

## モバイルエージェントを用いたP2Pシステムにおける マルチメディアコンテンツのストリーミング配信手法

### Multimedia Streaming Based on P2P System Using Mobile Agents

早川 匡史<sup>†</sup> 東野 正幸<sup>†</sup> 高橋 健一<sup>†</sup> 川村 尚生<sup>†</sup> 菅原 一孔<sup>†</sup>

Tadafumi Hayakawa<sup>†</sup> Masayuki Higashino<sup>†</sup> Kenichi Takahashi<sup>†</sup> Takao Kawamura<sup>†</sup> Kazunori Sugahara<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 鳥取大学大学院 工学研究科 情報エレクトロニクス専攻

#### 1 はじめに

インターネットが広く普及し、Web上ではマルチメディアなどのリッチコンテンツを提供するサービスが増えている。動画、音声などのマルチメディアデータは、コンテンツのダウンロードと再生を同時に行うストリーミング再生が一般的に用いられる。

コンテンツの配信はクライアントサーバモデルに基づいたモデルで行われるのが一般的である。しかしクライアントサーバモデルでは、接続するクライアントの数が増えるとサーバへの負担が増大する。この結果サーバ自身のネットワーク帯域の占有し、コンテンツの提供に時間が掛かるといった応答性の低下や、サーバへの過負荷によるサーバダウン時に、コンテンツの提供が止まってしまうといった問題が発生する。サーバをミラーリングすることでサーバへの負担を分散できるが、システムの構築コストが増大する。

そこで本論文では、負荷分散と耐障害性の向上、システムの構築コストの抑制を目的として、ストリーミング配信をP2Pモデルで行う手法を提案する。提案手法ではマルチメディアデータを分割し断片化させ、それらをシステムに分散配置させた後、それぞれの断片がどの計算機に配置されているかを把握する方式を用いる。提案手法を我々が開発している分散型e-Learning[1]に実装し、実験によりスムーズなストリーミング再生が行われることを確認した。

本論文では、第2節で検証に用いた分散型e-Learningシステムの概要について述べる。第3節でP2Pシステムでストリーミング配信を扱う点の問題について述べ、第4節で第3節で挙げた問題を解決するための提案方式について述べる。第5節では第4節で述べた提案方式が有用であるかの検証実験とその結果について述べる。そして第6節では、本論文のまとめについて述べる。

#### 2 分散型 e-Learning システムの概要

提案システムではコンテンツの提供や管理における負荷集中を避けるため、システムに参加する計算機(ノード)間にそれぞれのノードへコンテンツを分散配置する。また、各コンテンツには解答の採点機能やログイン等のユーザ認証機能を持たせる。これらのコンテンツをモバイルエージェント(エージェント)で管理する。エージェントは要求元のノードに移動し、そ

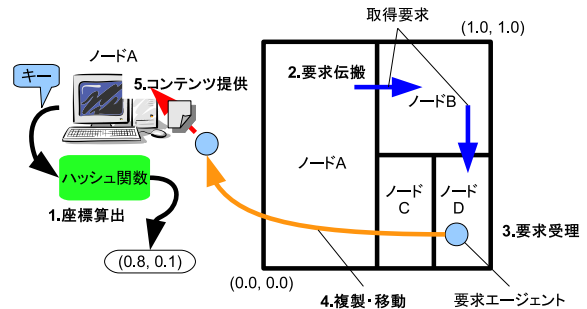


図 1: コンテンツ取得の流れ

の要求元のノード上で動作する。これによりコンテンツの分散のみならず、各機能の負荷分散も可能となる。

エージェントの実装には本研究室で開発しているモバイルエージェントフレームワーク Maglog[2]を用いる。Maglogではエージェント間の通信にフィールドと呼ばれる共有空間を使用する。

P2Pシステムでは負荷分散のため、コンテンツをシステムに参加するノードに分散して管理する。また、ノードの参加状況によりコンテンツが配置されている場所は動的に変化する。このためコンテンツを利用するためにはコンテンツの場所を見つける必要がある。各ノード間で分散管理されているコンテンツの検索を行うとき、ノードを全探索するのはノード数が多い場合非現実的である。そこでコンテンツの分散管理にDHT(Distributed Hash Table)を用いる。

