

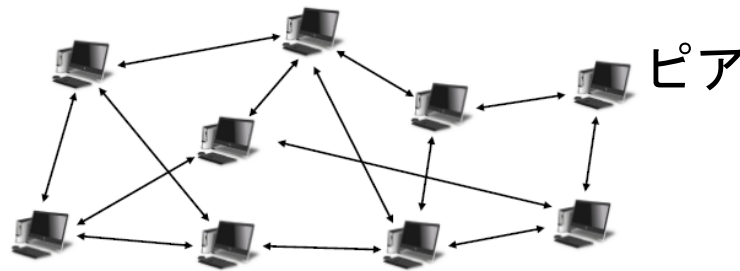
IPFSにおける経路キャッシュとピンング を用いた経路探索遅延の低減

NS研究会
2026年3月4日

立命館大学 情報理工学部
福岡佳奈 上山 憲昭

IPFS (InterPlanetary File System)

- IPFS (InterPlanetary File System)
 - P2Pネットワーク上で、自律的にデータを分散して保存・配布
 - 中央のサーバを持たず、耐障害性・可用性が高い
 - 各ピアに重複なく一意な識別子(PID)を付与
 - 各ピア(ノード)がコンテンツを保持し、CIDでコンテンツを識別
 - 各ピアが自律的に通信、コンテンツを取得



- コンテンツ探索
 - DHT探索によってCIDに対応するピアを発見
 - ネットワーク全体で効率的にルーティング

DHT (distributed hash table)

■ DHT

- 分散型ハッシュテーブル
- コンテンツのキー(CID)→ピア(PID)の対応を分散して保持
- 各ピアが一部のキーとノード情報を管理

■ Kademlia

- DHTの一種
- IPFSはKademliaの拡張機能

■ DHTウォーク

- IPFSでのPUT操作とGET操作において行われる探索
 - PUT操作…コンテンツのアップロード
 - GET操作…コンテンツの取得
- $O(\log N)$ ステップでノードを探索可能

IPFSのピンニング

■ ピンニング

- IPFS上で特定のコンテンツをノードに永続的に保持
 - GC(garbage collection)による使用頻度の低いコンテンツの削除からコンテンツを保護

■ ピンニングの方法

- 自身のIPFSノードでピンニング
- IPFSピンニングサービスを利用
 - 専用のIPFSノード群を運用
 - 料金を支払うことでコンテンツ固定

■ 料金を支払うことでストレージを提供

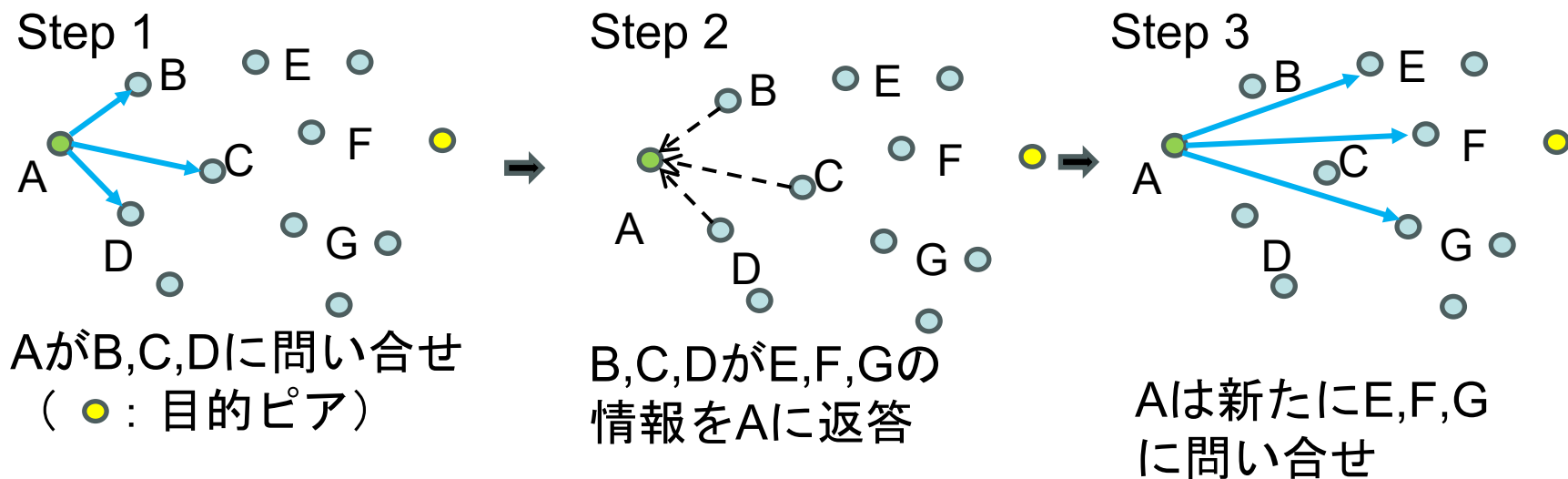
IPFSのコンテンツ取得の流れ(1)

