

ネットワークコーディングを用いたアプリケーションレベルマルチキャストにおけるノード離脱問題の検討

大竹 健司[†] 高橋 修[‡]

公立はこだて未来大学 システム情報科学部 情報アーキテクチャ学科[†]

1 はじめに

近年、1対多通信をアプリケーション層で実現するアプリケーションレベルマルチキャスト (ALM) が注目され、研究が盛んにおこなわれている。ALM の問題点として、ネットワーク上で多くの帯域を必要とし、ネットワーク全体に負荷がかかることがあげられる。ネットワークコーディング (NC) はネットワーク上のパケットを符号化し、データ転送で用いられる帯域幅を削減して、ネットワーク資源の利用効率を向上させる技術である。本研究では NC を ALM に適用させた際の経路構築について検討する。既存方式[3]において NC を用いた ALM の経路構築について提案されている。しかし、この方式ではノードの離脱について考えられていない。ALM ではその特性上、ノードの離脱が頻繁に起こる。

そこで本研究では、NC を用いた ALM においてノードが離脱した際のツリー修復プロトコルを備えた実用的な経路構築法について検討する。

2 関連研究

2.1 アプリケーションレベルマルチキャスト

ALM とはエンドノードのみで構成された論理ネットワークであるオーバーレイネットワーク上で実現したマルチキャスト通信である[1]。データフローの制御はアプリケーション層で行うため、IP マルチキャストと異なりネットワーク上のルータがマルチキャスト通信に対応している必要がないのが特長である。

2.2 ネットワークコーディング

NC とはネットワーク内のノード (ルータ) でパケットの符号化を行う技術[2]で、マルチキャスト通信で大きな効果を得ることが分かっている。図 1 で示すように送信ノード S から受信ノード R1, R2 に対しパケット p, q を送信する際に、通常マルチキャスト通信の場合、転送に用いられるリンクに 2 つのパケットが通ることになる (図 1(a))。しかし、各リンクにかかる負荷を分散させよることも可能である (図 1(b))。ところが、この場合ノード 3-4 間は p, q の 2 つのパケットが通ることになりボトルネックとなる。更に、ノード 3 において、到着したパケット同士を、XOR 演算をして新たにパケット $p \oplus q$ を生成することによって、ノード 3-4 間のボトルネックを解消することができる (図 1(c))。受信ノードでは届いたパケットから再度 XOR 演算を行うことによってパケット p, q を復号化できる。

通常の IP マルチキャストでネットワークコーディングを適用するにはネットワーク上のルータ全てに符号化の機能を持たせる必要があり現実的ではない。ALM 上では IP ネットワーク上のエンドノードである中間ノードがルータの役割を果たすので符号化が容易となる。

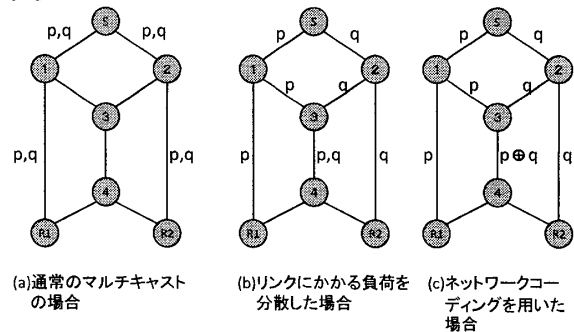


図 1 マルチキャスト通信とネットワークコーディング

3 提案方式

一般に ALM の経路構築を実現するためには、「ノードのマルチキャストグループへの参加」、「ノードのマルチキャストグループからの正常離脱」、「ノードのマルチキャストグループからの不正離脱」の 3 つのプロトコルを作成する

必要がある。そのそれぞれを Join, Leave, Dead として以下で説明する。なお Join については既存方式[3]を参考されたい。また Join 時に各受信ノードに対し 2 本の辺素となる経路を作成しているものとする。

3.1 Leave プロトコル

マルチキャストグループからノードが正常に離脱する際、離脱前に自分が離脱することを伝えるメッセージを送信してから離脱することが可能である。離脱後にマルチキャストツリーを修復するプロトコルを以下に示す。なお、データの流れに着目して、あるノードの上流にいるノードをそのノードの親ノード、下流にいるノードをそのノードの子ノードとする。

送信ノード及びツリーの末端に位置するノードを除いたマルチキャストグループに参加する全てのノードは自分が離脱した際に自分の代わりとなる代替ノードを保持する。この代替ノードは自分の子ノードの中で Join 時に測定した遅延時間が最も少ないものとする。離脱するノード x は子ノードの中で遅延時間が最も少ないノード a を代替ノードとして保持する (図 2(a))。離脱を行う際、x は隣接ノードに対し Leave メッセージを送る。この Leave メッセージには自分の代替ノード a の情報及び、自分の親ノードの情報が含まれる。

A Study on Node Leaving Problem of Application Level Multicast Using Network Coding

[†]Kenji Otake • Future University Hakodate

[‡]Osamu Takahashi • Future University Hakodate

Leave メッセージを受け取ったノードは x とのリンクを切断する (図 2 (b)). そして, 代替ノード a は x の親ノードに対して接続を行う. x の親ノードはノード a の接続要求を受信するまで, 他の全てのノードからの接続要求を拒否する. ノード a を除いた x の子ノード $c_i (i = 1, 2, \dots)$ はノード a に対し接続要求を行う. ノード a は自分の出線数 $\text{outdegree}(a)$ が最大出線数 Δ_{out} より少なければ接続確認メッセージを送る. そうでない場合は接続拒否メッセージとともに自分の子ノードの情報を返す. c_i は接続拒否メッセージを受け取ったら引き続き a の子ノードのうち遅延時間が最も少ないノードに接続要求を行う. このように c_i は順次, a および a の子ノードを探索しマルチキャストグループへ再接続する (図 2 (c)).

