

ネットワーク符号化を用いたオーバレイマルチキャストにおける トランスポート層の機能の考察

井奈波 拓也[†] 福田 洋治[‡] 白石 善明[†]

名古屋工業大学[†] 愛知教育大学[‡]

1. はじめに

オーバレイマルチキャストは、ネットワーク上のエンドシステムのノード同士で、アプリケーション層等の上位層で、論理的なリンク（オーバレイネットワーク）を構成し、マルチキャストを行う技術である。

オーバレイマルチキャストでは、オーバレイネットワークを構成する際に、物理リンク上に複数の論理リンクのパスが構築され、リンクストレスが高くなる傾向にあり、その影響を軽減することが求められる。

現在、1 対多のマルチキャストを想定して、中間ノードで通信データに対して代数的演算を行うことで、受信ノードのスループットを向上させる、ネットワーク符号化を用いたオーバレイマルチキャストの方式[1-4]等が提案されている。

これらの方式では、上位層で送信ノード、中間ノード、受信ノードのルーピング、ルーティング、複製・転送・演算等の機能が定められており、下位層ではノード間のユニキャストによるデータ伝送機能の他は特に議論されていない。

本稿では、ネットワーク符号化を用いたオーバレイマルチキャストにおける下位層の機能の影響を明らかにするべく、方式[4]で下位層にトランスポート層のプロトコル TCP, UDP を用いた場合について、シミュレーション実験を行い、得られた結果に関して考察を与える。

2. Random Coding を用いた方式

方式[4]では、同一の容量の辺からなる非環状グラフ (V,E) を想定しており、各ノード v では、ノードへの入力を $y(e_i)$ 、ノードからの出力を $y(e_j)$ としたとき、それぞれの辺 e_j について、次のような演算を行う (図 1)。

$$y(e_j) = \sum_{e_i} m_{e_j}(e_i) y(e_i) \quad (1)$$

ただし、他のノードからノード v への出力を伝送する辺を e_i 、 $i=1,2,\dots,h$ 、ノード v から他のノードへの入力を伝送する辺を e_j 、 $j=1,2,\dots,h$ 、LEV (Local Encoding Vector) と呼ばれる e_j に対応するベクトル $m(e_j)=[m_{e_j}(e_i)]_{e_i}$ の要素を $m_{e_j}(e_i)$ とし、これは演算毎にランダムに設定される。

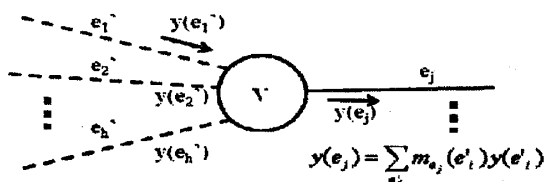


図 1: ノード v での符号化の演算

送信ノードでは、送信データを x_1, x_2, \dots, x_h としたとき、それぞれの辺 e_j について、次のような演算を行う。

$$y(e_j) = \sum_{x_i} g_{e_j}(e_i) x_i \quad (2)$$

ただし、GEV (Global Encoding Vector) と呼ばれる e_j に対応するベクトル $g(e_j)=[g_{e_j}(e_i)]_{e_i}$ の要素を $g_{e_j}(e_i)$ とする。

中間ノードでは、式(1)の演算を行うとともに、直前のノードから GEV を送信データとあわせて受信し、次のような演算により更新して、次のノードへ送信する。

$$g_{e_j}(e_i) = \sum_{e_i'} m_{e_j}(e_i') g_{e_i}(e_i') \quad (3)$$

受信ノードでは、送信ノードから連続した送信データ $x_i=[x_{i,1}, x_{i,2}, \dots, x_{i,N}]$ 、 $i=1,2,\dots,N$ を送信するとき、連続した符号化されたデータ $y_i(e')=[y_i(e'_1), y_i(e'_2), \dots, y_i(e'_h)]$ 、 $i=1,2,\dots,N$ が得られ、ガウスの消去法により、次のように変換して、送信データを求める。

$$\begin{bmatrix} g_{e_1}(e_1) & \cdots & g_{e_h}(e_1) & y_1(e'_1) & y_2(e'_1) & \cdots & y_N(e'_1) \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ g_{e_h}(e_h) & \cdots & g_{e_h}(e_h) & y_1(e'_h) & y_2(e'_h) & \cdots & y_N(e'_h) \end{bmatrix} = G \begin{bmatrix} 1 & 0 & x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,N} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 1 & x_{h,1} & x_{h,2} & \cdots & x_{h,N} \end{bmatrix} \quad (4)$$

