

[ポスター講演] 大規模障害に適用可能なプロアクティブ型回復手法の性能評価

[Poster Presentation] ON NETWORK TRAFFIC CONCENTRATION AND UPDATING INTERVAL FOR PROACTIVE RECOVERY METHOD AGAINST LARGE-SCALE NETWORK FAILURES

堀江拓郎¹
Takuro Horie

長谷川剛¹
Go Hasegawa

亀井聡²
Satoshi Kamei

村田正幸¹
Masayuki Murata

大阪大学 大学院情報科学研究科¹
Graduate School of Information Science
and Technology, Osaka University

NTT サービスインテグレーション基盤研究所²
NTT Service Integration Laboratories

1 はじめに

ネットワーク障害からの回復手法には、リアクティブ型とプロアクティブ型の2つがある。リアクティブ型回復手法は、障害検知後に経路を再計算することによってその障害から回復する。一方、プロアクティブ型回復手法は、想定する障害が発生する前にそれに対する代替経路を計算しておくことによって、経路の切り換え時間を最小にし、障害からの早期回復を実現する。その1つとして、我々は [1] において大規模ネットワーク障害に対応可能な手法を提案した。提案手法により、大規模ネットワーク障害発生時においても、平均経路長がほとんど増加することなく、到達性を大きく改善できることがわかった。一方、事前に障害回復用のトポロジを計算しなければならないため、障害回復後のネットワークにおいてトラフィックが特定リンクに集中すること、およびネットワーク成長に対して障害回復用トポロジを再計算するオーバーヘッドの改善が課題として残されている。そこで本稿では、提案手法による障害回復後のトラフィックの調査と、ネットワークの成長に対して分散処理で対応可能なトポロジ再計算方法の提案を行う。また、提案するネットワーク成長への対応方法では、障害回復用トポロジの定期的な再計算が必要となるため、再計算の頻度と回復性能の関係も明らかにする。

2 提案手法

我々は、プロアクティブ型回復手法の1つであり、簡潔かつ拡張性の高い Resilient Routing Layers (RRL) [2] を基に、大規模ネットワーク障害に対応可能な手法を提案した [1]。図1に示す様に、RRLは、元のトポロジからいくつかのネットワーク要素を隔離した仮想的なトポロジ (RL) を生成し、さらにネットワークの全ての要素をいずれかの RL で隔離する様に RL 群 (RLSet) を構成する。ここで、リンクの隔離とはそのリンクの重みを最大値にすることであり、ノードの隔離とはそのノードが持つ全てのリンクを隔離することを意味する。その結果、隔離ノードやリンクはトラフィックを中継しなくなるため、障害箇所を隔離した RL を用いてルーティングを行うことにより、RRLは全ての単一障害から回復が可能となる。

提案手法は、複数障害が発生する要因に着目し、それに応じた RLSet を生成することで、効率的に障害回復を行う。具体的には、ハブノードとその隣接ノードを同じ RL で隔離するハブ法 (HUB_o) と、地域やルータ OS 等の同じ属性を持ったノードを同じ RL で隔離する属性法 (ATR_o) がある。また、障害回復に用いる RL の選

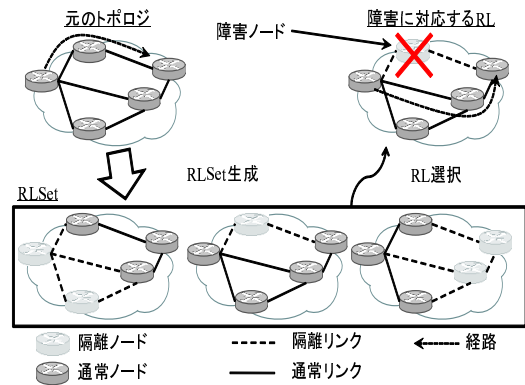


図1 Resilient Routing Layers (RRL)

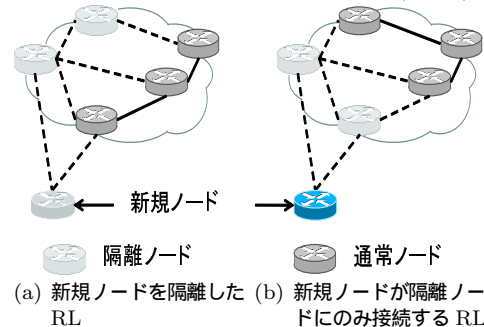


図2 新規ノード追加後の RL

び方として、送信ノードが RL を選ぶ静的 RL 選択と、中継ノードが RL を変更できる動的 RL 選択がある。

また、提案手法にはプロアクティブ型回復手法に共通する2つの問題がある。1つは障害回復後のトラフィックの集中である。障害回復後の経路は、障害箇所を隔離した RL を用いるために元のトポロジの経路から大きく変化する。このとき、ノードやリンクの隔離による平均経路長の増加が、ネットワーク全体のトラフィック量を増加させる。また、利用可能なリンクが減るために特定のノードやリンクにトラフィックが集中する。大規模ネットワーク障害の回復時には、ノードを大量に隔離した RL を用いるために、この問題はより深刻になる。もう1つは、ネットワーク成長への対応である。一般的に、ノードやリンクの追加によって情報ネットワークは成長する。それに対応するためには、RLSetの定期的な再計算が必要となり、そのオーバーヘッドの改善が問題となる。

ネットワーク成長に対して、ノード間の情報交換なしに、ノードがそれぞれ独立に既存の RLSet を用いてネットワーク成長に対応する方法を次に述べる。新規ノードやリンクが追加された場合、それを RLSet 中の全ての

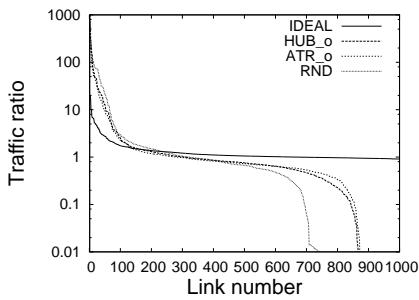


図3 障害回復前後のトラヒック比

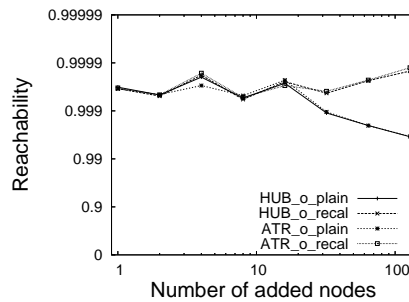


図4 ノード追加に対する到達性

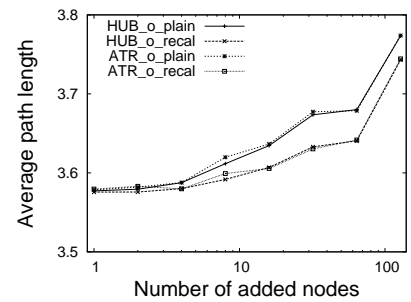


図5 ノード追加に対する平均経路長

RLに追加する．リンク追加時は，新規リンクを持つノードが隔離されているRLで，新規リンクを隔離し，新規リンクが結ぶノード間の経路を更新する．ノード追加時は，新規ノードが通常ノードに接続するRLの中から，最も隔離ノード数が少ないRLを選び，そこで新規ノードを隔離する．その後，新規ノード宛・発の経路を計算する．しかし，この方法では新規ノードの障害から回復できない場合がある．その例を図2に示す．図2(a)は新規ノードを隔離したRLを表し，このRLでは新規ノードが通常ノードに接続しているため，障害から正常に回復できる．図2(b)は新規ノードが隔離ノードにのみ接続するRLを表す．このRLでは新規ノードは隔離できず，また新規ノード宛・発の経路は隔離ノードを中継するため，新規ノードが利用できる安全な経路が無く，回復性能が低下する．これを解決するためには，提案手法は定期的なRLSet全体の再計算が必要となる．

