

MANET における需要を考慮した情報の登録・検索方式

榎本 真 柴田 直樹[†] 安本 慶一 伊藤 実

奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科[†] 滋賀大学 経済学部 情報管理学科

あらまし 本稿ではモバイルアドホックネットワークにおいて必要通信量および応答時間の点で優れた情報検索方式を提案する。本方式ではネットワークが構成されている地域全体を地理的なエリアに分割し、カテゴリ分けされた各種情報に対するユーザの需要情報を集計して、検索時の応答時間が小さくなるように需要の多いエリアの各端末に情報を保持させる。これにより、各カテゴリごとに情報を保持するエリアが特定でき、LBM(Location-Based Multicast)などの既存プロトコルを用いてクエリを送信することで、フラディングなどの方式に比べ通信量を低く抑えることが可能である。シミュレーションを行い、一般的な検索において提案方式がコストとパフォーマンスにおいて効果的であることを確かめた。

A demand-oriented information registration and retrieval method on MANET

Makoto ENOMOTO Naoki SHIBATA[†] Keiichi YASUMOTO Minoru ITO

Graduate School of Information Science, Nara Institute of Science and Technology [†]Department of Information Processing and Management, Shiga University

Abstract In this paper, we propose a method for information registration and retrieval in MANET that can reduce amount of transmission data and shorten response time of queries. In our method, we divide a whole application field into multiple areas and categorize information items into several categories so that each mobile terminal in an area holds information items with an associated category. Each area is associated with a category so that the number of queries for the category is the largest in the area. Thus, when we search information items with a certain category, we only have to search in the particular area using existing protocol such as LBM(Location-Based Multicast). This technique greatly reduces data traffic compared with the case using flooding in the entire network. Through experiments with simulations, we have confirmed that our proposed method achieves practical cost and performance for information retrieval in MANET.

1 はじめに

携帯端末(ノートPC,携帯電話,PDAなど)が普及し、端末のメモリや補助記憶の容量は年々増加している。処理速度も急速に向上しており、IEEE 802.11(Wi-Fi)やBluetooth等の無線通信機能が標準搭載されるようになってきている。これら端末から構成されるモバイルアドホックネットワーク(以下MANET)を使ったオフィスでのテンポラリなネットワーク構築、緊急・災害時の利用、軍事利用等の研究が盛んである。本稿では大勢の人が集まる繁華街、駅前、ショッピングモール、イベント会場などでMANETを構築し、その上で情報登録・検索を行う仕組みを提案する。扱う情報は関連する位置やキーワードと、データ本体からなるものとする。データ本体は画像、音声、テキスト等を扱えるとする。

MANET上での情報検索を実現するにあたって以下の(1)~(4)を満たすことが望ましい。(1)携帯端末は電池で駆動するため、通信やCPUでの電力消費が少

ないこと。(2)通信容量が小さくても十分機能すること。(3)ネットワーク全体の通信量が十分に小さいこと。(4)特定の端末に通信負荷が集中しないこと。本研究では情報の需要を考慮してCPUでの処理量や通信量を削減し、効率よく情報の登録・検索を行う仕組みを提案する。

提案手法の基本的なアイデアは以下の4点である。

(i)登録する情報をカテゴリに分類する。(ii)運用領域を部分領域(以下、エリアと呼ぶ)に分割する。(iii)各エリア毎にカテゴリ毎の検索対象情報の需要を計測する。(iv)需要の多いエリアにそのカテゴリの情報を保持させることで、検索にかかる時間を減らす。

(i)~(iv)のようにすることで検索のレスポンスタイムを小さくすることができ、またそのための準備に必要な処理を分散させることが可能である。

アドホックネットワーク上での提案手法のシミュレーション実験の結果、通信量を可能な限り抑えたうえで、検索に要する時間も少なくすることが可能であることを確認した。

1.1 関連研究

地理的な情報を扱う方式には情報検索方式として R-Trees[1] が提案されている。また R-Trees を用いてモバイル環境において地図上のさまざまな属性を含む情報を検索する kNR-tree[2] と呼ばれる方式が提案されている。kNR-tree は基地局にデータを保持するという点で、基地局を使わない我々の方法と異なっている。

一般的な検索において単語によるマッチングよりもさらに進んだ意味的なマッチングを行う方法として Ontology の利用がある。Jinling ら [5] は Publish/Subscribe システムにおいて、RDF と DAML+OIL を用いて効率のよいマッチングを記述する方法を提案している。Paolucci ら [3] はカテゴリに意味的な包含関係がある場合、適合、不適合だけでなく、一部分だけ適合する場合も表せるように、4 段階のマッチング結果を定義している。本研究ではマッチングは適合か不適合のみの検索を行っているが、意味的な包含関係を定義するように拡張すれば段階的なマッチングを行うことも可能となる。

