

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年 4月 1日現在

機関番号：32661

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500071

研究課題名（和文）

携帯端末からリアルタイムに更新される情報の検索システムに関する研究

研究課題名（英文）

A Lookup System for Information Which Is Updated from Mobile Terminals in Realtime

研究代表者

佐藤 文明 (SATO FUMIAKI)

東邦大学・理学部・教授

研究者番号：40273164

研究成果の概要（和文）：分散ハッシュテーブル（DHT）を用いた情報検索システムが多く研究されている。Chord 型の DHT では、ノードはリング型に構成され検索要求はリングに沿って転送される。情報を効率良く取得するためには、応答時間を短縮する必要がある。しかし、Chord のオーバーレイネットワークは実際のネットワークの構成を考慮しないため、効率的な検索ができなかった。我々は、Chord におけるノード ID の再構成と再配置によって応答時間を削減する方法を研究してきた。シミュレーション結果から、応答時間はほぼ理想的な値に近い結果が得られた。

研究成果の概要（英文）：Information lookup systems using Distributed Hash Table (DHT) have been actively studied. In the Chord DHT, nodes are configured as a ring structure and lookup requests are forwarded along with the ring. In order to get information efficiently, response time should be short. However, since Chord overlay network is constructed without considering the real network, the efficient lookup cannot be done. We have studied a method to reduce the response time by the rearrangement and replacement of the node ID of the Chord. From the simulation results, it is shown that the response time of the proposed method has approached an ideal value.

交付決定額

(金額単位：円)

| | 直接経費 | 間接経費 | 合計 |
|--------|-----------|---------|-----------|
| 2010年度 | 1,700,000 | 510,000 | 2,210,000 |
| 2011年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 2012年度 | 800,000 | 240,000 | 1,040,000 |
| 年度 | | | |
| 年度 | | | |
| 総計 | 3,300,000 | 990,000 | 4,290,000 |

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学、計算機システム・ネットワーク

キーワード：情報検索、分散ハッシュテーブル、Chord、P2P

1. 研究開始当初の背景

情報検索技術は、主にインターネットにおける文書検索を中心に発展してきており、その多くは過去に作成された情報の検索であった。検索システムのほとんどは集中システムによって構築され、大規模なサーバ群を要

する高価なシステムを構築する必要があった。しかし、これらのシステムにおいても、リアルタイムに更新されるような情報の検索は苦手としている。近年モバイル端末の普及により、端末に搭載されているセンサーによって取得される情報や、カメラ画像などの

情報をリアルタイムで効率良く検索するニーズが高まっている。

一方で、集中型の情報検索とは逆に分散型の情報検索技術が広まっている。Peer-to-Peer (P2P) ネットワークは、サーバを持たず自立的なネットワーク構成方法をとる情報検索・共有のためのネットワークである。P2P ネットワークにおける効率的な情報検索技術として、分散ハッシュテーブル (DHT) や Bloom フィルタが研究開発されてきた。DHT や Bloom フィルタは、情報が変化するとその変化を自分からインデックスサーバに通知する。検索する側は、インデックスサーバに問い合わせると変化した状態が即座に検知できるので、リアルタイムの情報を伝送するのに適している。また、大規模なサーバも必要としないため、構築しやすい。しかし、携帯端末のようなネットワークへの接続性が不安定なノードは、検索失敗が生じやすいという問題点があった。また、従来の DHT では物理的なネットワークの構成を考慮せずにノードを論理的なオーバーレイネットワークに配置することで検索負荷の分散をしてきたが、一方で検索応答時間に余分なオーバーヘッドが生じてしまう問題があった。

2. 研究の目的

本研究では、モバイルノードを対象とした分散ハッシュテーブル (DHT) という検索技術を提案し、この問題点を解決する。具体的には、従来の DHT において、携帯電話のようなモバイルノードが参加脱退をすることで生じていた検索失敗率を減少させる階層化 DHT 技術を実現し、リアルタイム情報検索システムを構築する。また、本研究のもう一つの特徴はいかに利用者に対して柔軟な検索を提供するかである。従来の DHT では範囲検索などの柔軟な検索が苦手である問題があった。それに対して、我々は Bloom フィルタと呼ばれる情報検索技術を用いて対処する。我々は、Bloom フィルタを木構造に構成することで、従来方法より管理情報を少なくして効率的な検索を提供する。また、従来の DHT が物理的なネットワークの構成を考慮せずにノードを配置することからオーバーヘッドを生じていたのに対して、ノードを論理的なネットワーク上で再配置することで、検索の応答時間を削減する方式を提案する。これらの研究によって、モバイル端末が柔軟で効率良く実時間の情報検索を可能にするシステムを開発する。

