

## P2P ネットワークにおける地理的範囲探索の提案

神谷 英樹<sup>†</sup> 峰野 博史<sup>††</sup> 小佐野智之<sup>†††</sup> 角野 宏光<sup>†††</sup> 石川 憲洋<sup>†††</sup>  
水野 忠則<sup>††</sup>

<sup>†</sup> 静岡大学大学院情報学研究科

<sup>††</sup> 静岡大学情報学部

<sup>†††</sup> NTT DoCoMo

**あらまし** 携帯電話や PDA などの位置測位可能な携帯端末の普及に伴い、GoogleMap や NaviTime に代表されるロケーションウェアネスなサービスの提供が注目されている。このようなサービスを提供するために任意の位置に存在する情報端末を、位置に基づき P2P で効率良く探索する様々な手法が提案されてきた。しかし、既存の手法は効率の良い探索を実現するために多くのノード情報を管理するスーパーノードなどの特殊ノードが要求され、スケーラビリティの点で現実的とはいえない。そこで、本研究では P2P ネットワークにスモールワールド理論を適用し、特殊ノードを使わずに低リンク次数で位置に基づく探索を効率的に行う手法を検討・提案する。

**キーワード** スモールワールド, P2P, 範囲探索

## Proposal of geographical range search on P2P network

Hideki KAMIYA<sup>†</sup>, Hiroshi MINENO<sup>††</sup>, Tomoyuki OSANO<sup>†††</sup>, Hiromitsu SUMINO<sup>†††</sup>, Norihiro  
ISHIKAWA<sup>†††</sup>, and Tadanori MIZUNO<sup>††</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Informatics, Shizuoka University, 3-5-1

Jyohoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011, Japan

<sup>††</sup> Graduate School of Science and Technology, Shizuoka University, 3-5-1

Jyohoku, Naka-ku, Hamamatsu, Shizuoka, 432-8011, Japan

<sup>†††</sup> Service & Solution Development Department, NTT DoCoMo, Inc.

**Abstract** As the mobile terminal which can do positioning becomes popular, providing location-awareness service like GoogleMap or NaviTime attracts attention. In order to provide these service, many algorithm for searching Information devices in any place by P2P were proposed. But existing algorithm needs special node like server or super node managing lots of node information in order to search devices efficiently, so these algorithm are not practical in the sight of scalability or the managing cost. So we propose a new efficient device search algorithm based of a location without using a special node.

**Key words** small world, P2P, range search

### 1. はじめに

GPS 搭載型携帯電話など位置測位可能なデバイスは今や我々に非常に身近な存在となっている。また、それらの端末はインターネットなどのネットワークを通じ時間や場所に制約を受けず任意の情報へアクセス機能も備えている。そこで近年、ユーザの存在する位置や指定した特定の場所などの位置情報を考慮したサービスの提供が注目されている。既存の代表的なサービスには GoogleMap や NaviTime が存在し、地図に商業施設や公共機関などの情報をマッシュアップして任意の位置に存在す

る施設やサービスの情報を提供している。将来的に任意の環境情報をリアルタイムに収集可能なセンサネットワークの実用化などのデバイス同士が自律的に連携して動作するユビキタスネットワークが実現した場合に、これらの遍在するコンピュータが保持する情報を位置に基づいて適切に提供するロケーションウェアネスなサービスは益々重要となると考えられる。

これらのロケーションウェアネスなサービスを提供するためには、任意の位置に存在する情報を保持した端末を位置に基づき範囲的に探索する機構が必要となる。これらの多様な情報端末を位置情報に基づき効率的に探索するために、LL-Net [3] や