Xue ら [4] は 2 次元平面領域を等しい長方形の領域に分割し、階層的なアドレッシングとアドレス情報を持つ責任ノードの決定の方法を定めている。本研究においても 2 次元平面領域を等しく正方形の領域に分割している。Xue らは領域を機械的に階層に分割しているのに対し、本研究では領域を任意に分割して分割した領域に意味を持たせることが可能である。本研究では責任ノードが存在しない点も異なる。

P2P テクノロジーを用いた分散コンピューティング環境に SIONet(意味情報ネットワーク)[6][7] がある。SIONet は意味情報(メタデータ)に基づいてイベントを配送するメタネットワークであり、ネットワーク上に分散する不特定多数のエンティティ(リソース)の中から、特定のエンティティを動的に探索・発見することができるというものである。SIONet はモバイル環境 [8] においては基地局を用いるのに対し、本研究では基地局を用いない。また本研究では需要を考慮した情報配置によって通信量を減少させることに重点を置いている。

2 定義

本章では提案方式における動作環境、各種定義、定式化された問題について述べる。

2.1 対象とする環境と仮定

携帯端末としてノート PC, PDA, 携帯電話などを想定する。これらの携帯端末は無線 LAN アダプタ等を

搭載し、異なる画面の大きさ、計算処理能力、通信速度などを持っている。また記憶装置を持つ。これらの携帯端末をノードとして、無線アドホックネットワークが構成される。

各ノードには、一人のユーザが対応しユーザの歩行に伴って移動する。また、任意の時刻に、本情報検索システムが稼動するアドホックネットワークに参加、離脱する。各ノードは GPS を用いて位置を取得することができる。各ノードは固有の ID 番号を持っているとする。

提案方式を運用する地理的な領域はあらかじめ決まっているとする。

2.2 データアイテム

本情報検索システムが扱うデータの最小の単位をデータアイテムと呼ぶ。データアイテムは、ID 番号、時間、登録ノードの位置、カテゴリ番号、データアイテムの主体となる画像やテキスト等のデータ(以降メインデータと呼ぶ)と、いくつかの、省略可能な、位置、金額等の型付きデータの組合せである。

ID 番号は、データアイテムに固有の整数値であり、登録を行うノードの ID 番号とデータアイテムの登録時刻から生成される。時間は、データアイテムの登録時刻である。登録されるデータアイテムのカテゴリを示すキーワードの集合がシステムに予め登録してあり、ユーザはデータアイテム登録時にそれらのキーワードの中から 1 つを選択し、その番号をカテゴリ番号としてデータアイテムに含める。メインデータには、文章、画像や音情報を含めることができる。検索の条件として、メインデータに関する条件を指定することはできないとする。

2.3 ユーザから見たシステムの動作

ユーザは、ノードを使用してデータアイテムをシステムに登録または検索・取得する。データアイテムの検索・取得は、システムに登録されたデータアイテムのうち、ユーザから指定された条件に合致するものを全て取得する操作である。条件として、データアイテムのカテゴリ番号や、位置、金額等に関する条件を指定することができる。

2.4 問題の定義

本節では、提案方式を実現する上で解く必要のある問題について述べる。提案方式では、登録された各データアイテムを、検索時のメッセージのホップ数をできるだけ小さくするように、1 つ以上のノードに保持させる。

提案方式を運用する地理的な領域を R とする。 R は、いくつかのエリアに分割されているとする。 エリア数を N_{area} , エリア全体の集合を $A = \{a_1, \dots, a_{N_{area}}\}$ とする。

ノード数を N_{node} とし、ノード全ての集合を $N = \{n_1, n_2, \dots, n_{N_{node}}\}$ とする。 ノード $n_i (1 \leq i \leq N_{node})$ の、時刻 t における位置 (緯度, 経度の組) を $n_i.p(t) (1 \leq i \leq N_{node})$ と表記する。

時刻 t における、システムに登録されたデータアイテムの総数を N_{data} , データアイテム全ての集合を $D = \{d_1, d_2, \dots, d_{N_{data}}\}$ とする。 ノード n_i に記憶された、 D の部分集合を D_i とする。 $D = D_1 \cup D_2 \cup \dots \cup D_{N_{node}}$ が成り立つ。