3. 研究の方法

初年度である 2010 年度は、階層型の分散ハッシュテーブル方式の評価と改良を行う。分散ハッシュテーブルの改良では、キャ

ッシュを用いたアクセス性能の向上方式を検討する。キャッシュはオーバーヘッドであるため、なるべく少ないキャッシュで性能を向上させる方式を研究した。

2011 年度では、Bloom フィルタを用いた情報検索アルゴリズムを検討した。特に、B 木構造に基づく Bloom フィルタを提案し、その検索の効率化アルゴリズムを考案し評価した。提案方式では、Bloom フィルタの類似性に注目して、B 木における類似度の高い位置に Bloom フィルタを配置する方法、Bloom フィルタに順序性を導入して、順序性に応じた位置に Bloom フィルタを配置する方法を導入した。

2012 年度では、分散ハッシュテーブル Chord において、動的に論理ネットワークにおけるノードの位置を物理ネットワークにおける近さの情報を使って再配置する方法を考案し、評価した。

4. 研究成果

(1) DHT の経路上へのキャッシュによるアクセスの効率化

分散ハッシュテーブルでは、キャッシュによるアクセス効率化が研究されている。しかし、キャッシュはオーバーヘッドであるために、むやみにキャッシュを保持することはできない。また、キャッシュを作成したり削除するために、特定のノードが集中管理をしたりすることは仮定できない。従って、本研究では各ノードが自律的に負荷を検知して、キャッシュを作成し、一定時間経過するとキャッシュを自律的に削除する方式を提案する。また、キャッシュは、アクセスが成功すると、ある確率でその検索経路上の隣接ノードに作成される。これは、同じ経路を通過して多くのノードからの検索要求が転送されてくることを考慮したものである。また、キャッシュは一定時間経過すると自動的に削除される。これは、アクセス頻度が高いデータについては、キャッシュが長時間多くの場所に保持されるが、アクセス頻度が低いデータについては、キャッシュはほとんど作成されず、確率的に作成されることがあっても、継続的に維持されることがない。従って、必要な場所に必要なだけキャッシュが配置される方式となる。

この提案方式の有効性を評価するために、シミュレーション評価を実施した。シミュレーションの条件は、検索要求の総発生数は 100,000 回、ノード数は 128, 256, 512, 1024、タイムリミット (キャッシュの有効期間) を 0, 10, 100, 1000, 10000 タイムユニットとし、検索対象のデータ数を 100 とした。データに対する検索数は、Zipf の法則に従って、偏りのあるものとした。比較対象は、隣接ノードに 100% の確率でキャッシュを作成する方式

である。

図1は、ノード数128のときの、キャッシュの有効期間と検索ホップ数の関係を示したグラフである。提案方式では、キャッシュの有効期間が増えるに従って、負荷の高いデータのキャッシュが増えることから、総ホップ数は大きく削減できている。一方で、平均キャッシュ数は、有効期間が増えるとキャッシュ量が増えるために、大きくなっている。しかし、有効期間が100の場合、総ホップ数の値も比較対象より小さく、平均キャッシュ数についても比較対象を大きく下回っていることが分かる。従って、適切な有効期間を選択することで、キャッシュの容量を少なく、しかも検索速度の速い方法となることが分かった。

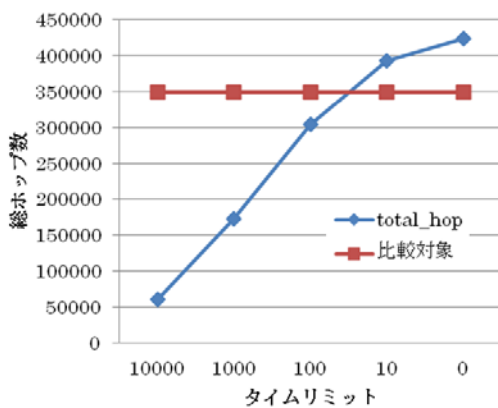


図1 キャッシュの有効期間対総ホップ数 (ノード数128)

