

# O Agente Chinês para Diagnóstico de Redes de Topologia Arbitrária

Elias Procópio Duarte Jr.  
José Marcelo A. P. Cestari

Universidade Federal do Paraná, Dept. Informática  
Cx. Postal 19081 – Curitiba – 81531-990 PR- Brasil  
Fone: 0xx41-267-5244 Fax: 0xx41-267-6874  
e-mail: {elias,cestari}@inf.ufpr.br

## Resumo

Este trabalho apresenta uma nova abordagem para detecção de falhas em redes de topologia arbitrária baseada numa versão distribuída do algoritmo do Carteiro Chinês. Um agente móvel percorre todos os nodos e todos os links permitindo o diagnóstico da falha de um link. Dois tipos de eventos são considerados: um link sem-falha fica falho, ou um link falho fica sem-falha. Assume-se que uma falha não particiona a rede e que o diagnóstico de um evento é completado antes da ocorrência do próximo evento. Resultados experimentais obtidos através da simulação do algoritmo em redes de diferentes topologias são apresentados. Os resultados mostram o tempo necessário para se realizar o diagnóstico de uma rede, o número de mensagens que são disseminadas no final do diagnóstico para informar um evento, e a medida de latência do algoritmo.

## 1. Introdução

Devido à grande expansão das redes de computadores, vem crescendo a necessidade de sistemas de monitoração que possam detectar falhas de forma confiável a fim de se melhorar a confiabilidade do sistema.

Em grande parte dos sistemas de gerência de redes atuais, apenas uma máquina é responsável por supervisionar a rede, o que é chamado de monitoração centralizada [1]. A monitoração centralizada possui dois problemas: a máquina que faz a supervisão pode falhar e assim a rede não é mais monitorada; e pode ocorrer também uma grande concentração de mensagens. Um sistema distribuído de monitoração é mais eficiente, já que os problemas de um sistema de monitoração centralizado não ocorrem.

A monitoração de uma rede pode ser realizada através da execução de um algoritmo de diagnóstico nesta rede. Um algoritmo de diagnóstico permite que todos os nodos obtenham informação sobre todos os nodos do sistema. As redes possuem dois tipos de topologias básicas: redes representáveis por um grafo completo, e as redes de topologia arbitrária.

Um algoritmo de diagnóstico de rede de topologia arbitrária tem sua execução dividida em três etapas: teste, disseminação e diagnóstico. Na etapa de testes, cada nodo envia um sinal para outro nodo com quem está conectado e aguarda por um sinal de resposta. Se após um intervalo de tempo predefinido não houver resposta, o nodo é considerado falho. O comando *ping* pode ser usado para implementar o teste. Na etapa de disseminação ocorre o envio de mensagens para todos os nodos da rede, informando sobre um novo evento (um link

sem-falha fica falho, ou um link falho fica sem-falha). Na etapa de diagnóstico todos os nodos sem-falha identificam o estado de todos os nodos da rede.

A eficiência de um algoritmo de diagnóstico é medida pelo número de mensagens que são utilizadas na etapa de disseminação, ou seja, quantas mensagens informando sobre os estados dos nodos são distribuídas pela rede até a conclusão do diagnóstico.

Uma solução distribuída e tolerante a falhas para diagnóstico em redes de topologia arbitrária é o NBND (“*Non Broadcast Network Diagnosis*”), descrito inicialmente em [3] e numa outra versão em [1], e um exemplo recente de algoritmo de diagnóstico para redes representáveis por um grafo completo é o algoritmo Hi-ADSD with Timestamps [4].

Neste trabalho será apresentado um novo algoritmo baseado em um agente distribuído e tolerante a falhas, que percorre o caminho determinado pelo algoritmo do carteiro chinês, para diagnóstico em nível de sistema sobre redes de topologia arbitrária. Assume-se que uma falha não particiona a rede e que o diagnóstico de um evento é completado antes da ocorrência do próximo evento. Resultados experimentais obtidos através da simulação do algoritmo em redes de diferentes topologias são apresentados. Os resultados mostram o tempo necessário para se realizar o diagnóstico de uma rede, o número de mensagens que são disseminadas no final do diagnóstico para informar um evento, e a medida de latência do algoritmo.

O restante deste trabalho está organizado da seguinte maneira: na seção 2 apresenta-se o algoritmo do Carteiro Chinês, na seção 3 uma versão distribuída aplicada a diagnóstico do algoritmo do Carteiro Chinês é apresentada. Na seção 4 são apresentados resultados da simulação envolvendo três redes de diferentes topologias, e esta é seguida pela conclusão na seção 5.

## 2. O Algoritmo do Carteiro Chinês

O algoritmo de diagnóstico distribuído apresentado neste trabalho é baseado numa versão distribuída do algoritmo do Carteiro Chinês, introduzido nesta seção.

O algoritmo do Carteiro Chinês é um algoritmo que busca a solução de um menor percurso em um grafo [8], e seu enunciado pode ser resumido em: dado um grafo qualquer,  $G=(V,E)$ , achar um caminho que percorra todos os vértices passando por cada aresta ao menos uma vez e realizando o menor percurso possível, sempre retornando ao vértice inicial.

Um exemplo prático é a idéia de um carteiro que precisa entregar suas cartas e não pode passar pela mesma rua mais de uma vez. Após realizar uma análise, o carteiro percebe que será necessário repetir a passagem sobre uma ou mais ruas para que seu percurso seja completo e ele volte a agência do correio. Essa repetição de ruas pode ser abstraída como a criação de uma rua paralela à rua original que liga as mesmas duas casas.