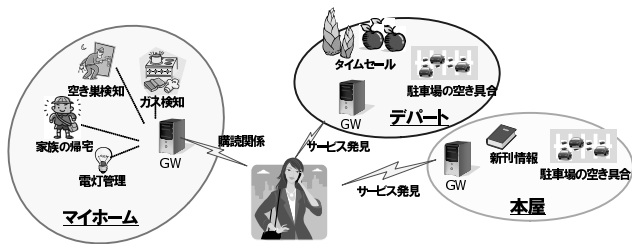


図1 ロケーションウェアネスサービスの例

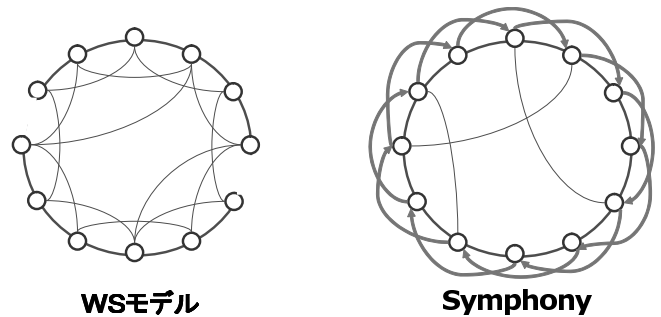


図2 WSモデル(左)とSymphony(右)のネットワーク図

Mill [2] など様々な手法が提案されてきた. しかし, これら既存の手法では効率の良い探索を実現するためにリンク次数がノード総数に比例し増加することでノード参加時やネットワーク維持に関して多数のパケットが発生する要因となったり, 多数のノード情報を管理するスーパーノードなどの特殊ノードが要求されるなどの問題があった.

そこで我々は, 各ノードが低リンク数ながら位置情報に基づき特定の座標範囲内のノードを効率的に探索する方法として, スモールワールドネットワークに着目した. スモールワールドネットワークは低リンク数ながら任意のノードまでの平均経路長が極めて短いという特徴がある. そこで本研究では P2P スモールネットワークを構築し, 特殊ノードを使わずに位置に基づく範囲探索を効率的に行うシステムを検討・提案する.

## 2. 関連研究

ここではまず関連技術であるスモールワールドネットワークの概要とその特徴を述べ, 次に位置座標に基づくデバイスの範囲探索について特徴と課題を整理する.

### 2.1 スモールワールドネットワーク

#### 2.1.1 概要

スモールワールドネットワークは世界中の任意の2者が極めて少ない知人関係を経由してつながるというスモールワールド現象をネットワークでモデル化したものであり, 平均経路長が短く且つクラスター係数(ネットワーク全体におけるクラスタの割合)が高いネットワークを指す. ワッツとストロガッツにより提案された代表的な WS モデルを示しながら, その特徴を述べる.

WS モデルはノードが円を構成し, 各ノードは左右2つ隣までのノードにショートリンクと呼ばれるリンクにより繋がっている. その内さらに一定数のノードはショートリンクの相手先を任意の遠方ノードに張り替える(このリンクをショートカットリンクと呼ぶ). これにより高いクラスター係数を維持しながら低リンク数で任意の2ノード間の平均経路長を低減可能であるという特徴がある.

#### 2.1.2 Symphony

情報の効率的探索方法の1つに分散ハッシュテーブル(DHT)を用いた手法が存在する. DHTはハッシュ関数を用いて各情報に一意に識別するためのキーを割り当て, キーとそれに対応する値(一般に情報を保持するノードのアドレスなど)を, キーのハッシュ値に近いハッシュ値を持つノードがハッシュテーブルとして管理する技術である. 情報を保持するノードの探索

を行うときの平均経路長は各 DHT アルゴリズムに依存する. 代表的なアルゴリズムに chord, can, pastry などが存在するが, DHT にスモールワールドを応用した手法として Symphony [1] がある.

Symphony は DHT ネットワークを WS モデルを元に構築したものであり, 構造は非常にシンプルであるがその特徴はリンク次数が可変である点にある. 高い探索効率  $O(\log n)$  を実現する chord のリンク数は  $O(\log n)$  必要であるが, Symphony は  $2k+2$  ( $k$  は任意) で全体ノード数  $n$  に依存せず任意のリンク数を指定可能でありながら探索効率も  $O((\log^2 n)/k)$  と chord に及ばないまでも優れている.

しかし位置座標に基づく範囲探索について検討すると, この手法は各ノードがハッシュ値によるキーに基づきネットワークを構築しているため2次元の値が扱えず, 且つ物理空間上のノードの隣接関係がハッシュにより崩壊するため範囲探索もできないという課題がある.