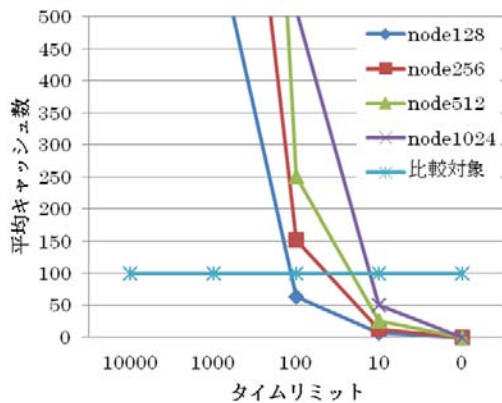


図2 キャッシュの有効期間対平均キャッシュ数

(2) B木構造に基づく Bloom フィルタによる情報検索

B木構造に基づく Bloom フィルタの方式では、ノードを配置する方法としてノード ID に基づいて配置する方法をとっている。しかし、この方法では情報検索時に擬陽性発生率が高くなり検索効率が悪くなることや、木構造へのノード参加・脱退時に中間ノードが持

つ Bloom フィルタの再構築回数が多くなってしまふ。そこで、本研究では m 分木の B 木に基づく Bloom フィルタにおいて、情報検索の効率化と木構造へのノード参加・脱退時に発生する Bloom フィルタの結合処理を削減する方法として、ノードが持つ Bloom フィルタの類似性に着目して B 木構造を構成する方式を提案した。その結果、従来研究と比べ、情報検索の効率化と木構造へのノード参加・脱退時に発生する Bloom フィルタの結合処理を削減できることが確認できた。さらに、Bloom フィルタのサイズ、bit の立て方などの Bloom フィルタの作成方法による B 木構造への影響を詳細に評価した。また B 木構造に基づく Bloom フィルタにおけるフィルタの特性に応じた性能をシミュレーションにて評価を行い、検索効率がさらに向上するように Bloom フィルタの順序性にも着目して B 木構造を構成する方式を提案する。

以下のシミュレーション条件で、提案方式と従来方式との比較評価を行った。比較するのは、Bloom フィルタを追加削除するときの再構築回数、そして検索するときの検索要求の伝搬数である。どちらも Bloom フィルタを管理するオーバーヘッドであり、なるべく少ない方が性能が良い。

| | |
|------------------|----------------------------|
| 木の分岐数 | 5 |
| ノード数 | 10000 |
| 検索回数 | 1000 回 |
| 参加・脱退回数 | 2000 回、2000 回 |
| Bloom フィルタ長 | 64bit、128bit、256bit、512bit |
| ハッシュ関数の数 (bit 数) | 3 |

表1 シミュレーション条件

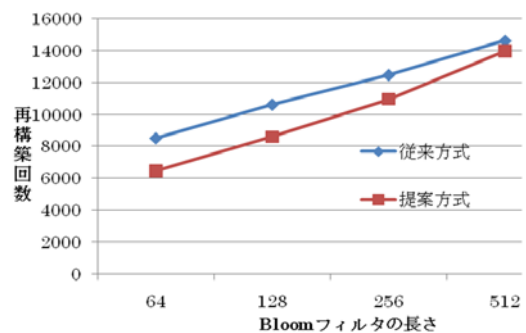


図3 Bloom フィルタの再構築回数

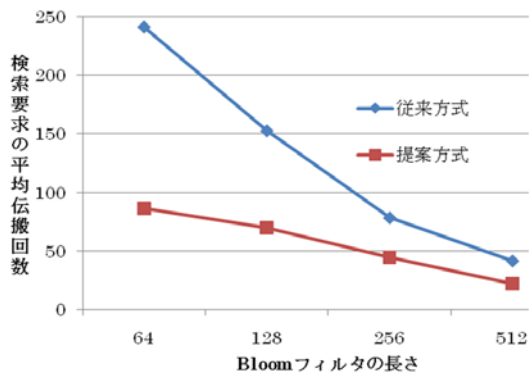


図4 検索要求の平均伝搬回数

シミュレーションの評価結果から、本研究で提案した方式では、オーバーヘッドを削減するのに有効であることがわかる。

(3) Chordにおける動的なノード再配置による応答時間の削減

次に、DHTの一つであるChordにおける応答時間の改良に関する研究方法について述べる。Chordでは、情報検索用の論理ネットワークの構成は物理的なネットワーク構造とは無関係に構築される。しかし、モバイル端末のように通信能力が必ずしも高くない端末が検索経路に含まれていると、応答時間は長くなってしまふ。従来研究では、論理ネットワーク構成時に実ネットワークの状況を反映させていた。しかし、一度構築した構成は、ネットワークの状態が変化しても変更されなかった。本研究ではネットワークの状況が変化した場合でも、動的に構成を変更し、最適な構成に近づけることを目的とする。

