

P2P ストリーミング配信におけるノード離脱時の 品質低下軽減を目指した配信木構築法の提案

Reconstruction Method of Balanced Distribution-tree for P2P Streaming

山本 宙† 水谷 泰治‡ 深海 悟‡
Hiroshi Yamamoto Yasuharu Mizutani Satoru Fukami

1. はじめに

近年、P2P 型のストリーミング配信が注目されている [1,2,3,4]. P2P の技術を用いることで、配信サーバの負荷を分散し、スケーラブルな配信が可能となる。

一般に P2P 型の配信では、ノードの離脱によって、そのノードの下流に位置する全てのノードに配信の途切れが生じる。高品質な配信を実現するためには、このような途切れが生じるノードの総数および途切れの時間を削減することが重要である。そのためには、(1) ノード数の偏りが小さい配信木を構築すること、および (2) ノードの離脱時に下流ノードが迅速に代替親ノードに接続することが重要であると考えられる。なぜならば、偏りが大きい配信木では、配信の上流に位置するノードの離脱によって、より多くのノードに途切れが生じる可能性があるためである。また、代替親ノードへの迅速な接続は、途切れ時間の減少のつながるためである。

しかしながら、既存の配信木構築法には、(1) および (2) に関して問題がある。(1) に関しては、新たなノード n を配信木に追加する場合、既存手法では動的に変化する配信木の偏りを解消できない。多くの手法 [1,2,3,4] では、 n を追加するノードを検索する際、根ノードから再帰的に配信木を辿りながら、 n を接続できるノードを検索する。このとき、これらの手法は、再帰的な検索において (配信木の) 部分木をラウンドロビンによって選択する。したがって、部分木のノード数の偏りが考慮されず、その偏りを解消するようなノードの追加が行われないう可能性がある。また、(2) に関しては、ノードが離脱してから代替親ノードを検索するため、接続までに多くの時間を要するという点が問題である。

そこで本稿では、これらの問題の解決を目指し、偏りの小さい配信木の構築法および再接続法を提案する。

2. 提案する配信木の構築法

提案手法は次の 2 点からなる。

M1: 再帰的な検索において、部分木の総ノード数 (以下、総子孫数と呼ぶ) が最小となる子ノードを選択する。

M2: 親ノードの離脱に備え定期的に代替親ノードを検索する。

本節では、M1 と M2 の詳細について述べる。ここで以下のように記号を定義する。ノード n の親ノードを $P(n)$ と表す。さらに、 n の総子孫数を $R(n)$ と表す。

2.1 総子孫数を用いた配信木の均等化

提案手法が既存手法と異なる点は、1 節で述べた再帰的な検索においてノードの接続要求を子ノードへ転送する際、総子孫数が最小の子ノードを選択する点である。このように子ノードを選択することで、接続を要求したノードは総子孫数の少ない部分木に接続され、配信木におけるノード数の偏りを緩和する。

この選択方法を実現するために、提案手法では各ノードが自身の各子ノードの総子孫数を保持する。また、ノードが参加および離脱することで子ノードの総子孫数が変化した場合、その変化を根ノードおよび根までの全中間ノードに伝える。

2.2 代替親ノードの定期的検索

代替親ノードとは、あるノード n の親ノード $P(n)$ が離脱した時に、 n が $P(n)$ の代わりとして接続するノードである。一般に、ノード $P(n)$ の離脱を事前に予測することは容易ではない。さらに、途切れ時間の多くが代替親ノードの検索時間であると考えられる。そこで、提案手法では、親ノードの離脱に備えて各ノードが定期的に代替親ノードを検索しておく。これにより、親ノードが離脱した時に代替親ノードの検索を省略できる。

代替親ノードは、2.1 節で述べた手法を用いて配信木の根から検索する。ここで検索される代替親ノードは、総子孫数が最小の子ノードを選択する。そして、検索結果を親ノードの離脱に備え保持しておく。この結果の信頼性は、時間の経過とともに減少していくので一定時間の間隔で代替親ノードの検索を繰り返す。

3. 評価実験

本章では、シミュレーションによって提案手法を評価した結果を示す。

3.1 シミュレーションによる評価

本実験では、提案手法および既存手法をシミュレーションによって比較する。ここで、既存手法は、配信木の再帰的な検索において子ノードをラウンドロビンによって選択するものとした。

本実験では、4000 秒間の配信をシミュレートした。シミュレーションにおいて動作させたノード数は 200 とし、各ノードをランダムに配信木に参加させた。また、ノードが参加してから離脱するまでの時間は 10 秒から 4000 秒までの一様乱数とした。また、ノード毎に最大接続子数を 1 から 3 までの一様乱数とした。

