Heurística para uma Análise de Sobrevivência de Rede

Márcio José, Paulo Rezende, Priscilla Alves, Wagner Costa
Prof. Dr. Edison Ishikawa
Universidade de Brasília – UnB

Agosto, 2021

***Abstract*—Este artigo apresenta uma heurística para a análise de sobrevivência de rede – aqui representada por um grafo conexo não-dirigido. O objetivo da avaliação é verificar se uma rede se mantém conexa após a ocorrência de falhas simultâneas em seus elementos (vértices e arestas). Simulou-se a probabilidade de falhas dos componentes e combinou-se heurísticas fundamentadas em propriedades estabelecidas na teoria de grafos para a verificação da sobrevivência. A análise demonstrou que é possível, em razoável tempo computacional, predizer quais elementos teriam sua interrupção como causa determinante para uma falha geral da rede.**

***Index Terms*—Sobrevivência de rede, Grafo, Vertex Cover, Ponte**

I. Introdução

Segundo Rosenthal [1], ”uma rede de comunicação pode ser modelada como um grafo não direcionado” no qual seus vértices e arestas falham de forma independente e com probabilidades conhecidas. É exatamente essa definição que Garey e Johnson [2] utilizam na proposição do problema ND21 – Sobrevivência de rede.
Considerando

$$Grafo\ G = (V, E),$$
$$prob.\ de\ falha\ p(x),\ 0 \leq p(x) \leq 1\ \forall\ x \in V \cup E,$$
$$q \leq 1 | q \in \mathbb{R}^{+}$$

e assumindo que todas as falhas de arestas e vértices são independentes entre si, é a probabilidade q maior do que ao menos a de algum caminho $\{u, v\} \in E$, o que mantém o grafo conexo, ou o caminho $\{u, v\}$ não será resolvido?
Essa vulnerabilidade tem motivado o desenvolvimento de diferentes esquemas de restauração e proteção.
Dada a importância dos sistemas de comunicação e infraestruturas em geral, as redes devem ser projetadas e operadas de tal forma que as falhas possam ser mitigadas [3]. A utilização de redes em diversos ramos, incluindo o componente humano, redes sociais e integração de sistemas através de microsserviços têm criado grandes dificuldades no desenvolvimento de mecanismos eficientes para analisar e melhorar o desempenho das infraestruturas. Nesse sentido, dois aspectos são essenciais para que uma rede alcance a capacidade de sobrevivência [4] .

1) *Conectividade*, ou seja, a cobertura dos vértices para diagnosticar se a rede está conectada (as propriedades de conectividade são discutidas na Seção IV).
2) *Proteção de caminho*, procedimento para encontrar alternativas caminhos em caso de falhas através de identificação de pontes e vértices de corte.

Este artigo está organizado conforme a seguir: II - Referencial Teórico, que apresenta a definição dos conceitos utilizados neste trabalho; III - Trabalhos Relacionados, uma breve descrição de artigos e trabalhos correlatos selecionados; IV - Metodologia, com a descrição da abordagem utilizada no estudo; V - Análise e Resultados, demonstrando a aplicação e efetividade das heurísticas, e; VI - Conclusão, onde se confirma o atingimento da proposta inicial e sugere-se trabalhos futuros.

II. Referencial Teórico

Para Prestes [5], rede é um conjunto de elementos inter-relacionados. Esses elementos são conhecidos como vértices, e os relacionamentos entre eles recebem o nome de arestas.

A. Grafos

Um grafo simples $G = (V, E)$, segundo Prestes [5], é uma estrutura discreta formada por um conjunto não vazio de vértices V e um conjunto de arestas $E \subseteq P(V)$, onde $P(V) = \{x, y : x, y \in V\}$ e o conjunto de todos os pares não ordenados não necessariamente distintos gerados a partir de V. Cada aresta é formada por um par de vértices diferentes, ou seja, $x \neq y$. Para cada par de vértices existe no máximo uma aresta associada. Dois vértices x e y são adjacentes se, e somente se, existe uma aresta $x, y \in E$, como os vértices da Figura 1 A-B, B-C, C-D, etc. Neste caso, diz-se que a aresta $\{x, y\}$ é incidente aos vértices x e y. Quando um vértice não é adjacente ao outro, diz-se que ele é um vértice isolado, como o vértice H.