### 2.2 既存の研究

位置座標に基づく範囲探索を実現する例として, ここでは Mill と LL-Net を挙げその特徴と課題を整理する.

#### 2.2.1 LL-Net

位置情報を考慮した P2P ネットワークとしての代表として LL-Net が挙げられる. LL-Net では物理的な空間を階層ごとに四分割して小さなエリアを作り, そのエリアに割り当てられた ID を元に位置情報に基づいたスモールワールドネットワークを構築する. なお, LL-net ではノードをピアと呼ぶ. LL-Net ではエリアごとにエリア内のピアを管理するランデブーピアと呼ばれるピアが存在し, さらにスーパーピアと呼ばれるピアがランデブーピアを管理している. ピア探索は自身の持つルーティングテーブルから, 目的エリアに近いピアにクエリを転送することを繰り返すことで目的エリアに到達する. 目的エリアに達すると, ランデブーピアを根とした木構造にフラッディングによりクエリを伝播させることでそのエリア内の該当ピアの情報を獲得する. LL-Net の探索は  $O(\log_4 n)$  であり非常に効率的であるが, エリア内ピアの情報を管理するランデブーピアや全ランデブーピアの情報を管理するスーパーピアなどの特殊なノードが必要となる. また, 各ノードは各階層において隣接するエリアに存在する任意のノードに対してリンク情報を保持するため, リンク次数は最高で  $8+(n-1) \times 3$  を保持することになる.

## 2.2.2 Mill

Live!E プロジェクト [7] のシステム Mill は 12ヶ国 100 台以上の百葉箱などの複数のセンサネットワークにより収集される温度や湿度などの情報をインターネット上の http サーバ間で位置に基づき管理しており、ユーザは指定した任意の位置に存在する情報を獲得することができる。情報を収集することができる。

Mill は物理的空間を小さな正方形のエリアに区切り、それぞれのエリアに存在する http サーバに対して位置座標から独自の ID を割り当てる。各エリアに存在する http サーバはその ID の序列に従ってインターネット上にリング型ネットワークを構築し、自分の ID から、序列的に次の http サーバの ID までの間のエリアの情報を管理する。各ノードは chord と同様に両隣のノードと自身のノード ID+2<sup>n</sup> のルーティングテーブルを保持する。Mill はユーザから知りたいエリアについて位置座標 (x,y) で指定されると、その座標を 1次元の ID に変換し、各サーバのルーティングテーブルに従ってその座標領域に関連するセンサネットワークを担当するサーバまで効率良くクエリを伝播させる。

Mill も LL-Net と同様に O(log n) と非常に低遅延での探索を実現可能であるが、リンク次数は O(log n) とノードの総数に依存し大規模ネットワークではある程度の次数を要求する。

## 2.2.3 まとめと課題

既存の位置情報に基づく探索アルゴリズムはその効率と引き換えに多数のノードを管理するスペシャルノードを必要としたり、参加ノードの増加に伴いフィンガーテーブルに似た多数のショートカットリンク情報を保持しなければならない。これらの情報を多く保持することはネットワークの維持やノードの参加時におけるパケットの増加を引き起こすだけでなく、ノードの故障や移動などによる脱退時に発生するネットワークの再構築をより複雑なものにしかねない。

対してスモールワールドネットワークを利用したものは特殊なノードを要求しない上、ネットワークの規模によらずリンク次数を常時低く維持可能で、なお且つ探索効率も Symphony で言えば O((log<sup>2</sup>n)/k) と既存アルゴリズムに及ばないまでも優れていることがわかる。しかしながら、既存のスモールワールドを用いたシステムは位置情報は考慮されてこなかったため、任意の位置情報に基づく情報の範囲探索などは実現できなかった。そこで、本研究ではスモールワールドを利用して任意の位置情報に基づく情報の探索を実現するシステムを提案する。これにより、任意の規模のネットワークにおいても一定のリンク次数で効率良く地理的範囲を探索可能となる。

