

モバイル環境における端末の位置情報に基づく P2P ネットワークの提案と評価

金子 雄[†] 福村 真哉[†] 春本 要^{††} 下條 真司^{††} 西尾章治郎[†]

[†] 大阪大学大学院情報科学研究科 〒 565-0871 大阪府吹田市山田丘 2-1

^{††} 大阪大学サイバーメディアセンター 〒 567-0047 大阪府茨木市美穂賀ヶ丘 5-1

E-mail: [†]{yu,fukumura,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}{harumoto,shimojo}@cmc.osaka-u.ac.jp

あらまし 近年、携帯端末の普及に伴い、場所や時間に依らず情報を利用できるモバイル環境が整いつつある。今後は家電製品やセンサ類などがネットワークに接続されることで、天気や温度などの状況情報を利用できるようになり、それらの情報を用いた状況依存型サービスが開発されると考えられる。状況情報の多くは位置に依存する情報であるため、状況依存型サービスでは位置に依存する情報取得要求が発生する。またこの環境ではネットワーク上の情報が膨大な量となるため、サービスは情報を分散管理する P2P ネットワークで実現するのが望ましいが、既存の P2P ネットワークでは検索の際のメッセージのフラッディングによって膨大なトラフィックが発生するという問題がある。本研究では端末の位置情報を考慮する P2P ネットワークを提案し、位置に依存する情報を効率良く検索する手法を実現、評価した。

キーワード モバイル, 状況依存, P2P ネットワーク

LL-Net: Location-based Logical P2P Network for Mobile Environment

Yu KANEKO[†], Shin'ya FUKUMURA[†], Kaname HARUMOTO^{††}, Shinji SHIMOJO^{††},
and Shojiro NISHIO[†]

[†] Graduate School of Information Science and Technology, Osaka University

Yamadaoka 2-1, Suita-shi, Osaka, 565-0871 Japan

^{††} Cybermedia Center, Osaka University

Mihogaoka 5-1, Ibaragi-shi, Osaka, 567-0047 Japan

E-mail: [†]{yu,fukumura,nishio}@ist.osaka-u.ac.jp, ^{††}{harumoto,shimojo}@cmc.osaka-u.ac.jp

Abstract With the popularization of today's mobile devices such as PDAs, cellular phones, and laptop PCs, the environment that enables us to publish and utilize information via the Internet has been actualized. In the near future, other kinds of devices such as network-enabled appliances and sensors will also be connected to the Internet. Users will be able to get various kinds of information such as their surrounding contexts like location and weather from other users via the Internet, and many context-sensitive services that utilize these information will be developed. The context-sensitive services often require retrieval of location-based information because context information is often location-dependent. We consider P2P networking to be promising in the environment mentioned above, but the existing flooding-based retrieval algorithms commonly have a problem that they generate a huge amount of network traffic. To cope with this problem, we propose a P2P overlay network construction method based on device locations to realize efficient retrieval of location-dependent information.

Key words Mobile, Context-Aware, P2P network

1. 研究背景

近年、携帯電話や PDA (Personal Digital Assistants) などの携帯端末の普及にともない、場所に依存することなく情報を格納、参照できるモバイル環境が整いつつある。今まで固定端末上で

しか行えなかったことが携帯端末上で行えるようになることで、携帯端末ユーザの生活はより便利になっている。また、モバイル環境とともに、いつでもどこでもコンピュータを利用可能なユビキタス・コンピューティング環境も整いつつある。今後は GPS (Global Positioning System) をはじめとするセンサ類や家電

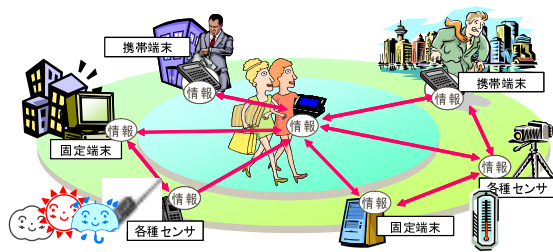


図1 モバイル・ユビキタス環境

Fig.1 Mobile and ubiquitous environment.

製品などもネットワークに接続されるようになると考えられ、端末ユーザはそれらから様々な情報を取得できるようになる。

このようなモバイル環境とユビキタス環境が融合した環境（以降はモバイル環境とする）では、ネットワークに接続される端末やセンサの数は膨大となり、ネットワーク内に発生する情報の量も増加する（図1）。したがってこのような環境におけるネットワークとしては、情報を集中管理するサーバ・クライアント型ネットワークよりも、情報を分散管理可能なP2P型ネットワークが適している。P2P型ネットワークは近年研究が進んでいるネットワーク形態である。P2P型ネットワークでは各端末が各自でデータを管理し、対等な立場で通信を行うため、負荷の集中などの問題を避けることができる。

またこのようなモバイル環境では、端末の状況やネットワークの状況などの状況情報がその特徴となる。端末の状況情報には位置や天気、温度などの情報があり、ネットワークの状況情報には周囲の端末の数やネットワーク帯域などの情報がある。モバイル環境ではこれらの状況情報を利用した状況依存型サービスが多数開発されると考えられる。多くの状況情報は端末の位置に依存する情報であるため、状況依存型サービスでは位置情報に依存する情報取得要求が頻繁に発生する。たとえば我々が構築した集合場所検索サービス[1]では、ある場所に存在する端末から集合場所となるような店舗などの情報を取得し、利用する。

しかし既存のP2P型ネットワークではネットワークを構築する際に端末の位置情報を考慮していないため、位置情報に依存する要求を処理する際にも、通常の検索時と同様にメッセージをフラディングする。そのため関係のない場所に存在する端末にもメッセージが流れてしまい、無駄なトラフィックが発生してしまう。