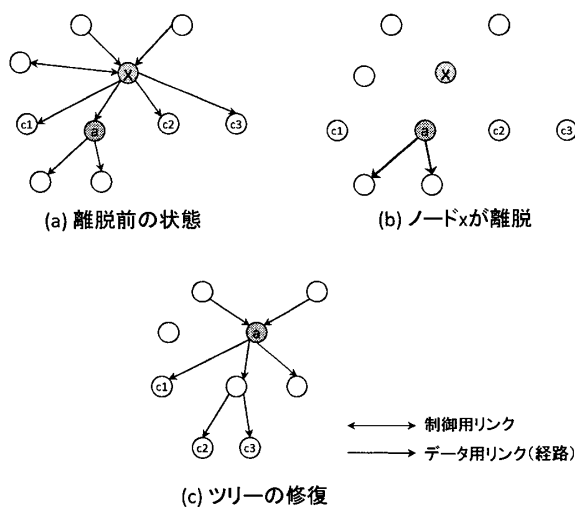


図 2 Leave プロトコルの流れ

3.2 Dead プロトコル

ノードが不正終了する場合, Leave のようにあらかじめメッセージを送ることができない. そこで, メッシュ維持する際に行う定期的なノード情報交換を利用する. それによってマルチキャストツリーを修復するプロトコルを以下に示す.

各ノードは一定時間隣接ノードからのノード情報が届かなかったとき, そのノードを離脱したノードとみなし, リンクを切断する (図 3 (b)). 不正離脱したノード x の子ノード t はリンクの切断によって 2 つの経路のうち片方の経路が切断される (2 つの経路は辺素であるため両方の経路が切断されることはない). したがって切断されていないほうの経路を第 1 経路とし, Join プロトコルの第 2 経路作成手順 [3] を適用する. 具体的には第 1 経路の遅延時間を疑似的に無限大にし, 他の受信ノードで使用している経路を α 倍 ($0 \leq \alpha \leq 1$) する. そののちに, 送信ノードからノード t まで Distance Vector アルゴリズム [4] を適用することによって第 2 経路を形成する. その後, 変更した遅延時間を元に戻すことによってツリーの修復を行う.

また Dead や Leave などによってある中間ノードの子ノードがいなくなったら, 親ノードにデータパケッ

トの転送を止めるよう制御パケットを送る. これを受け取った親ノードはそのノードへのデータパケットの転送を止める (図 3 (d)). これによりその親ノードの転送を行う子ノードがいなくなった場合, さらに親ノードに向かってデータパケットの転送を止めるよう制御パケットを送る. このように順次転送停止をすることによって, 無駄なデータパケットが氾濫して帯域を圧迫することを防ぐことができる.

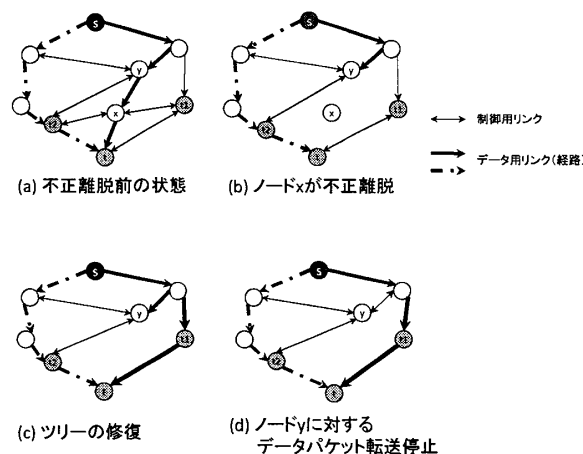


図 3 Dead プロトコルの流れ

4 おわりに

本研究では NC を ALM に適用した際の, ALM の特性上引き起こされるノード離脱問題を解消するプロトコルの提案を行った. 今後は本提案方式を NS-2 [5] 上に実装を行い, ノードの正常離脱及び不正離脱した際の再構築にかかる時間や, ドロップパケット数の評価を行い, 本提案方式の妥当性を検証する予定である.

参考文献

- [1] Y. Chu, S. G. Rao, S. Seshan, and H. Zhang, "A Case for End System Multicast," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 20, No. 8, pp. 1456-1471, Oct. 2002.
- [2] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. R. Li, and R. W. Yeung, "Network Information Flow," IEEE Transactions on Information Theory, Vol. 46, No. 4, pp. 1204-1216, Jul. 2000.
- [3] 中井隆幸, 野口拓, 松田崇弘, 滝根哲哉, "ネットワークコーディングを用いたアプリケーションレベルマルチキャストのための経路構築法," 電子情報通信学会 信学技報, Vol. 107, No. 525, IN2007-160, pp. 7-12, 2008 年 3 月.
- [4] Z. Wang and J. Crowcroft, "Quality of Service Routing for Supporting multimedia Applications," IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 14, No. 7, pp. 1228-1234, Sep. 1996.
- [5] The Network Simulator 2 (ns-2), <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>