システム運用中に出される検索要求 q を、 (要求ノードの ID $q.id$, 要求時のノードの位置 $q.pos$, 要求時刻 $q.time$, 検索条件 $q.c$) の組合せで表す。 クエリ数を N_{query} , システム運用中に出される検索要求全ての集合を $Q = \{q_1, \dots, q_{N_{query}}\}$ とする。

データアイテムの集合 D' の中で、ある検索条件 c にマッチするデータアイテム全ての集合を $M(c, D') \subseteq D'$ とする。

データアイテムに対し、1 以上 N_{class} 以下の整数値 (以降クラス番号) を返す写像 f が定義されているとする (N_{class} として 1000 程度の数を想定している)。 f は、直感的にはシステムに登録されたデータアイテム全ての集合を N_{class} 個の集合に分割し、各集合に固有の整数値を返す関数である。 分割後の各集合をクラスと呼ぶ。 各クラスの要素数はだいたい等しくなるように f が定義されているとする。 また、検索条件に指定したクラスの情報を探すクエリに適合する情報の個数は、クエリが発行された場所およびクラスによって、大きく変わるとする。 すなわち、 $\{|d \in D | f(d) = k\}$ が $k (0 < k < N_{class})$ によらず同程度の数であり、 $\{|M(q.c, \{d \in D | f(d) = k\}) | q \in Q \wedge q.pos \in a_j\}$ が k, j によって大きく変化するとする。

任意の検索条件 c より、 c を満たすデータアイテムのクラス番号を求める手続きが用意されているとする。

ノード n_i から n_j まで、メッセージが到達するまでのホップ数を $h(n_i, n_j)$ とする。

このとき、カテゴリ c のデータアイテムの検索に対する平均レスポンスタイム

$$T = \frac{1}{|Q|} \sum_{q \in Q} \text{Min}_{d \in M(q.c, D_i)} h(n_i, n_{q.id}) \quad (1)$$

の値をできるだけ小さくするデータアイテムの配置を見つける。

3 提案方式

全てのノードが全てのデータアイテムを複製して持つようにすれば、式 1 の T は最小になる。 しかしそれでは複製のコストが大きすぎる。 そこで提案方式では、あるデータアイテムが頻繁に検索される需要が多い地域に、データアイテムの複製を作成する。 対象とする地理領域 R をエリア $a_1, \dots, a_{N_{area}}$ に分割する。 また、登録されたデータアイテムをクラス分けする。 エリア毎に各クラスのデータアイテムに対する需要を集計し、需要の多いエリアにデータアイテムの複製を保持させる。

3.1 エリアへの分割

提案方式を運用する地理的な領域 R を分割¹する方法は、サブエリア (後述) に分割できるという条件を満たし、各エリアが連結²である限り任意である。

サブエリアは正方形の領域であり、エリアを構成する最小単位である。 サブエリアの対角線の長さはノードの電波到達範囲の半径よりも小さいとする。 (図 1)

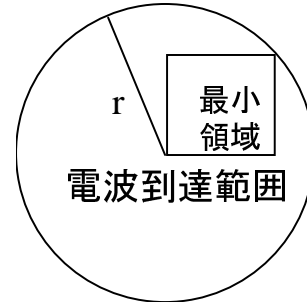


図 1: ノードのネットワークの最小分割領域の関係

3.2 検索実績表

全てのノードは、そのノードが位置するエリア内から各クラスのデータアイテムに対する検索要求が過去一定時間内に出された数を集計し、その結果を検索実績表として保持する。 但し、検索条件に合致するデータアイテムがあった検索要求のみカウントする。

3.3 需要エリア

各クラスのデータアイテムに対する検索要求が最も多いエリアを、各クラスの需要エリアと呼ぶ。 また、二番目に検索要求が多いエリアを準需要エリアと呼ぶ。 需要エリアと準需要エリアを算出するため、以下のようにする。 各エリア (A_1 とする) のノードは、一

¹ある集合 S の分割が族 D であるとは、 D の要素全ての和集合が S であり、かつ D の任意の 2 つの要素の積集合が \emptyset であること

²平面的部分集合 M に対し、 M に含まれる任意の 2 点を端点とする、 M に含まれる連続曲線が存在するとき、 M を (弧状) 連結という

定時間毎に各クラスに対する検索実績と、そのエリアの ID の表をネットワーク全体にフラディングする (表 1)。

ClassID	個数 (1 位)	エリア (1 位)	個数 (2 位)	エリア (2 位)
000	8	A1	-	-
001	10	A1	-	-
002	3	A1	-	-

