

## 地理的オーバレイネットワークの使い分けが可能な 位置依存コンテンツ分散管理手法の提案

川上 朋也<sup>†1</sup> 竹内 亨<sup>†2</sup> 寺西 裕一<sup>†1</sup>  
春本 要<sup>†3</sup> 西尾 章治郎<sup>†1</sup>

ユビキタス環境では、現実世界におけるユーザやサービス対象の位置に基づくコンテンツである位置依存コンテンツの扱いが重要となる。本研究では、位置情報に関連する P2P アーキテクチャである地理的オーバレイネットワークを独立して構築し、地理的オーバレイネットワークの使い分けが可能な位置依存コンテンツ分散管理手法を提案する。提案手法ではピアのコンテンツ担当領域はボロノイ領域で表されるため、既知のピアやコンテンツの配置、分布密度などから未知の領域における担当ピアの存在確率を計算することで、効率的に要求コンテンツを取得する検索アルゴリズムを提案する。本研究では提案手法におけるコンテンツ検索をシミュレーションにより評価し、不要なエリアのピアへのクエリ送信を抑制しつつ、要求コンテンツを取得できることを確認した。

### A Distributed Location-Dependent Content Management Mechanism on Geographical Overlay Networks

TOMOYA KAWAKAMI,<sup>†1</sup> SUSUMU TAKEUCHI,<sup>†2</sup>  
YUUICHI TERANISHI,<sup>†1</sup> KANAME HARUMOTO<sup>†3</sup>  
and SHOJIRO NISHIO <sup>†1</sup>

In the ubiquitous computing environment, location-dependent contents, which depends to certain locations in the real-world, play important role to realize context-aware services. In this study, we propose location-dependent content managing mechanism which constructs geographical overlay independently and enables to replace the overlay network. In our proposal, peer's territory for contents is showed as Voronoi regions. We proposed an algorithm to calculate a probability of peer existence within unsearched area based on found peers, contents, and those density to search required contents. We have evaluated the effectiveness for content search in proposal by simulations and confirmed to reduce queries for unnecessary peer.

### 1. はじめに

近年、モバイル端末や高速ネットワークの普及、無線技術の発達などにより、「いつでも、どこでも、だれでも」コンピュータが利用可能なユビキタス環境が整いつつある。ユビキタス環境では、ネットワークで結ばれた端末や機器、センサがさまざまな情報を自ら発信したり、他の情報を検索することが想定される。このとき扱われる情報には、現実世界におけるユーザ自身の位置や、周辺のセンサ情報、特定の位置に存在する店舗に関する口コミ情報など、位置に関連するコンテンツ、いわゆる「位置依存コンテンツ」が含まれる。近年、これらの位置依存コンテンツを扱ったサービスや技術には特に注目が集まっており、GPS により計測された位置座標を利用した GeoLife2.0<sup>1)</sup> など、地図アプリケーションや最寄りの店舗検索などの位置検索サービス、近くのおすすめ口コミ情報を提示するコンテンツ推薦サービスなどの研究開発が行われている。

ユビキタス環境においては、膨大な数の端末や機器が存在し、それらが自律的に位置依存コンテンツを発信することが予想される。このとき、端末や発信されるコンテンツを単一のベンダや組織がすべて掌握・管理するには、莫大な設備・運用コストが必要となる。また、コンテンツのリアルタイム性やプライバシー、著作権などを考慮すると、各端末でコンテンツを保持して発信や更新、削除などを行う必要性が考えられる。そのため、個々の端末や機器が相互に協調する P2P アーキテクチャであるオーバレイネットワーク技術を応用し、位置依存コンテンツを分散管理するための方法についての研究が行われてきた。

ドロネーネットワーク<sup>2)</sup> は、地理的に近いピア同士を接続するオーバレイネットワークで、コンテンツ位置をボロノイ領域 (voronoi region) にもつピアを探索し、当該ピアにコンテンツを保持させ、ZNet<sup>3)</sup> は、空間充填曲線の一つである Z-ordering により 2 次元の位置座標を 1 次元に変換した上で、各ピアの分担する 1 次元の値の範囲を決め、Skip Graph<sup>4)</sup> を用いて担当ピアを探索する方法である。また、Mill<sup>5)</sup> においても、Z-ordering により 2 次元の位置座標を 1 次元に変換した上で、各ピアの分担する 1 次元の値の範囲を決め、Chord<sup>6)</sup>

<sup>†1</sup> 大阪大学 大学院情報科学研究科  
Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University  
<sup>†2</sup> 独立行政法人 情報通信研究機構  
National Institute of Information and Communications Technology  
<sup>†3</sup> 大阪大学 大学院工学研究科  
Graduate School of Engineering, Osaka University