本研究では、Chordにおける論理ネットワークは、実ネットワーク上で近いノードが論理ネットワーク上でも近い位置に配置されることで、検索効率の向上が確認している。これを参考にし、論理ネットワークが利用されている最中に適宜ノードIDを変更していくことで、実ネットワーク上で近いノードを論理ネットワークでも近い位置に配置することが可能となる。処理は全て各ノードが自律的に行う。以下に3つの方式を提案する。

提案手法1では、各ノードが行っている情報検索要求を利用し、検索するノードが自分に近いノード(Targetノード)を発見する方法をとる。発見後、Targetノードに隣接した場合Chordリングが本当に改善されるのかの確認後、Targetノードの前後どちらかのノードとノードIDの交換を行う。

提案手法2では、提案手法1と同様に検索要求を利用して、Targetノードを発見する。提案手法1と違う点はノードIDをTargetノードの隣接するノードと交換するのではなく、TargetノードとTargetノードの後方に

隣接するノード(predecessor)との間に割って入るノードIDを新たに付与することで、Targetノードに隣接することを実現する。

提案手法3はこれまでと違い検索要求ではなくフィンガーテーブル(Chordで用いている検索要求を転送するための経路表)を利用してTargetノードを発見する。フィンガーテーブルを参照しテーブル全てのノードとの遅延を計測する。Targetノード発見後の処理は提案手法2と同様である。フィンガーテーブルを利用してノードIDの変更処理はネットワーク参加時と、携帯端末が移動することによってIPアドレスが変更された場合に発生する。

これらの手順を、オーバーレイネットワークが動作している状態で繰り返し行うことで、実ネットワーク上で近いノードを発見することができ、交換後にオーバーレイネットワーク上でも近いノード配置に変更されていくと考えられる。

本研究の有効性を評価するために、以下の条件でシミュレーションを行った。

- ・ノード数：1000台。
- ・実ネットワークのトポロジーはトポロジー生成ツールGT-ITMのTSモデルを使用した。
- ・移動するノードの割合を10%~90%まで10%刻みで増加させた。また、移動する頻度はシミュレーション中に約1回移動する。
- ・各ノード約50回の検索をし、検索1回の平均遅延時間を算出した。

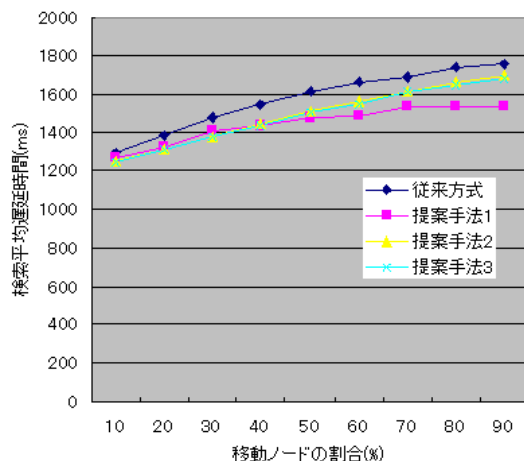


図5 従来方式との平均遅延時間の比較

図5より、従来方式にくらべていずれの提案方式も検索応答時間を改善していることがわかる。提案方式1は、移動ノードの割合が高いとき、最も性能が良い。しかし、オーバーヘッドも大きい方式であるため、アクセス頻度を考慮して方式を選択する必要がある。

(4) 研究成果のまとめ

本研究では、モバイル端末による生成され

た情報を検索するための効率的な情報検索アルゴリズムの研究を実施した。一つは、キャッシュを用いたDHTのアクセス効率の改善であり、従来のキャッシュ管理に比べて低コストで検索ホップ数の少ない効率的な方式を提案し、有効性を確認した。二つ目は、Bloomフィルタ方式の情報検索アルゴリズムに対して、モバイル端末によって参加脱退が起きる際のコストを削減し、無駄な検索要求の拡散を防ぐ方式を提案し、その有効性をシミュレーションによって明らかにした。最後は、DHTの論理ネットワーク上の位置を物理ネットワークでのノード間の近さに応じて再構成するアルゴリズムを提案し、その有効性をシミュレーションによって確認した。