- CIDのPR(Provider Record)情報を複数のピアに配布
 - PR情報: 各コンテンツを保持するピアの情報(PID, IPアドレス)
- PR情報が配布されるピアの選択
 - DHTウォークでピアを探索
 - 配布されるPR情報のCIDと, XOR距離が近いPIDを持つピアを20個選出
 - 選出されたピアにPR情報を配布

XOR距離が近いピアに問い合わせることで、
目的データの保有ピアを発見できる可能性が向上

IPFSのコンテンツ取得の流れ(2)

- IPFSはDHTを用いてPUTとGETの対象ピアを選択
- GET: ユーザがIPFSからデータを取得する処理
 - $\alpha = 3$ 個の, CIDに最もXOR距離が近いピアをルーティングテーブルから選択して, 最初に問い合わせ
 - 回答結果の中から, さらにXOR距離が近いピアに問い合わせ
 - 問い合わせを反復し, 目的データを保有するピアを発見
 - 見つからない場合もあり



課題

- ピア選択時に, ピアの物理的な位置を非考慮
 - CIDとXOR距離が近いPIDのピアを選択
 - 各ピアが存在する位置が考慮されない⇒ 配信遅延の増大
- ピア数が増加するほど, DHT探索に要する遅延やピアの処理負荷が増大

本研究の目的

- 既存研究
 - P2P配信におけるDHTに関する様々なキャッシュ手法
→ IPFSに特化したDHT探索遅延低減のための
キャッシュ方式は未検討
- 本研究の目的
 - PR情報を探索経路上のピアにキャッシュ
→IPFSではノードの離脱が激しい→キャッシュが消滅
 - ピンク専用ピアが特定のCIDのPR情報を保持
→IPFSにおいて、キャッシュの効果を向上し、GET処理
に要する時間を効果的に低減

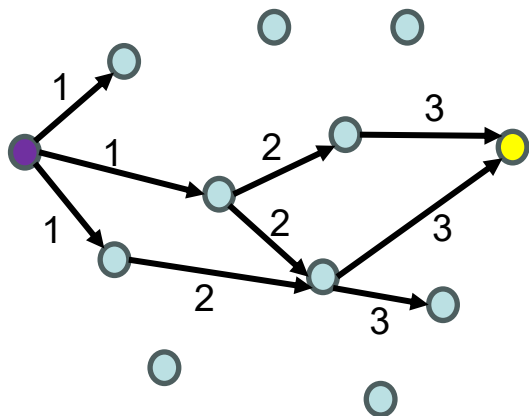
PR情報のキャッシュ機能(1)

■ キャッシュ機能

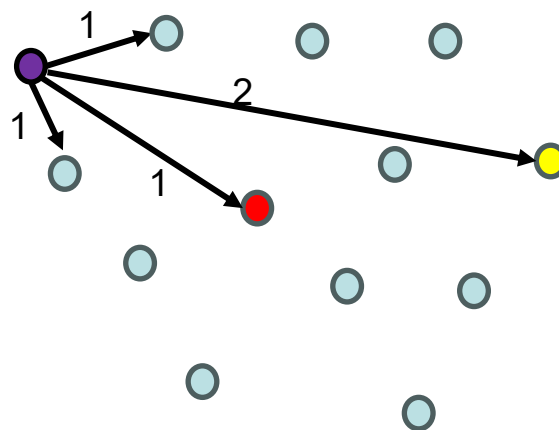
- DHT探索時に探索経路上のノード情報(PID, IP)を記録
- 発見されたPR情報(CID, PID, IP)を経路上の全ノードに通知
- 通知を受けたノードは取得した情報をキャッシュ

