

P2P オーバレイネットワークを用いた空間型MMOGの設計

西出 亮† 坪井 新治† 奥 智照†

近藤 弓子† 大西 真晶† 上島 紳一†

† 関西大学総合情報学研究科 〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町2-1-1

E-mail: †{fa4d003,fb6m126,fa40100,fa40187,fa4d001}@edu.kansai-u.ac.jp, ††ueshima@res.kutc.kansai-u.ac.jp

あらまし 本稿では、空間型MMOGシステムを利用者から提供されるコンピュータノードを用いたP2Pドロネーネットワークにより構築する手法を提案する。本手法は、利用者の平面上のキャラクターの位置をノードの位置として、ドロネーネットワークを構成し、MMOGにおける処理を分散的に実行する。そこで、まずP2Pドロネーネットワークの構築手法を提案する。空間型MMOGにおいて、各プレイヤーのビュー生成に必要な情報は利用者のキャラクターの近傍のオブジェクト情報である。そこで、平面をボロノイ領域に分割し、各ノードに割り当て、そのボロノイ領域内に含まれるオブジェクト情報を各ノードが管理する手法についても提案する。更に、ノードの移動に備えてP2Pドロネーネットワークを保つ必要がある。そこで、ノードの位置情報の変化に基づきネットワークの組み替えを行い、P2Pドロネーネットワークを保ち続ける手法について提案し、検討を行う。

キーワード MMOG, スケーラビリティ, P2P, 空間管理, オーバレイネットワーク

Proposal of Spatial MMOG on P2P Overlaid Network

Ryo NISHIDE†, Shinji Tsuboi†, Tomoteru OKU†,

Yumiko KONDO†, Masaaki OHNISHI†, and Shinichi UESHIMA†

† Graduate School of Informatics, Kansai University Ryozenji 2-1-1, Takatsuki, Osaka, 569-1095 Japan
E-mail: †{fa4d003,fb6m126,fa40100,fa40187,fa4d001}@edu.kansai-u.ac.jp, ††ueshima@res.kutc.kansai-u.ac.jp

Abstract In this paper, we propose method to construct a Spatial MMOG system on a P2P Delaunay Network, which is built from the computer nodes provided by users. In this method, we use the player character's location on MMOG as node location, and construct Delaunay Network and process the task for MMOG distributively. First, we propose construction method of P2P Delaunay Network. In Spatial MMOG, to construct a view for each player, the view requires the surrounding object information from the nearby player. Thus, we divide the whole plane into Voronoi region, and assign the object information to the node managing the Voronoi region. Furthermore, it is necessary to maintain the P2P Delaunay Network connection considering the case of the moving nodes. To handle with this case, we propose method to rebuild the network locally according to the new location of the node, and show method to maintain the P2P Delaunay Network.

Key words MMOG, scalability, P2P, spatial management, overlay network

1. はじめに

近年、多人数の利用者が同時に参加し共同でゲームを行うMMOG (Massively Multiplayer Online Games) の流行が著しく、ネットワークを介したエンタテインメントとして大きな注目を集めている。現状のMMOGにおいてはサーバークライアント型 (以下, S/C) のシステムが主流であるが、このようなシステムは利用者数 (=ピア数) の増加によりサーバーにおける通信負荷が集中する。

そこで、P2Pネットワークを用いてゲームが要求する処理をピアで分散的に実行することを考える。P2Pネットワークを用いることにより、利用者数に対するスケーラビリティを確保でき、サーバーの管理コストも削減できる。本稿では、ゲームに用いる空間をピアで分散的に管理するために、P2Pオーバレイを構築することを考える。また、本稿はオーバレイ上の通信形態を提案するものとし、通信基盤のトポロジは一切考慮しないものとする。