表 1: A1 から出されたメッセージ

ClassID	個数 (1 位)	エリア (1 位)	個数 (2 位)	エリア (2 位)
000	8	A1	5	A2
001	11	A2	10	A1
002	3	A1	1	A2

表 2: A2 から出されたメッセージ

別のエリア A2 のノードがこの表を受け取ると、自己の持つ需要実績表と照らし合わせて、カウントが大きいノードがあれば、エリアとカウントを書き換えて、フラディングする (表 2)。

全てのエリアで表が更新されると、各クラスの需要エリアと準需要エリアがどれかという情報を共有することができる。

3.4 データアイテムの複製の作成

表 1 における各クラス ID に対する需要エリアと準需要エリアに各クラス ID に該当するデータの複製を作成する。エリアを指定して、情報の登録を行ったり制御メッセージをエリア内の全ノードに送信するために Location-Based Multicast [9] (以下, LBM) を使用する。

3.5 データアイテムの登録時の処理

ユーザが登録したデータアイテムは該当クラスの需要エリアと準需要エリア内の他のノードに複製される。需要の状況が変わって、エリアが需要エリアでも準需要エリアでもなくなった場合には、そのエリアからは複製データを削除する。

3.6 検索

各ノードは、各クラスの需要エリアと準需要エリアがどれかという情報を持っている。また、検索要求に対し、検索条件に合致する可能性のあるデータアイテムのクラス全てを求める手続きが用意されている。これらのクラスの需要エリアに対して検索リクエスト

メッセージを送信する。検索リクエストメッセージの送信プロトコルは LBM を使用する。

3.7 需要エリアの変遷に対する対処

あるクラスに対する需要エリアが、需要エリアで無くなったとき、新たな需要エリアにデータを移動する必要がある。データの移動中に検索要求を受信した場合、正常に検索結果を返すことができない場合がある。そこで、需要は少しずつ変化するという仮定の上で、準需要エリアにデータアイテムを複製しておく。このとき、全てのデータアイテムを複製するのではなく、需要エリアに対する需要の大きさの比の分のデータアイテムを複製する。

3.8 ノードの移動

ノードが移動し、別のエリアに入った場合、次の処理を行う。

(1) ノードが需要エリアに入るとき

複製作成要求メッセージを出し、周辺ノードから該当クラスの情報を複製データを受け取ることにより自己ノードに複製を作成する。

(2) ノードが需要エリアから出るとき

該当クラスの情報を全て削除する。

4 実験と評価

提案方式の総送信メッセージ数と応答時間を調べるためシミュレーションを行った。最大需要エリアでデータを保持することで検索の総送信メッセージ数や応答時間がどの程度改善するか調べるために最大需要のエリアにデータを保持する場合と最小需要のエリアでデータを保持する場合の比較を行った。また最も単純な方法であるフラディングとの比較も行った。

4.1 シミュレータの概要

4.1.1 シミュレータ

シミュレータは独自に開発したものをを使用した (開発環境は Visual C++ 6.0 を用い、Athlon XP 2500+ 1.83GHz, メモリ 512MB の PC 上で動作させた)。以下、シミュレータの概要について述べる。

各ノードの電波到達範囲は、全て同一とした。到達範囲内のノードは、衝突しない限り 100% の確率でメッセージを受け取れるものとした。到達範囲外のノードはメッセージを受け取れないものとした。シミュレーションは単位時間毎に進行する。各ノードは単位時間に一つのメッセージを送信することができ、またその一つ前の単位時間に他のノードが送信したメッセージを受け取ることができるとした。

各ノードは、メッセージ送信時に到達範囲内の別のノードがメッセージを送り始めたことを検知したら、その単位時間内にメッセージを送信しないようにした。すなわち CSMA/CA の Carrier Sense のみを実装した。ある単位時間に 2 以上のノードからメッセージを受信した場合は、それらのメッセージは衝突したものと見なし、メッセージは失われたものとした。

4.1.2 ノードの基本的な動作

各ノードが送信するメッセージは、送信キューに一旦入れられ、単位時間毎に一つずつ送信される。送信時に到達範囲内の別のノードがメッセージを送り始めたことを検知した場合は、送信が 1 単位時間延期される。

