

小容量データ配信のための低遅延 P2P 配信木の予測手法の評価

高原誠[†] 田上敦士[‡] 阿野茂浩[‡] 鈴木健二[‡]
 電気通信大学大学院[†] (株) KDDI 研究所[‡]

1 はじめに

近年、為替情報や災害情報などの小容量な情報を多数のユーザに対して配信するシステムが求められている。これらの情報は、通知が遅れると情報の価値を損なう可能性があり、PUSH 型通信を用いて迅速に配信することが重要である。筆者等は先に、小容量データの低遅延配信において、クライアント・サーバ方式と P2P 方式の比較検討を行い、P2P 方式の方が優位である状況があることをシミュレーションにより導き出した[1][2]。本稿では、P2P 配信木モデルの妥当性を示すため、モデルによって導出される最適なトポロジと、実測により導出した最適なトポロジの比較、およびその時の総情報配信時間を評価したので報告する。

2 低遅延 P2P 配信木

2.1 小容量データ配信

対象とするデータ配信は、1つの配信ノードから多数の受信ノードへ小容量の配信することを想定する。配信ノードは予め、全受信ノードの情報を保持している。また、間欠的な配信を想定しているため、常時コネクションを張らず、情報送信時にコネクションを生成、終了時に切断する。

2.2 理論値の導出

本節では、1ノード当たりの子ノード数(分木数) $m(m \neq 1)$ を一定とした P2P 配信木を想定し、モデル化により、理論的な総情報配信時間 \hat{D} 、および \hat{D} を最小とする最適分木数 \hat{m} を導出する。本モデルではパラメタとして、ノード間での通信遅延時間であるリンク遅延 R 、あるノードに情報配信開始してから次ノードに情報配信開始するまでの時間である処理遅延 ΔT を用いる。 n を総受信ノード数、 h を配信木の深さとする、完全 m 分木の時(図1)、総情報配信時間 $\hat{D}(m)$ は次式で表される。

$$\hat{D}(m) = ((m-1) \times \Delta T + R) \times h \quad (1)$$

ただし、次式を満たす自然数 h の解があるものとする。

$$n = \sum_{i=1}^h m^i = \frac{m^{h+1} - 1}{m - 1} - 1$$

しかし実際は、総受信ノード数 n は、任意の値をとり、必ずしも完全 m 分木にはならない。そこで $\hat{D}(m)$ を一般化するために、深さ $h-1$ までは完全 m 分木、最終中継ノードの最大分木数が $k(k \leq m)$ とすると(図2)、総情報配信時間 $\hat{D}(m)$ は次式で表される。

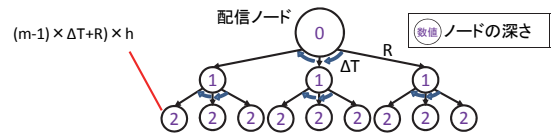


図1 完全 m 分木モデル ($m=3$)

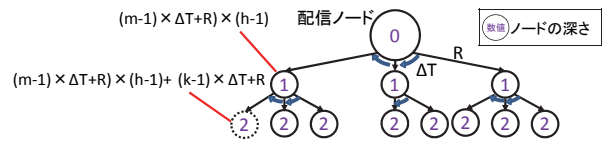


図2 採用する配信木モデル

$$\hat{D}(m) = ((m-1) \times \Delta T + R) \times (h-1) + (k-1) \times \Delta T + R \quad (2)$$

ただし、最終中継ノードの最大分木数 k は自然数であることから、

$$k = \left\lfloor \frac{n - \left\{ \frac{m^h - 1}{m - 1} - 1 \right\}}{m^{h-1}} \right\rfloor = \left\lfloor \frac{-m^h + mn + m - n}{m^h - m^{h-1}} \right\rfloor$$