本稿では、MMOGの中でも特に、平面を用いる空間型

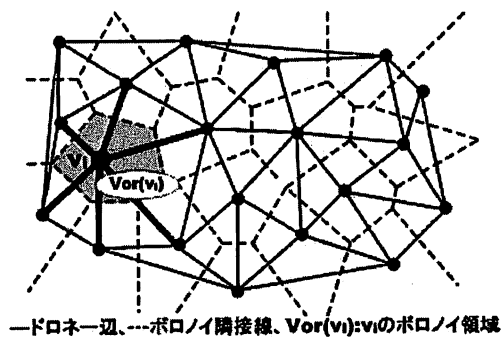


図1 ドローネー図とポロノイ図

MMOGについて取り上げる。各利用者は平面上に1つのプレイキャラクターをノードとして配置し、操作する。空間型MMOGにおいて、各利用者が必要とする情報は、各自のプレイキャラクターの位置情報と近傍情報である。各利用者は、これらの情報を用いて、可視範囲(ビュー)を生成する。また、各ノードは位置情報を持ち、近傍ノード同士で影響を与え合う。

プレイヤーが要求する情報として、具体的に地形情報のような静的情報と、プレイキャラクターやオブジェクト情報のような動的情報が存在する。S/C型のMMOGにおいては、静的情報は各クライアントのソフトウェア内部に含まれ、動的情報はサーバーで管理されている。P2P方式でMMOGを構築する際は、動的情報をサーバーを用いずにピアで分散的に管理する手法が必要である。

動的情報をノードで分散的に管理するために、分散データベースを構築する。そのためには、平面を部分領域に分割し、位置に即して動的情報をノードに割り当てる必要がある。そこで、ポロノイ領域に平面を分割し、ノードの管理領域として割り当てることを考える。また、近傍ノードに対してデータを要求しやすい構造を作るために、平面上のノードでドローネー図状の接続関係をオーバーレイのトポロジとして構成し、P2Pオーバーレイネットワークを構築化する。このドローネー図状に接続したP2Pオーバーレイネットワークを、P2Pドローネーネットワークと呼ぶ[1]。

図1を用いて、ドローネー図の特徴について説明する。ノードを点で示し、ノード間の接続関係を線で示す。 v_i の管理領域は $Vor(v_i)$ であり、この領域と隣接する管理領域を持つノード(太線で結ばれたノード)が v_i の隣人ノードとなる。

空間型のMMOGでは、平面上でノードの頻繁な移動あるいは参加/脱退が行われるため、P2Pネットワーク上で平面全体を継続的に維持・管理することが重要である。そこで、本論の先行研究[1]で提案した手法を用い、ノードの移動や参加/脱退に伴いネットワーク構造を組み替えて平面を維持することを考える。本稿では、ネットワークの組み替えによるシステムの操作性について本手法を検討する。

本稿の以下の章は、次のように構成される。2章では、P2P方式を用いた空間型MMOGの全体像を示し、3章でP2Pネットワークにおける空間型MMOGの詳細なシステム構成をレイ

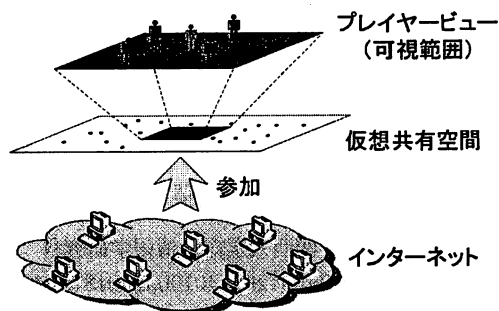


図2 P2Pドローネーネットワークを用いた空間型MMOG

ヤー構造で示し、各層の役割を説明する。4章では、本システムにおけるシナリオを提案する。5章では、本研究における関連研究を説明し、まとめと今後の課題について6章にまとめる。