により担当ピアを探索する。これらは、いずれも 2 次元の値を持つコンテンツの保持・探索が可能である。

一方、PIAX<sup>7)</sup> などのオーバーレイネットワークプラットフォームでは、複数のオーバーレイネットワークを使い分けることができるマルチオーバーレイ環境が実現されつつある。こうしたプラットフォームでは、物理ネットワークの想定や、アプリケーションの要求に応じて、オーバーレイネットワークを使い分けることが考えられている。たとえば、クラウド環境など、下位ネットワークが安定した環境では、構造の変化に弱い高速な Skip Graph などの構造化オーバーレイネットワークの利用が望ましい。一方、下位ネットワークが不安定な環境では、ドローンネットワークのように、探索速度が高速とは限らないが、構造の変化に強い非構造化オーバーレイネットワークまたはそれに類するオーバーレイネットワーク構造を用いることが望ましいと考えられる。しかし、既存の位置依存コンテンツ管理は、いずれもコンテンツ管理のために専用の下位オーバーレイネットワークを用いる必要がある。前述の ZNet は Skip Graph を、Mill は Chord を下位オーバーレイネットワークに用いており、例えばドローンネットワークに切り替えることはできない。

そこで、本研究では、下位オーバーレイネットワークと独立した位置依存コンテンツ分散管理手法を提案する。提案手法は、地理的オーバーレイネットワークを用いて位置依存コンテンツの位置がポロノイ領域となるピアを探索し、該当するピアを位置依存コンテンツの担当ピアとする。このとき、地理的オーバーレイネットワークについては、既存技術や地図アプリケーションとの連携などを考慮し、矩形による探索エリアの指定を想定する。さらに提案手法では、位置依存コンテンツを検索する際、地理的オーバーレイネットワークに依存せず、担当ピアを探索するオーバーヘッドをなるべく抑えられるよう、探索エリアをピアの存在確率などの既知の情報に基づいて決定する。オーバーレイネットワークとコンテンツ管理を独立させることで、地理的オーバーレイネットワークは指定された矩形領域にあるピアを探索する機能さえあればよく、多くの既存の地理的オーバーレイネットワーク構築手法を適用できる。

## 2. 地理的オーバーレイネットワーク構築手法

これまでに、ピアの位置情報に基づく地理的オーバーレイネットワークを構築し、矩形によるピア探索に対応した手法がいくつか提案されている。

ドローンネットワークはドローン図のトポロジをもち、基本的に地理的な隣接ノードでリンクを構成する。ドローンネットワークでは、自身もつリンクのうち最も距離が近いピアへ順次メッセージを転送することで、探索対象エリアへクエリを到達させる。ドローンネッ

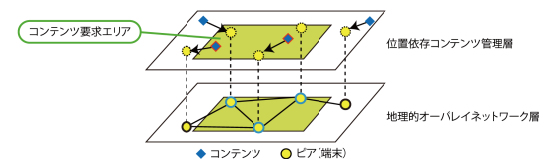


図 1 位置依存コンテンツの管理

Fig. 1 Management of location-dependent contents

トワークは基本的にはフラッディングのための構造であり、ピアの参加離脱にともなう構造変化の波及が地理的に近い範囲におさまる。

LL-Net<sup>8)</sup> はピアの位置情報を利用し、空間を階層的に矩形に区切ってリンクを構成する。また、LL-Net では下位階層を木構造とすることで、クエリメッセージ数の削減と探索の成功率の向上を図っている。LL-Net においては近隣ノード間が木構造で接続するが、厳密な木構造である必要はない。

PIAX では、Z-ordering により 2 次元の位置座標を 1 次元に変換した上で、Skip Graph を用いてピアを探索する方法を実装している。2 次元の位置座標を 1 次元に変換するこれらの方法は、探索が高速である一方、一定の条件を満たす経路表の管理が必要な構造化オーバーレイネットワークを前提としており、下位ネットワークが比較的安定した環境でなければ適用は難しい。

## 3. 位置依存コンテンツ分散管理手法の提案

### 3.1 位置依存コンテンツの管理

本研究では、2 章で述べた地理的オーバーレイネットワークを用いて位置依存コンテンツを分散管理するための手法を提案する。

提案手法は、位置依存コンテンツの管理を図 1 に示す階層構造により行う。つまり、下位に地理的オーバーレイネットワークを持ち、そのピア探索機能を用いて位置依存コンテンツの格納と検索を行う位置依存コンテンツ管理層を実現する。上位の位置依存コンテンツ管理層は、特定の地理的オーバーレイネットワークに依存せず、下位の地理的オーバーレイネットワークは入れ替え可能なものとする。

