

リンク計画保守を考慮したアクティブ監視用パス群の経路計算法

Active Monitoring Path Computation Considering Planned Outage of an Arbitrary Link

荻野 長生 阿野 茂浩

Nagao Ogino Shigehiro Ano

(株) KDDI 研究所

KDDI R&D Laboratories Inc.

1. まえがき

監視対象ネットワーク内で発生する障害を特定するために必要な監視装置数の削減を目的として、予め監視対象ネットワークに設定した監視用パスの終端ノードに監視装置を接続して、監視信号の品質をアクティブ測定し、品質劣化が検出された監視用パス組の経路情報から障害を特定する方法が考えられる [1]。そのため、想定される障害シナリオに基づき、発生した障害を実際に特定できる監視用パス群の経路計算法が幾つか提案されている [2]。一方、通信ネットワークの実運用においては、計画保守によるリンク断が頻繁に発生し、その都度、監視用パス群の経路再計算を行う事は、運用業務負荷の増大を招く。そこで本稿では、任意の単一リンク保守中に発生する全ての単一リンク障害を特定できる最小数の監視用パス群の発見的経路計算法を提案する。

2. 関連研究

一般に、監視用パス群の最適経路計算は、整数計画法モデルによって定式化できる [3]。しかし、整数計画法モデルの解法には多大な計算量が必要となるため、本手法を実規模ネットワークに適用することはできない。一方、監視用パス群の発見的経路計算法として、想定する全ての障害の対を順番に選択し、選択した障害対が識別できない場合は、障害対を識別するための新たな監視用パスを計算する手法が提案されている [4]。本手法においては、監視装置を接続する端点ノード群は予め指定できるが、特定すべき障害数が増加すると、所要監視用パス数が増加する問題がある。

3. 監視用パス群の発見的経路計算法

3.1 発見的経路計算法の概要

本稿で提案する発見的経路計算法は、まず監視対象ネットワークのトポロジーとは関係なく、想定する障害を特定するために各リンクを通過すべき監視用パス組を示す初期組合せ表を構成する。その後、初期組合せ表の上で、監視対象ネットワークのトポロジーに応じて、各リンクと各監視用パス組の対応を最適化することにより、所要監視用パス数を削減した最終組合せ表を導出する。導出された最終組合せ表が、提案手法による監視用パス群の経路計算結果を示す。

3.2 障害特定のための必要十分条件

想定される障害を特定するためには、発生する障害に応じて、信号品質の劣化が検出される監視用パス組が異なる必要がある。リンク l を通過する監視用パスの集合を P_l で表すと、単一リンク障害(l_1)と(l_2)を識別する必要十分条件は、明らかに $P_{l_1} \neq P_{l_2}$ が成立する事である。更に、単一リンク障害(l_1)と2重リンク障害(l_1, l_2)を識別する必要十分条件は、 $P_{l_1} \neq P_{l_2} \not\subset P_{l_1}$ が成立する事である。従って、単一リンク障害の特定、および単一リンク保守中に発生する単一リンク障害を検出する必要十分条件は、任意のリンクを通過する監視用パス組が、他の任意のリンクを通過する監視用パス組に含まれず、かつ等しくない事である (条件1)。

監視用パス集合 P_l に含まれる監視用パス数を $|P_l|$ で表すと、以下の定理が成立する。

[定理1] $|P_{l_1}| = p (p \geq 2)$ かつ $|P_{l_2}| = |P_{l_3}| = 2$ である時、単一リンク(l_1)の保守中に発生する単一リンク障害(l_2)と(l_3)を識別できる必要十分条件は、(条件1)と $|P_{l_1} \cup P_{l_2} \cup P_{l_3}| \geq p + 2$ が成立する事である。(証明略)

図1は、初期組合せグラフを用いた[定理1]の説明である。初期組合せグラフを構成する各頂点が、各監視用パスに対応する。一方、各リンクは、通過する監視用パス群に対応する頂点群を接続した線で表される。例えば、図1では、 p 本の監視用パスが通過するリンク l_1 は、対応する p 個の頂点を接続する点線で表され、2本の監視用パスが通過するリンク l_2 と l_3 は、対応する2頂点を接続するグラフの辺で表される。図1(a)では、リンク l_1 または l_2 または l_3 を通過する監視用パス数が $p + 1$ 本であり、単一リンク(l_1)の保守中に発生する単一リンク障害(l_2)と(l_3)を識別することができない。図1(b)では、リンク l_1 または l_2 または l_3 を通過する監視用パス数は $p + 2$ 本であり、単一リンク(l_1)の保守中に発生する単一リンク障害(l_2)と(l_3)を識別することができる。