A figura 1 apresenta um grafo simples:

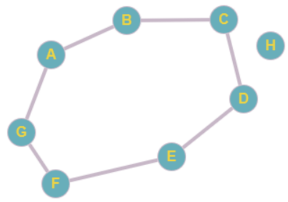

Figura 1: Grafo simples não dirigido

Grafo conexo
Um grafo não-dirigido é conexo quando cada um de seus vértices está ao alcance de cada um dos demais. Em outras palavras, um grafo não-dirigido é conexo se tem a seguinte propriedade: para cada par (v, w) de seus vértices, existe um caminho com origem v e término w.

B. *Caminhos e ciclos em grafos*

Como visto em Feofiloff [6], um passeio (*walk*) em um grafo é uma sequência de vértices dotada da seguinte propriedade: se v e w são vértices consecutivos na sequência então $v - w$ é um arco do grafo (note que o inverso de um passeio não é, em geral, um passeio). Um arco do passeio é qualquer arco $v - w$ do grafo tal que w é o sucessor de v no passeio. Um passeio é fechado (*closed*) se tem pelo menos dois arcos e seu primeiro vértice coincide com o último.

Um caminho (*path*) em um grafo é um passeio sem arcos repetidos, ou seja, um passeio em que os arcos são todos diferentes entre si. Um caminho é simples se não tem vértices repetidos. Por exemplo, 0-2-7-3-6 é um caminho simples no grafo da figura 2.

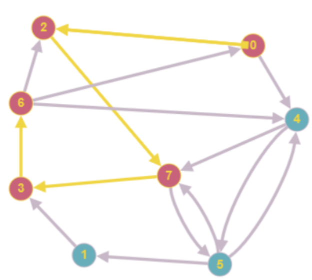

Figura 2: Caminho em um grafo dirigido

Todos os arcos de um caminho em um grafo dirigido apontam na mesma direção — de um vértice para o seu sucessor.

O comprimento (*length*) de um caminho é o número de arcos do caminho. Se um caminho tem n vértices, seu comprimento é pelo menos $n1$; se o caminho é simples, seu comprimento é exatamente $n1$.

III. Trabalhos relacionados

Para este artigo, foram analisadas publicações que tratavam sobre falhas de redes. Diaz [7] descreve a grande preocupação com a recuperação de serviços de rede sujeitas a múltiplas falhas dado o nível elevado de vulnerabilidade da infraestrutura a desastres naturais, a falhas massivas de energia e a ataques maliciosos. Foi simulada uma situação em que a estrutura assume falhas de link probabilísticas e é avaliada em relação a esquemas de recuperação de falhas múltiplas existentes. Considerou-se a confiabilidade obtida aceitável, superando ou aproximando-se dos algoritmos de minimização de risco existentes, e com a produção de taxas de bloqueio competitivas. Por sua vez, Kuipers [4] apresenta algoritmos com custos polinomiais que permitem verificar se a sobrevivência de uma rede será preservada a partir de alternativas demonstradas.

IV. Metodologia

A análise será realizada em três etapas: a) configuração do ambiente de execução, com a carga do grafo que representa a rede a ser avaliada; b) geração e distribuição aleatória dos valores correspondentes às probabilidades de falha de cada um dos elementos do grafo, bem como da probabilidade de sobrevivência geral do grafo, e; c) detecção dos elementos com falhas eventuais e submissão do grafo derivado às heurísticas de avaliação de sobrevivência da rede.