まず、地理的オーバーレイネットワークを用いて位置依存コンテンツを分散管理するための方法として、コンテンツの位置に対応した仮想ピアを地理的オーバーレイネットワークに参加させる方法が考えられる。しかし、この方法は、コンテンツが追加、削除されるごとにオー

バレイネットワークの構造が変化してしまう。コンテンツの数はピアの数と比べて膨大であることが想定されるため、コンテンツ数に応じて構造を管理するオーバーヘッドが大きくなる。また、非構造化オーバーレイネットワークにおいてはコンテンツ数が増加するにともない、検索効率が悪くなる。

そこで、本研究では、地理的な分担領域を各ピアに設け、コンテンツの位置を分担領域にもつ「担当ピア」を地理的オーバーレイネットワークにおいて矩形により探索し、当該ピアにコンテンツを格納させる。コンテンツの保持と管理は図 1 のように、位置依存コンテンツの位置情報に最も近い位置に存在するピアを担当ピアとする。このとき、各ピアのコンテンツの担当領域はピアを母点としたボロノイ領域で表される。

### 3.2 ピアの存在確率に基づくコンテンツ検索

#### 3.2.1 検索手法の概要

本研究では、3.1 節で述べた位置依存コンテンツ分散管理において、不要なエリアの探索を抑制しつつ、指定された地域の位置依存コンテンツを検索する手法を提案する。

たとえば、ユーザが取得したいコンテンツが図 2 (a) の中央に示した矩形の範囲である場合、この範囲をコンテンツ要求エリア  $D_0$  とする。提案手法ではこの  $D_0$  のピアを初めに探索し、 $D_0$  内のピアとその保持コンテンツの情報を取得する。このとき、 $D_0$  のコンテンツを担当するピアが存在しうる領域  $D_1$  は、エリア内ピアのボロノイ担当領域の境界線とコンテンツ要求エリアの交点、さらに要求エリアの 4 頂点をそれぞれ中心にし、最近傍ピアまでの距離を半径とした正円の集合で表わされる<sup>9)</sup>。図 2 (b) の例では、正円の中心は三角で示した地点で、担当ピアが存在しうる領域  $D_1$  は橙色で示した範囲である。つまり、この範囲のピアを探索しなければ、当該コンテンツの取得漏れが発生する恐れがある。一方、コンテンツの位置に最近傍のピアがそのコンテンツを担当するため、ピアが存在しない領域  $D_2$  は、エリア内ピアがもつコンテンツの位置を中心にし、そのピアまでの距離を半径とした正円の集合で、図 2 (c) の水色で示した範囲である。そのため、該当コンテンツの取得のために探索する領域  $D_3$  は図 2 (d) に示す赤色の範囲で、以下の式 1 で表される。

$$D_3 = D_1 - D_0 - D_2 \quad (1)$$

ここで、1 章で述べた矩形による探索を前提とすると、図 3 (e) に示すように、領域  $D_3$  を包含する矩形を探索することになる。提案手法ではこの矩形をピア探索の最大範囲  $D_{\max}$  ( $D_3 \subset D_{\max}$ ) とするが、領域  $D_3$  に存在するすべてのピアが実際に要求エリアを担当しているとは限らず、領域  $D_3$  のすべてを一度で探索すると無関係なピアも対象となってしまう。また、ボロノイ領域で示されるコンテンツの担当領域では、要求エリアから遠くなるほ

