

P2Pシステムにおけるクエリーの発信元を意識したクエリー転送方式

千葉大学 *大塚憲治 OHTSUKA Kenji
01207040 千葉大学 塩田茂雄 SHIODA Shigeo

1 はじめに

サーバーを全く必要としないピア P2P (Peer to Peer) システムでは、コンテンツ検索の際に検索メッセージ (クエリー) の逐次的なブロードキャスト (フラッディング) を行う。P2P ネットワークは今日注目を浴びているネットワークであるが、検索時の無駄なクエリーが多くネットワークに大きな負荷を与えてしまう側面を持つ。本稿では、各ピアがホップ数の制限されたダミッククエリーをフラッディングし、フラッディングの結果を元に近隣のピアが以後のクエリーの転送先を学習し自律分散的にクエリー転送テーブルを作成することで、P2P ネットワークにおけるクエリー数を削減する方式を提案する。また、本稿で提案する方式によりクエリー数を削減できることをシミュレーションによって示す。シミュレーションでは、Waxman のランダムグラフ [1] の場合と、Power-Law に従う BA グラフ [2] [3] の両方の場合についての考察を行う。

以下、本稿の構成を示す。2 章では単純なフラッディングアルゴリズムについて説明する。3 章では提案方式についての説明を行い、4 章にシミュレーションによる結果を示す。

2 フラッディングによるコンテンツ検索

P2P ネットワークにおいて最も単純なコンテンツ検索法はフラッディングである。フラッディングとは、クエリーを受け取った各ピアが、クエリーが送られてきたピア以外の隣接ピアに次々とクエリーをローカルブロードキャストするメッセージ伝達手法である。この手法では、各ピアは最短経路 (時間) で次々とクエリーを受信するため、コンテンツ検索に要する時間は最も短い。しかし、同一ピアが複数の経路からのクエリーを重複して受信するため、検索用トラフィックに無駄が多く、ネットワークが大規模になるにつれネットワークに大きな負荷を与えてしまうという側面を持つ。

n 個のピアと m 本のリンクから構成されるネットワークにおいて、あるピアを始点としてクエリーのフラッディングを行う場合、各ピアのリンク数を m_i とすると、1 回のフラッディングで行き交うクエリーの総数は、

$$Q = \sum_{i=1}^n (m_i - 1) + 1 = 2m - n + 1$$

となる。定数項として +1 が与えられるのは、ソースのピアは全ての隣接ピアに転送するためである。理想的な転送が行われた場合の最小限のクエリー数は、各ピアに 1 回ずつ届けられた場合であり、以下の式で与えられる。

$$Q_{min} = n - 1$$

以上より、単純なフラッディングにおいて発生する無駄なクエリー数は以下の通りである。

$$\begin{aligned} Q - Q_{min} &= (2m - n + 1) - (n - 1) \\ &= 2(m - n + 1) \end{aligned}$$

3 提案手法のアルゴリズム

本稿では、図 1 のように各ピアにあらかじめ ID が割り当てられている P2P ネットワークを想定する。また、クエリーは経路情報を書き込むフィールド持ち、クエリーの発信元 (クエリーソース) およびクエリーを受信した各ピアはクエリーに自分の ID を書き込んで次のピアに転送すると仮定する。本稿では、このような P2P ネットワークにおいて、単純なフラッディングの代わりに、各ピアが「クエリー転送テーブル」を保持し、転送テーブルに指示された隣接ノードのみにクエリーを転送する、新たなクエリー転送方式を提案する。

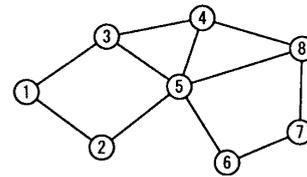


図1 P2P ネットワーク

3.1 クエリー転送テーブル

各ノードは、クエリーソースとクエリー転送先 (隣接ピア) との関係が書き込まれた「クエリー転送テーブル」を保持する。クエリーを受信したピアは、転送テーブルとクエリーに記されたクエリーソースを参照し、転送テーブル上で指示されたピアにクエリーを転送する。なお、転送テーブルのクエリーソースリストには、自分から見て n ホップ (n は固定値) 以内のピアのみが登録されているものとする。受信したクエリーのソースが n ホップ以内に存在しない場合は、クエリー転送経路上で自分から見て n ホップ目にあたるピアがクエリーソースであるとみなし、転送テーブルの指示に従ってクエリーを次のピアに転送する。例として、 $n = 2$ の場合のピア 5 の転送テーブルを図 2 に示す。

3.2 クエリー転送テーブルの構築手順

初期状態の各ピアの転送テーブルには、全ての隣接ノードが転送先として登録されている。この状態から、ホップ数が $n + 2$ に制限された「ダミッククエリー」を各ピアがフラッディングし、その結果に基づいて転送テーブルの内容を各ピアが自律分散的に修正する。なお、ダミッククエリーの転送は単純なフラッディングにより行い、転送テーブルは使用しない。