## 3. スモールワールドネットワークを利用した地理的範囲探索の提案

ここでは我々の提案するスモールワールドを用いて位置情報に基づく地理的範囲探索を行うシステムについて、想定する環境と要求される事項を整理し、その概要を説明する。

### 3.1 想定する環境と利用例

本システムは、屋外において家屋や公園、公共機関、商業施

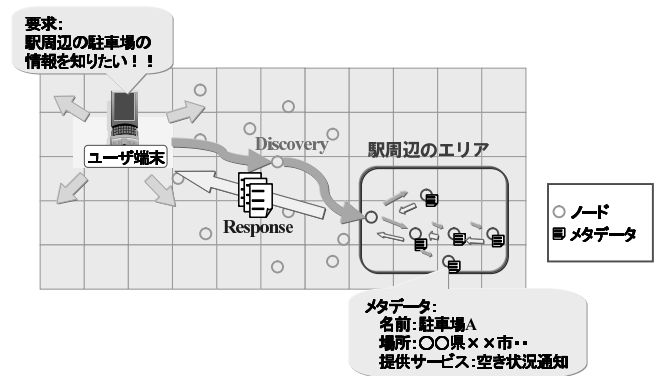


図 3 想定環境と利用例

設など多様な場所で位置に依存したサービスを提供するノードが配置されそれぞれのノードが P2P ネットワークに参加している状況にあること、またそれらのノードは名前や提供可能なサービスなどのプロパティ情報が記載されたメタデータを保持している環境を想定している。このような環境において、本システムには GoogleMap や NaviTime のようなマップベースなアプリケーションへの応用が考えられる。利用シーンとしては、探索キーワードに合致した特定の座標領域に存在するノードのメタデータを収集して位置情報サービスを提供するノードの存在をユーザに通知することが考えられる。一例を図 3 に示す。この例では、まずユーザが駅周辺の駐車場の情報を獲得したいとする。するとシステムは指定された位置座標に基づき駅付近に存在するノード群を探索し、駐車場という探索キーワードに合致したノードからのみメタデータを要求するようなクエリを送信する。これにより、いくつかのノードから収集したメタデータをもとにシステムはそれらの提供するサービスを提示できる。

### 3.2 要求事項

#### 負荷分散

多数のノード情報を管理したインデックスサーバや特殊ノードはその導入・維持管理コストと故障時の影響などの観点から利用を避けるのが望ましいと考えられる。

#### スケーラビリティ

将来的に汎用化されたセンサネットワークの普及などによるユビキタス社会への動きが加速すれば、位置情報サービスを提供する情報端末も一層増加すると考えられる。よって大多数のノードが参加するような大規模ネットワークでも正常に動作することが要求される。

#### 探索効率

本システムではリアルタイムアプリケーションを想定していないため、遅延に対してはある程度寛容的である。しかし、フラグディングに代表される非効率なノード探索は大きな遅延とネットワークに負荷を強いることにつながるため O(log n) には及ばずとも可能な限り探索は効率的に行われなければならない。

### 3.3 システムの検討

上記に整理した要求事項を満たすために、我々は P2P スモールワールドネットワークを構築して位置情報に基づく地理的範

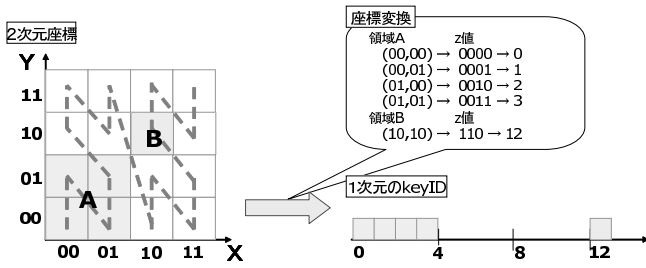


図4 z-ordering の概要図

圏探索を行うシステムについて検討する。スモールワールドネットワークは一定数の少ないリンク回数でどのような規模のネットワークに対しても相手ノードを良い効率で探索可能であるという特徴を持ち、上記の要求事項の解決に適している。また、本システムでは多数のノード情報を管理する特殊ノードは利用しないことにする。これは特定のノードによる負荷の集中を避けるとともに、全ノードの動作を統一することで動作プロトコルをシンプルにするためである。また特別なノードを用いないことは任意のノードの故障や移動時の影響を軽減し対故障性の向上にも貢献する。