各メッセージの寿命 (Time To Live) を 500 単位時間とした。

4.1.3 プロトコル

使用したプロトコルは以下の 2 つである。

(1) フラディングプロトコル

アドホックネットワーク全体に対して検索やデータ送信をするときに用いた。

(2) Location-Based Multicast (LBM) プロトコル

特定エリア向けにクエリ送信やデータ送信をするときに用いた。受信したノードは送信ノードよりも自ノードの位置が対象エリアの中心に δ 以上近ければ、受信データを送信する。実際のシミュレーションでは $\delta = 0$ とした (参考 [9], 図 2 参照)

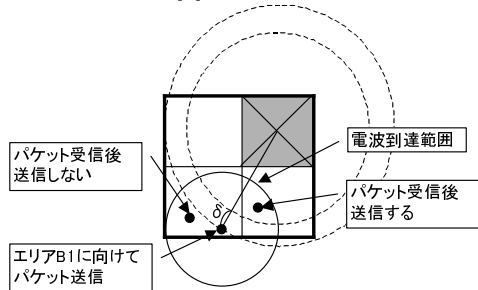


図 2: LBM (δ -Closer)

4.1.4 ノードの移動

今回のシミュレーションでは簡単のためノードは移動しないものとした。

4.2 実装上の工夫

4.2.1 送信メッセージの間引き

ノードが密集している領域では、ノードが受け取ったメッセージを全て転送すると、メッセージの輻輳が起きてしまう。あるノードの電波到達範囲内に N 個

のノードがあるとし、この N 個のノードの電波到達範囲内にまた N 個のノードがあるとする、1 つのメッセージが最大 $N \times N$ 個のメッセージに複製される。これを緩和するために送信メッセージの間引きを行う。

LBM メッセージには発信ノードの位置情報が入っているため、発信ノードと受信ノードの距離を計算することができる。図 3 において、あるノード A の無線範囲を C 、ノード A が送信したメッセージを受け取ったノード B の無線範囲を C' とする。 C と C' の共通部分 (斜線部) にあるノードは A の送信メッセージをすでに受信しているはずである。したがって、図 3 において灰色の領域のみメッセージを受信すればいいはずである。距離 d が小さくなると灰色の領域の面積が相対的に小さくなる。したがって本シミュレータでは、距離 d が 0 に近いときは受信メッセージを転送しないようにする。一方距離 d が r に近いときは受信メッセージを必ず転送するようにする。より一般的には灰色部分の面積を計算することにより転送確率 P を決める。

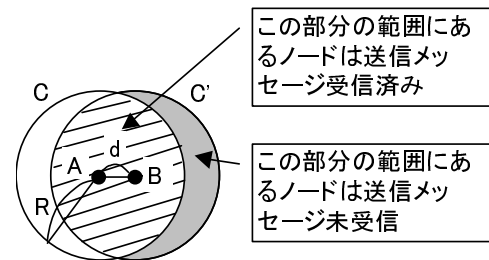


図 3: メッセージ送信エリアのうち有効な部分

$$\theta = \cos^{-1}\left(\frac{d}{2r}\right)$$

$$f(\theta) = 1 - \frac{2\theta}{\pi} - \frac{\sin(2\theta)}{2\pi}$$

とすると、転送確率 P を以下の式で決める。

$$P(\theta) = \frac{f(\theta)}{f(0)} = \left\{ 1 - \frac{2\theta}{\pi} - \frac{\sin(2\theta)}{2\pi} \right\} / \left\{ \frac{1}{3} - \frac{\sqrt{3}}{4\pi} \right\}$$

4.2.2 送信メッセージの優先付け

メッセージは同じものが複数の経路をたどって目的地に達する。なるべく早くメッセージを転送するために以下の優先付けを行った。

- (1) 若い (生成された時間が後) のメッセージのほうが優先度が高い。
- (2) 遠い距離から受け取ったメッセージのほうが優先度が高い。

4.2.3 クエリメッセージの処理

一つのクエリメッセージは同じメッセージが複数の経路を通り、同じノードに到達する。重複を避けるた

め一度クエリメッセージを受け取った後は同じメッセージを受け取ってもレスポンスを返さないようにした。提案方式においては検索対象領域内のノードは特定のクラスに関して基本的にすべて同じデータを持っているので、検索対象領域内のノードはクエリを受け取って自ノード内のデータとマッチングを行った後、転送は行わない。

また、レスポンスメッセージの転送において、同じIDのクエリに対するレスポンスは、一度しか転送を行わないようにした。

4.3 シミュレーションの概要

イベント会場および駅周辺の商店街での利用を想定してシミュレーションを行った。

イベント会場での利用を想定した場合、ノード数2,000、エリア10×10、サブエリア2×2とした。1つのサブエリアは縦1横1の大きさであり、電波到達半径を $\sqrt{2}$ とした。電波到達半径を100mとすると(図3)1エリアは141m×141mで、全体で1412m×1412mの領域に相当する。

