

## 無線通信環境での Bloom Filter を用いた分散データ管理手法

佐々木健吾 † 杉浦慎哉 † 高梨昌樹 † 牧戸知史 † 鈴木徳祥 †

†株式会社 豊田中央研究所

### 1 背景・目的

現在、我々はノード間の無線通信を用いて特定の情報保持エリア内にデータを保持するために、2 階層の DHT[1, 2] を用いた分散データベース (DB) を検討している。

2 階層 DHT では、情報保持エリアをグループに分割し、各グループに対して管理するデータを決定し、その次にグループ内のどのノードでデータを管理するか決定する。各グループの ID と同一グループに存在するノードの ID が分かれば、データのルーティングが可能であるため、ルーティングテーブル管理コストを抑制できる。しかし、従来の 2 階層 DHT ではデータを管理するために使用するグループ ID が固定される。図 1 のように、ノードがグループ間を移動すると、グループにデータを残そうとするため、多くのデータ通信が発生する。

そこで我々は、グループ ID の生成に Bloom Filter (BF)[3] を用いることで、グループ内のノード情報を反映させてグループ ID を構成し、そのグループ ID を用いてデータを管理する手法を提案する。これによりグループ間移動時にデータ通信を抑制する 2 階層 DHT が実現されることを示す。

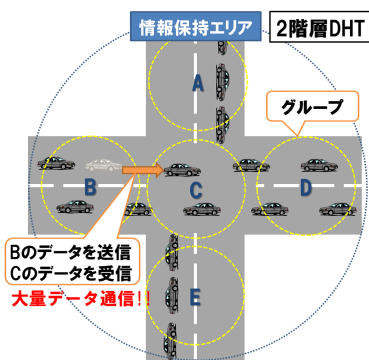


図 1: 2 階層 DHT

### 2 提案手法

本提案手法では、グループ内の全ノード ID を書き込んだ BF をグループ ID とする。各グループの BF は全て False のビット列に対して、ノード ID のハッシュ

値を用いてビット列中の書き込む位置を決定し、そのビットを True にすることで作成する。

各ノードは構成したグループ ID を用いてデータを管理するグループを一意に決定する。まず、データの ID からハッシュ関数を用いてデータ毎に固有のランダムパターンを生成する。ランダムパターンを用いてグループ ID のビットの並び替えを行い、それを数値として評価したものを評価値とし、評価値が最も大きいグループをデータ管理グループとする。このとき、各ノードはデータ管理するグループが自身が所属するグループである場合、グループ内でデータを管理するノードを決定する。グループ内ノードの ID 毎に BF を生成し、管理グループ決定手法と同様の手順で評価値を算出し、評価値が最大になるノードがデータを管理する。

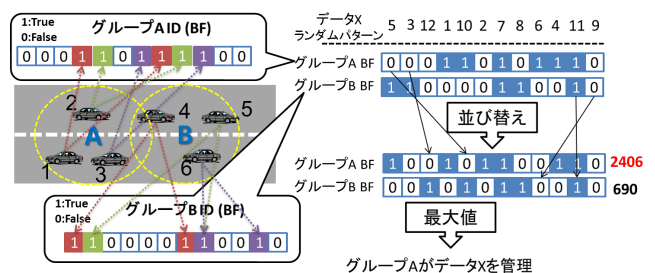


図 2: 提案手法

図 2 に提案手法の例を示す。ノード 1 の ID から導かれる 2 つのハッシュ値が 4 と 8 となり、同様にノード 2 は 5, 9 に、ノード 3 は 7, 10 になる場合、それらの位置のビットを True にすることでグループ A の BF を構成する。グループ B についても同様に BF を構成する。グループ A と B の BF をデータ X のランダムパターンから並び替えて数値として評価すると、グループ A が 2406、グループ B が 690 となりグループ A がデータ X を管理する。

グループ間をノードが移動する場合、そのノードが管理しているデータにとって、評価値の小さいグループへ移動することになるため、グループ ID が固定される従来手法では、評価値の大きいグループでデータを管理しようと多くのデータ通信を発生させる。一方で、提案手法では移動ノードの ID が反映されたグループ ID に更新されるため、移動先グループの評価値が最大になる可能性が高くなる。これにより、管理変更のためのグループ間データ通信の抑制が期待できる。ま

†Kengo SASAKI †Shinya SUGIURA †Masaki TAKANASHI  
 †Satoshi MAKIDO †Noriyoshi SUZUKI  
 †TOYOTA Central R&D Labs., Inc.