本システムを検討する上で、課題となる点を整理する。ひとつはP2Pスモールワールドネットワークをどう構築するかである。スモールワールドネットワークには高いクラスター係数とショートカットリンクが必要となるが、それぞれの構築方法に関して検討が必要である。また地理的な範囲探索を実現するために、ネットワークに位置情報を考慮する方法も課題のひとつである。

#### 4. システムの設計

前章ではP2Pスモールワールドネットワークによる地理的範囲探索を行うシステムの提案とその実現課題について述べた。本システムではそれらの課題を解決するためのシステムの設計に関して説明する。

#### 5. 位置座標の考慮

位置座標のような多次元のキーに基づきネットワークを構築することは容易ではない。例えばChord[4]やSymphonyの様なDHT系アルゴリズムではハッシュ関数により作成される1次元のキーの数値的序列に従いネットワークを構築する。しかし、単純に2次元の位置座標をハッシュするとランダムなキーが発生し、物理空間上のノード間の隣接関係が崩壊してしまう。そこで、ノードは自身の2次元の位置座標から1次元のKeyIDを生成するようにする。この生成方法は空間充填曲線の中で代表的なz-ordering[6]というアルゴリズムを利用する。図4にその様子を示す。まず正方空間を $2^k \times 2^k$ の小正方形に分割する(kはbit数)。更にそれらの小正方形に00, 01, 10とx軸とy軸に対してそれぞれ序列を決定する。できた小正方形上を直線zを描きながら埋めていく。直線zの経過順に、2次元座標の各桁の値を交互に並べることにより1次元のkeyIDを作成する。例えば、図4の領域Aを探索する場合を考える。A

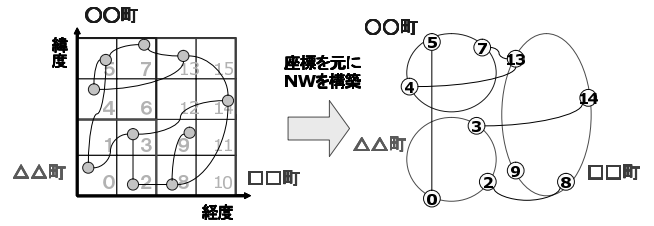


図5 システムの構築するネットワーク図

の領域の左下の領域は(00,00)で表される。この座標をxの上位1bit,yの上位1bit,xの上位2bit,yの上位2bitの順に並べてできるz値は0000となり、十進数に変換するとkeyID0が生成される。同様に、4つの小正方形はそれぞれ0,1,2,3となる。先ほど例に挙げた領域Aのように、z-orderingの大きな特徴として二次元座標における隣接関係が一次元にもそのまま反映される点が挙げられる。この特徴は領域Aの探索のような範囲探索を行う場合に該当する複数の1次元のkeyIDの探索を非常に効率的にする。

### 6. P2Pスモールワールドネットワークの構築

#### 6.1 概要

本システムが構築するP2Pスモールワールドネットワークの構造を先に述べる。本システムのネットワークでは各ノードはz-orderingにより作成されるkeyIDの序列を元に隣接するノードを決定し、さらに住所でいう町単位あるいはそれ以下などの論理的な区分に基づきクラスタを形成する。ただし、物理空間の論理区分によりネットワークを分割しても物理空間上のノードの隣接関係はkeyIDにはほぼ反映されるが、例えば図5のノード2とノード8で1つのクラスタとするような、keyIDの序列を保てない形でクラスタは作成されてはならないという制約が存在する。また、クラスタを上記のように形成する理由は、実際の観光産業では町や市、区などの論理区分ごとに位置情報サービスを提供することが多いためそれらの探索を行いやすくするためと、クラスタを形成するノード数はある程度小さく方が都合がよいためである。