そこで本研究では多くの端末と情報が存在するモバイル環境において、情報検索の際のトラフィックを削減することを可能とするP2P型ネットワークを提案し、シミュレーションによって評価する。提案するネットワークを、端末の位置情報に基づいて構築されるところからLL-Net (Location-based Logical Network) と名づけた。LL-Netは物理座標によって実世界をエリアという小領域に区分し、エリア単位で端末の情報を管理する。情報検索の際には検索したい場所に近づくように検索メッセージをエリア単位で転送する。これによって無駄な場所に検索メッセージが流れることがなくなり、トラフィックを抑えることができる。

以下、本論文では第2章で関連研究について述べ、第3章でLL-Netの設計について、第4章でその評価と拡張案について述べる。最後に第5章でまとめる。

2. 関連研究

P2P型ネットワークにおける拡張性を備えた検索手法は数多く提案されている。Chord[6]、CAN[7]、Tapestry[8]は分散ハッシュテーブルを用いた検索手法であり、検索の際に生じるトラフィックを $O(\log n)$ で抑えることができる（ n はネットワークに参加している端末の数である）。PeerSearch[10]はCANを拡張することでより実用的な検索を可能としている。これらの検索手法は全て比較的静的なネットワークを想定しているが、本研究ではモバイル環境を想定するため、動的なネットワークを考慮する。

端末の情報を考慮してネットワークを構築する手法も数多く提案されている。端末がもつコンテンツの内容を考慮してP2P型ネットワークを構築する手法[9]では、意味的に近い情報をもつ端末がネットワーク的に近くに配置される。端末間の通信時間を考慮してP2Pネットワークを構築する手法[11]では、物理的なネットワークトポロジに近いP2Pネットワークトポロジを構築することができる。これらの手法は小規模かつ静的なネットワークを対象としているため、本研究で想定するような多くのモバイル端末が存在する環境には適していない。モバイル端末の位置情報に基づくメッセージルーティング手法も提案されているが、この手法ではモバイル端末間の通信手段は無線のみであり、少数の端末が存在する環境を想定している[12]。本研究では端末間の通信手段は無線のみに限らず、多くの端末が存在する環境を想定する。

モバイル環境における状況依存型サービスに関する研究として、集合場所検索サービス[1]やcyberguide[2]などがある。集合場所検索サービスは、端末ユーザが友人たちと集まろうとしたときに、ユーザや友人の現在位置や予算などを考慮して、適切な集合場所を検索するサービスである。またcyberguideはユーザの趣向や現在位置を考慮して、ユーザに適切な観光コースを提示するサービスである。どちらのサービスも本研究で想定する状況依存型サービスと同様に位置に依存する情報を利用する。本研究で提案するLL-Netは、このようなサービスで発生する位置に依存した情報の取得要求を効率良く処理する。

集合場所検索サービスとcyberguideのように、同じ状況情報を似た目的で利用するような場合、サービスごとに同じような処理を実装してはサービスの開発効率が悪い。またサービス間でデータを交換することを考慮した場合、状況情報のデータ形式はサービス間で統一されていたほうがよい。したがって、状況情報を活用できる機能を備えたサービス開発プラットフォームがあれば便利である。現在、幾つかのサービス開発プラットフォームが提案されているが、それらのプラットフォームは拡張性に乏しく、端末数や情報量が多くなった場合に負荷の集中が生じてしまうという問題がある[4]、[5]。本研究で提案するLL-Netはプラットフォームが備えるべき機能の一つと考えることができ、プラットフォームに拡張性を備えた状況情報

の検索機能を提供する。

3. Location-based Logical Network (LL-Net)

本章では LL-Net の設計について述べる。まず LL-Net を設計する際に定めた概念について述べ、次に LL-Net の構築、維持方法について述べ、最後に LL-Net を利用した情報検索手法について述べる。

3.1 LL-Net の基本概念

LL-Net を設計するにあたり、エリア、ピア、サービスという概念を考える。

3.1.1 エリア

実世界を x, y 座標によってエリアに分割する。エリアは全て等しい大きさの正方形とする。各エリアは x 座標における ID と y 座標における ID の二つの ID をもち、それによって一意に識別される。以降、エリアの ID を AID と表記する。

3.1.2 ピア

LL-Net ではネットワークに参加する端末として携帯端末や固定端末、センサなどを考慮しており、それらをピアとする。したがって想定するピアの通信手段は無線に限らない。全てのピアは ID によって一意に識別される。モバイル環境ではピアのネットワークへの接続形態が比較的頻繁に変化すると考えられるため、IP アドレスも変化する。したがって IP アドレスによってピアを一意に識別することは困難であり、そのため識別子として ID を用意する。以降、ピアの ID を PID と表記する。

ピアにはスーパーピア、ランデブーピア、ノーマルピアの 3 種類を考える (図 2)。スーパーピアは全てのピアにとって既知の存在であり、複数のエリアのランデブーピアを管理するピアである。スーパーピアがもつ情報として自身の IP アドレス、自身の担当エリアの AID、担当エリアのランデブーピアの PID と IP アドレスをもつ。ランデブーピアは各エリアに一つずつ存在し、ネットワークへの参加要求を受け付けるピアである。各エリア内においてランデブーピアとノーマルピアはランデブーピアをルートとする木構造ネットワークを構築する。ランデブーピアがもつ情報を次に示す。