2. P2P方式による空間型MMOG

2.1 空間型MMOGへのP2Pオーバーレイネットワークの利用

空間型MMOGでは、人、アイテムなどの各オブジェクトは、基本的に共通の平面を想定した位置を与えられ管理される。そこで本システムでは、インターネット上のコンピュータノードによりなんらかの仮想共有空間上での位置をキーとしたオブジェクト情報の管理システムを作成し、更にアプリケーションである空間型MMOGのクライアントソフトウェアが、それにアクセスして、任意の範囲のオブジェクト情報を取得できるようにしたい(図2)。そこで、本研究ではインターネット上の利用者のノードにより、P2Pドローネーネットワークを構成する方法を示した上で、更に各ノード上で動作する空間型MMOGクライアントソフトによる問い合わせを、P2Pドローネーネットワーク上で実現する方法についても示す。この時、各クライアントが要求するビューの範囲は、クライアントの利用者のキャラクターの位置の近傍である。そこで、このキャラクターの位置を平面空間におけるノードの位置とし、それに基づいてP2Pドローネーネットワークを構成し、近傍ノードへの通信に際して経由ノード数を減少させる。しかし、キャラクターは、通常平面上を移動するので、その移動に伴ってP2Pドローネーネットワークの接続関係を組み替える必要がある。そこで、P2Pドローネーネットワークの組み換えを行いながらも、オブジェクト情報の管理システムとして機能を保つ仕組みについても述べる。

2.2 本研究における空間型MMOGシステムの前提

本節では、本研究における空間型MMOGにおける前提について述べる。

[P2Pドローネーネットワークに提供されるノード] P2Pドローネーネットワークに提供されるノードは、MMOGをプレイするプレイヤー自身のノードである。各ノードは、利用者の自宅からブロードバンド環境でインターネットに接続されているものとする。

[オブジェクト情報の前提] 空間型MMOGで管理する情報に

は静的なオブジェクト情報と動的なオブジェクト情報がある。静的な情報は、MMOGを通して基本的に状態の変化しないオブジェクトの情報であり、動的な情報は、頻繁に状態の変化するオブジェクトの情報である。本研究では主に動的な情報の管理について扱うものとし、静的な情報については事前に全てのノードに配布されているものとしている。本研究で主に平面上の位置をキーとして管理される動的なオブジェクト情報について扱う。

【ビュー】空間型MMOGにおいて、クライアントは仮想共有空間における利用者の操作するキャラクターの近傍のオブジェクトの情報を収集し、ビューを生成し、利用者はそのビュー及び、そのビュー内のオブジェクトに対して働きかけを行う。ビューは具体的には、キャラクターを中心とした一定範囲の矩形領域である。

2.3 仮想共有空間のP2Pドロネーネットワークによる管理

前節の内容を踏まえ、ここでは、P2Pドロネーネットワークによる仮想共有空間の管理手法の基本的な考え方について述べる。そこでP2Pドロネーネットワークの構成方法、P2Pドロネーネットワークに対するオブジェクト情報の格納、各ノードのオブジェクト情報常時配信によるビュー生成手法、ノードの位置の変化に対する対応方法のそれぞれの指針について述べる。

【P2Pドロネーネットワークの構成方法】P2Pドロネーネットワークは、ノードは位置情報に基づいて自律分散的にネットワークを構築し、それを維持する[1]。この時、相対的に近い位置関係であるノード同士で接続される。この自律分散的な構成方法は、P2Pネットワークの任意の2ノード間に接続関係にあるノードを経由することで到達できる場合、つまりP2Pオーバーレイネットワークが連結グラフ状のネットワークである場合に正常に動作する。接続関係を繋ぎかえることによって、非ドロネーグラフ状の接続関係が次第にドロネーグラフ状の接続関係となっていく。そこで、P2Pドロネーネットワークを生成する為に、非構造なP2Pネットワークで構わないので、連結グラフ状のP2Pネットワークを構築する。具体的には、リフレクタを用意し、それにアクセスすることで、各ノードを環状に繋いぐことを本研究では想定する。つまり、インターネットを想定した基盤ネットワーク上に、非構造のP2Pネットワークとして環状に接続したP2Pネットワークを用意し、それを組み替えることで、P2Pドロネーネットワークを生成する。