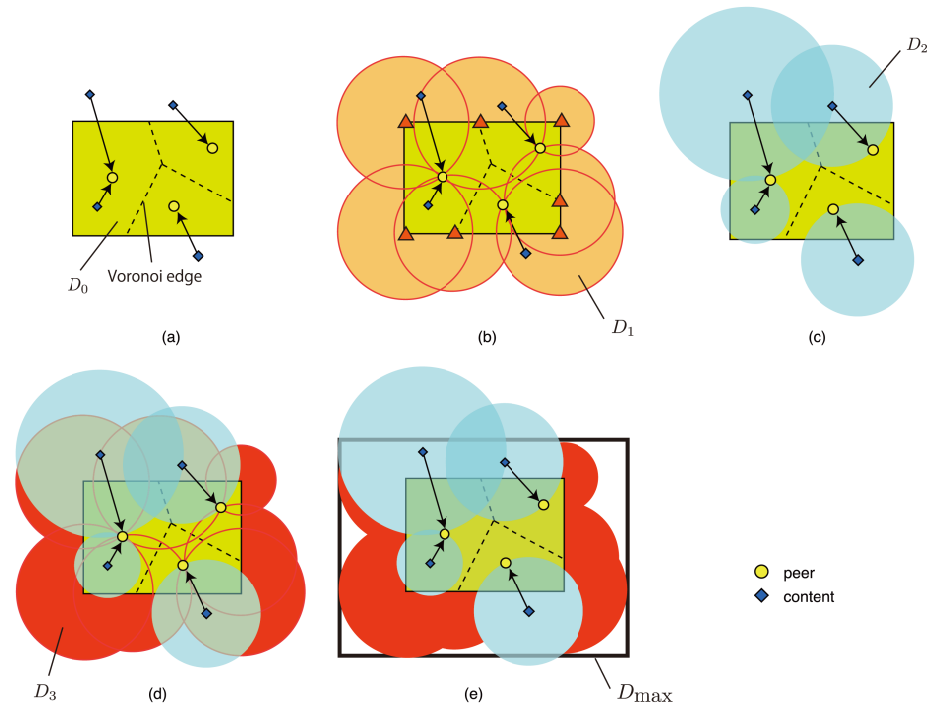


図 2 提案手法におけるピア探索エリア  
Fig. 2 Peer search area in proposal

ど、その地点のピアが担当する割合は低下する特徴がある。

そこで提案手法では、矩形による探索に対応した地理的オーバーレイネットワークを想定し、探索しなければならない最大範囲  $D_{\max}$  をまず計算する。その後、得られた最大範囲  $D_{\max}$  を細分化し、それぞれ未知な地点における担当ピアの存在確率を既知のピアやコンテンツの配置、分布密度などから計算する。さらに、計算された存在確率と担当領域を用いることで、探索時に取得される該当コンテンツの期待値を探索価値として計算し、価値の高いエリアを探索する。このとき、領域  $D_3$  や担当ピアの存在確率、コンテンツ期待値の計算については、ピアやコンテンツの広域的な分布が既知の局所的な分布にしたがうと仮定しており、精度は探索により得られる情報が増加するにしたがって高くなる。そのため、

一度にすべての領域を探索するのではなく、矩形エリアの指定による探索を複数回に分け、既知の情報を逐次更新しながら反復的に探索することを考える。これにより、不要な領域の探索を抑制し、無関係なピアへのクエリ送信を削減できる。

### 3.2.2 探索価値の計算

まず、図 3 (a) のように、最大範囲  $D_{\max}$  を任意の分割数でマス目に分割する。各マス目ごとに探索する価値を計算し、その価値に基づいて矩形の探索エリアを決定する。このとき、一つのマス目の面積を  $S_1$  とすると、一つのマス目にピアが存在する確率は、ピアの存在密度  $N_p$  を用いた  $1 - e^{-N_p S_1}$  で表される。中心が  $(x, y)$  の特定のマス目を探索する価値は、以下の流れで計算される。

#### (1) 担当領域に含まれる確率の計算

図 3 (b) のように、コンテンツ要求エリア  $D_0$  をマス目に分割し、任意のマス目の中心を  $(u, v)$  とする。このとき、地点  $(u, v)$  を  $(x, y)$  のピアが担当するには、地点  $(u, v)$  の最近傍ピアでありつつ、地点  $(u, v)$  を中心にし、 $(x, y)$  までの距離を半径とした正円に他ピアが存在しない場合である。そのため、 $(x, y)$  のピアが地点  $(u, v)$  のボロノイ領域に含まれる確率  $P_m(u, v)$  については、その正円から探索済みである  $D_0$  およびピアが存在しない  $D_2$  を除外し、図 3 (c) の濃緑色に示したその領域  $D_4$  にピアが存在しない確率と地点  $(x, y)$  にピアが存在する確率の積になる。領域の面積を  $S(u, v)$  とすると、以下の式 2 で表される。

$$P_m(u, v) = e^{-N_p S(u, v)} (1 - e^{-N_p S_1}) \quad (2)$$

#### (2) 任意の地点におけるコンテンツ数の期待値の計算

コンテンツ要求エリア  $D_0$  を細分化した 1 マスの面積を  $S_2$  とすると、任意の地点  $(u, v)$  を中心とするマス目に関して担当するコンテンツ数の期待値  $E_1(u, v)$  は、コンテンツの存在密度  $N_c$  を用いた以下の式 3 で表される。

$$E_1(u, v) = P_m(u, v) (N_c S_2) \quad (3)$$

#### (3) ピアが担当するコンテンツ数の期待値の計算

$(x, y)$  のピアが担当するコンテンツ数の期待値  $E_c(x, y)$  は、コンテンツ要求エリアの任意の地点  $(u, v)$  におけるコンテンツ数の期待値  $E_1(u, v)$  を用いた以下の式 4 で表される。

