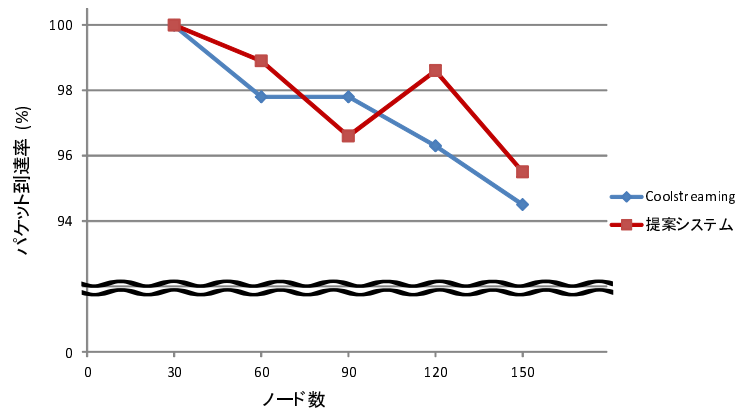


図 6 パケット到達率
Fig.6 Packet arrival rate.

6. 関連研究

オーバレイマルチキャスト上で異なる品質の動画コンテンツを配信するため、いくつかの配信システムが提案されている。

田中ら⁷⁾は、各ノードが配信する動画コンテンツに対してトランスコーディングを行うことによって、配信ネットワーク中で動画コンテンツの品質を変換することを実現している。その際、同一品質を要求するノード同士でクラスタを形成し、トランスコーディングに要する処理負荷の軽減を実現している。また、複数の符号化方式を用いることで様々な通信帯域や処理能力を持つノードへの対応が可能となっている。

小椋ら⁸⁾は、配信する動画コンテンツに対して、階層符号化処理を施すことにより、品質の変換を行なっている。動画コンテンツは最低限の品質を保証する Base レイヤとそれを補完する複数の Enhanced レイヤに分割される。配信元ノードを頂点とし、多くの Enhanced レイヤを必要とするノードを配信木の上位に配置したツリー型のオーバレイマルチキャストを構築することで異なる品質の動画コンテンツ配信を実現している。

7. おわりに

本研究では、各視聴者の通信環境に合わせて異なる品質の動画コンテンツを配信するライブストリーミング配信を実現するため、配信ネットワーク中で動画コンテンツの品質を変換することが可能な配信システムを提案した。オーバレイマルチキャスト上でライブストリーミング配信を行う Coolstreaming の機能を拡張することで、1つの配信ネットワーク中で複数の品質の動画コンテンツを配信することを可能にした。また、動画コンテンツの品質変換に MPEG-4 のフレーム構成を利用することにより、各ノードに負荷をかけず、品質変換することを実現した。シミュレーションによる評価の結果、提案システムが従来の配信システムと同様の水準で動画コンテンツの配信を行うことができることを確認した。

今後は、各品質の動画コンテンツを要求するノード数に偏りがある場合を考慮した評価や、テストヘッドなどを用いた実環境に近い評価を検討している。

謝 辞

本研究の一部は科研費(21500084)の助成を受けたものである。

参 考 文 献

- 1) Ustream.tv, (online), (<http://www.ustream.tv/>) (accessed 2011-05-23).
- 2) ニコニコ生放送, (online), (<http://live.nicovideo.jp/>) (accessed 2011-05-23).
- 3) V. Pai, K. Kumar, K. Tamilmani, V. Sambamurthy, and A. Mohr, "Chain-saw: Eliminating trees from overlay multicast, Lecture notes in computer science", vol.3640, pp.127-140, 2005.
- 4) S. Xie, B. Li, G. Keung, and X. Zhang, "Coolstreaming: Design, theory, and practice", IEEE Transactions on Multimedia, vol.0, no.8, pp.1661-1671, Dec.2007.
- 5) A. J. Gancsh, A.-M.Kcrrmarrcc, and L. Massoulie, "Peer-to-peer membership management for gossip-based protocols", IEEE Transactions on Computers, 52(2), Feb.2003.
- 6) 構造計画研究所 : QualNet - 次世代ネットワークシミュレータ, (online), (<http://www4.kke.co.jp/network/products/qualnet/>) (accessed 2011-05-23).
- 7) 田中貴章, 相田仁, "異種端末環境に適応したオーバレイマルチキャストによるビデオストリーミング方式の検討", DICOMO2008, Jul.2008.
- 8) 小椋康平, 今泉英明, 中村修, 村井純, "階層構造を持つデータの配信に適したオーバレイ・マルチキャストプロトコルの提案", 第12回マルチメディア通信と分散処理ワークショップ, Dec.2004.