ネットワーク上に配置されたエンドシステムのノードは、隣接ノード同士で論理リンクを張り、メッシュネットワークを構成して、それぞれのノードで上述したような演算を行いながら、データを flooding により他のノードへ伝送する。

データを伝送する際には、ネットワーク上でパケットが届かない場合に対応するため、PET (Priority Encoding Transmission) と呼ばれる手法に従い、データを冗長化して伝送する[4]。

ここで挙げた方式は、送信ノードから受信ノードまでの経路の構築や、ノード同士の経路、演算に関する情報の共有、ノードの参加、離脱による経路演算の議論が不要であり、マルチキャストを実現するにあたり有利な点が多いと考えている。

3. 実験と考察

我々は、ネットワーク符号化を用いたオーバレイマルチキャストをインターネット標準技術のもとで実用にするかたちで実現することを目的としている。

これに関して、上位層のネットワーク符号化を用いたマルチキャストの機能と、下位層の特にトランスポート層の機能の関係を明らかにすべく、実験、考察する。

ここでは、ネットワーク符号化を用いたマルチキャストとして方式[4]に注目して、下位層にトランスポート層のプロトコル TCP, UDP を用いた場合に、マルチキャストの性能にどのような影響を与えるのかを、シミュレーション実験により明らかにしたい。

A Consideration of Transport Layer Functions in Overlay Multicast with Network Coding

[†] Takuya INABA and Yoshiaki SHIRAISHI · Nagoya Institute of Technology

[‡] Youji FUKUTA · Aichi University of Education

ネットワークシミュレータ OMNeT++[5]により実験環境を構築することとし、その中で、TCP, UDP を利用してネットワーク符号化を用いたオーバーレイマルチキャストを行うノード（送信ノード、中間ノード、受信ノード）を実装する。

ネットワークの物理トポロジは、GT-ITM[6]により、バックボーンルータを 12 個、アクセスルータを 96 個、バックボーンルータ間の帯域、遅延を 10Gbps, 1msec, アクセスルータ間の帯域、遅延を 1Gbps, 1msec とし、生成したものを利用する。

各ノードは、隣接ノードとの遅延を測定して、良好なものとの間に計 25 本の論理リンクを張り、オーバーレイのメッシュネットワークを構成し、符号化・復号の際、LEV や GEV, 送信データの各要素は GF(2⁸) の値とし、パラメータ h, N については (h, N)=(10, 10) とする。

トランスポート層に TCP, UDP のそれぞれを利用して、送信ノードを 1 個、中間ノードを 50 個、受信ノードを 4 個から 32 個の間で変化させ、送信ノードからある送信レート (Kbps) でデータを流したときの、受信ノードでの平均受信スループット (Kbps), パケットの平均到達遅延 (msec), 240KByte のファイル転送時間/パケットのロス率 (sec) を計測する。

図 2 は、TCP, UDP のそれぞれを用いた場合の平均受信スループットを表している。TCP が UDP を全体的に上回っている。

図 3 は、TCP, UDP のそれぞれを用いた場合のパケットの平均到達遅延を表している。送信レートが 64Kbps, 256Kbps のところで、UDP が TCP を下回るものがある。