- 自身の情報として、PID、IP アドレス、 x 座標、 y 座標、自身が存在するエリアの AID をもつ。

- ランデブーピアがリンクするピアとして、木構造における子ピア、隣接エリアのランデブーピアとノーマルピアがある。ここでリンクするとは PID と IP アドレスを知ることである。また隣接エリアとは自分が存在するエリア (現在エリア) に接しているエリアのことである。

- 同エリアにいるピアの PID と同エリアのピアがもつサービスの ID をもつ。

ノーマルピアは各エリアに存在するランデブーピア以外のピア全てである。ノーマルピアはランデブーピアがもつ情報と同じ情報をもつが、それに加えて現エリアのランデブーピアの PID と IP アドレス、木構造における親ピアの PID と IP アドレスをもつ。

3.1.3 サービス

LL-Net において各ピアは様々な情報を他のピアに提供して

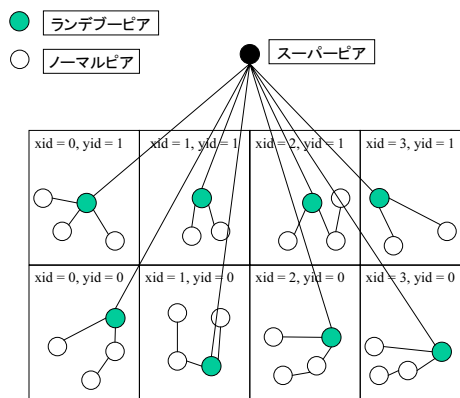


図 2 ピアとエリア

Fig. 2 Three kinds of peers and the concept of areas.

おり、それらをサービスと定義する。例えば自分が存在する場所の温度や天気情報を提供したり、周辺の画像を提供したりするサービスが考えられる。サービスは ID によって識別される。同じサービスが存在することも考えられるため、ID は唯一である必要はない。以降、サービスの ID を SID と表記する。

3.2 LL-Net プロトコル

LL-Net プロトコルとして、まずネットワーク参加プロトコルについて述べる。また、ネットワークの動的な変化に対応するために、移動プロトコルと生存確認プロトコル、IP 変更プロトコルについて述べる。

3.2.1 ネットワーク参加プロトコル

ネットワーク参加プロトコルはピアが LL-Net に参加するときのプロトコルである。以下、新たにネットワークに参加するピアを新規ピアと呼ぶ。プロトコルの内容を次に示す。

(1) 新規ピアはスーパーピアへ現在エリアと隣接エリアのランデブーピアの PID と IP アドレスを問い合わせる。もし現エリアにランデブーピアがない場合、つまりエリア内に自分しかいない場合は自分をランデブーピアとして登録する。隣接エリアにランデブーピアがない場合は、その後ランデブーピアが見つかるまで定期的にスーパーピアに問い合わせる。

(2) 新規ピアは現在エリアのランデブーピアにリンク要求を送る。ここでリンク要求とは他の端末に PID と IP アドレスを問い合わせる要求である。ランデブーピアは現在の自身の子ピアの数や端末の能力などからリンクを許可するかどうかを判断する。リンクを許可しない場合は子ピアに要求を転送する。新規ピアはリンクを許可してくれたピアのなかから自身の親ピアとなるべきピアを 1 つ決定し、そのピアの子ピアとしてネットワークに参加する。具体的には RTT (Round Trip Time) を考慮し、その値の小さいピアを優先的に親ピアとして決定する。

新規ピアは参加の際に同エリアにいるピアの PID と同エリアにいるピアがもつサービスの SID を取得し、自身の PID と自分がもつサービスの SID を同エリアにいるピアに伝える。

(3) 新規ピアは隣接エリアのランデブーピアにリンク要求を送る。2 と同様に要求は処理される。新規ピアは上下左右のエリアの一つずつリンクをもつことになる。

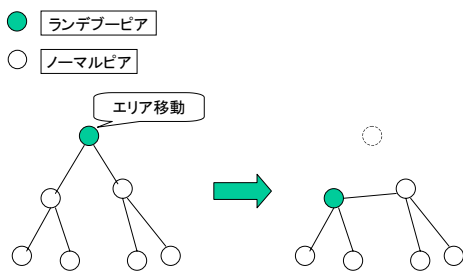


図3 ランデブーピアの移動

Fig. 3 Movement processing for a rendezvous peer.

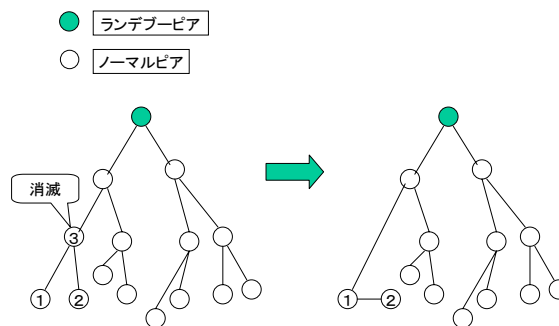


図4 ノーマルピアの消失

Fig. 4 Disappearance processing for a normal peer.