$$E_c(x, y) = \sum E_1(u, v) \quad (4)$$

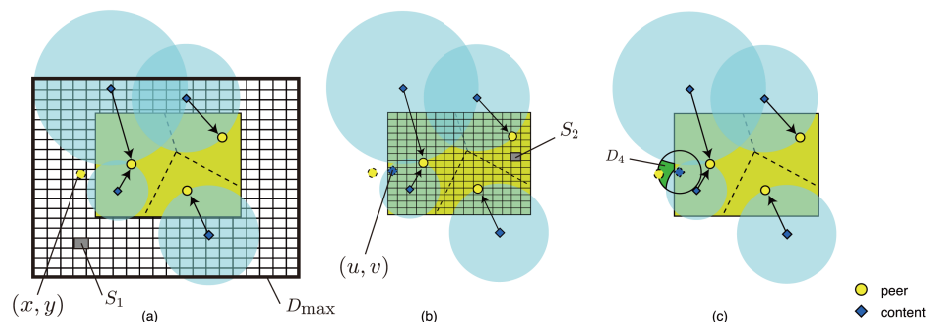


図 3 探索価値の計算  
Fig. 3 Calculation of a value for search

### 3.2.3 探索エリアの決定

本研究では 3.2.2 節で計算した探索価値に基づき、マス目を結合して矩形へ整形する。このとき、矩形で指定されるクエリの数が増えると、それぞれにオーバーヘッドがかかるため、探索時のメッセージが増加する。このメッセージ増加については、既知のピアまではクエリを直接送信し、探索エリアまでのホップ数は小さく抑えるとしても、トラフィックへ影響を与える恐れがある。一方、矩形の数を小さくするために多くのマス目を大きな矩形へ整形すると、不要な領域が探索エリアに含まれ、無関係なピアへのクエリ送信が増加してしまう。そのため、本研究ではマンハッタン距離を閾値として指定しておき、その距離以下のマス目を結合することで調整可能とする。たとえば、この閾値が 1 の場合は隣接するマス目のみを結合し、複数の矩形の探索エリアへ整形する。

また、3.2.1 節で述べたとおり、提案手法では、すべてのマス目を一度で探索するのではなく、探索価値の高いマス目から順に矩形へ整形してゆき、コンテンツ数の期待値が合計のうちの一定割合を越えた時点で探索エリアとする。ここで指定する割合も閾値として設定しておき、例えばこの閾値が 0.5 の場合は、全マス目のコンテンツ数の期待値の合計のうち 50% を越えるまで、探索価値の高いマス目から順に結合と矩形への整形を行う。また、この閾値が 1 の場合は、すべてのマス目を対象として矩形の探索エリアを整形する。

複数の矩形で得られた探索エリアを決定した後については、そのエリア内のピアを探索し、新たに見つかったピアやそのインデックス情報を既知の情報として更新する。次の探索エリアを前述した方法と同様に決定し、この探索エリア決定と探索処理は、担当ピアが存在しなくなる領域がなくなるまで反復的に行う。

## 4. 提案手法の評価

### 4.1 評価環境

提案手法におけるコンテンツ検索の評価のため、本研究ではシミュレーションを行った。シミュレーションの設定項目について、表 1 に示す。それぞれの項目の詳細は以下のとおりである。

- 地理的オーバーレイネットワーク  
本シミュレーションでは、地理的な近傍ノード間のリンクを基本とするドロネーネットワークと、空間を区切った階層構造のリンクを基本とする LL-Net を用いた。
- 全体領域  
シミュレーションを行った仮想的な領域である。本シミュレーションでは、座標 (0, 0) を基準とした水平幅 16, 垂直幅 16 とした。
- コンテンツ要求エリア  
ユーザがコンテンツを要求するエリアである。本シミュレーションでは、水平幅 1, 垂直幅 1 のエリアとし、このエリアを担当するピアが探索対象となる。
- ピアの存在密度  
面積 1 あたりに存在するピアの数であり、全体領域にはこの密度でピアが存在する。本シミュレーションでは、ピアの存在密度を 10 ~ 40 まで 10 間隔で 4 段階に変化させ、それぞれで結果を計測した。
- コンテンツの存在密度  
面積 1 あたりに存在するコンテンツの数であり、全体領域にはこの密度でコンテンツが存在する。

表 1 シミュレーション環境  
Table 1 Simulation environment

地理的オーバーレイネットワーク	ドロネーネットワーク, LL-Net
全体領域	16 × 16
コンテンツ要求エリア	1.0 × 1.0 で位置は無作為に決定
ピアの存在密度	10 ~ 40
コンテンツの存在密度	1 ピアあたり 4
1 辺のマス分割数	20
結合するマス目の距離	6 以下
反復探索での期待値の割合	未取得のうち 0.8