クラスタ内のノードは隣接ノードと隣接リンクを張り円を形成すると共に他のクラスタに対してもリンクを張る。このネットワークでは、隣接ノード間のリンクをショートリンク、クラスタ間で結ばれるリンクをランダムリンクと呼び、ランダムリンクの相手先ノードの決定方法については後に解説する。

#### 6.2 ノード参加プロトコル

ノードがP2Pスモールワールドネットワークに参加する手順について説明する。参加希望ノード(以下、hostノードと呼ぶ)がP2Pスモールワールドネットワークに参加するためには、既にネットワークに参加済みのいずれかのノードのアドレスを獲得している必要がある。この既知のノードをランデブーノードと呼ぶこととする。hostノードはまずIDmappingモジュールを用いて自身の位置情報からkeyIDを獲得する。hostノード

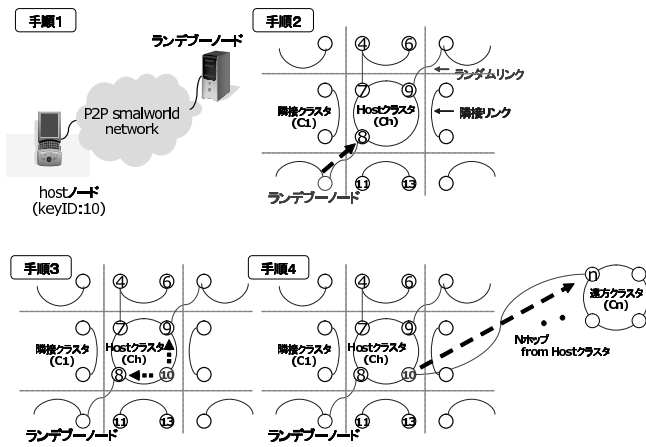


図 6 ノードの参加例

ドは自身の keyID を含めた参加要請クエリをランデブーノードに送信する。ランデブーノードは keyID から host ノードの所属すべきクラスタ（以下、host クラスタ）内の host ノードの隣接となるべきノードまで、以下に説明する探索プロトコルを用いてクエリを伝播させる。隣接となるべきノードの keyID を含んだこのクエリの返答を元に、host ノードはその隣接となるべきノードと通信を行い隣接リンクを張り替えて P2P スモールワールドネットワークに参加することになる。更に host ノードはクラスタ内にある他のノードが保持しているリンク情報の収集し、それを考慮し host クラスタを中心として n ホップ先のクラスタ（遠方クラスタ）に対して特定の確率 P でランダムリンクを張る。このランダムリンクの存在が任意の 2 ノード間の距離を縮めるスモールワールド効果を生み出す。n ホップ先に存在するノードは同一方向へランダムリンクを n ホップ経路することで探索される。なお、ネットワークに参加しているノードはリンク関係にあるノードに対して定期的に存在確認のクエリをやり取りしている。これはノードの離脱時にネットワークの再構築を行うためである。例として図 6 に keyID10 を持つノードのネットワーク参加における手順を示し、以下に整理する。なお、host ノードにおいてランデブーノードは既知であるとする。

**指針 1** host ノードはランデブーノードに対して自身の keyID とアドレスを伝え参加要請をする。

**指針 2** keyID に基づきランデブーノードは host クラスタのノード 8 を探索する。

**指針 3** host ノードは隣接ノードであるノード 8 と 9 の間の隣接リンクを自身が中継するように張り替え、P2P スモールワールドネットワークに参加する。

**指針 4** host クラスタ内ノードのランダムリンク情報を収集し、確率 P でいずれかの遠方クラスタ内のノード n に対してランダムリンクを張る

### 6.2.1 ランダムリンクの確率

ランダムリンクは以下の指針に基づき接続される。

**指針 1** host ノードは目的ノードとクラスタ間距離が近いほどランダムリンクを張る確率が高い。

**指針 2** host クラスタ内の他ノードのリンクを考慮し、可能な限りそれらとつながってない遠方クラスタ内のノードと接続する。

指針 1 は近距離のクラスタ間の結束の強化のために要求される。これは、アプリケーションが要求する位置座標に基づいたノードの範囲探索は複数の隣接したクラスタ群を探索することと同義であるのでそれをを行いやすい構造を作るためである。また、各クラスタが隣接同士で強く結びつくことでクラスタの独立化を防ぐと共にクエリの到達率を高める狙いがある。指針 2 はスモールワールド効果を高効率の良い探索の実現には、各ノードは他ノードとできる限り分散して遠方クラスタ内ノードへのリンクを保持する必要があるためである。上記を踏まえて、本システムではクラスタ間ホップ数 n の遠方クラスタ内ノードへランダムリンクを張る確率  $P_n$  を以下のように定義している。