3.2.2 移動プロトコル

移動プロトコルはピアがエリア間を移動するときのプロトコルである。プロトコルの内容を次に示す。以下、エリア間を移動するピアのことを移動ピアと呼ぶ。まず、ランデブーピアが移動する場合について述べる。

(1) 移動ピアは自身の子ピアの中から新規ランデブーピアを選び、同エリアのピアとスーパーピアにそれを伝える。他の子ピアは新規ランデブーピアの子ピアになる(図3)。同時に同エリアにいるピアに自身がなくなることを伝える。また、リンクしている全ての隣接エリアのピアにも伝える。エリア内に自身しかいない場合は、スーパーピアにランデブーピアがいなくなる、つまりエリアからピアがいなくなることを伝える。

(2) 移動ピアがいなくなることを知ったピアは、自分もつ情報の中から移動ピアに関連する情報を消す。隣接エリアから移動ピアにリンクしていたピアは、再びスーパーピアから移動ピアが存在していたエリアのランデブーピア情報を取得し、リンクをはる。

(3) 以後、移動ピアはネットワーク参加プロトコルと同様の動作をする。

次にノーマルピアが移動する場合について述べる。

(1) 移動ピアは親ピアに子ピアの情報を教え、子ピアに親ピアの情報を教える。

(2) ランデブーピアの移動の場合と同様に、移動ピアは自身がなくなることを同エリアにいるピアとリンクしているピアに伝える。

(3) 以後、移動ピアはネットワーク参加プロトコルと同様の動作をする。

3.2.3 生存確認プロトコル

生存確認プロトコルはなんらかの理由でピアが突然ネットワークから消えてしまったときのプロトコルである。モバイル環境では固定端末環境とは異なり、通信障害が発生したり携帯端末の電池が切れたりすることがあり、ピアが突然消えることも考慮するべきである。ただしランデブーピアとノーマルピアは定期的に自分とリンクしているピアの生存を確認するものとする。また、スーパーピアは定期的に各エリアのランデブーピアが生きているか確認するものとする。次に考えられる事象ごとにプロトコルの内容を述べる。

- 同エリアのランデブーピアが消えた場合

(1) ランデブーピアの消失に気づいたピアは、スーパーピ

アに自分をランデブーピアとして登録する。

(2) スーパーピアは、最初に登録要求を送ってきたピアを新規ランデブーピアとし、その後に登録要求を送ってきたピアを新規ランデブーピアの子ピアにする。

(3) 新規ランデブーは、同エリアのピアに自身がランデブーピアになったことを知らせる。

- 同エリアのノーマルピアが消えた場合

(1) ノーマルピアの消失に気づいたピアは、同エリアのピアにそのピアが消えたことを伝える。

(2) もし消えたピアが自身の親ピアだった場合は、ランデブーピアにネットワーク参加の問い合わせを送り、だれかの子ピアとなる(図4)。

- 隣接エリアのランデブーピアが消えた場合

(1) 隣接エリアのランデブーピアの消失に気づいたピアは、スーパーピアに隣接エリアの新規ランデブーピアを問い合わせ、リンクしなおす。そのエリアからピアがいなくなってしまった場合は新規ピアが現れるまでランデブーに接続はできないため、定期的にスーパーピアに問い合わせ、リンクしなおす。

- 隣接エリアのノーマルピアが消えた場合

(1) 隣接エリアのランデブーピアに問い合わせ、リンクしなおす。

3.2.4 IP 変更プロトコル

IP 変更プロトコルはピアの IP アドレスが変わった場合のプロトコルである。モバイル環境において、ピアのネットワークへの接続形態は有線経由や無線 LAN 経由などと様々であり、またネットワークに接続する際に利用するプロバイダが変わることもある。したがってピアの IP アドレスが変化することが考えられる。LL-Net において、ピアは自身の IP アドレスが変わった場合にはリンクしている全てのピアに新しい IP アドレスを教える。

3.3 検索アルゴリズム

LL-Net においてピアやサービスを検索する際のアルゴリズムを次に示す。検索の際には、全てのピアが同エリアのピアの PID と同エリアのピアがもつサービスの SID をもっていることと、隣接エリアにリンクをもっていることを利用する。

3.3.1 広域検索アルゴリズム

例えば現在位置が明確でない友人の端末を探したいという場合は、周囲に存在する複数のエリアから友人の端末を探す方法

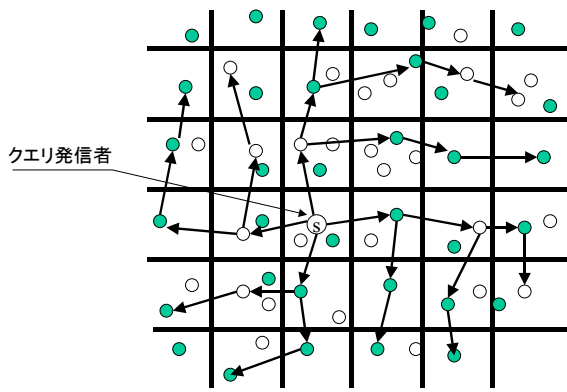


図 5 広域検索におけるクエリ伝搬
Fig. 5 Query propagation for wide area search.

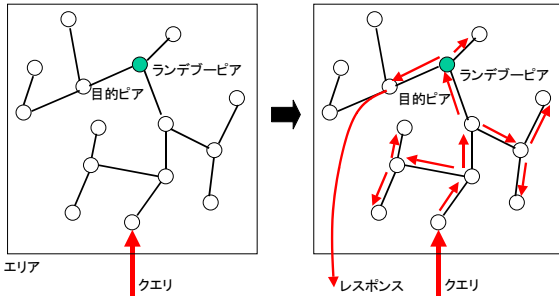


図 6 エリア内におけるクエリ伝搬
Fig. 6 Query propagation within an area.