【P2Pドロネーネットワークに対するオブジェクト情報の格納】続いて、P2Pドロネーネットワークにおけるオブジェクト情報の格納方法について述べる。P2Pドロネーネットワークでは、各ノードとその接続先のノードの位置情報に基づいて各ノードのポロノイ領域を求める事ができ、その全てのノードのポロノイ領域によって、平面を完全に分割することができる。本研究では、このポロノイ領域を各ノードが受け持つ、オブジェクト情報の位置に基づくキーの範囲とした。この手法では、ノード全体で領域分割に関する情報をやりとりする必要が無く、局所的なノードの通信のみで、平面全体を分割することができる。

【各ノードのオブジェクト情報常時配信によるビュー生成手法】ノードはP2Pドロネーネットワークを構成ノードであると同

時に、利用者にとってはビューを生成するためのオブジェクト情報の収集者という側面を持つ。MMOGにおいては、各ノードは、常に利用者に対して最新のビューを表示し続けなくてはならない。そこで、各ノードがビューを生成する為に、自身のビューを生成する矩形領域内のオブジェクト情報を管理しているノードに対して、問い合わせを行うのではなく、各ノードが自身の管理するオブジェクト情報をビュー生成の為に必要とするノードが存在する可能性がある矩形領域の範囲内にマルチキャストを常時行う。これにより、ビュー生成に必要な情報を各ノードは常に受信することができる。

【ノードの位置の変化に対する対応方法】オブジェクト情報の収集者としての各ノードの位置は、MMOGの利用者のキャラクターの移動により常に変化し続ける。この為、初期に作成されたP2Pドロネーネットワークを、新たなノードの位置情報に基づき繋ぎ換えなくてはならない。[1]における手続きを常時動作させることにより、この繋ぎ換えを行うことが可能である。しかし、この繋ぎ換えの間、オブジェクト情報の格納やマルチキャストに支障がでないようにする必要がある。ドロネー図は、ノードの追加、削除に対して、ドロネー図を再度描画した場合に、その描き変えの範囲が、追加、削除されたノードの近傍に留まることが知られている。そこで、各ノードは、従来のP2Pドロネーネットワークにおける接続に加えて、更に1HOP先のノード、つまり、各ノードから見て2HOP先のノードに対しても接続を確立する。これにより、繋ぎ換えの際に起こり得る新たな接続が既に接続されている状態を保つことができる為、ノードの位置の変化に対して、P2Pドロネーネットワークを保つつつ、グリーディルーティングといったP2Pドロネーネットワークの機能を途切れること無く提供することができる。

3. 提案システムの構成

本章では、提案するシステムの構成について述べる。前章でも述べたように、ネットワーク側からの要件とアプリケーション側からの要件を満たす必要がある。そのため、図3に示すように6層に階層化したモデルを提案する。

第1層では、通常のインターネット通信を想定しており、任意の2ノード間の通信を行う役割を担う。次に、第2層では非構造のオーバーレイネットワークを作成する。これは第3層においてP2Pドロネーネットワークを作成するために必要な、連結リストを作成するためである。

また、第3層で作成されたP2Pオーバーレイネットワークを用いて第4層では、隣人とのP2P通信および、データの格納を行う。これらにより、第5層では第4層で提供されるデータを組み合わせ、アプリケーションが利用するサービスを提供する層である。

最後に、第5層で生成された情報を用いて、第6層のアプリケーション層では実際にゲームを実行する。各層の詳細については以下に述べる。

3.1 基盤ネットワーク及びオーバーレイネットワーク

本節では、本システムの基盤となる基盤ネットワーク及びオーバーレイネットワーク層について説明する。

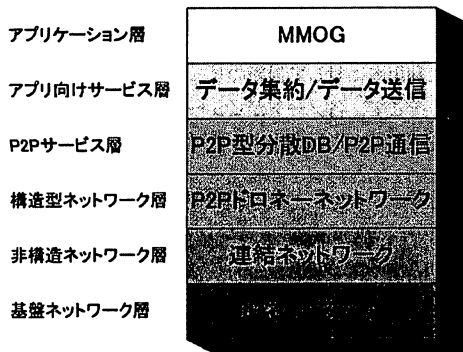


図3 オーバレイ構成の層構造モデル

【第1層：基盤ネットワーク層】

この層では、アドレスによる任意のノード通信を提供する。この層で言う通信とは、上位層で指定されたIPアドレスに通信を行うだけで、どのような情報が送信されているかは知らない。そのためこの層では、上位層から受け取ったデータをそのまま指定されたノードに対して転送する。