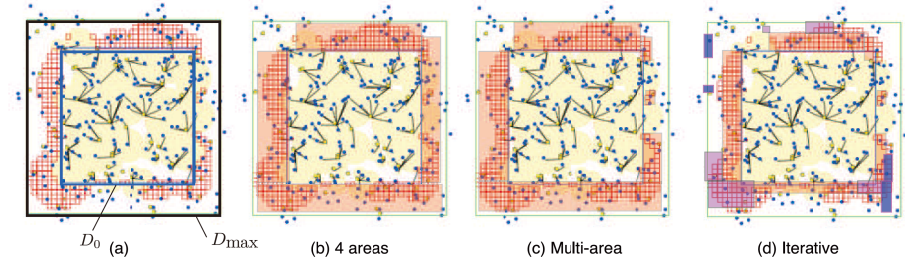


図 4 探索エリアの例  
Fig. 4 Examples of search area

- 1 辺のマス分割数  
ユーザの要求エリアの外側を分割する際の 1 辺あたりのマスの分割数である。
- 結合するマス目の距離  
探索する価値が高いマス目を抽出した後で矩形エリアへ整形する際、各マス目同士を結合するかを決定する閾値である。この距離以下のマス目を結合してゆき、複数の矩形エリアを生成する。
- 反復探索での期待値  
反復的な探索で閾値となる期待値の割合であり、未取得コンテンツのうち、この期待値を越えるまで探索エリアを追加する。

以上のシミュレーション環境において、ピアとコンテンツを無作為かつ一様に分布させ、それぞれのピア数で 20 回ずつ計測した結果の平均値を求めた。また、反復探索の比較対象については、3 章で述べた最大範囲  $D_{max}$  を単一エリア、担当ピアが存在しうる領域  $D_3$  を複数の矩形で包含した複数エリア、さらに、矩形で指定されるクエリの数を削減した場合として、複数の矩形を要求エリアの上下左右ごとに結合した 4 エリアによる探索を行った。各手法による探索エリアの例を図 4 に示す。図 4 では、中央の矩形がコンテンツ要求エリア  $D_0$ 、最も外側が単一エリアとなる最大範囲  $D_{max}$  で、図 4 (b), (c), (d) の赤色の範囲はそれぞれ 4 エリア、複数エリア、反復探索手法におけるエリアの一例である。また、図中にはピアとコンテンツの配置を示しており、直線はコンテンツとその担当ピアの関係を、薄黄色の範囲はピアが存在しない範囲を示している。さらに、図 4 (d) では反復探索における各探索ごとに対象エリアを濃淡によって色分けしている。