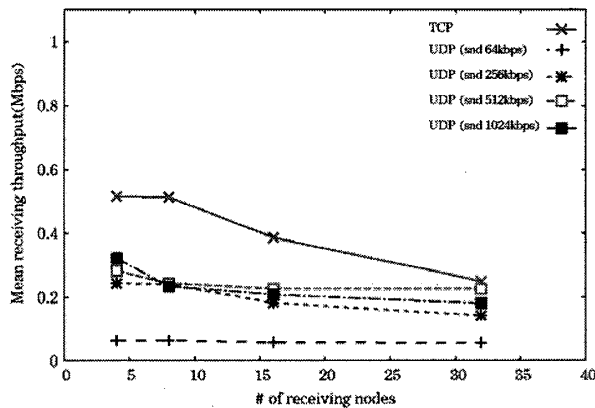


図 2：平均受信スループット

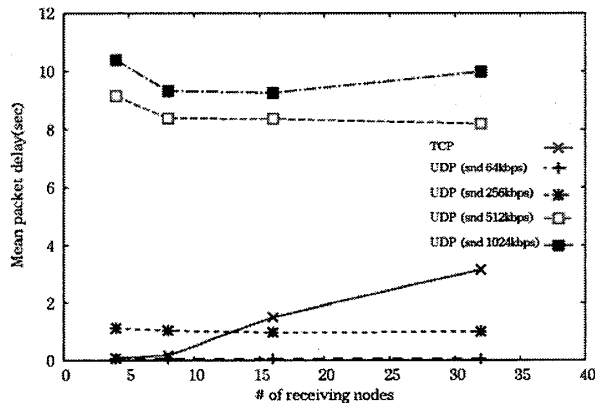


図 3：パケットの平均到達遅延

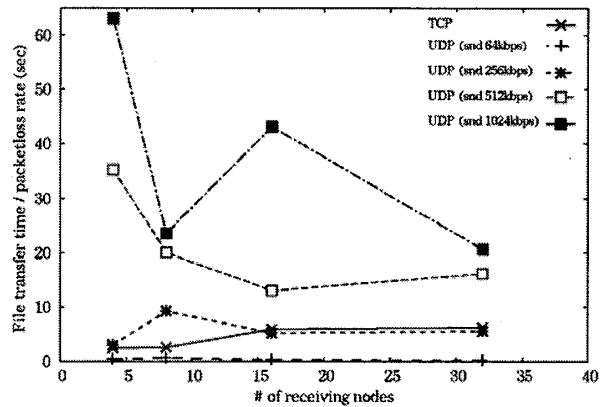


図 4：パケットの平均ロス率

図 4 は、240KByte のファイルの転送が完了するまでの平均時間を表しており、データ送信時間/パケットロス率という計算を行っている。送信レートが 64Kbps のときの UDP を除いて、TCP が全体的に UDP を下回っている。

UDP では、パケットのデータ誤り検出の機能が提供されるだけであり、各ノードからは一定の送信レートでデータが送出される。送信レートが小さい場合は、処理が単純であるため TCP よりも良好な結果が得られたが、送信レートが大きい場合は、flooding によりネットワーク上にパケットが多数送出されて論理リンクの帯域が不足し、PET ではフォローできないレベルのパケットロスが起これ、また受信ノードへの経路が見かけ上長くなりパケット到達遅延が増加するなどして、TCP よりも良好ではない結果が得られたと考えられる。

TCP では、パケットの消失・データ誤りの検出、パケットの再送、輻そう制御の機能により、ノード間の論理リンクの状況に応じて利用可能な帯域が消費される。受信ノードの個数が増え、ノード間の論理リンクの帯域が公平に利用され、またパケットの再送、輻そう回避の機能が働き、極端な受信スループットの低下やパケット到達遅延の増加は起こらず、UDP よりも良好な結果が得られたと考えられる。

4. おわりに

本稿では、ネットワーク符号化を用いたオーバーレイマルチキャストにおいて、各ノードの上位層の機能と、下位層の機能の関係を明らかにするべく、特に方式[4]に注目して、トランスポート層の機能がマルチキャストの性能に与える影響を、シミュレーション実験により明らかにした。

参考文献

- [1] Y. Zhu, B. Li, and J. Guo, "Multicast With Network Coding in Application-Layer Overlay Networks," IEEE JSAC, pp.107-120, 2004.
- [2] M. Wang, Z. Li and B. Li, "A high-throughput overlay multicast infrastructure with network coding," in Proc. IWQoS2005, pp.37-53, June, 2005.
- [3] J. Zhao, F. Yang, Q. Zhang, Z. Zhang, F. Zhang, "LION: Layered Overlay Multicast with Network Coding" IEEE Trans. on Multimedia vol.8, no.5, pp.1021-1032, Oct. 2006.
- [4] P. A. Chou, Y. Wu, and K. Jain, "Practical network coding," 41st Allerton Conf. Communication, Control and Computing, Oct. 2003.
- [5] OMNeT++ Community Site, OMNeT++, this site is available at <http://www.omnet.org/>.
- [6] E.Zegura, K.Calvert, and S.Bhattacharjee, "How to model an internetwork," in Proc. IEEE INFOCOM, pp.594-602, Mar. 1996.