【第2層：非構造ネットワーク層】

この層では連結ネットワークを構成する。連結ネットワークとは、任意の2ノード間に少なくとも1つの連結リストが存在する状態を指す。

第3層で述べるP2Pドローネネットワーク構成の前提条件として、全てのノードが連結リストである必要がある。この層ではアプリケーションが開始する際にリフレクタノードを使用し連結性を構成する役割を負う。リフレクタノードとは、連結ネットワークに参加する際に、ネットワーク内のノードのアドレスを教える役割を持つノードである。そのため、リフレクタノードは各ノード間にアドレスを教えることで、ネットワークの連結性を保持する役割を持つこの層ではネットワーク構造が非連結にならないように監視する役割を負い、ネットワークトポロジについては考慮しない。

【第3層：構造型ネットワーク層】

この層では、仮想共有空間におけるノードの位置情報とP2Pドローネネットワーク形成アルゴリズムを用いてオーバレイネットワークを構成する。また、P2Pドローネネットワーク形成アルゴリズムにより隣接ノードとの情報交換のみで隣接関係を形成することが出来る。[1]そのため、仮想共有空間からノードの移動情報を受ける度にP2Pドローネネットワーク形成アルゴリズムで隣接関係が正確であるか再計算することにより、常に正確な隣人ノードとの接続関係を維持し続けることが出来る。これにより、作成されたネットワークは常に隣接ノードとのルーティングテーブル（接続表）と自ノードの管理領域を上位層に提供することができる。

3.2 サービス提供部の構成

ここでは、下位層で構成されたオーバレイネットワークを用いてアプリケーション層に提供するサービスを構成するための2つの層について述べる。

【第4層：P2Pサービス層】

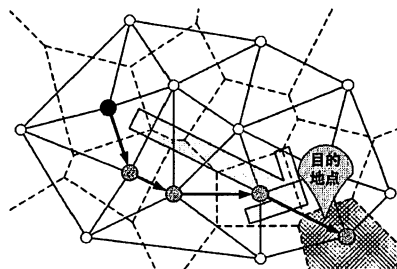


図4 メッセージ送信

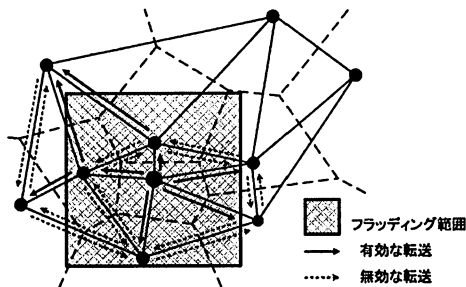


図5 範囲フラッディング

第3層で提供されるルーティングテーブル（隣人表）の相手との通信を提供する層である。また、ボロノイ管理領域に基づく範囲のデータを管理するP2PDB（分散データベース）の役割も果たす。

【第5層：アプリケーション向けサービス層】

第4層提供されるサービスを組み合わせ、アプリケーションが利用するサービスを提供する層である。

ここでは、以下のサービスについて説明する。

- メッセージ送信
- 範囲フラッディング
- 範囲情報集約

メッセージ送信：任意の目的地点に対してノードがメッセージを送信するためのサービスである。各ノードは目的地点に対してメッセージを転送すべき隣人ノードが一意に決まる為（欲張り法）位置座標を設定したメッセージ送信が可能である。また、転送されたメッセージを受け取ったノードは設定された位置座標が自身のボロノイ管理領域内に含まれるかどうかを判断し、含まれていればメッセージを受信する。含まれていなければ、より目的位置に近いノードが存在するためメッセージを再転送する。黒点を送信ノードとし、目的地点までメッセージが転送される例を図4に示す。