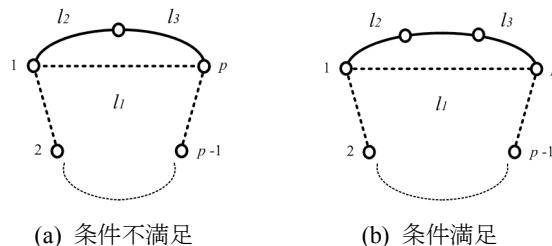


図1 初期組合せグラフを用いた[定理1]の説明

3.3 初期組合せ表の構成

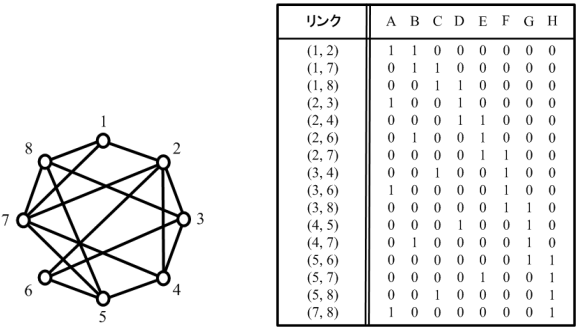
提案手法は、[定理1]に基づいて初期組合せ表を構成する。初期組合せ表の各行、各列は、それぞれ監視対象ネットワークを構成する各リンク、各監視用パスに対応する。初期組合せ表の各行、各列の要素は、対応する監視用パスが対応するリンクを通過する時'1'、通過しない時'0'の値を取る。従って、初期組合せ表の各行は、対応するリンクを通過する監視用パス組を示す。但し、初期組合せ表では、監視対象ネットワークのトポロジーは考慮されて居らず、各リンクと各監視用パス組の対応も任意に決められている。

提案手法では、暫定的に、各リンクを通過する監視用パス数は2本であると仮定する。この時、[定理1]において $p = 2$ とすれば、初期組合せ表を表現する初期組合せグラフが、3辺以下で構成される閉路を含まないことが、障害を特定するための必要十分条件となる。各部の頂点数が等しい完全2部グラフは、この様な条件を満足し、かつ与えられた辺数の下で頂点数が最小となる。[定理1]より、同一リンクを通過する監視用パスに対応する初期組合せグラフの頂点は、互いに3辺以上離れている必要があるが、完全2部グラフは、互いに3辺以上離れている頂点を含まない。以上より、提案手法では、監視対象ネットワークに含まれるリンク数に応じて、各部の頂点数が等しいか、または1個異なる完全2部グラフによって表現される初期組合せ表を構成する。

図2は、初期組合せ表の構成例である。監視対象ネットワークの例を図2(a)に示し、本監視対象ネットワークのための初期組合せ表を図2(b)に示す。

3.4 最終組合せ表の導出

監視対象ネットワークのトポロジーを考慮すると、初期組合せ表の各列は、必ずしも1本の監視用パスを構成していな



(a) 監視対象ネットワーク

(b) 初期組合せ表

図2 初期組合せ表の構成例

い。例えば、図2(b)に示した初期組合せ表の第一列には、リンク(1, 2) (2, 3) (3, 6)を通過する監視用パスとリンク(7, 8)のみを通過する監視用パスが含まれる。想定する障害を特定するためには8本の障害監視用パスで十分であるが、監視対象ネットワークのトポロジを考慮すると、図2(b)に示した初期組合せ表では、監視用パス数は16本となる。

初期組合せ表では、各リンクと各監視用パス組の対応は任意に決めて良いため、任意のリンクペア間で、対応する監視用パス組を交換できる。そこで、提案手法では、任意のリンクペアをランダムに選択して、選択したリンクペア間で監視用パス組を交換することにより、全体の監視用パス数が減少する場合には、実際に監視用パス組を交換する操作を行う。そして、予め決められたリンクペア選択回数に間に監視用パス組の交換が行われなくなるまで、この様な操作を繰り返す。最終的に得られた組合せ表が、提案手法によって本数を削減された監視用パス群の経路計算結果を示す。

図3に、図2(b)に示した初期組合せ表から導出された最終組合せ表の例を示す。例えば、最終組合せ表の第一列は、リンク(1, 2) (2, 4) (4, 5) (5, 7)を通過する1本の監視用パスに対応している。結局、図3に示した最終組合せ表では、監視用パス数は8本に削減されている。