駅周辺の商店街での利用を想定した場合、ノード数を20,000、エリア10×10、サブエリア6×6とした。1エリアは423m×423mで、全体で1.2km×1.2kmの領域に相当する。

需要が最大のエリアにデータアイテムを保持する場合(提案手法)、需要が最小のエリアにデータアイテムを保持する場合、フラディングによる検索の場合の間で比較を行った。

4.4 ノードの空間的分布

ノードは、一様に分布させるのではなく、偏りをもたせた。各エリアに位置するノードの数をZipfの法則に従って分布させた。すなわち、各エリアに対して順位をランダムに決定し、k位のエリアのノード数を1位のエリアのノード数のk分の1とした³。

エリア内のノードは、エリア内で空間的に一様に分布するものとした。

4.5 ノードの持つデータアイテム

データアイテムのクラスの出現割合はZipfの法則に従って偏りを持たせた。

4.6 クエリ

クエリのクラスの出現割合はZipfの法則に従って偏りを持たせた。

4.7 評価する項目

クエリメッセージに対し、検索条件にマッチする、システムに登録された全てのデータアイテムを得られた場合のリプライ数(重複を除く)を期待リプライ数と呼ぶ。

検索処理において以下の評価を行った。

受信リプライ数:実際に得られた(重複を除いた)リプライ数(≤期待リプライ数)

リプライ損失率:(期待リプライ数 - 受信リプライ数)/期待リプライ数

冗長度:クエリ送信ノードが受信したリプライメッセージの合計数を、受信リプライ数で割った数(システムの性質上、単一のクエリに対し、複数の同じリプライが受信される)。

平均応答時間:クエリを送信してから、初めてリプライメッセージを受信するまでの時間の平均。

平均ホップ数:クエリを送信して、初めてリプライメッセージを受信するまでのメッセージのホップ数の平均

全メッセージ数:全ネットワーク中のノードが送信したメッセージ(クエリ、リプライ)の総数

4.8 実験結果

4.8.1 イベント会場での利用を想定した場合の実験結果

最大需要のエリアにデータを置いて提案方式によって検索を行った場合と、最小需要のエリアにデータを置いて提案方式によって検索を行う場合、データを最大需要エリアに置き、フラディングにより検索を行う場合についてシミュレーションを行って結果を比較した⁴。それぞれの場合について10回シミュレーションを行い平均を取った結果、表3の結果を得た。

運用領域は20×20の大きさであり、伝播到達範囲は $\sqrt{2}$ であるから、任意の2ノード間でメッセージを往復したときのホップ数の平均は20と考えられる。一方、最大需要エリアにデータをおく場合の平均ホップ数18.6はこの値よりもよく、最小需要エリアにデータをおく場合の平均ホップ数28.3は悪い。

単位時間にメッセージ送受信にかかる時間10ms⁵を

³Zipfの法則は英単語の出現頻度やウェブページのアクセス数に見られる経験則である。Zipfの法則によって分布を作成したのは、偏りのある分布を作るのに任意パラメータが不要なことから、正規分布や指数分布と比べてノードの密度が低くなりすぎないことが理由である。

⁴フラディングの検索に於いては間引き(4.2.1節)は行っていない

⁵無線LANの実効ビットレートを約2Mbpsとし、1パケットを1500byteとして計算すると1パケットあたり6ms、ソフトウェア

	最大需要 エリア	最小需要 エリア	フラディ ング
受信リプライ数	58.7	48.8	58.1
リプライ損失率	3.0 %	18.6%	3.2%
冗長度	36.5	48.5	61.3
平均応答時間	34.8	48.0	189.2
平均ホップ数	18.6	28.3	61.3
全メッセージ数	55,675	50,443	176,171

表 3: ノード数 2,000, エリア 10 × 10, サブエリア 2 × 2, クエリ 30 の場合 (期待リプライ数=60)

かけると実際の時間を見積もることができる。表 3 の最大需要エリアにデータを置いた場合の平均応答時間は 0.348 秒と見積もれる。

提案方式においては、需要エリアの各ノードに検索対象のデータの複製が作成してあるので、需要エリアのノードはメッセージを送信することなく即座に検索結果が得られる。表 3, 表 4 から分かるように、最大需要エリアにデータを置いたほうが、最小需要エリアにデータを置くよりも応答時間、ホップ数ともよい結果になっている。最大需要エリアにデータを置く場合、最大需要エリアの検索を除いた場合の平均応答時間と平均ホップ数は最小需要エリアにデータを置いた場合の平均応答時間と平均ホップ数とほぼ同程度であった。