範囲フラッディング：ノードが任意の範囲全体にメッセージを送信するためのサービスである。各ノードのボロノイ領域は互いに隣接し平面全体を被覆している。また、ドローネはその隣接したノードと接続されているため、任意範囲に対して隙間なくメッセージを送信することができる。そのため、範囲を設定したフラッディングが可能である。図5に、黒点ノードが枠で囲われた範囲にフラッディングを行う例を示す。

まず、発信ノードはフラッディング範囲を設定し全ての隣人

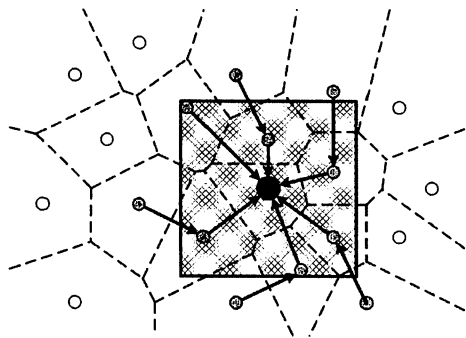


図 6 範囲情報集約

ノードにメッセージを送信する。ボロノイ管理領域と指定範囲が交差するノードは、そのメッセージを受信し転送してきたノードを除く全ての隣人ノードにメッセージを再転送する。メッセージを重複して受け取った場合、2度目以降に受信したメッセージは破棄しそれ以上転送を行わない。このようにして設定範囲内にあるノードが転送を繰り返し、範囲フラッディングが行われる。

範囲情報集約：任意範囲を設定し、自身のボロノイ管理領域外の情報を取得するためのサービスである。互いのノードがメッセージを範囲フラッディングし、各ノードが設定範囲内のメッセージを受信し集約する。

3.3 アプリケーション部の構成

[第6層：アプリケーション層]

下位層で提供されたサービスを利用してアプリケーションを実行する層である。本稿ではMMOGをアプリケーションとして考えている。

4. シナリオ

著者らは、本提案手法をJavaアプリケーションによりシミュレーションすることを考えている。

利用者は正方形のフィールド上で戦車を動かし、2チームに分かれて弾を打ち合いながらフィールド中央に配置された1本の旗を奪い合う。フィールドには左上と右下に各々の陣が存在し、ゲームを開始すると自陣の中にランダムで利用者の数だけ戦車が配置される。利用者はプレイキャラクターとして戦車を操作する。戦車には移動/方向転換と弾を撃つという2つの動作が用意されており、一定回弾と接触することにより破壊される。破壊された戦車はゲーム開始時と同じように再び自陣の中に戻され活動を再開する。旗と接触すると戦車はその旗を所持し移動できるようになり、自陣に旗を持ち帰ったチームの勝ちとなる。

ノードは自身の操作する戦車の位置/向き/所属チーム/状態情報と、動的情報として弾の位置/向き/状態情報及び旗の位置情報を管理する。静的情報には障害物が存在し、あらかじめ全てのノードには障害物の位置情報が与えられている。

5. 関連研究

[2]では、本研究と同様にMMOGにおけるビューについて着目し、ドロネー図状のP2Pネットワークの接続関係に加えて、ビューの範囲に含まれる全てのノードと接続を確立する手法を提案している。この提案手法は、ノードの位置が密集した際に、各ノードの接続数が大きくなるという問題が考えられる。対して、本研究では、ビューに必要な情報は、各ノードがマルチキャストを行う形で配信している。この為、ノードが密集したとしても、各ノードの持つ接続数が増加することはない。しかし、経由するノード数が増加し遅延が発生することが考えられる。この二つの手法双方に一長一短が存在する為、接続数を抑え、尚且つ、経由するノード数を抑えるような、マルチキャスト木をオーバーレイに構築する手法を更に検討する必要がある。