4. 発見的経路計算法の評価

4.1 小規模ネットワークの評価

表1に、8ノードで構成される小規模なランダムネットワークを対象にして、提案手法の評価を行った結果を示す。表1に示した値は、平均ノード次数が等しい5つのネットワークを評価した平均値である。表1には、整数計画法モデルを用いた最適経路計算法、文献[4]に基づく既存の発見的経路計算法による結果も示している。尚、ここで評価対象としたネットワーク規模が、最適経路計算法を適用できる限界であ

| リンク | A | B | C | D | E | F | G | H |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|---|
| (1, 2) | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (1, 7) | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (1, 8) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| (2, 3) | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (2, 4) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| (2, 6) | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| (2, 7) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| (3, 4) | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| (3, 6) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 |
| (3, 8) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| (4, 5) | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| (4, 7) | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| (5, 6) | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| (5, 7) | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| (5, 8) | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| (7, 8) | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 |

図3 最終組合せ表の導出例

った。表1の'パス数'は、所要監視用パス数を示し、'帯域'は、各リンクにおける平均通過監視用パス数を示す。

表1 小規模ネットワークの評価結果

| 平均ノード次数 (ノード数 = 8) | 2.5 | | 3.0 | | 3.5 | | 4.0 | |
|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | パス数 | 帯域 | パス数 | 帯域 | パス数 | 帯域 | パス数 | 帯域 |
| 最適経路計算法 | 7.4 | 2.00 | 7.6 | 2.00 | 8.2 | 2.00 | 8.4 | 2.00 |
| 提案経路計算法 | 9.0 | 2.00 | 7.6 | 2.00 | 8.2 | 2.00 | 8.4 | 2.00 |
| 既存経路計算法 | 10.0 | 1.00 | 12.0 | 1.33 | 14.0 | 1.57 | 14.6 | 2.15 |

表1より、平均ノード次数が2.5である場合を除いて、提案手法による所要監視用パス数は、最適経路計算法による最小数と一致している。また、提案手法における通過監視用パス数は常に2.0であるが、平均通過監視用パス数に関しても、最適経路計算法と一致している。既存経路計算法の場合は、多くの監視用パスの長さが1ホップとなり、所要監視用パス数はリンク数に近い値になり、平均通過監視用パス数は1.0に近い値となる。表1から、提案手法によって、十分少ない本数の監視用パス群の経路計算を実現できることが判る。

4.2 大規模ネットワークの評価

図4は、大規模なランダムネットワークを対象にして、提案手法の評価を行った結果である。図4では、各ノード数および各平均ノード次数に関して、10種類のネットワークを評価した平均値を示している。提案手法による評価結果を実線で、既存経路計算法による評価結果を点線で示している。尚、提案手法における最終組合せ表の導出時間は、最大180秒程度であった（CPU: 2.13GHz、Memory: 2GB）。

図4より、提案手法によって、リンク数と比較して、所要監視用パス数は大幅に削減される。また平均ノード次数が増加すると、初期組合せ表の各列に含まれる複数の監視用パスを連結し易くなるため、平均ノード次数の増加に伴う所要監視用パス数の増加は緩やかである。図4においても、既存経路計算法の所要監視用パス数はリンク数に近い値になり、平均通過監視用パス数は1.0に近い値となる。

5. まとめ

任意の単一リンク保守中に発生する全ての単一リンク障害を特定できる最小数の監視用パス群の発見的経路計算法を提案し、実規模ネットワークへ適用できる事を示した。

参考文献

[1] *IEEE JSAC*, vol. 23, no. 8, pp. 1508-1519.
[2] *IEEE Commun. Sur. & Tutorials*, vol. 13, no. 1, pp. 114-125.
[3] *Proc. of IEEE ICC 2012*, pp. 3056-3060.
[4] *IEEE/ACM Trans. on Networking*, vol. 19, no. 4, pp. 989-999.

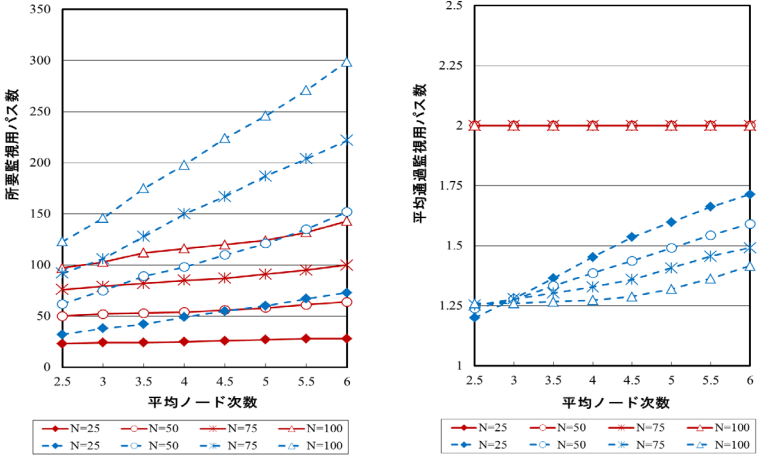


図4 大規模ネットワークの評価結果