## 4.2 シミュレーション結果

シミュレーション結果を図 5 に示す。

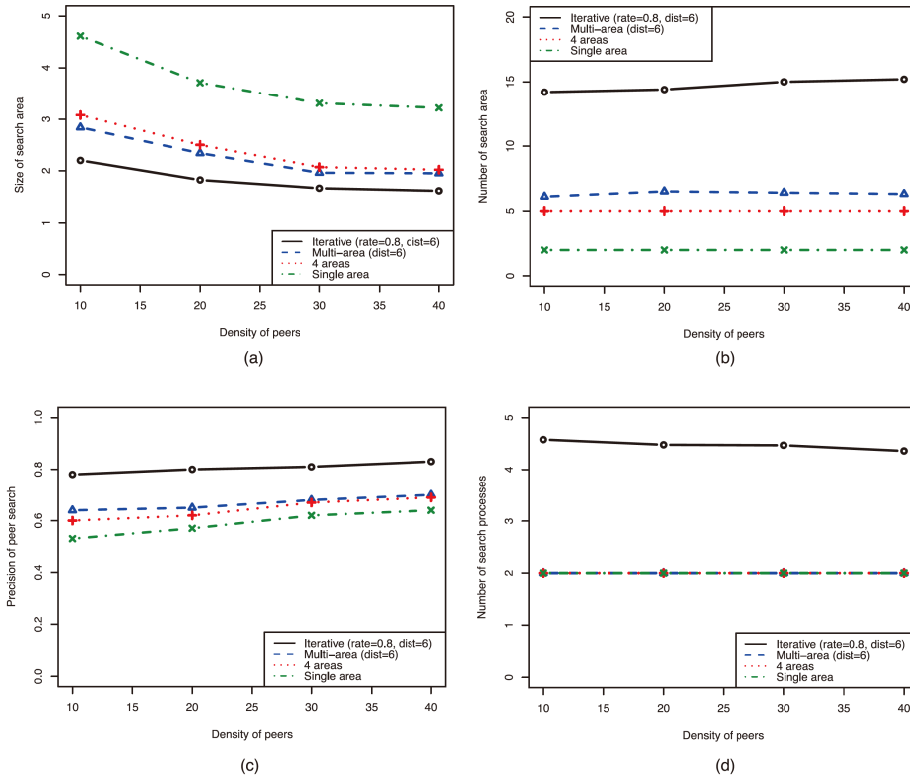


図 5 提案する探索手法の評価

Fig. 5 Evaluation of proposed search method

まず、図 5 (a) は各手法による探索エリアの面積を表しており、反復探索が最も小さい探索エリアでコンテンツを取得している。また、図 5 (b) は探索で指定される矩形エリアの数を表しており、単一エリアによる探索では最初のコンテンツ要求エリア  $D_0$  と 2 回目の最大範囲による合計 2 個で、同様に 4 エリアによる探索では 2 回目の 4 エリアによる合

計 5 個、複数エリアによる探索では合計が約 6 個で、反復探索では合計で約 15 個の矩形エリアにより探索している。

図 5 (c) は探索エリアのピアのうち、実際に要求エリア  $D_0$  を担当しているピアの割合を適合率として表している。図 5 (c) より、単一エリアで探索する場合は、探索エリアのピアのうち、平均で約 50% が無関係のピアである。一方、反復探索では、無関係のピアの割合を平均で約 20% まで低下している。

図 5 (d) は探索処理の回数を表しており、最初のコンテンツ要求エリア  $D_0$  の探索を含めて、反復探索は平均で約 4.5 回、それ以外の手法は 2 回となっている。反復探索ではそれぞれの探索結果を反映するため、要求エリアに近いコンテンツほど早く取得できるが、すべてのコンテンツを取得するまでの時間はほかの手法に比べて長くなる。ただし、要求エリアのコンテンツの多くは中心に近いほど 1 回目の探索で取得され、時間が経過するにしたがって、境界付近のコンテンツが取得されてゆく。

図 6 (a), (b) は、それぞれドロネーネットワーク、LL-Net のシミュレーションにおいて探索時に流れるメッセージ数を表している。メッセージ数は前述の探索エリアに存在するピア数と要求元ピアから送信されるクエリの数に影響され、コンテンツを 1 ピアとしてオーバーレイネットワークを構築した場合も比較対象としている。図 6 (a), (b) より、ピアの存在密度が低い環境では、要求元から送信されるクエリの数が少ない 4 エリアや複数エリアのメッセージ数は反復探索との差が小さいが、ピアの存在密度が高くなり、探索されるピアの数が増加するにしたがって、反復探索のメッセージ数との差が大きくなる。また、図 6 (c), (d) は、それぞれドロネーネットワーク、LL-Net においてピアの存在密度が 40 の場合の内訳で、要求元ピアから探索エリアまでのホップ数、コンテンツ要求エリアを担当しているピアへ送信されたメッセージ数、コンテンツ要求エリアを担当していないピアへ送信されたメッセージ数を表している。単一エリアによる探索では重複したピアへのメッセージ送信が含まれているが、図 6 (c), (d) より、要求エリアを担当していない無関係なピアへのメッセージ送信は反復探索が最も少ないことがわかる。

## 5. まとめ

本研究では、位置情報に関連する P2P アーキテクチャである地理的オーバーレイネットワークを独立して構築し、地理的オーバーレイネットワークの使い分けが可能な位置依存コンテンツ分散管理手法を提案した。また、提案手法での位置依存コンテンツの検索においては、担当ピアの存在確率を既知のピアやコンテンツの配置、分布密度などから計算し、その