が成り立つ。また、配信木の深さも自然数であることから、

$$h = \lceil \log_m \{ (m-1)(n+1) + 1 \} - 1 \rceil$$

となる。なお、 $\lceil x \rceil$ とは x 以上の最小の自然数を表す。これより、総情報配信時間 $\hat{D}(m)$ を最小とする理論最適分木数 \hat{m} は、次式で表される。

$$\hat{m} = \arg \min_{m \in \{2,3,4,\dots\}} \hat{D}(m) \quad (3)$$

3 実測値の導出

理論値との比較のために、総情報配信時間 $\hat{D}(m)$ を、様々な分木数 m で実測し、最適分木数 \hat{m} を導出した。実測は、LAN に接続されている 150 台の受信ノードと 1 台の配信ノードを用いて行った。パラメタは分木数を 2~12、送信データサイズを {10,20,30,40,50,60,80,100} KB とし、パラメタごとに 50 回実測した。実測結果は、値の小さな数値であるため、再送処理などで遅延が発生した場合、平均値が大きく変動する。そのため、0.5ms ごとの最頻値を用いた。

実測値の配信方法を図3に示す。予め、配信ノードは配信先となる受信ノードのアドレスリストを保持しておく。配信開始時、そのアドレスリストから中継ノードと

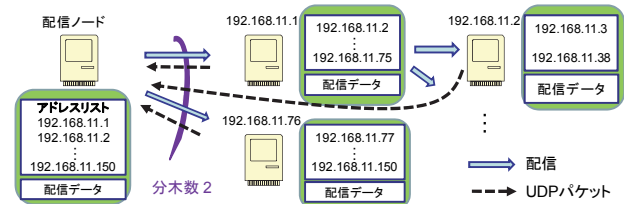


図3 実測値の測定方法

Evaluation on Prediction Method of Low-latency Distribution Tree for Small Volume Data Transfer over P2P

Makoto Takahara[†], Atsushi Tagami[‡], Shigehiro Ano[‡] and Kenji Suzuki[†]

[†]The University of Electro-Communications

[‡]KDDI R&D Laboratories Inc.

して分木数 m 個選び、残りのアドレスリストを m 等分して、中継ノードに配信データと一緒に配信する。中継ノードは同様に、配信先のアドレスリストが無くなるまで配信を続ける。データを受信したノードは、データを受信したことを示す UDP パケットを配信ノードに送信する。そして、配信ノードで配信開始時刻と各 UDP パケットが到着した時刻を計測する。

4 結果

理論値のパラメタであるリンク遅延 R と処理遅延 ΔT は、データサイズ毎に実測した値を用いた。 R は $m=5$ の時の測定開始から 1 番目の受信ノードからの UDP パケットを受信した時間の $1/2$, ΔT は $m=150$ の時の((最終 UDP パケットの計測時刻)-(最初の UDP パケットの計測時間))/149 とした。

実測値 $\hat{D}(m)$ は計測手法の関係上、配信ノードでの UDP パケットの受信時間であるため、理論総情報配信時間 \hat{D} を以下のように補正する。

$$\hat{D}'(m) = \hat{D}(m) + R \tag{4}$$

総受信ノード数 150 とした時における各送信データサイズの理論最適分木数 \hat{m} , 実測最適分木数 \hat{m} の比較を表 1, その時の理論的な最適総情報配信時間 $\hat{D}'(\hat{m})$ と実測の最適総情報配信時間 $\hat{D}(\hat{m})$ の比較を図 4 に示す。また、総受信ノード数を変化させた時における送信データサイズ 10KB, 50KB, 100KB の最適分木数の比較を表 2, その時の総情報配信時間の比較を図 5 に示す。

表 1 各送信データサイズの最適分木数 (総受信ノード数 150)

データサイズ[KB]	理論 \hat{m}	実測 \hat{m}
10	5,6	5~11
20	5,6	5~8
30	5,6	5,6
40	5,6	5,6
50	5,6	5,6
60	5,6	5,6
80	5,6	5,6
100	5,6	3,5