$$P_n = \frac{\alpha}{k^n}$$

$$\alpha = \begin{cases} 1 & (\text{link} = \text{true}) \\ k & (\text{else}) \end{cases} \quad (1)$$

n は遠方クラスタまでのクラスタ間ホップ数であり合計クラスタ数により決定される。また n は基本的に同一方向へのホップ数を想定しているが、迂回や方角の変更などで厳密に同一方向への n 個先のクラスタを指していなくても問題ない。k は任意の定数である。link は対象遠方クラスタへの host クラスタ内ノードのリンク状況であり、 $\alpha$  は link の値によって決定される。確率  $P_n$  はべき則に基づいている。べき則は近隣のクラスタ内ノードほど高確率に接続をされるという要件 1 を満たし、かつ対数と異なり指数部が増大してもある程度の確率が保たれるため、非常に遠方のクラスタに対してもある程度の確率でランダムリンクを張ることを可能にする。また、この確率式  $P_n$  は  $\alpha$  により対象遠方クラスタに対する host クラスタ内のノード状況を考慮しており要件 2 を満たす。更に、対象遠方クラスタの  $N=1$  の場合、つまり隣接クラスタでありながら host クラスタのどのノードもランダムリンクを接続していない場合には  $\alpha = k$  となり、 $n=1$  であるため  $P_n = 1$  となり確実にリンクが接続されるため、クラスタの独立性を完全に防ぐことが可能となる。

### 6.3 ノード離脱プロトコル

ノードの離脱は参加と逆の手順を辿ることになる。まず、ランダムリンク先のノードに対して接続を解除することを伝える。このとき、ランダムリンクは特に他ノードへの張替えなどは行わない。次に隣接ノードに対して自身を経由せず直接リンクを張るように通知する。最後に、隣接ノードに対しての隣接リンクを切断し、ネットワークを脱退する。例として図 7 にノード 10 がネットワークから離脱する手順を以下に示す。

**手順 1** ランダムリンク先のノード n に対して、リンクの解除を

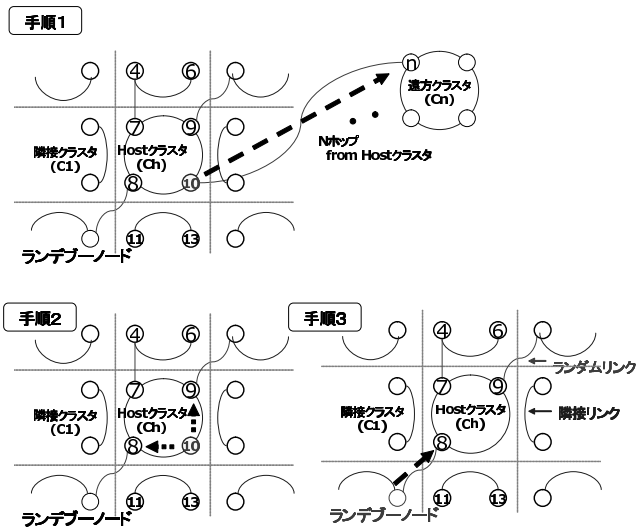


図7 ノードの離脱例

通知する。

**手順2** 隣接ノードであるノード8, 9に対して, 互いに直接隣接リンクを張るよう通知する。

**手順3** ノード8, 9に対する隣接リンクを切断する。

#### 6.4 ノード探索プロトコル

本システムのノード探索は位置座標に基づく二次元の地理的範囲内で行われることを想定しているため, ピンポイントではなく特定の領域内の探索が要求される。そのために本システムのネットワークは論理的領域内の探索を行い易いよう構築されている。