が考えられる．広域検索アルゴリズムはそういった検索対象の存在位置が明確でない場合や，検索対象の存在位置を意識しない場合に用いるアルゴリズムである．次に広域検索アルゴリズムの内容を示す．

(1) 検索対象のタイプと ID を指定して検索を開始する．ここでタイプとはピアまたはサービスのことを指す．

(2) まずエリア内の情報を参照し，検索対象が存在しない場合はクエリを隣接エリアへと伝搬する．クエリの伝搬する方向を図 5 に示す．伝搬する方向は，クエリが発信されたエリアとクエリを受け取ったピアが存在するエリアの位置関係によって決まる．たとえばクエリを受け取ったピアの存在するエリアの xID と yID が，どちらもクエリが発信されたエリアの xID と yID よりも小さかった場合は，クエリは左のエリアにのみ伝搬される．

(3) クエリを受け取ったピアは同エリアに関する情報を参照し，検索対象が見つかった場合はエリア内にクエリを伝搬する．エリア内では自身の親ピアと子ピアにクエリを伝搬する(図 6)．ただし，クエリを伝搬してきたピアには伝搬しない．

(4) 検索対象のピア，または検索対象のサービスをもつピアは，クエリを受け取ったならレスポンスとして自身の IP アドレスと PID を返す．このとき検索対象がサービスである場合は，レスポンスを返しても同エリアのピアへのクエリの伝搬を止めない．

3.3.2 領域指定検索アルゴリズム

領域指定検索アルゴリズムは検索対象の存在位置が明確な場

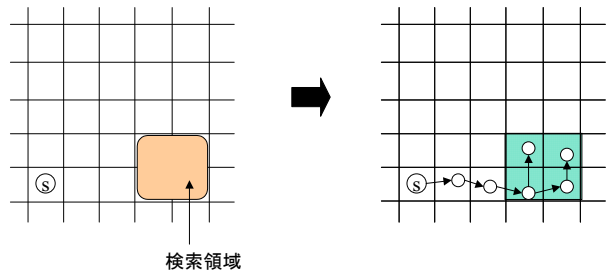


図 7 領域指定検索におけるクエリ伝搬
Fig. 7 Query propagation for location-qualified search.

合や任意の領域にのみクエリを送りたい場合に用いるアルゴリズムである．ここで領域とは例えば学校周辺や駅周辺などの場所周辺のことである．このような領域指定検索アルゴリズムで指定する領域のことを検索領域と呼ぶ．モバイル環境におけるサービスでは，ある駅周辺の天気情報を取得したいという要求が生じると考えられるためこのアルゴリズムを用意する．

(1) ID と検索対象のタイプ，検索領域を指定して検索を開始する．

(2) 検索領域と範囲が重なっている全てのエリアに対してクエリを伝搬する(図 7)．

(3) 指定されたエリアでクエリを受け取ったピアはエリア内のピアへクエリを伝搬する(図 6)．

4. シミュレーション評価

LL-Net を評価するために，シミュレータを SUN Solaris2.6 に C++ を用いて構築した．

4.1 シミュレーション環境

シミュレーションは表 1 の環境に従う．想定する環境においては固定端末やセンサなどもピアに含まれるが，端末のモバイル性を重視して評価するために今回は全てのピアを移動させて評価する．エリア内においてピアは 5 分木のネットワークを形成するようにし，各ピアは 10 種類のサービスのうちどれか 1 つを必ずもつようにする．

今回は各ピアがある検索領域からあるサービスを検索したときに LL-Net に生じるトラフィックと検索成功率，クエリが検索対象に達するまでのホップ数を計測する．検索領域は正方形で与え，1 辺のサイズは 1000 以上 3000 未満の範囲からランダムで選択する．また，検索するサービスは 10 種類のサービスの中からランダムで 1 つを選択する．

計測するトラフィックには検索トラフィックとネットワーク維持トラフィックがある．検索トラフィックとは検索を行ったときに生じるメッセージの量であり，ネットワーク維持トラフィックとはピアがエリア間を移動したときなどに発生する，ネットワークを維持するためのメッセージの量である．ただし，ピアからピアへメッセージが伝搬した場合を 1 トラフィックとする．

また LL-Net の比較対象として Gnutella ネットワークと PLRG ネットワークを考える．表 2 に今回の評価に用いたこれらのネットワークにおいて，各ピアがもつリンク数の中での最大，最小数，平均数を示す．

表1 環境設定

Table 1 Environmental setup.

変数名	値
シミュレーション領域	10000 × 10000
ピア数	10000
ピアの移動アルゴリズム	ランダムウォーク
子ピアの上限数	5
サービスの種類数	10
スーパーピア数	1

表2 最大, 最小, 平均リンク数

Table 2 The number of links (maximum, minimum, and average).

Network	max	min	ave
Gnutella	10.5	4	4.6404
PLRG	1005	1.5	2.875

- Gnutella

Gnutella ネットワークは有名な P2P ネットワークである。Gnutella ネットワーク内において各ピアはデフォルトで 4 つの隣接ピアをもち、ピアは受けとった検索クエリを隣接ピアへと伝搬する。ただし、クエリを伝搬してきた隣接ピアに対してはクエリを伝搬しない。またクエリは ID をもち、それによって一意に識別され、ピアは一度受け取ったクエリを 2 回以上受け取っても伝搬しない。クエリの TTL はデフォルトで 7 であり、クエリの TTL が 0 である場合は伝搬しない。