全メッセージ数については、フラディングの場合は LBM を用いたものと比べて 3 倍程度になっている。フラディングの場合の平均応答時間や平均ホップ数が他の場合より多いのは、ネットワークに輻輳がおきているためであると考えられる。

最小需要エリアにデータを置いた場合の検索においてリプライ損失率が他の場合よりも高くなっている。これは最小需要エリアがノード密度が低いため、クエリメッセージやリプライメッセージが目的地に到達しないことがあるためであると考えられる。

駅周辺での利用を想定した場合の実験結果

ノード数 20,000, エリア 10 × 10, サブエリア 6 × 6, クエリ 30 をノードに分散させて割り当てた場合について、4.8.1 節と同様のシミュレーションを行った。シミュレーションは 3 回を行い平均を取った結果、表 4 を得た。

表 3 の条件においてネットワーク領域は 60 × 60 の大きさを持っている。クエリが目的地に到達して結果が返ってくるまでに平均 60 ホップと考えられるから、表 3 での結果と同様に最大需要エリアにデータを置く

アによる処理を合わせて 10ms とした

	最大需要 エリア	最小需要 エリア	フラディ ング
受信リプライ数	59.2	59.7	60
リプライ損失率	1.4%	0.6%	0 %
冗長度	61.75	116.4	115.7
平均応答時間	79.0	102.5	354.3
平均ホップ数	55.6	70.0	60.3
全メッセージ数	570,681	559,630	1,799,682

表 4: ノード数 20,000, エリア 10 × 10, サブエリア 6 × 6, クエリ 30 の場合 (期待リプライ数=60)

場合の平均ホップ数は平均よりもよく、最小需要エリアにデータを置く場合の平均ホップ数は平均よりも悪い。表 4 の最大需要エリアにデータを置いた場合の平均応答時間は 0.773 秒と見積もれる。

間引きと優先付けの効果

メッセージの間引きと優先付けの効果を見るため、ノード数 5,000, エリア 10 × 10, サブエリア 2 × 2, クエリ 10 をノードに分散させて割り当て、間引きがある場合とない場合、優先付けがある場合とない場合の各組み合わせについてシミュレーションを行い表 5 の結果を得た。

間引き	あり	あり	なし	なし
優先付け	あり	なし	あり	なし
受信リプライ数	20	20	20	20
リプライ損失率	0%	0%	0%	0%
冗長度	98.4	97.3	96.6	94.5
平均応答時間	49.0	50.6	54.5	54.0
平均ホップ数	19.5	19.65	21.2	21.1
全メッセージ数	58,249	60,265	58,539	60,246

表 5: メッセージ間引きとプライオリティ付けの効果 (期待リプライ数=20)

平均応答時間と平均ホップ数は優先付けがあるほうが、ないほうよりも小さい。全メッセージ数は間引きがあるほうが、ないほうよりも小さい。冗長度は間引きや優先付けがあるほど高くなる。これはメッセージが効率よく伝播されていることを示している。

リプライメッセージの時間分布

4.8.1 節の条件での最大需要エリアにデータを置いた場合のシミュレーションの際に 1 つのノードで受け取ったリプライメッセージの時間分布をヒストグラムに表すと図 4 のようになる。検索条件にマッチしたデータアイテムは data0, data1 の 2 種類ある。横軸はクエリを送信してからの時間を表す。分布にはピークなどの構造はなく、全体的に平らな分布をしている。