評価指標として、配信木における各層の総子孫数の分散、および配信木全体における総途切れ時間 T を用いた。 T は以下の式によって表す。

†大阪工業大学 大学院情報科学研究科

‡大阪工業大学 情報科学部

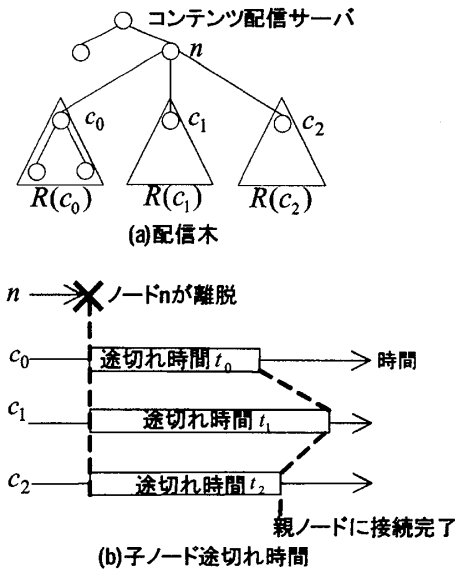


図1 ノードの離脱に伴う配信の途切れの例

$$T = \sum_{i=0} t_i R(n_i)$$

T の値が小さいほど、配信木全体としての途切れが少ないことを表す。ここで、 n_i はシミュレーションの開始から親ノードの離脱を検知した i 番目のノードであり、 t_i は n_i の途切れ時間を表す。図1に、ノードの離脱に伴う配信の途切れ時間の例を示す。この例では、図1(a)のような配信木を考える。ここで、 c_0 、 c_1 、および c_2 はノード n の子ノードである。ある時刻に、ノード n が離脱した場合、図1(b)に示すように、 n の子ノードに配信の途切れが生じる。この途切れは、各子ノードが代替親ノードに接続するまで続く。この間、各子ノード $c_j (0 \leq j \leq 2)$ の下流に位置する $R(c_j)$ 個のノードは、 c_j と同じ時間だけ配信が途切れる。これら全てのノードの途切れ時間の合計を、全て i について足し合わせたものが T である。

3.2 実験結果

表1に、4000秒のシミュレーションが終了した時点での、配信木における各層の総子孫数の分散を示す。表1より、提案手法の分散値が既存手法より低いことがわかる。すなわち、提案手法は既存手法より配信木の偏りが小さいといえる。これは、提案手法では総子孫数の小さいノードを再接続先と選択したためであると考えられる。特に、既存手法での配信木の最も浅い部分での分散が大きいことから、浅い部分での総子孫数の均等化が配信木の均等化に重要な影響を与えることがわかる。

表2に平均途切れ時間と評価式 T の値を示す。表2より、提案手法の平均途切れ時間は、既存手法と比べて半分になっていることが判る。これは、既存手法ではノードが離脱してから代替親ノードを検索するのに対し、提案手法では定期的に代替親ノードを検索しておくことで検索処理を省略できたためである。また、表2より、提案手法の T は、既存手法の半分以下であることが判る。これは、提案手法

表1 配信木の各層における総子孫数の分散

配信木の深さ	既存手法	提案手法
1	169	0.25
2	36.2	0.18
3	2.18	0.23
4	1.48	0.21
5	0.21	0.04
6	0.00	0.00

表2 平均途切れ時間と評価式 T の値

	既存手法	提案手法
平均途切れ時間 (ms)	74.04	36.04
評価式 T	45678	22607

の配信木の均等化と、定期的に代替親ノードを検索し、親ノードの離脱に備えたためであることが考えられる。

4. まとめ

本稿では、P2P ネットワークにおいて総子孫数に注目し、総子孫数の小さいノードを再接続先と選択することで、配信木の均等化と、親ノードの離脱に備え、定期的に代替親ノードを検索することで配信の品質低下を軽減する手法を提案した。さらに、シミュレーションを通して品質の改善を確認することができた。

今後の課題として、提案手法のより詳細な評価と、シミュレータ上により現実的なネットワークの再現し評価することがあげられる。

参考文献

- [1] 笹部昌弘, 若宮直紀, 村田正幸, 宮原秀夫: P2P ネットワークにおけるスケーラブルなメディアストリーミング機構, 電子情報通信学会技術研究報告 NS2003-101, pp.71-76 (2003).
- [2] Tran, D. A., Hua, K. A. and Do, T.: ZIGZAG: An Efficient Peer-to-peer Scheme for Media Streaming, Proc. 22nd Annual Joint Conf. of the IEEE Computer and Communications Societies (IEEE INFOCOM 2003), pp.1283-1292 (2003).
- [3] Kunichika, Y., Katto, J. and Okubo, S.: Application Layer Multicast with Proactive Route Maintenance over Redundant Overlay Trees, Proc. 5th Pacific-Rim Conf. on Multimedia (PCM 2004), pp. 306-313 (2004).
- [4] Yang, M. and Fei, Z.: A Proactive Approach to Reconstructing Overlay Multicast Trees, Proc. 23rd Conf. of the IEEE Communications Society (IEEE INFOCOM 2004), pp. 2743-2753 (2004).