- PLRG

PLRG (Power Law Random Graph) ネットワークにおいて各ピアは Power Law に基づく数だけ隣接ピアをもち、ネットワーク上のあるピア j における隣接ピアの数を d_j とするとし、 d_j の分布が次に示す関数 $f(d_j)$ に従うとき、そのネットワークは Power Law に従うという。

$$f(d_j) = j^{-\beta} \quad (1)$$

PLRG ネットワークにおけるクエリの伝搬ルールは Gnutella ネットワークと同様である。

これらのネットワークにおいても、各ピアがある場所からあるサービスを検索するという条件のもとで同じ値を計測した。

4.2 考察

各ピアが検索を 1000 分の 1 の確率で行うという条件のもと、エリア数を変化させてトラフィックを計測した (図 8)。図において LL-Net (network), LL-Net (search), LL-Net (all) とはそれぞれ LL-Net におけるネットワーク維持トラフィック, 検索トラフィック, 総トラフィックであり、x 座標の値の 2 乗値がエリア数である。図よりエリア数が LL-Net のトラフィックに影響を与えていることがわかる。エリア数が増える (エリアサイズが小さくなる) につれピアがエリア間を移動する確率は高くなるにもかかわらず、ネットワーク維持トラフィックは減少している。したがって、エリアあたりのピア数の方がエリア間移動が生じる頻度よりもネットワーク維持トラフィックに影響を与えていると言える。また検索トラフィックはエリア数が 16×16 のあたりから上昇傾向を見せている。これは、エリア数が大きく

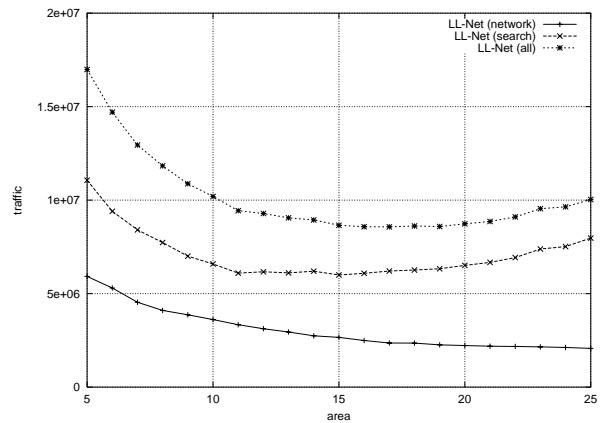


図 8 エリアの数に対するトラフィック量の変化

Fig. 8 Network traffic vs the number of areas.

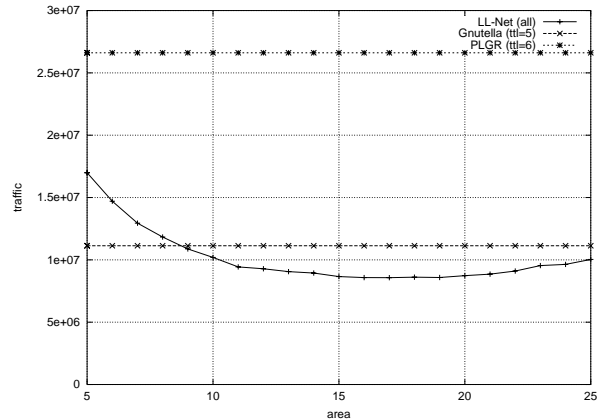


図 9 ネットワークごとのトラフィック

Fig. 9 Network traffic of LL-Net, Gnutella, and PLRG.

なればエリアあたりのピア数が少なくなるため、エリア内にクエリを伝搬する際のトラフィックは小さくなるが、それ以上に目的のエリアまでクエリを伝搬する際のトラフィックが大きくなるためである。検索領域やピアの数によって最適なエリア数 (エリアサイズ) を決定する必要がある。

ネットワークごとのトラフィックを、検索成功率がある程度高いという条件のもとで比較したところ図 9 のような結果となった。図 9 における検索成功率は LL-Net では約 98%, Gnutella (TTL は 5) では約 84%, PLRG (TTL は 6) では 83% である。Gnutella や PLRG にはエリアの概念は関係ないため、トラフィックは一定としてある。図から、エリア数を適切に設定すれば、LL-Net は比較対象に比べてトラフィックの点で有効であることがわかる。これは LL-Net では端末の位置情報を考慮してネットワークを構築しているため、無駄な領域にクエリを伝搬することなく目的の領域からのみ確実に検索を行うことができるのに対し、他のネットワークは端末の位置情報を考慮していないため、無駄な領域に多くクエリを伝搬してしまっているからである。サービスの種類や端末数が増えた場合、Gnutella や PLRG では成功率を保つためにクエリの TTL を増やす必要があり、その結果トラフィックが増えると考えられる。

次に各ネットワークにおけるトラフィックが同じくらいにな

表3 ネットワークごとの検索成功率

Table 3 Search success ratio.

	LL-Net	Gnutella (5)	Gnutella (4)	PLRG (4)	PLRG (3)
hit rate	97.9%	84.2%	57.4%	65.0%	45.0%
traffic	8576767	27658357	3286834	13478687	6261115

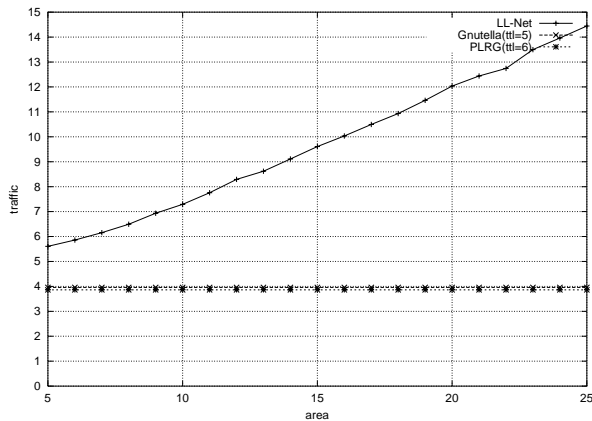


図10 ネットワークごとのホップ数

Fig. 10 Average hop count of LL-Net, Gnutella, and PLRG.

