

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 24 日現在

機関番号：32678

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25330117

研究課題名(和文) 通信障害の連鎖的拡大発生時の被災規模評価法と対策

研究課題名(英文) An Evaluation Method for the Effects of Countermeasures against Cascading Failures

研究代表者

林 正博 (Masahiro, Hayashi)

東京都市大学・知識工学部・准教授

研究者番号：30611553

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：一部の小さな故障が、通信ネットワーク全体に波及し、大きな被害をもたらすカスケード故障に対する対策を評価する方法を確立し、数値実験により、効果的な対策につながる評価結果を得た。具体的には、従来のような、カスケード故障発生後の分離されたネットワークのブロックの大きさを評価尺度とするのではなく、対地間の通信量の違いを考慮に入れた評価尺度提案し、評価する方法を確立した。さらに、カスケード故障の発生頻度に着目し、必ずしも大規模でなくても、頻度の大きいカスケード故障を想定した評価尺度などを考案し、対策の評価を行った。結果として、装置の導入のやり方によって、カスケード故障の規模や頻度が異なることが判明した。

研究成果の概要(英文)：I developed a new methodology to evaluate the effects of countermeasures for cascading failures on telecommunications networks. Numerical experiments show the results which are helpful to clarify the best-mix of countermeasures. The key idea of my methodology is to prepare a new evaluation measure to express the total or partial traffic volumes after the occurrences of cascading failures. This is quite different from the existing measure expressing size of surviving block after cascading failures. I also clarify another new measure considering the frequency of occurrences of cascading failures. We tested various types of countermeasures and found some interesting and useful facts. For example, increasing capacities of equipments do not always reach the best countermeasure to reduce the damages of cascading failures. Other results show that the policy to allocate equipments causes different frequency and magnitude of damages caused by cascading failures.

研究分野：通信ネットワークの信頼性

キーワード：通信ネットワーク 信頼性 品質 アルゴリズム グラフ理論 確率と統計

1. 研究開始当初の背景

カスケード故障と呼ばれている、一部の小さな故障が通信ネットワーク全体に広がる現象が現実には発生しており、それに対する対策が検討されている。多くの研究が、一定の被災規模の評価尺度を用いて、対策の効果を数値的に評価し、最善の効果をもたらす対策を明らかにするという観点から研究が行われている。しかし、それらの研究は、ほとんど、カスケード故障が発生後、分断されたブロックの大きさを評価尺度とする簡易的な評価尺度に過ぎない。実際には、通信ネットワークの中を流れている通信量を考慮に入れる必要がある。例えば、東京 大阪間の通信量は他の対地より大きく、この間の通信が途絶すると大きなダメージを与える。

2. 研究の目的

本研究では、簡易的な評価尺度ではなく、より現実に即した評価尺度を考案し、その観点から、効果的なカスケード故障対策を明らかにする。

3. 研究の方法

通信ネットワークのカスケードのメカニズムは、以下のとおりである。

まず、特定のノードが何らかの原因で故障する(トリガー故障)。すると、故障したノードを利用してパスは利用できないので、当該ノードを経由しない新たなパスを探し、通信量を確保しようとする。その結果、別のノードにおいて、経由するパスが増加し、結果として、いくつかのノードにおいて輻輳が発生する。輻輳が発生したノードは、現実問題として利用不可能となり、新たな故障と見なすことができる。新たな故障によって機能を停止したノードを経由していたパスは、トリガー故障の場合と同じように、新たなパスを探し、通信量を確保しようとする。この繰り返しにより、輻輳は拡大し、多くのノードが利用不可能となる。このメカニズムが働いた結果、いくつかのノード間の通信は途絶し、結局、通信ネットワークはいくつかのブロックに分断されてしまう。

図1は、このようなカスケード故障発生メカニズムを説明するための簡単な図である。

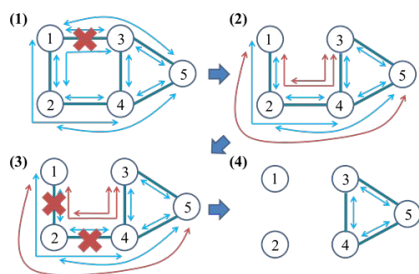


図1. カスケード故障発生メカニズム

従来研究は、上記メカニズムの下で、分断されてしまったブロックに含まれるノードの数を、当該ブロックのサイズとし、サイズが最大のブロックのサイズを、カスケード故障発生前の全ノード数で割った値を N'/N と呼び、これをカスケード故障による被災の大きさを表す評価尺度とした。例えば、図1の(4)においては、通信ネットワークが三つのブロックに分かれてしまっているが、その最大サイズのブロックは、ノード3, 4, 5から構成されるブロックであり、従って、 N'/N は $3/5 = 0.6$ と評価される。

ある特定の対策、例えば、新たにリンクを追加するなどを実行したとき、同じトリガー故障でも、 N'/N の値は異なるものとなる。

N'/N が小さければ小さいほど、カスケード故障による被災は軽く、そのような N'/N の値を実現する対策を明らかにすることで、最も効果的な対策が判明するというわけである。