[4]では、本研究のような位置座標ベースのネットワークではなく、空間を予め分割し、地域IDを割り振っておき、同じIDの地域に存在する全てのノードによるマルチキャスト木を構成する。そのマルチキャスト木のルートとなるノードがそのIDの地域で交換される情報の管理者となり、各ノードの状態の変化を受け取り他のノードに対して通知する。この手法は、予め地域IDを空間全体に割り振っておく必要があり、また同じ地域にノードが集中した場合に、管理者であるノードに状態の更新情報が集中することが考えられる。

[7]では、木構造の接続関係としたノードの葉の部分のノードに、平面全体を基盤目状に区切って生成したサブスペースを割り当て、平面領域を管理している。更に、木の間中部分を支えるノードについて、通信の遅延を計測し、最も遅延が大きい、ノードについてバックアップとして用意されたノードと交換することにより、ネットワーク全体の性能を維持する手法を提案している。それに対し、我々の研究では、遅延を計測することなく、各クライアントのノードの位置座標に基いたネットワークを常に維持することで、ビューの範囲に入る他のノードからの経由ノード数が小さくなるように保っている。

6. おわりに

本研究では、P2Pドロネーネットワークを用いた空間型MMOGシステムの構築手法について検討を行った。基盤ネットワークからのP2Pドロネーネットワークの構築手法について検討し、更に各ノードへの平面の部分領域の割り当て手法、各ノードがビュー生成に必要なオブジェクト情報の配信手法、更に、利用者のキャラクターの位置情報の変化に伴う、P2Pドロネーネットワークの維持手法についても検討を行った。これらの手法については、評価実験を行う必要がある。

また、本研究では、各ノードの近傍関係の維持を行うことが可能な手法を提案することができたが、この手法ではノードが平面上のある部分に密集した場合に、マルチキャスト配信時に経由するノード数が大きくなってしまいうという欠点が考えられる。P2Pドロネーネットワーク上に更にマルチキャスト用のオーバーレイネットワークを構築する手法について検討する必要がある。

文 献

- [1] 大西真晶, 源元佑太, 江口隆之, 加藤宏章, 西出亮, 上島紳一: ノード位置を用いた P2P モデルのためのドロネー図の自律分散生成アルゴリズム, 情報処理学会論文誌: データベース, Vol.47, No.SIG(TOD29), pp.51-64 (2006).
- [2] S.-Y. Hu, and G.-M. Liao: Scalable Peer-to-Peer Networked Virtual Environment, In Proc. ACM Sigcomm 2004 Workshops on NetGames '04, pp.129-133 (2004).
- [3] S. Douglas, E. Tanin, A. Harwood, and S. Karunasekera: Enabling massively multi-player online gaming applications on a P2P architecture, In Proc. IEEE Int. Conf. on Information and Automation, pp.7-12, (2005).
- [4] B. Knutsson, H. Lu, W. Xu, and B. Hopkins: Peer-to-peer support for massively multiplayer games, In Joint Conf. IEEE Computer and Communications Societies, Vol.1, pp.107, (2004).
- [5] T. Iimura, H. Hazeyama, and Y. Kadobayashi: Zoned federation of game servers: a peer-to-peer approach to scalable multi-player online games, In Proc. of ACM SIGCOMM 2004 workshops on NetGames '04, pp. 116-120, (2004).
- [6] A. Yu and S. T. Vuong: MOPAR: a mobile peer-to-peer overlay architecture for interest management of massively multiplayer online games, In Proc. of Int. Workshop. on Network and Operating System Support for Digital Audio and Video (NOSSDAV 2005), pp.99-104, (2005).
- [7] S. Yamamoto, Y. Murata, K. Yasumoto and M. Ito: A distributed event delivery method with load balancing for MMORPG, In Proc. 4th ACM SIGCOMM workshop on Network and system support for games (NetGames), pp.1-8, (2005).