提案システムではDHTとしてCAN(Content Addressable Network)[3]に基づく二次元仮想座標空間を用いる。コンテンツはそれぞれのキーを基にDHT上の座標に変換される。ノードには仮想座標空間上の領域が割り当てられる。図1にコンテンツ取得の流れを示す。

1. エージェントが持つキーを仮想座標空間上の座標に変換する
2. その座標を含む領域を管理しているノードまで隣接ノードを経由し取得要求を伝搬させる
3. 目的のコンテンツを保持したエージェントが要求を受け取る

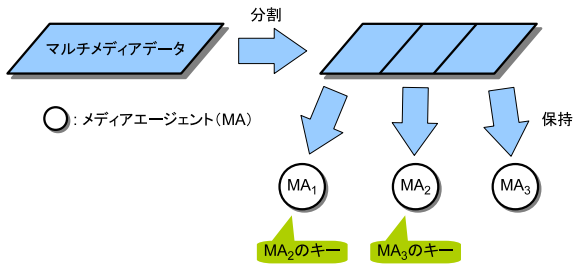


図 2: マルチメディアデータの分割とその保持

4. エージェントが自身の複製を生成し、要求元のノードへ移動しコンテンツを提供する

提案システムでは、学習者が解く問題はエクササイズエージェント（以下 EA）が管理する。EA は問題の提供機能だけでなく、学習者が入力した解答を採点する機能や、正答と解説とを表示する機能を持つ。学習コンテンツに含まれるマルチメディアデータは、メディアエージェント（以下 MA）が管理する。EA が持つ学習コンテンツがマルチメディアデータを含む場合、EA は MA のキーを基に DHT 上を検索し、図 1 の流れと同様に MA を取得し表示する。

### 3 P2P システムにおけるストリーミング配信時の問題

マルチメディアデータ全体を MA に保持させると、MA のサイズそのものが増大し、ノードの参加や離脱に伴うエージェントの移動に時間が掛かる。MA は自身への取得要求があると、複製エージェントを生成しその複製エージェントを要求元のノードへ派遣する。複製エージェントの移動が完了すると、マルチメディアデータを利用することができる。しかしこのデータの書き出しが終わるまでマルチメディアデータの再生が出来ない。そこでマルチメディアデータを時系列順に等分割し断片化させ、それぞれの断片をそれぞれの MA に保持させる（図 2）。データを断片化させることで、先頭の断片のみを持つ MA が要求元のノードに到着するだけで再生が可能になる。また、それぞれの MA は直後の断片を持つ MA のキーを持つ。このキーを基に、マルチメディアデータを持つ MA の位置の特定ができる。このため、再生しながら未取得である MA をシステム上から検索し取得しつつマルチメディアデータを再生することが可能となる。しかし次のマルチメディアデータを持つ MA を検索するには、その MA を管理するノードを DHT 上で見つける必要がある。このためには 2 節で述べたように、取得要求を目的の MA が配置されているノードまで伝搬させる必要がある。この伝搬は経由するノード数が多いほど時間が掛かるため、MA のキーを元に DHT 上を検索し取得を行うのでは、断片の取得が再生に追いつかず、ノードの参加状況によってはスムーズな再生が行われない場合がある。

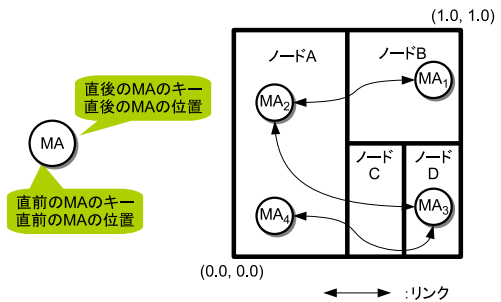


図 3: MA の双方向リンクリスト

### 4 MA 同士のリンク

本節ではノードの参加状況によらずにスムーズなストリーミング再生を実現するための方式について述べる。取得要求時に検索をするのではスムーズなストリーミング再生が行われない場合があることは前述した。そこで次のマルチメディアデータを持つ MA を管理しているノードを予め検索し、その位置を記憶しておく。このことでデータ取得時における DHT 上の検索が不要になり、マルチメディアデータの取得をスムーズに行えるようになる。