るという条件のもとで検索成功率を比較したところ、表3のような結果となった。LL-Netの値はエリア数を 16×16 としたときの値である。また括弧内の数字はクエリのTTLを表している。これからLL-Netは比較対象に比べて検索成功率の点で有効であることがわかる。これも上で述べたように、LL-Netでは位置情報を考慮してネットワークを構築しているからである。サービスの種類が増えたとしてもLL-Netでは高い成功率を保てると考えられる。

検索が成功したときのクエリの平均ホップ数を図10に示す。GnutellaのクエリのTTLは5、PLRGのクエリのTTLは6である。図10よりLL-Netでは比較対象に比べて平均ホップ数が大きいことがわかる。これはLL-Netではエリア単位でクエリを伝搬しなければならないのに対し、他のネットワークではエリアという概念がないため、1ホップで遠くのピアにクエリを伝搬できる可能性があるからである。今回はエリア内においてピアは5分木のネットワークを形成するようにして評価したが、子ピアの数をより多くすれば木の高さが小さくなり、平均ホップ数を小さくできると考えられる。しかしその分各端末が多くの情報を管理する必要が生じ、情報の偏りが大きくなる。またエリアサイズを大きくする、エリア内でグラフ構造ネットワークを構築する、同エリアのピアのIPアドレスをすべて管理するなどの方法によってもホップ数を小さくできると考えられるが、同様に各端末が多くの情報を管理しなければならない。エリアあたりのピア数や端末の能力を考慮して、最適なエリアサイズとエリア内におけるネットワーク構造を決定する必要がある。

4.3 LL-Netの拡張案

LL-Netの性能を上げるための拡張案を述べる。

- キャッシュ

各ピアが検索結果などをキャッシュすることで検索効率を高め

る。例えばあるピアを検索したときに、そのピアのPIDやIPアドレス、存在エリアなどの情報をキャッシュしておけば、次に同じピアを検索するときに、そのピアのIPアドレスが変わっていなければすぐに通信が可能であるし、それが無理な場合でもキャッシュ情報からそのピアが現在どのエリアにいるかを予想してクエリを伝搬することで、無駄にクエリを分散させることなく検索できると考えられる。このときキャッシュ情報の鮮度がとても重要になってくる。そのキャッシュ情報が一体いつの情報でどのくらい信頼できるのかを適切に判断する必要がある。

- 任意の複数エリアへのクエリ伝搬

現段階の領域指定検索アルゴリズムでは、検索領域に含まれる複数のエリアそれぞれにクエリを発信している。クエリの送信は1回だけのほうが明らかに効率的である。また、キャッシュ情報から検索対象の現在エリアを予測してクエリを送る際にも任意の複数エリアにクエリを伝搬できたほうが効率的である。したがって任意の複数エリアへのクエリ伝搬アルゴリズムが必要である。具体的にはまず検索したい各エリアを木構造の接点と捉えることによって、最適なクエリ伝搬検索木を計算する。クエリは計算された検索木情報を持ち、現在エリアから最も近い検索エリアまで最短距離で伝搬した後、検索木に従って検索エリア間を伝搬する。

- エリアの重複

現段階では、ピアがエリアを少しでも出たらエリアの移動プロトコルが起動するようになっているが、これだとエリアとエリアの境界付近を頻繁に移動するピアがいた場合に多くのトラフィックが発生してしまう。したがって隣接エリア間で少しエリアを重複させることによって多少エリアから出たとしてもエリアの移動プロトコルが起動しないようにしたほうが良いと考えられる。ただし、エリアの重複度を大きくしすぎると、ピアがエリアから大幅にはみ出してもエリアの移動が生じなくなってしまうため、ある場所から情報を検索しようとした際に、実際にその場所に存在しないピアから情報を検索してしまう可能性が高くなり、情報の信頼性が低くなってしまう。

- エリアの階層管理

LL-Netではエリア単位でクエリを伝搬するため、少ないホップ数で遠くに存在するピアへとクエリを届けることができない。したがって、現段階ではLL-Netを広い領域に適用することができないという問題がある。この問題の解決策としてエリアの情報を階層管理するという方法がある。これによって上層の情報を利用すれば、1ホップで遠くのエリアへクエリを伝搬できる。しかし、階層数に比例して各ピアが管理しなくてはならない情報が増えてしまう。

- エリアの統合、分割

現段階ではあるエリアからピアがいなくなった場合、クエリがそのエリア以降のエリアに伝搬されなくなってしまう可能性がある。またあるエリアに存在するピアの数が少なくなると、そのピアの負荷が大きくなってしまふ。したがってあるエリアからピアがいなくなった場合、もしくはあるエリアのピア数がある閾値以下になった場合、エリアを統合することにする。これによってクエリの伝搬が途切れるという問題や負荷が集中する

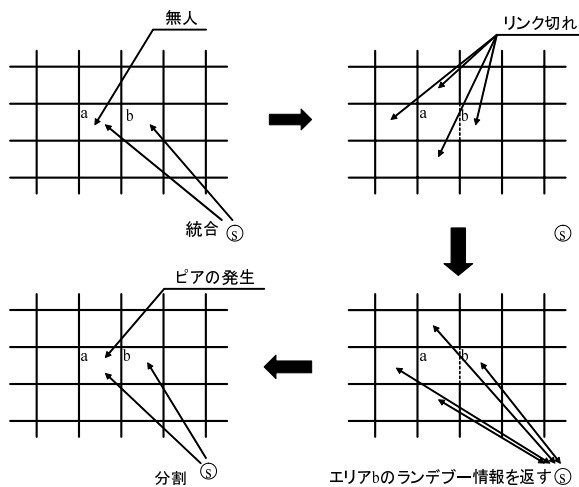


図 11 エリアの統合、分割

Fig. 11 Integration and Division of Area.