探索アルゴリズムはシンプルである。まず, 探索を実行するノード (host ノードと呼ぶ) はアプリケーションから指定された始点と終点を含む位置座標から対象となるノードの keyID を割り出し, スモールワールドネットワークを用いて探索キーワードを含んだ対象領域内のノードに効率良くメッセージを伝播させる。そしてフラッディングにより論理的領域内のキーワードに合致するノードから, メタデータを収集する。詳細な探索手順は以下のとおりである。

**手順1** host ノードは指定された位置座標からその目的ノードの keyID を求め, host クラスタ内で最も目的ノードの所属するクラスタ (目的クラスタ) へ近いリンクを持つノードへクエリを送信する。

**手順2** クエリを受信したノードはランダムリンクを用いて目的クラスタに近いノードへクエリを転送する。

**手順3** クエリが目的クラスタに到着するまで手順2を繰り返す。

**手順4** クエリを受信したノードはクエリをフラッディングする。

これにより対象クラスタ内ノードにクエリを効率よく伝播させていき, 最後に対象クラスタ内のクエリに該当するノードすべてから, host ノードへ自身のプロパティ情報を含めたメッ

セージが返信される。フラッディングに関してはクラスタ内のノード総数が極めて少ないことを考慮すれば, 特に問題視する必要はないと考えられる。

なお, 探索対象が複数の論理的区分にまたがる場合には各対象クラスタへ個別に探索 keyID を含めたクエリを送信することで実現される。クラスタが少数ノードから構成されているのでこの状況は極めて発生しやすく, クエリのメッセージ数を低減するためには更なる検討が必要である。

## 7. 評価の検討

### 7.1 実験機器

提案システムの評価を行うために, 我々は Overlay Weaver [5] を用いたシミュレーションを検討している。Overlay Weaver はオーバーレイ構築ツールキットであり, DHT やマルチキャストなどの高レベルサービスに対する共通 API を提供している。これらを用いて, 提案した手法の試験, 評価, 比較を行う。

### 7.2 評価項目

提案システムの評価項目として, 探索効率, 負荷分散, 探索の成功率などを検討している。探索効率はノード数の増加時と探索ホップ数の関係から, 負荷分散は各ノードの処理メッセージ数から, 探索成功率はクエリの目的クラスタへの到達率からそれぞれ評価する予定である。

## 8. おわりに

本稿では P2P ネットワークにスモールワールド理論を取り入れることで, リンク次数を低減しつつも効率的な位置座標に基づく地理的範囲探索の検討と提案を行った。今後は, クラスタの構築方法やランダムリンクの接続方法, 探索アルゴリズムなどの詳細をさらに検討すると共に, シミュレーションにより前章で検討した評価事項に関して提案システムを評価する予定である。

## 文 献

- [1] G. Manku, M. Bawa, and P. Raghavan, "Symphony: Distributed Hashing in a Small World", in Proceeding of the 4th USITS, pp. 127 - 140, 2003.
- [2] Matsuura, Fujikawa, Sunahara "Mill: Scalable Area Management for P2P Network based on Geographical Location", In Proceedings of Twelfth Annual Scientific Conference on Web technology, New Media, Communications and Telematics theory, Methods, Tools and Applications (Euromedia 2006), pp.46-52, Apr.2006.
- [3] 金子, 春本, 福村, 下條, 西尾:"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, VOL46, No.SIG18 pp1-15, (Dec. 2005).
- [4] I. Stoica, R. Morris, D. Karger, M. F. Kaashoek and H. Balakrishnan, "Chord: A scalable peer-to-peer lookup service for Internet applications", In Proceedings of ACM SIG-COMM 2001, pp.149-160. ACM Press, August 2001.
- [5] Overlay Weaver, <http://overlayweaver.sourceforge.net/index-j.html>
- [6] S. Shekhar and S. Chawla. Spatial Databases. Prentice Hall,2002.
- [7] Live EI, <http://www.live-e.org/>