A. *Geração aleatória das probabilidades de falha e sobrevivência*

Conforme estabelecido no enunciado do problema, cada um dos elementos $x \in G = \{V, E\}$ perceberá uma probabilidade $p(x)$ individual de falha que será confrontada com a probabilidade q de sobrevivência geral da rede. Essas probabilidades serão obtidas a partir da geração aleatória de racionais compreendidos nas faixas $0 \leq p(x)|q \leq 1$ e $q \leq 1|q \in \mathbb{R}^+$.

B. *Cobertura de vértices*

Uma cobertura de vértice (Vertex Cover) de um grafo não direcionado é o conjunto de seus vértices que possuam adjacências para cada aresta $(u, v) \in E$. É conhecido um algoritmo de proximidade para essa localização com custo $2 - \Theta\left(1/\sqrt{\log|V|}\right)$. Obtendo-se o Vertex Cover para o grafo $G = \{V, E\}$, será avaliado se o o grafo derivado $G' = \{V, E\}$ mantém uma cobertura de vértices equivalente, confirmando-se a preservação de sua conexão.

C. *Identificação de pontes e vértices de corte*

Na teoria dos grafos, pontes (ou arestas de corte) e vértices de corte são elementos que, uma vez removidos, provocam um aumento na conectividade. Do ponto de vista deste estudo, é a propriedade mais relevante, uma vez que proporciona a transformação de um grafo conexo em não-conexo. Portanto, busca-se verificar, em um grafo $G = (V, E)$, se há algum $x \in \{V, E\}$ que seja elemento de corte. Caso exista, durante a simulação de falhas, o caminho $\{u, v\} \in E$ que passe por esse elemento deverá ter probabilidade $p(x) \leq q$. Com isso, garante-se que o grafo derivado $G' = (V, E)$ mantenha sua conexão. Essa abordagem demanda a aplicação de força bruta apenas no grafo original G (carece de confirmação), em um algoritmo de complexidade $O(|V| + |E|)$.

V. ANÁLISE E RESULTADOS

[Em andamento]
Simular e distribuição das probabilidades
Aplicação das heurísticas com ciclos e árvores (todas conexas)
Computar e comparar os resultados
Calcular a complexidade dos algoritmos propostos

VI. CONCLUSÃO

[Em andamento]
A análise de sobrevivência de uma rede é um campo de estudo bastante amplo, haja vista a possibilidade sua utilização para detecção de falhas e identificação de pontos de vulnerabilidade, dentre outras aplicações. O presente estudo demonstrou uma abordagem para a análise de sobrevivência de redes genéricas, apresentando uma comparação entre duas heurísticas.

Levando-se em consideração as especificidades a natureza de cada rede, sugere-se que trabalhos futuros concentrem as análises em peculiaridades que calibrem a distribuição de probabilidade de ocorrência de falhas ao contexto em que essas redes estão inseridas, bem como os efeitos dessas falhas no grafo resultante.

REFERÊNCIAS

[1] A. Rosenthal, "Computing the reliability of complex networks," SIAM Journal on Applied Mathematics, Vol. 32, No. 2 (Mar., 1977), pp. 384-393 Stable URL: https://www.jstor.org/stable/2100423, Tech. Rep., 2021.
[2] M. Garey and D. Johnson, *Computers and Intractability: A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Freeman, 1979.
[3] N. K. M. Al-Kuwaiti, "A comparative analysis of network dependability, fault-tolerance, reliability, security, and survivability," pp. 106–124, 2006. [Online]. Available: https://ieeexplore.ieee.org/document/5039586
[4] L. M. Kuipers. F, A Kubota. H, "An overview of algorithms for network survivability," p. 19 pages, 2012. [Online]. Available: https://www.hindawi.com/journals/isrn/2012/932456/
[5] E. Prestes, "Introdução à teoria dos grafos)," 2020.
[6] Feofiloff. (2021) Caminhos e ciclos em grafos. [Online]. Available: https://www.ime.usp.br/
[7] X. F. Diaz Oscar, "Network survivability for multiple probabilistic failures," pp. 1320 – 1323, 2012. [Online]. Available: https://ieeexplore-ieee-org.ez54.periodicos.capes.gov.br/document/6211363