この対策の効果の評価の枠組みは、全体としては合理的と考えられるが、 N'/N を評価尺度とすることは、少なくとも通信ネットワークを対象とする場合には、いくつかの点で不合理である。

一つは、対地(二つのノードのペア)間に割り当てられている通信量を考えていないことが問題である。例えば、日本において、東京 大阪間の通信量は、他の対地間、例えば、札幌 福岡間に比べて、非常に大きい。もし、カスケード故障の結果生き残った最大サイズのブロックがほとんど全ての日本に存在する通信拠点(すなわち、ノード)を含んでいたとしても、東京 大阪間が分断されてしまえば、被災は極めて深刻と考えられる。 N'/N はこのような状況を的確に表す評価尺度になっていないことは明白である。

また、 N'/N は、確定論的な評価尺度であり、カスケード故障の発生する頻度を考慮に入れていない。もし、大規模な被害をもたらすカスケード故障が発生しうるとしても、その発生頻度が、一万年に一度など、非常に小さな値であれば、そのようなカスケード故障を心配する必要はない。一方で、カスケード故障によってもたらされる被災が余り深刻ではないとしても、そのようなカスケード故障が頻発するならば、大きな社会問題を引き起こすことも考えられる。

そこで、各対地間の通信量に着目し、大都市間の大通信量や地方間の相対的に小さな通信量を考慮に入れた新たな評価尺度を導入し、カスケード故障の効果を測定する方法論を確立する必要がある。

そこで、本研究では、 N'/N のようなトポロジカルな情報だけでなく、各パスの確保する通信量をモデルに組み入れることで、通信量を考慮した信頼性評価尺度を導入し、また、各ノードにトリガー故障が発生する単位時間当たりの平均回数(以下、ノードの故障率と呼ぶ)を付与することで、カスケード故障

の発生する頻度を評価する方法を導く試みを行った。

4. 研究成果

まず、カスケード故障発生時に生き残った対地間の生き残った通信量の総和の割合を示す通信量残存率を新たな評価尺度として定義した。

以下、この評価尺度を図2の例で説明する。

図2中、斜線両矢印が200の通信量が確保されている対地を示し、それ以外の両矢印は100の通信量が確保されている対地とする。また、被災前が図2中左側であり、被災後が図中右側であるとする。

被災前に通信ネットワークが確保する通信量は、 $100 \times 4 + 200 \times 2 = 800$ であるが、被災後は、 $100 \times 2 + 200 = 400$ の通信量が確保されているに過ぎない。つまり、生き残っている通信量の割合は $400/800 = 0.5$ と計算され、半分の通信量が生き残ったことが分かる。

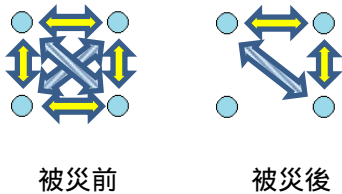


図2. 通信量の変化

この0.5の値は通信量残存率である。

この通信量残存率を評価するソフトウェアを作成し、数値評価実験を行った。評価対象の例(トポロジー)を図4に示す。

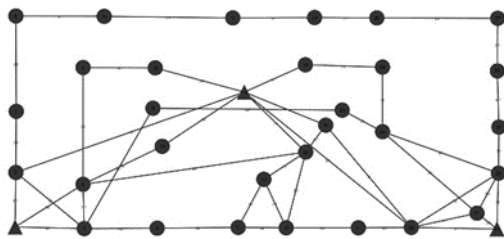


図4. 評価対象1

各対地間において、カスケード故障発生前の通信量を通信需要と呼ぶ。ノード i, j 間の通信需要を $T(i, j)$ と書く。

通信需要の集中のパターンを変えた、以下の三つのパターンに対する評価結果を図5に示す。

(パターン1)

ノード i または j が、図4中の で示されたノードであるとき、 $T(i, j) = 1000$ とし、それ以外について $T(i, j) = 100$ とする。

(パターン2)

ノード i または j が、図4中の で示されたノードの内、右下のノードであるとき、

$T(i, j) = 1000$ とし、それ以外について $T(i, j) = 100$ とする。

(パターン3)

任意のノード i, j 間で $T(i, j) = 100$ とする

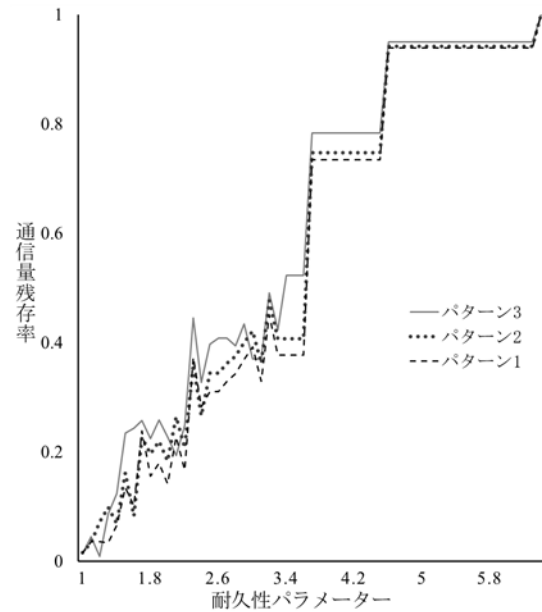


図5. 評価対象1に対する評価結果

ここで、耐久性パラメータは、各装置に割り当てられた容量が、最低限必要な容量の何倍かを表す値である。耐久性パラメータは、本来は、ノード毎に異なる値を割り当ててもよいが、ここでは、一律の値としている。