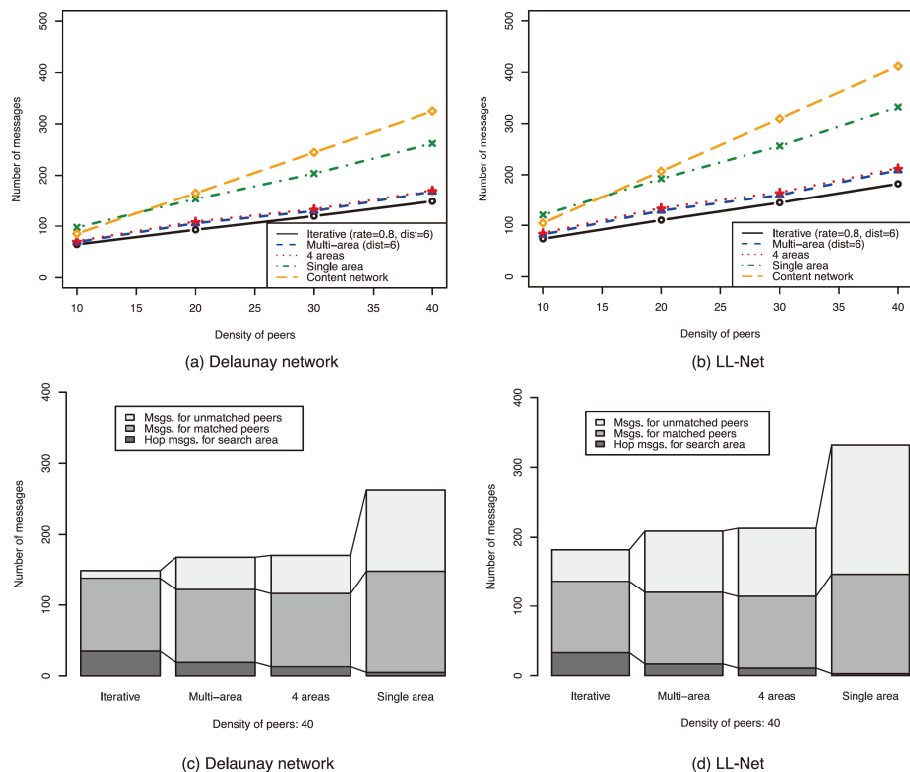


図6 メッセージ数による評価

Fig.6 Evaluation by the number of messages

確率とボロノイ領域で表されるコンテンツ担当領域により、ピア探索エリア決定するアルゴリズムを提案した。さらに本研究では、位置依存コンテンツの検索手法の有効性の評価として、シミュレーションを行った。本シミュレーションにより、適切なエリアのみのピアを探索することで、ピア数が多い環境においても、端末やネットワークへの負荷を抑制しつつ、必要とするコンテンツを取得できることを確認した。

今後の課題としては、本研究ではピアやコンテンツは無作為かつ均等に配置されており、ピアやコンテンツが特定のエリアに集中するなど、より現実的な環境での提案手法の評価が

必要である。

**謝辞** 本研究の一部は、文部科学省科学研究費補助金・特定領域研究(18049050)の研究助成、および、総務省委託研究「ユビキタス・プラットフォーム技術の研究開発」による成果である。

### 参考文献

- 1) Zheng, Y., Xie, X. and Ma, W.-Y.: GeoLife2.0: A Location-Based Social Networking Service, *Proceedings of the MDM 2009*, IEEE Computer Society (2009).
- 2) 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, pp.51-64 (2006).
- 3) Shu, Y., Ooi, C., Tan, K. and Zhou, A.: Supporting Multi-Dimensional Range Queries in Peer-to-Peer Systems, *Proceedings of the 5th IEEE International Conference on Peer-to-Peer Computing (P2P'05)*, pp.173-180 (2005).
- 4) Aspnes, J. and Shah, G.: Skip Graphs, *Proceedings of the 14th Annual ACM-SIAM Symposium on Discrete Algorithms*, pp.384-393 (2003).
- 5) 松浦知史, 新井イスマイル, 中村 豊, 藤川和利, 砂原秀樹: P2P ネットワークにおける位置に関連した情報の管理・検索手法の提案と評価, 第 46 回プログラミング・シンポジウム報告集, Vol.41, pp.83-94 (2005).
- 6) Stoica, I., Morris, R., Karger, D., Kaashoek, M.F. and Balakrishnan, H.: Chord: A Scalable Peer-to-peer Lookup Service for Internet Applications, *Proceedings of the ACM SIGCOMM 2001*, pp.149-160 (2001).
- 7) 吉田 幹, 奥田 剛, 寺西裕一, 春本 要, 下條真司: マルチオーバレイと分散エージェントの機構を統合した P2P プラットフォーム PIAX, *情報処理学会論文誌*, Vol.49, No.1, pp.402-413 (2008).
- 8) 金子 雄, 春本 要, 福村真哉, 下條真司, 西尾章治郎: ユビキタス環境における端末の位置情報に基づく P2P ネットワーク, *情報処理学会論文誌: データベース*, Vol.46, pp.1-15 (2005).
- 9) Kawakami, T., Takeuchi, S., Teranishi, Y., Harumoto, K. and Shimojo, S.: A P2P-based Mechanism for Managing Location-dependent Contents in Ubiquitous Environments, *Proceedings of the 2007 International Symposium on Applications and the Internet (SAINT2007)*, CD-ROM (2007).