た、移動先グループ内のノードへの割り当てについても、データを保持するノードの評価値が最大になる可能性が高くなる。このことにより結果として同一のノードにデータを保持したままグループ間を移動することになり、グループ間移動に伴うデータ通信の抑制が期待できる。

### 3 シミュレーション

提案手法の効果を確認するため、計算機シミュレーションにより評価を行った。図3のような横一列にグループが並んだ環境で、隣接するグループ間でノードが2ずつ入れ替わるものとした。全ノード数は102でグループ数は6、全グループにノードは均等な数配置され、6つのグループで1000のデータを管理する。1ノードがBFに書き込むビット数は2とした。

このとき、グループ間のノードの入れ替わりによって発生する通信ホップ数、グループ間移動データ数を調査する。通信ホップ数とは、エリア内のデータを管理すべきノードにデータを転送するために行う通信回数であり、グループ間移動データ数とは、ノードがグループ間を移動するときに通信を行わずに持ち出したデータ数である。

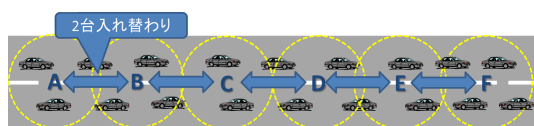


図3: シミュレーション環境

#### 3.1 通信ホップ数

図4にBFのサイズの変化に対する通信ホップ数の変化を示す。横軸がBFのサイズで、縦軸が通信ホップ数である。グループIDを固定する従来手法と比べて、BFのサイズが50byteを超えると通信ホップ数が50%、80byteで25%と200byteで12.5%となり、2階層DHTと比べて通信ホップ数が大きく減少することが確認できる。

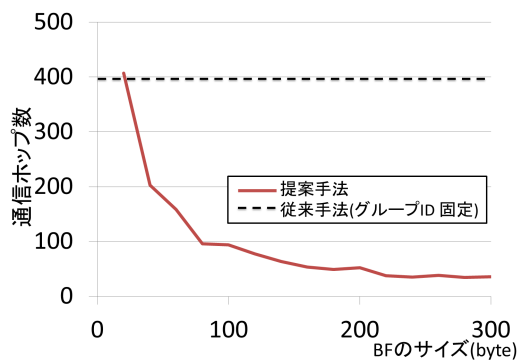


図4: 通信ホップ数

#### 3.2 グループ間移動データ数

図5にBFのサイズの変化に対するグループ間移動データ数の変化を示す。横軸がBFのサイズで、縦軸がデータ数である。BFのサイズが80byteを超えると、グループ間移動ノードは平均所持データ数とほぼ同数のデータを通信することなく持ち運ぶ。このことから、ノードのグループ間移動によってデータの管理グループが適切に変更され、同一のノードがデータを管理していることが確認できる。

以上、2つのシミュレーション結果から、ノードのグループ間移動時に発生する通信を抑制可能と考えられる。

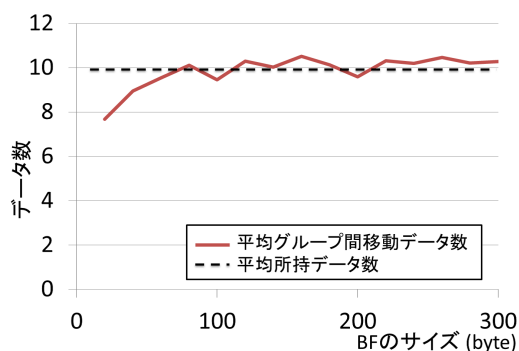


図5: グループ間移動データ数

### 4 まとめと今後の課題

今回、特定の情報保持エリア内でデータを保持する分散データベースを実現するために、グループ間をノードが移動するときのデータ通信を抑制可能な2階層DHTを提案し、シミュレーションから、提案手法を用いることでグループ間のノードの移動によるデータ通信を十分低く抑えることが可能であることを示した。

今後はBFを用いてグループIDを可変にしたことにより生じるグループID更新の通信と、データの誤ったルーティングについて評価・対策を行う。

#### 参考文献

- [1] Thomas Zahn and Jochen Schiller. MADPastry: a DHT Substrate for Practicably Sized MANETs. ASWN, 2005.
- [2] I. Gupta, K. Birman, P. Linga, A. Demers, and R. van Renesse. Kelips: building an efficient and stable p2p dht through increased memory and background overhead. IPTPS, 2003.
- [3] B.Bloom. Space/time trade-offs in hash coding with allowable errors. *Communication of the ACM*, 1970.