という問題を解決できる．次に図 11 にしたがってエリアの統合，分割について説明する．

(1) あるエリア a が無人になったことをスーパーピアが知る．スーパーピアはエリア a を最後に去るピアから教えてもらうか，自分で各エリアのピア数を管理することでエリア a が無人になったことを知ることができる．

(2) スーパーピアはエリア a とエリア a の隣接エリアの中の 1 つであるエリア b を統合する．エリア b は負荷分散の点から考えるとエリア a の隣接エリアの中で最もピア数が少ないエリアであるほうがよい．このときエリア a とエリア b が統合されたということをランデブーピアやノーマルピアに知らせる必要はなく，スーパーピアのみが把握していればよい．

(3) エリア a が無人になったことで，エリア a の隣接エリアのピアにおいてリンク切れが発生する．リンク切れが生じた隣接エリアのピアはエリア a のランデブーピアの情報を知するためにスーパーピアに問い合わせる．スーパーピアはエリアの統合状況を考慮し，エリア a の統合先であるエリア b のランデブーピア情報を返す．このとき，エリア b のランデブーピアが問い合わせてきたピアにとってどの方向（上部，下部，右部，左部）に位置するのかという情報も一緒に返す．

(4) スーパーピアからランデブーピア情報を取得したピアは，隣接エリアへのリンクを張りなおす．

(5) スーパーピアはエリア a にピアが発生したことを知り次第，エリアをもとのように分割する．

5. ま と め

本研究では端末の位置情報に基づく P2P ネットワークである LL-Net を提案し，評価した．評価の結果，LL-Net では Gnutella や PLRG よりも少ないトラフィックかつ高い成功率で任意の場所からピアやサービスを検索できるが，問い合わせに対する応答が得られるまでの遅延が大きいことがわかった．また，LL-Net の性能向上のための拡張案について述べた．

我々は今回提案した LL-Net を，状況依存型サービスを開発するためのプラットフォームが備える機能の 1 部として考えて

いる．LL-Net では状況依存型サービスにおいて発生すると考えられる位置に依存する情報取得要求を効率良く処理することができる．開発プラットフォームが LL-Net プロトコルや LL-Net を利用した検索アルゴリズムなどの機能を備えておけば，サービスの開発が容易になると考えられる．

今後は拡張案を考慮してシミュレーションを行い，LL-Net の性能を評価する．また，位置情報だけでなく他の情報も考慮したネットワークを考え，その有効性を評価する．また，その他にもプラットフォームに必要な機能を洗い出し，プラットフォームを設計，構築する．

謝 辞

本研究は，文部科学省科学技術振興調整費「モバイル環境向 P2P 型情報共有基盤の確立」の研究助成によるものである．また，本研究の一部は，文部科学省 21 世紀 COE プログラム「ネットワーク共生環境を築く情報技術の創出」の研究助成によるものである．ここに記して謝意を表す．

文 献

- [1] 金子雄，福村真哉，春本要，下條真司，西尾章治郎：“P2P 通信を用いた状況依存型集合場所検索サービスの構築，”情報科学技術フォーラム論文集，Vol. 4, pp. 187–188, 2003.
- [2] D. Gregory, G. Christopher, Atkeson, H. Jason, L. Sue, K. Rob and P. Mike: “Cyberguide: A Mobile Context-Aware Tour Guide,” ACM Wireless Networks, pp. 421–433, 1997.
- [3] K. Anind, Dey, D. Gregory and Abowd: “CybreMinder: A Context-Aware System for Supporting Reminders,” Proc. Second International Symposium on Handheld and Ubiquitous Computing, pp. 172–186, 2000.
- [4] Adje-W. William, S. Elliot, B. Hari and L. Jeremy: “The design and implementation of an intentional system,” Proc. 17th ACM SOSP, pp. 186–201, 1999.
- [5] C. Guanling and K. David: “Solar: An Open Platform for Content-Aware Mobile Applications,” Proc. the First International Conference on Prevasive Computing, p. 41–47, 2002.
- [6] S. Ion, M. Robert, K. David, K. Frans M and B. Hari: “Chord: A Scalable Peer-to-Peer Lockup Service for Internet Applications,” ACM of the 2001 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications, pp. 149–160, 2001.
- [7] R. Sylvia, F. Paul, H. Mark, K. Richard and S. Scott: “A Scalable Content-Addressable Network,” ACM SIGCOMM, pp. 161–172, 2001.
- [8] Y. Zhao, K. John and D. Anthony: “Tapestry: A Fault-tolerant Wide-area Location Infrastructure,” SIGCOMM Computer Communication Review, pp. 81, 2002.
- [9] B. Mayank, Singh M. Gurmeet and R. Prabhakar: “SETS: Search Enhanced by Topic Segmentation,” Proc. 26th annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval, pp. 306–313, 2003.
- [10] T. Chunqiang, X. Zhichen and M. Malik: “Peer-to-peer information retrieval using self-organizing semantic overlay networks,” em ACM SIGCOMM, pp. 175–186, 2003.
- [11] K. Minseok and F. Sonia: “Topology-Aware Overlay Networks for Group Communication,” Proc. 12th international workshop on Network and operating systems support for digital audio and video, pp. 127–136, 2002.
- [12] M. Woo: “Scalable Routing for Ad Hoc Networks,” Wireless Networks, vol. 7, pp. 513–529, 2001.