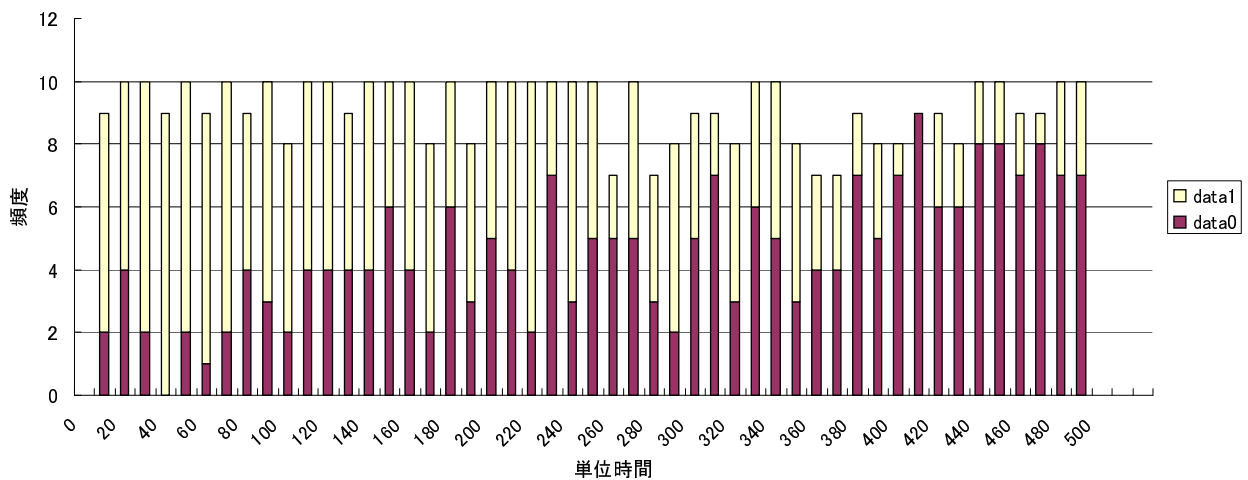


図 4: リプライメッセージの時間分布を表すヒストグラム
参考文献

4.9 考察

表 3 の設定に対し表 4 では面積は 9 倍に、ノード数は 10 倍になっているが、応答時間、ホップ数とも 2~3 倍程度になる程度である。提案手法が比較的良くスケールすることが示された。

平均応答時間はそれぞれの場合についてホップ数の約 2 倍なので、メッセージが各ノードでキューイングされ、約 2 倍メッセージ伝送の遅れを生じていることが分かる。

ノード密集領域に対して検索を行うとメッセージ衝突が起こる結果、メッセージが消失することがある。また LBM を使ったデータ伝播では、ノード密度が疎になると方向によってはメッセージが到達しないことがある。

5 むすび

本稿では移動端末間のネットワークにおける通信量を抑え、かつ応答時間が短い効率的な情報検索方式の提案を行った。シミュレーションでは検索時に応答時間が短くなることを確かめることができた。今回はノードを静止させたままシミュレーションを行ったが、今後はノードの移動を考慮して、検索のシミュレーションを行いたい。また提案方式の実現のために必要な需要を求めるための処理のコストのシミュレーションを行い、総合的にどれほど通信量を抑え、応答時間が短くなるかを確かめる。

今後の課題として、利用シナリオを作成し、実際の地理情報に沿ってのエリア分けやノードを分布を行い、ノードの移動を考慮して、効率的に動作するかを研究を行うことを予定している。

- [1] Antonin Guttman. "R-Trees: A dynamic index structure for spatial searching," Proc. of ACM SIGMOD 1984.
- [2] Anirban Mondal, Anthony K.H.Tung, Masaru Kitsuregawa. "kNR-tree: A novel R-tree-based index for facilitating Spacial Window Queries on any k relations among N spatial relations in Mobile environments," MDM 2005.
- [3] Massimo Paolucci, Takahiro Kawamura, Terry R. Payne, Katia Sycara. "Semantic Matching of Web Services Capabilities," First Int. Semantic Web Conf. 2002.
- [4] Yuan Xue, Baichum Li, Klara Nahrstedt. "A Scalable Location Management Scheme in Mobile Ad-hoc Networks," Local Computer Networks 2001.
- [5] Jinling Wang, Beihong Jin, Jin Li. "An Ontology-Based Publish/Subscribe System," Proc. of the 5th ACM/IFIP/USENIX international conf. on Middleware 2004.
- [6] 星合隆成, 小柳恵一, ビルゲー・スクバートル, 久保田稔, 柴田弘, 酒井隆道. "意味情報ネットワークアーキテクチャ", 電子情報通信学会論文誌 B, Vol. J84-B, No. 3, pp.4,11-4,2,4(2001-3).
- [7] 星合隆成, 柴田弘, 酒井隆道, 小柳恵一. "意味情報ネットワークアーキテクチャ:SION アーキテクチャ", NTT R & d, Vol. 50, No. 3, pp. 157-164(2001.3).
- [8] 星合隆成, エンティティ装置, アドホックネットワーク構築方法及びアドホックネットワーク構築プログラム並びにその記憶媒体, 特許公開 2004-266653.
- [9] Yong-Bae Ko, Nitin H.Vaidya, GeoCasting in Mobile Ad Hoc Networks: Location-Based Multicast Algorithms, Proc. Of IEEE/WMCSA, pp101-110 (1999).