- 2回目以降, 同じCIDに対する要求受信時はキャッシュ情報を利用して探索をショートカット

PRキャッシュなし



PRキャッシュあり



- 要求ピア
- 目的ピア
- キャッシュあり
- キャッシュなし

PR情報のキャッシュ機能(2)

- 対象
 - 全コンテンツを対象
- 置換方法
 - LRU (Least Recently Used) 方式
 - キャッシュ容量が上限に達した際、最終参照時刻が最も古いデータから順に破棄

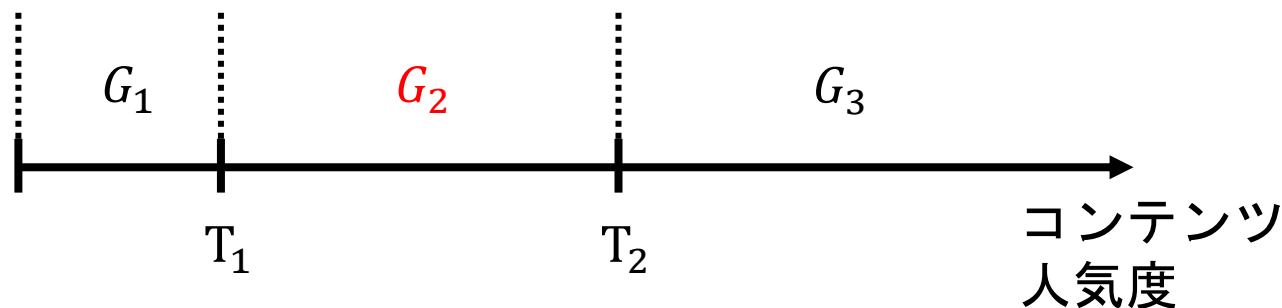
→頻繁にリクエストされるPR情報を優先的に保持

提案PRピンング機能（1）

- IPFSではピアの離脱が頻繁に発生
 - コンテンツの保持ピアが全てなくなると、取得できない
- 従来のピンング機能
 - IPFSで永続的にコンテンツを保持
 - コンテンツが取得できる割合を向上
- 提案手法
 - 従来のピンングとは異なり、PR情報をピンング
 - ピンングノード
 - IPFS上にランダムに配置
 - 常にオンライン

提案PRピンニング機能 (2)

- 人気順位 T_1 , T_2 を境に, CIDを3つのグループに分類
 - 第1層: 超人気コンテンツグループ G_1
 - 第2層: 準人気コンテンツグループ G_2
 - 第3層: 低人気コンテンツグループ G_3
- 第2層 G_2 のCIDのみ, PRのピンニング対象
 - G_1 : 多数のピアがPR情報をキャッシュ保持→ピンニング不要
 - G_2 : 要求数が多いがキャッシュにPR情報が残りにくい層
 - G_3 : 要求数が少ないので, PRピンニングの対象外



数値評価: 構成IPFS

- 一般ノード数: 10,000
- ピンニング専用ピア数: 1,000
- コンテンツ数: 10,000
- リクエスト数: 5,000
- 各ピアのキャッシュ容量: 20
- 各ピンニングの容量: 20
- ピアのオフライン率: 50%
- コンテンツの需要分布: パラメタ0.8のZipf分布
- $T_1 = 5$
- $T_2 = 205$