これらの研究成果を利用することで、モバイル端末が存在する情報検索システムにおいても、低コストで効率的に情報検索が可能となる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計7件)

- ① Toyoda, S., Sato, F.: "Dynamic Change Method of Cluster Size in WSN," Seventh International Conference on Broadband, Wireless Computing, Communication and Applications (BWCCA), pp. 20-27 (2012. 11). (査読有り)
- ② Shimano, Y. and Sato, F.: "Dynamic Reconfiguration of Chord Ring Based on Physical Network and Finger Table Information," The International Conference on Network-Based Information Systems 2012(NBiS2012), pp. 66-73(2012. 9). (査読有り)
- ③ Toyoda, S., Sato, F.: "Stepwise Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks," International Workshop on Informatics 2012(IWIN2012), pp. 38-45 (2012. 9). (査読有り)
- ④ Toyoda, S., Sato, F., "Energy-Effective Clustering Algorithm Based on Adjacent Nodes and Residual Electric Power in Wireless Sensor Networks," 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops (WAINA), pp. 601-606, (2012. 3). (査読有り)
- ⑤ Y. Shimano and F. Sato : "Reconfiguration of Chord Ring Based on Communication Delay for Lookup Performance Improvement," The International Conference on

Network-Based Information Systems 2011(NBiS2011), pp. 236-242 (2011. 9). (査読有り)

- ⑥ Y. Sato, F. Sato, T. Higuchi, M. Murakawa, H. Matsushima, and T. Amatsu: "Robust Transmission Method in KHz-band PLC," IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC2011), pp. 124-129(2011. 4). (査読有り)
- ⑦ F. Sato and H. Sakuma: "Evaluation of the Structured Bloom Filters Based on Similarity," IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications 2011(AINA2011), pp. 316-323(2011. 3). (査読有り)

〔学会発表〕(計7件)

- ① 佐久間洋、佐藤文明: "B木構造に基づくBloomフィルタにおけるフィルタの特性に応じた性能評価"、情報処理学会DPSワークショップ2011, 十和田市(青森県)(2011. 10. 7).
- ② 嶋野裕太、佐藤文明: "DHTネットワーク上のID交換による検索時間削減方式の提案"、情報処理学会DPSワークショップ2011, 十和田市(青森県)(2011. 10. 7).
- ③ 豊田慎之介、佐藤文明: "無線センサネットワークにおける隣接ノード集合と残存電力量を考慮した省電力クラスタリング方式の提案と評価"、情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム2011, 宮津市(京都府)(2011. 7. 8).
- ④ 堺 竜太郎, 唐笠 良太, 佐藤 文明: "B木構造に基づくBloomフィルタ検索システムの実装と評価" 情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム2011, 宮津市(京都府)(2011. 7. 7).
- ⑤ 佐藤文明: "Bloomフィルタに基づく柔軟な情報検索方式"、情報処理学会マルチメディア、分散、協調とモバイルシンポジウム2011, 宮津市(京都府)(2011. 7. 7). (招待講演)
- ⑥ 豊田慎之介、佐藤文明: "隣接ノード集合と残存電力量を考慮したセンサネットワーク・クラスタリング方式の提案"、情報処理学会MBL研究会, 東邦大学(千葉県)(2011. 3. 8).
- ⑦ 唐笠良太、佐藤文明: "遅延時間を考慮した木構造Bloomフィルタによる分散型情報検索方式の提案"、情報処理学会MBL研究会, 東邦大学(千葉県)(2011. 3. 7).

〔図書〕（計2件）

- ① 佐藤文明、斎藤稔、石原進、渡辺尚：シミュレーション、共立出版、ps.191、2012.
- ② 佐藤文明、村山優子、菅沼拓夫、岡部寿男、渡辺尚、宇田隆哉、杉浦茂樹：情報ネットワーク、共立出版、ps.243、2011.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 文明 (SATO FUMIAKI)
東邦大学・理学部・教授
研究者番号：40273164

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし