

多重ルーティング形態法における対象外故障の迂回可能性の検討 Investigation of Possibility to Detour Non-target Failures in Multiple Routing Configuration Methods

石外 将史[†] 樽谷優弥[‡] 福島行信[‡] 横平徳美[‡]
Masashi Ishigai Yuya Tarutani Yukinobu Fukushima Tokumii Yokohira

1. はじめに

ネットワーク内の故障を高速に迂回できる方法として、多重ルーティング形態法が提案されている。この方法では、ネットワーク設計時に、故障を想定した複数の予備形態(BC: Backup Configuration)をあらかじめ作成しておき、それらに対応する予備のルーティングテーブルである予備テーブル(BT: Backup Table)を各ノードが保持する。パケット転送の途上で故障に遭遇した時には、その故障を迂回できる BT に従ってパケットを転送する。この方法は単一故障のみを対象としており、対象外の複数故障が起こって 2 回目の故障に遭遇した場合、パケットは破棄されてしまう。しかし、複数故障が起こっても、高々 1 回しか故障に遭遇せず、宛先までパケットを転送できる送受信ノード対が存在する可能性がある。本研究では、対象外故障の発生時におけるこのようなノード対の割合について検討する。

2. 多重ルーティング形態法

多重ルーティング形態法では、ネットワークの設計段階で故障を想定した複数の BC を作成し、この BC をもとにそれぞれの BT を作成する。BC の例を図 1 に示す。Isolated リンクと Isolated ノードは故障を想定したリンクとノードで、迂回経路として使用できない。Restricted リンクは迂回経路の第 1 ホップと最終ホップでしか使用できない。各ノードは通常のルーティングテーブルと BT の両方を保持する。そしてネットワークの運用段階では通常時にはオリジナルのルーティングテーブルに従ってパケットを転送し、故障発生時には故障箇所が Isolated になっている BC に対応する BT に切り替える。そのため、ほかのノードと故障状況を共有することなく迅速な迂回が可能である。多重ルーティング形態法の迂回経路導出法 (BT の導出法)として、MRC 法[1]と GLA 法[2]が提案されている。

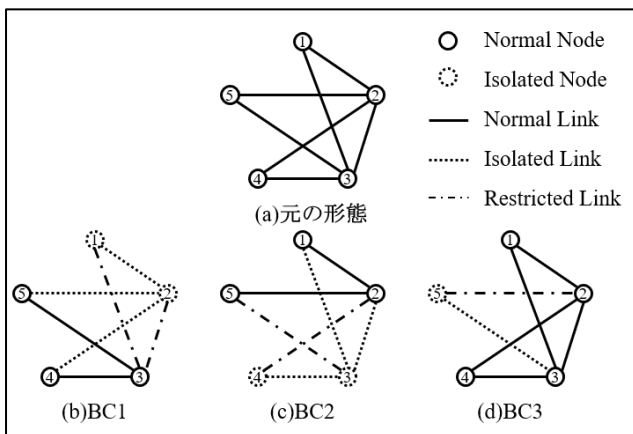


図 1 ネットワークの形態と BC の例

2.1 MRC 法

MRC 法では、各 BC において、Isolated リンクのコストは無有限大、Restricted リンクのコストは十分大きい (すべての Normal リンクのコストの和より大きい) と仮定して、ノード間の最短経路を導出し、そのノード間の経路となるように BT を導出する。MRC 法では、1 つの BC 上で複数の故障箇所を想定しているため、Isolated になっており使用できないリンクが複数ある。従って、実際には故障していない箇所も迂回してしまい、ホップ数が増加してしまう問題がある。

2.2 GLA 法

図 2 のネットワークにおいて、ノード d 宛てのパケットがノード u に到達し、正常時における次ノードがノード v であったと仮定し、 u において、 $u-v$ 間のリンクの故障を検知したとする。このとき、多重ルーティング形態法では、単一リンク故障か、単一ノード故障を仮定している (ノードが故障した場合、それに接続されるリンクも故障しているとみなす) ので、故障の可能性としては、図 2 に示すように、ノード v とノード v に接続されるリンクであり、それら以外のリンクやノードは故障していないとみなすことができる。GLA 法では、この事実にもとづいて、以下のすべての経路を導出し、それらの中で故障可能性のないリンクかノードのみを通る経路のうちでコストが最小の経路を選び、ノード間経路がその経路になるように BT を導出する。

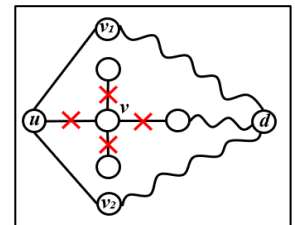


図 2 ノード u で $u-v$ 間リンクの故障を検知した場合の故障箇所の可能性

- (1) v 以外の各隣接ノード (図 2 の v_1 や v_2) にパケットを送信したと仮定して、その隣接ノードから d までの正常時の経路
- (2) (1) と同様に、 v 以外の各隣接ノードにパケットを送信したと仮定して、その隣接ノードから d まで各 BC _{i} に従って最短経路で d まで行った時の経路

GLA 法によれば、BC では Isolate されているノードやリンクであっても、実際には故障していないリンクやノードを使うことができるので、MRC 法に比較して、経路長を短くすることができる。

3. 対象外故障の迂回可能性の検討

多重ルーティング形態法では単一故障を想定しているため、パケットは 2 度目の故障に遭遇した場合、その時点で破棄されてしまう。しかし、ネットワーク内に複数の故障箇所がある場合でも、故障に遭遇することなく宛先に到達したり、1 つ目の故障に遭遇して宛先ノードまで迂回する間に 2 つ目の故障に遭遇せず宛先ノードまでたどり着く場

合がある。本報告では、複数の故障が存在する形態において、送信元ノードから宛先ノードまでたどり着くようなノード対の割合を迂回率(RR : Reroute Rate)と呼び、これを用いて対象外故障発生時の迂回可能性について調査及び評価を行う。RR を以下のように定義する。なお、使用する用語は表 1 に示す。

- e 本のリンクが故障している形態での迂回率

$$EFRR^e = \frac{1}{EC_e} \sum_{i=1}^{EC_e} \frac{EFP_i^e}{NC_2}$$

- n 個のノードが故障している形態での迂回率

$$NFRR^n = \frac{1}{NC_n} \sum_{i=1}^{NC_n} \frac{NFP_i^n}{NC_2 - NCN_i^n}$$

表 1 RR について使用する変数

| 変数 | 説明 |
|-----------|---|
| E | リンク数 |
| N | ノード数 |
| e | 故障リンク数 |
| n | 故障ノード数 |
| EFP_i^e | e 本のリンクが故障しているネットワーク形態(全部で NC_e 通りとなる)に対して、適当な順番で番号をつけ、 i 番目の形態を形態 i と呼ぶ ($i=1, 2, \dots, NC_e$)。形態 i において、パケットが到達できる送信元ノード s と送信先ノード d の対 (s, d) の総数 |
| NFP_i^n | n 個のノードが故障しているネットワーク形態(全部で NC_n 通りとなる)に対して、適当な順番で番号をつけ、 i 番目の形態を形態 i と呼ぶ ($i=1, 2, \dots, NC_n$)。形態 i において、パケットが到達できる送信元ノード s と送信先ノード d の対 (s, d) の総数 |
| NCN_i^n | ノード故障時の形態 i において、送信元ノード s と送信先ノード d のいずれかあるいはどちらか一方が故障であるノード対 (s, d) の総数 |

本報告では MRC 法と GLA 法の各手法についてシミュレーションによって迂回率を求めた。シミュレーションにはネットワーク形態生成ツール BRITE によって生成されたノード数 N ($N=10, 20, 40, 60, 80$)、最小次数 2 の形態を用いた。ネットワーク形態のモデルは、ランダムネットワークである Waxman(Wax)モデルと、スケールフリーネットワークである Barabasi-Albert(BA)モデルの 2 種類を用いた。各形態において、故障リンクまたは故障ノードを故障の数だけ設定し、すべての故障箇所を組み合わせて全ノード間でパケット送信を行い、 $EFRR^e$ ($e=2, 3, 4$) と $NFRR^n$ ($n=2, 3, 4$) を求めた。結果を図 3~8 に示す。図中の L はリンク故障、N はノード故障を表す。

Wax モデルと BA モデルを比較すると、ノード数が小さいときは Wax モデル、ノード数が大きいときは BA モデルの方が高い迂回率となっている。この理由については今後の課題とする。次に、MRC 法と GLA 法を比較すると、GLA 法の方が迂回率は高くなっている。これは、GLA 法は MRC 法と比較して、迂回時の経路長を短くすることができる [2] ためである。

† 岡山大学 Okayama University

‡ 岡山大学 Okayama University

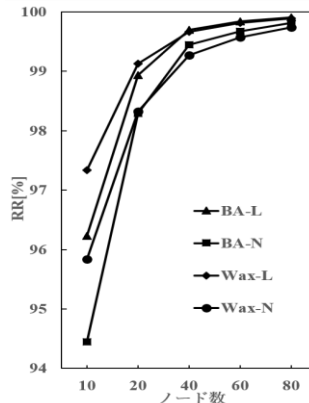


図 3 MRC 法の RR (故障数 2)

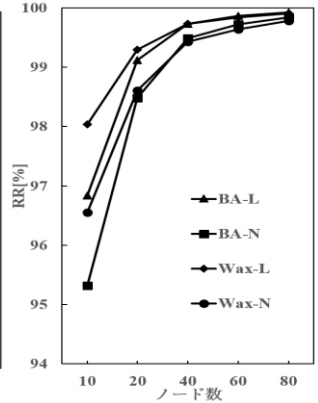


図 4 GLA 法の RR (故障数 2)

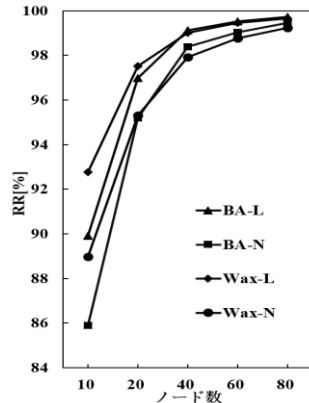


図 5 MRC 法の RR (故障数 3)

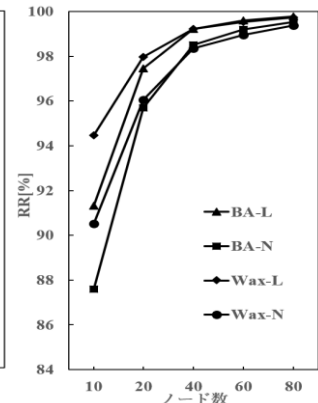


図 6 GLA 法の RR (故障数 3)

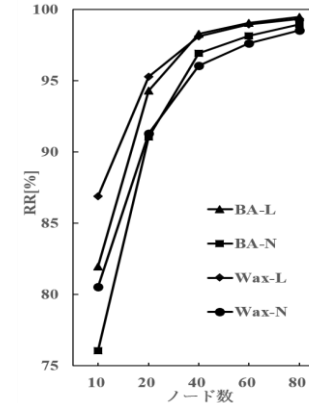


図 7 MRC 法の RR (故障数 4)

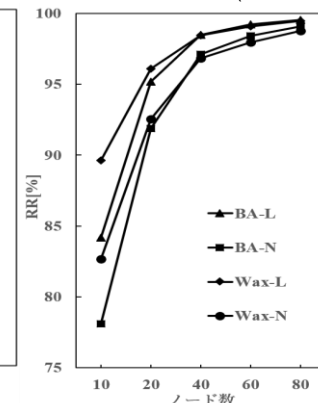


図 8 GLA 法の RR (故障数 4)

4. おわりに

本報告では、MRC 法、GLA 法の 2 つの手法でシミュレーションを行い、対象外の故障が発生しているネットワーク形態での迂回率を算出した。結果は、ノード数が小さいときは WAX モデル、大きいときは BA モデルの方が迂回率は高くなった。また、GLA 法の方が MRC 法より優れていることが分かった。今後の課題は前者の傾向となる理由を明らかにすることである。

参考文献

[1] A. Kvalbein, A. F. Hansen, T. Cicic, S. Gjessing, O. Lysne, "Multiple Routing Configurations for Fast IP Network Recovery," INFOCOM 2009, Vol. 17, no 2, pp. 473-486, Apr.2009.
 [2] Yasuhiro Hamada, Hui Wang, Yukinobu Fukushima and Tokumi Yokohira, "A Reroute Method to Recover Fast from Network Failure," International Conference on ICT Convergence 2014 (ICTC 2014), pp. 903-908, October 2014.