3 数値計算による評価

本稿では，隣接する2ノードに障害を発生させ，障害回復後のネットワークトラヒックの集中と，ネットワーク成長に対するRLSetの再計算の頻度について評価する．なお，紙面の制約上，動的RL選択を用いた場合の結果のみを示す．前者に用いるトポロジには，CAIDA [3]がトラヒックの計測を行い公開しているASトポロジのデータベース中の，JPNICが管轄するASを利用する．また，代替経路を持たない鎖状に連なるノードは除外する．その結果，平均次数が4.4で，259ノード，1162リンクのトポロジとなる．また，全ノードペア間の経路に利用される回数をリンクのトラヒック量と定義し，障害発生前と障害回復後のトラヒックの比を評価指標として用いる．後者では，BAモデル [4]に従って，259ノード，1030リンクのトポロジに4リンクを持つノードを1個ずつ追加して成長するトポロジを用いる．他の評価指標として，障害発生時における，障害ノードを送受信ノードに含まない全てのノードペア間の到達性，および到達可能な全てのノードペア間の平均経路長を用いる．

図3に，ハブ法と属性法の各リンクにおけるトラヒック比の分布を示す．図中のIDEALは障害検知後に経路を再計算した結果を表し，RNDは各RLにおいて隔離するノードをランダムに選んだRLSetの結果を表す．図3より，先述した問題の様に，トラヒックが特定リンクに集中することがわかる．また，RNDは他のRLSetに比べてトラヒックが集中することがわかる．これは，RNDが各RLにおける隔離ノード数が最も多いため，経路に利用可能なリンクが減少し，平均経路長が増加することが要因と考えられる．

図4に，ハブ法と属性法の追加ノード数に対する到達性の変化を示す．凡例中のplainは，各ノードがそれぞれRLに新規ノードを追加し，RLSet全体の再計算は行わない結果を表す．また，recalはRLSet全体の再計算をノードの追加毎に行った結果を表す．図4より，32ノード追加時より再計算を行わない場合の到達性が低下することがわかる．これは，ノードを追加することで，先述した新規ノードを隔離することができないRLが形成されたためと考えられる．同様に，平均経路長についての評価結果を図5に示す．図5より，8ノード追加時より，平均経路長が増加することがわかる．これは，RLSet全体の再計算を行うことにより，成長したトポロジに経路が最適化されたためと考えられる．

4 おわりに

本稿では，大規模ネットワーク障害に対応可能なプロアクティブ型回復手法の1つである，提案手法を用いた障害回復後のトラヒックについて評価を行い，特定リンクにトラヒックが集中することを明らかにした．そのため，提案手法を用いる場合には，障害回復後における優先度制御などが必要と考えられる．また，既存のRLSetを利用して各ノードが独立にネットワーク成長に対応するための方法を提案した．加えて，その方法を用いた場合にネットワークが約5%成長する毎にRLSet全体の再計算が必要なることを示した．

今後の課題としては，異なる条件下での評価や，オーバレイネットワークへの提案手法の適用が挙げられる．謝辞

本研究の一部は文部科学省科学技術振興調整費「先端融合領域イノベーション創出拠点の形成：ゆらぎプロジェクト」の研究助成によるものである．ここに記して謝意を表す．

参考文献

- [1] T. Horie, G. Hasegawa, S. Kamei, and M. Murata, "A new method of proactive recovery mechanism for large-scale network failures," in *Proceedings of the IEEE AINA 09*, May 2009.
- [2] A. Hansen, A. Kvalbein, T. Čičić, and S. Gjessing, "Resilient routing layers for network disaster planning," *Lecture notes in computer science*, vol. 3421, pp. 1097–1105, Apr. 2005.
- [3] The CAIDA Web Site, available at <http://www.caida.org/home/>.
- [4] A. Barabási and R. Albert, "Emergence of scaling in random networks," *Science*, vol. 286, no. 5439, pp. 509–512, Oct. 1999.