図5を見ると、耐久性パラメータを大きくし、すなわちノードの容量を大きくすると、カスケード故障対策としての効果現れていることが確認できる。しかし、その効果の現れ方は、複雑であり、耐久性パラメータを少しばかり大きくしたために、却って通信量残存率が低下している現象も観測できる。通信需要のばらつきが与える影響は明確ではない。

いずれにしても、このようにカスケード故障発生率を導入することで、通信量を考慮したカスケード故障対策の効果の評価できるようになった。

次に、カスケード故障発生頻度を考慮に入れた研究について説明する。

上記で述べたように、カスケード故障発生時の被災の大きさを通信量残存率で評価することができる。一定のしきい値を導入し、通信量残存率が を下回った場合を大規模カスケード故障と定義することもできる。深刻なカスケード故障の発生頻度を、上記のように定義された大規模故障の発生頻度で評価するのは、一つの合理的な方法である。

本研究では、近似的に、各ノード i について、「ノード i の故障率」 $\times X_i$ を総和することで、上記の、大規模故障の発生頻度を評価で

きると主張する。ここで、 X_i は、ノード i をトリガーとするカスケード故障により通信量残存率が X_i を下回るならば 1、そうでないならば 0 となる変数とする。これによって評価された値をカスケード故障発生率と呼ぶ。

カスケード故障発生率は、通信量残存率を評価する手順を、ノードの数だけ繰り返すだけでよいので、評価手順は簡潔である。

本研究では、カスケード故障発生率を評価するソフトウェアを開発し、数値実験を行い、有益な知見を得た。例えば、各ノードの故障率を一定値とした場合と異なる故障率とした場合（全ノードで平均すると同じ値）異なる故障率の方がカスケード故障発生率が小さくなることが分かった。

つまり、一つの通信会社において、同じ種類のルータではなく、複数の故障率の異なるルータを導入した方がカスケード故障対策として有効である可能性が判明した。

このように、通信量残存率とカスケード故障発生率を導入したことにより、より、リアルな通信ネットワークを対象とした対策の効果が明確となることが分かった。

なお、ここで、これらの二つの評価尺度には、一つの問題点があることに気付いた。それは、これらの評価尺度は、どちらかと言えば、マクロな観点からの評価尺度であることである。より明確に述べれば、通信サービスを提供する企業の利益に沿った観点からの評価尺度と言えることである。これらの評価尺度は、明らかに、通信量の多い大都市間において、通信が確保できれば、それほど大きな問題は生じないと考えていると言ってよい。しかし、実際には、例えば、静岡のユーザにとっては、静岡と、他の特定の県の間通信量が確保できているかが重要である。通信量残存率とカスケード故障発生率では、最悪の場合、通信量の小さい、つまり、企業の利益に繋がらない弱小ユーザを無視する傾向がある。

もちろん、このような企業の利益を優先する評価尺度があっても良いが、補完的に、より個別的な利益に即した評価尺度があってもよいと考えた。そこで、本研究では、そのような評価尺度としてエリア-トゥ-エリア通信量残存率とエリア-トゥ-エリアカスケード故障発生率を、さらに提案した。これは特定の指定されたノード間の通信量の低下の度合いを、通信量残存率と同様に圧使うことで導入することができる。これらの評価尺度の値を評価するソフトウェアを作成し、評価実験を行い、通信量残存率やカスケード故障発生率とは異なる傾向を持つ数値実験結果を得ることができた。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 0 件)

[学会発表](計 5 件)

1. S. Iwaori, M. Hayashi, "Analysis of Area-to-area Cascading Failure Rate for Telecommunications Networks", June 12, 2017.
2. T. Omura, M. Hayashi, "Analysis of Cascading Failure Rate for Telecommunications Networks", ITC-CSCC2016, July 12, 2016.
3. K. Hara, M. Hayashi, "A Study of Evaluating the Impacts of Cascading Failures in Telecommunications Networks", APNOMS2013, September 27, 2013.
4. 大村, 林, "通信ネットワークにおけるカスケード故障発生率の分析", 電子情報通信学会 CQ 研究会, pp. 95-100, 2014 年 7 月 11 日.
5. 原, 林, "通信ネットワークにおけるカスケード故障発生時の被災規模評価法の検討", 電子情報通信学会 CQ 研究会, 2013 年 9 月 12 日.

[図書](計 0 件)

[産業財産権]

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
取得年月日:
国内外の別:

[その他]
ホームページ等
なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

林 正博 (MASAHIRO, Hayashi)
東京都市大学・知識工学部・情報通信工
学科・准教授
研究者番号: 3061553

(2) 研究分担者

なし ()

研究者番号：

(3)連携研究者

なし ()

研究者番号：

(4)研究協力者

なし ()