		クエリー転送先				
		2	3	4	6	8
クエリーソース	1	0	0	0	1	0
	2	0	0	1	1	1
	3	0	0	0	1	0
	4	1	0	0	1	0
	6	1	1	1	0	1
	7	1	0	0	1	0
	8	1	0	0	1	0

0:クエリーを転送しない
1:クエリーを転送する

図2 $n=2$ の場合のピア5の転送テーブル

転送テーブル構築手順の説明のため、図1のネットワークにおいて、 $n=2$ の場合にピア1がクエリーソースとなってダミークエリーをフラッディングした場合の結果を図3に示す。

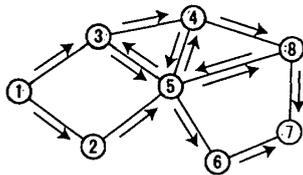


図3 ピア1からのフラッディング結果

例えば、ピア5はピア2から最初にダミークエリーを受信して、それをピア2以外の全ての隣接ピア（ピア3,4,6,8）にブロードキャストしたが、その後ピア3,4,8からも同じダミークエリーを受信し、いわゆるクエリーの衝突が発生している。これは、ピア3,4,8が、ピア5からのダミークエリーを受信する以前に、既に別のピアからダミークエリーを受信しているためであり、これらのピアにはピア5からのクエリーの転送の必要がないことを意味している。このように、ダミークエリーの衝突が発生したピアについては、転送先から削除する。ダミークエリーの衝突が発生したリンクを見かけ上削除した結果を図4に示す。図4よりクエリー転送の際の無駄が取り除かれたことがわかる。

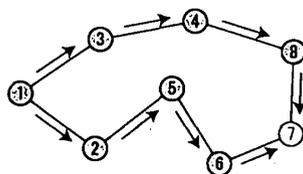


図4 クエリー衝突の発生したリンクを削除

ピア j におけるクエリー転送テーブルの構築・修正手順は以下のようにまとめられる。

1. ソースがピア i のダミークエリーをピア j から受信したピアは、ピア j 以外の全ての隣接ピアにダミークエリーをブロードキャストする。さらに、クエリー転送テーブルにおいて、クエリーソースがピア i の行のエントリを全て1にする。

2. 上記手順の後、クエリーソースがピア i からのダミークエリーをピア k ($j \neq k$) から受信した場合は、クエリー転送テーブルにおいて、クエリーソースがピア i の行のピア k のエントリを0に修正し、以後ピア k へのクエリーの転送は行わない。

4 シミュレーションによる数値結果

P2P ネットワーク全体にクエリーが行き渡るまでに送信されたクエリーの総数をシミュレーションにより評価した。シミュレーションでは、Power-Law トポロジーを持つ IP ネットワークを生成し、その上にランダムグラフおよび Power-Law トポロジーを持つ P2P ネットワークをそれぞれ構築して評価を行った。ピアは IP ネットワークの出線数が2以下のノードに1つずつ存在すると仮定した。なお、ランダムグラフの生成には文献 [1] の方法を、また Power-Law ネットワークの生成には文献 [3] の方法をそれぞれ利用した。シミュレーションに用いたネットワークの特徴を表1に示す。

表1 シミュレーションに用いたグラフ

Layer	IP	P2P	
		Waxman[1]	BA[3]
Generator	BA[3]	Waxman[1]	BA[3]
Nodes	2000	998	998
Links	3997	2994	2988

表2は、 $n=2$ の場合において、全ピアがダミークエリーのフラッディングを終了し、転送テーブルが完成している状態の下で、各ピアが自分が発信元のクエリーを1回ずつフラッディングし、その際に行き交うクエリーの総数の平均値を求めたものである。

表2 $n=2$ の場合の結果

P2P Layer	Waxman	BA
平均クエリー数	3601.612	2128.965
単純なフラッディングとの比	0.722	0.428

表2に示すように、提案手法によりクエリーを減少させることができる。特に、Power-Law に従うネットワークにおいて大きな効果を発揮し、 $n=2$ の場合では、単純なフラッディングに比べ、クエリー数を半数以上削減できることがわかった。

参考文献

- [1] B.M.Waxman, "Routing of multipoint connections," *IEEE Journal of Selected Areas in Communication*, Vol.6, No.9, pp.1617-1622, 1988.
- [2] M.Faloutsos, P.Faloutsos, and C.Faloutsos, "On power-law relationships of the Internet topology," *Proceedings of ACM SIGCOMM '99*, pp.251-262, 1999.
- [3] A.L.Barabasi and R.Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol.286, pp.251-262, 1999.