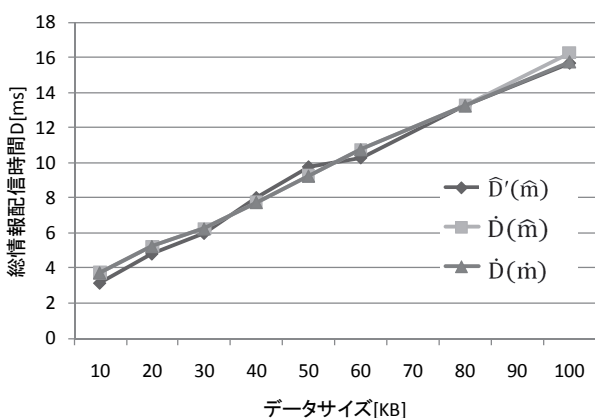


図 4 各送信データサイズの総情報配信時間 (総受信ノード数 150)

表 2 各総受信ノード数による最適分木数

ノード数	10KB		50KB		100KB	
	理論 \hat{m}	実測 \hat{m}	理論 \hat{m}	実測 \hat{m}	理論 \hat{m}	実測 \hat{m}
30	5,6	6~10	3	3~8	3	3,4
60	4	6~12	4	4,6	4	3,4,6
90	5	8,10	3	3~7	3	3
120	5	5~12	3	3,5,6	3	3,5
150	5,6	5~11	5,6	5,6	5,6	3,5

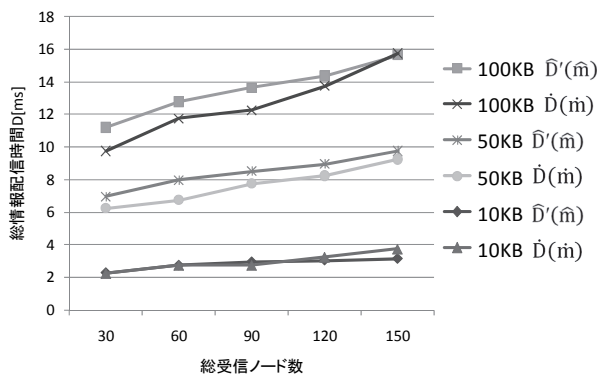


図 5 各総受信ノード数の総情報配信時間

5 考察

表 1 より、総受信ノード数 150 の時、理論的な最適分木数 \hat{m} と実測値の最適分木数 \hat{m} はほぼ一致し、モデルにより最適トポロジを導出できている事が分かる。また、その時の総情報配信時間の誤差は、図 4 より最大 0.6ms 程度と十分小さく、配信木モデルは妥当であると言える。

表 2 より、ノード数を変更した時、送信データサイズ 50KB, 100KB では、理論最適分木数 \hat{m} と実測最適分木数 \hat{m} が一致した。しかしながら、10KB では両者は異なっている。これはパラメタである R と ΔT の計測誤差が原因と思われる。10KB では、 $R=0.46\text{ms}$, $\Delta T=0.10\text{ms}$ と小さく、他データサイズよりパラメタ値の違いによる理論最適分木数 \hat{m} の変動が顕著となり、 \hat{m} と \hat{m} の差が生じたと思われる。

図 5 より、 $\hat{D}'(\hat{m})$, $\hat{D}(\hat{m})$ の誤差はデータサイズが大きくなるにつれ大きくなっているが、これもパラメタ値の計測誤差によるものと思われる。

6 まとめ

本稿では、小容量データを P2P 配信する時の最適分木数を導出する手法について示し、実際に 150 台の受信ノードにより、網羅的に測定した値と比較することで評価した。今後は、総情報配信時間の補正、分木数によらず一定値としたリンク遅延 R , 処理遅延 ΔT について更なる考慮を行いたい。

参考文献

[1] 高原 誠, 鈴木健二, 田上敦士, 阿野茂浩: P2P プラットフォームによる更新情報の低遅延配信方式の提案, マルチメディア・分散・協調とモバイル(DICOMO2009) シンポジウム, 5E-3, 047-1054(2009)
 [2] 高原 誠, 鈴木健二, 田上敦士, 阿野茂浩: 偏りのある配信木を用いた低遅延 P2P 情報通知方式の解析, 情報処理学会研究報告, マルチメディア通信と分散処理研究会報告, Vol.2010-DPS-142 No.18, Vol.2010-CSEC-48 No.18 (2010)