比較方式と評価項目

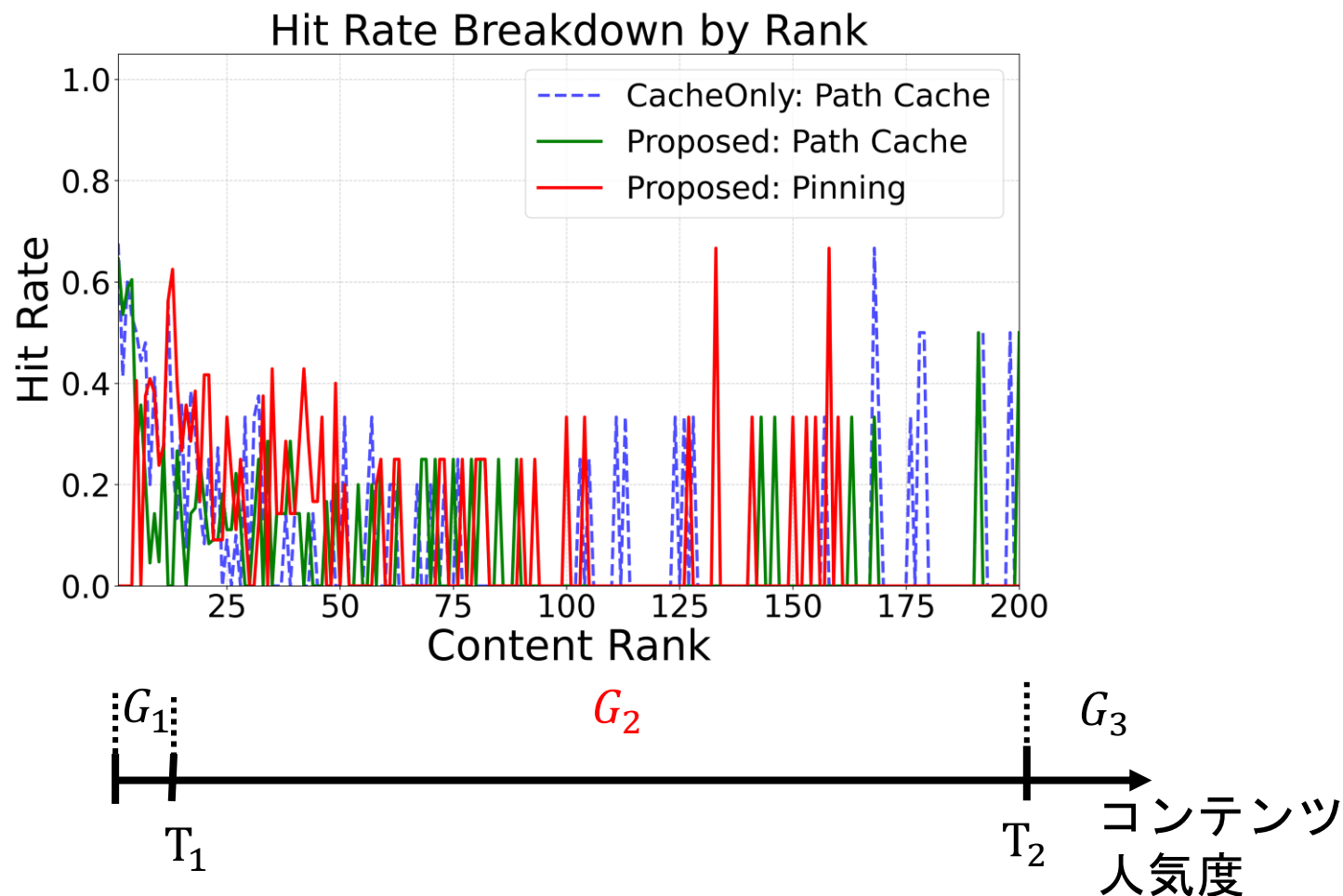
■ 比較方式

- 従来のIPFS
- 経路キャッシュ機能のみのIPFS
- 経路キャッシュ機能+ピンング機能のIPFS (提案方式)

■ 評価項目

- キャッシュヒット率
 - 経路キャッシュとピンングの各ヒット率
- 平均ホップ長

キャッシュヒット率



- 超人気コンテンツ: 経路キャッシュのみと同等のヒット率
- 準人気コンテンツ: 安定して高いヒット率を維持

平均ホップ長

■ 全体の平均ホップ長の比較

従来手法	キャッシュ	提案手法
5.23	4.99	4.75

■ 準人気コンテンツの平均ホップ長の比較

従来手法	キャッシュ	提案手法
5.49	4.85	4.22

- 提案手法は従来のIPFS, 経路キャッシュのみのIPFSと比較して, 平均ホップ長を低減
- 特にピンング対象層の平均ホップ長を大きく低減

まとめ・今後の予定

■ まとめ

- IPFSにおいて、経路情報のキャッシュとピンングを用いた、経路平均ホップ長の削減方式を提案
- 平均ホップ長の削減とキャッシュヒット率の向上を確認

■ 今後の予定

- 経路キャッシュとピンングによるネットワーク負荷の評価