このとき、ノードの位置を保持する方法として、先頭の MA が全ての後続の MA の位置を一斉に記録しておく方式と、リンクをリスト構造にしておく方式との二通りが考えられる。前者の方式では、ノードの参加離脱に伴う DHT 上の領域変更で移動する MA が多くなると、全ての通知が先頭の MA に集中してしまい、負荷分散の点から好ましくない。そこでリスト構造を採用する。

また、ノードの参加や離脱に伴う DHT 上の管理領域変更で、MA が配置されるノードが変わる場合が考えられる。そこで、それぞれの MA には前後の MA を管理するノードの位置を持たせる。ノードの参加や離脱で移動した MA は、自身が新たに配置されたノードの位置情報を前後の MA に対して通知し、位置情報の更新を要求する。このことで MA が管理されるノードが変更されても、MA のリンクを維持することができる。ただし、通知対象となる MA も同時に移動していた場合は、通知処理がタイムアウトした後、再度 DHT 上をキー検索し、位置情報を更新する。

図 3 に示すように、全ての MA は前後の MA のキーと分散配置されているノードの位置を記録する。このことで取得要求があると、後続の MA に直接取得要求を伝えることができ、参加ノード数によらないスムーズな再生ができる。

### 5 実験

MA をそれぞれが持つキーを元に DHT 上を検索してマルチメディアデータを取得しストリーミング再生を行う方式（従来手法）と、提案方式で実装した双方向リンクリスト構造によるストリーミング再生を行う

方式（提案手法）との比較実験を行った。実験環境を表 1 に示す。実験は同一 LAN 内で行った。

表 1: 実験環境

CPU	IntelR Core i5 CPU 650 3.20GHz
主記憶	2.9GB
ネットワーク	100BASE-TX
OS	Debian GNU/Linux 5.0.5
参加ノード数	12 台

実験ではサイズが 16.1MB、再生時間が 21sec の動画をマルチメディアデータとして用いる。等分割し各 MA に保持されるデータのサイズは 200kB から 300kB とした。これらを保持させた MA でストリーミング再生を行い、再生が一時停止した時間の合計を比較した。結果を図 4 に示す。

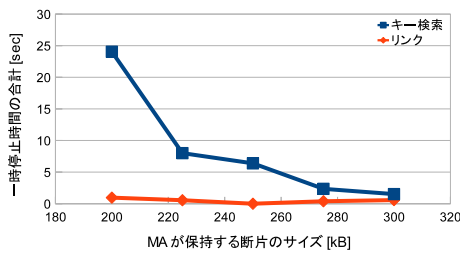


図 4: 分割サイズ毎の一時停止時間の合計

キー検索では分割サイズが小さい程、つまり、一断片当たりの再生時間が短い程取得が間に合わず、200kB 毎の分割では一時停止時間の合計が約 25sec となっている。これに対して、提案方式では動画再生時の一時停止時間の合計が、どの分割サイズでも 1sec 以内に収められ、スムーズなストリーミング配信が行われていることがわかる。

## 6 おわりに

本論文では、モバイルエージェントを用いた P2P システムでマルチメディアコンテンツをスムーズにストリーミング配信するための手法を提案した。提案手法としてそれぞれの MA がシステムに配置されたとき、次の断片を保持する MA を検索し、どのノードに位置しているかを予め記憶させておく方式を用いた。提案手法を我々が開発している分散型 e-Learning へ実装し評価した結果、動画再生時の一時停止時間の合計が 1sec 以内に収められ、スムーズなストリーミング配信が行われていることを確認した。

## 参考文献

- [1] 川村尚生, 菅原一孔: モバイルエージェントに基づく P2P 型 e-Learning システム, 情報処理学会論文

誌, Vol. 46, No. 1, pp. 222–225 (2005).

- [2] Motomura, S., Kawamura, T. and Sugahara, K.: Logic-Based Mobile Agent Framework with a Concept of “Field”, *IPSJ Journal*, Vol. 47, No. 4, pp. 1230–1238 (2006).
- [3] Ratnasamy, S., Francis, P., Handley, M., Karp, R. and Shenker, S.: A Scalable Content-Addressable Network, *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2001 Technical Conference*, ACM SIGCOMM, pp. 161–172 (2001).