A primeira referência que se conhece sobre este problema vem do problema das sete pontes de Königsberg, onde se buscava saber se seria possível atravessar apenas uma vez as sete pontes sobre o rio Pregel em Königsberg, hoje Kaliningrad. O matemático suíço Leonhard Euler se dispôs a tentar achar uma solução para o problema enquanto estava de passagem na cidade de Königsberg e mostrou que não havia uma solução para esse caso em particular [7,8]. O grafo da figura 1 representa o problema, com os links representando as pontes, e os nodos os pontos terrestres. Do problema enfrentado por Euler, surgiu a noção do grafo Euleriano, e formalizando-se as idéias, é possível chegar na seguinte sentença: seja  $G$  um grafo  $f$ -conexo e não-orientado,  $G$  é dito *unicursal* ou *euleriano* se existe um caminho fechado em  $G$  contendo cada aresta apenas uma vez e cada vértice pelo menos uma vez.

Portanto, a condição necessária e suficiente para que um grafo *f-conexo* seja euleriano, em um caso não-orientado é tratado pelo Teorema de Euler: seja  $G$  um grafo conexo, todo vértice deve ter grau par, ou seja, um número par de elos incidentes [8].

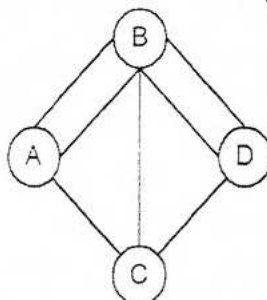


Figura 1: Representação do problema das sete pontes de Königsberg.

Dado um grafo, o Teorema de Euler diz se há um caminho euleriano ou não, para encontrar tal caminho pode-se usar, por exemplo, o algoritmo de Fleury [8].

O algoritmo do carteiro chinês trata de um problema mais geral que o tratado pelo algoritmo de Fleury, e com uma diferença importante: os nodos não precisam possuir necessariamente grau par. Opcionalmente pesos podem ser adicionados às arestas.

No algoritmo do carteiro chinês, a idéia principal é minimizar a soma das distâncias passando ao menos uma vez por cada aresta.

Neste trabalho será usada uma versão distribuída do algoritmo do carteiro chinês. As arestas não têm peso e como a representação de uma rede através de grafos não necessita da orientação das arestas, é usado um modelo de grafo não-orientado.

### 3. Uma Versão Distribuída do Carteiro Chinês Aplicada a Diagnóstico

Um sistema distribuído é constituído por nodos conectados por links, representáveis por um grafo. Considere um sistema com  $N$  nodos, podendo cada nodo ou cada link estar falho ou sem-falha. Neste trabalho assume-se que apenas dois tipos de eventos podem ocorrer nesse sistema: ou um link falho fica sem-falha, ou um link sem-falha fica falho.

Partindo de um nodo inicial qualquer, um agente móvel, chamado agente chinês, irá realizar seu percurso determinado pelo algoritmo do Carteiro Chinês em uma rede de topologia arbitrária, testando os links e disseminando as informações sobre novos eventos. Caso seja detectado um novo evento, a topologia da rede é recalculada e o percurso é reiniciado a partir do nodo que detectou o evento. O percurso é repetido indefinidamente informando todos os nodos sobre o estado de todos os nodos.

Tomando o exemplo da figura 2-A, suponhamos que ocorra uma falha no link que liga o nodo 2 ao nodo 1. O percurso da rede começa no nodo 1, e o percurso então será de  $1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$  e quando o algoritmo for verificar a ligação  $2 \rightarrow 1$  descobrirá que está falho. Nesse momento o Carteiro Chinês deve divulgar esse novo evento (link 2-1 falho) a todos os nodos, ou seja, deve ser iniciado um novo Agente Chinês que vai disseminando a informação. Porém, tem-se que o grafo remanescente da falha não é mais euleriano (figura 2-B), e portanto deve ser transformado em tal (figura 2-C). Feito isso, o novo carteiro chinês continua seu passeio informando a todos os nodos sobre o estado falho do link 2-1, tendo como nodo inicial do percurso o nodo que descobriu a falha. Portanto, o percurso agora será  $2 \rightarrow 4 \rightarrow 3 \rightarrow 1 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 2$ , ou seja, todos os nodos da rede receberam a informação que o link 2-

1 está falho. Daí por diante o Agente Chinês continua percorrendo o mesmo percurso no sistema, até que um novo evento seja detectado e o processo se repete.

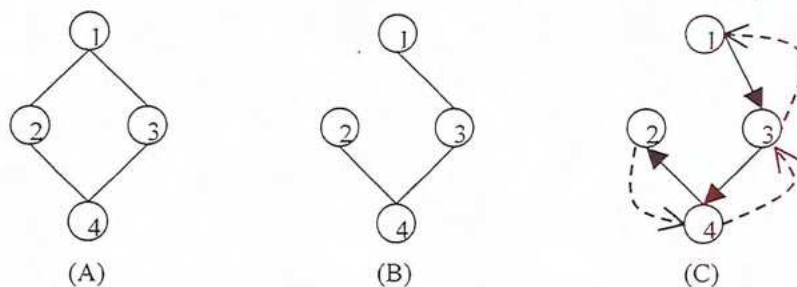


Figura 2: Exemplo de um percurso percorrido pelo agente de diagnóstico.

#### 4. Resultados de Simulação

Foram realizados diversos experimentos através de simulações construídas com a linguagem de simulação de eventos discretos *simpl* [9] para simular eventos nas redes.

Três grafos tradicionais foram usados nas simulações, são eles os grafos de retângulo, uma roda, e um sólido platônico, o octaedro, ilustrados na figura 3.

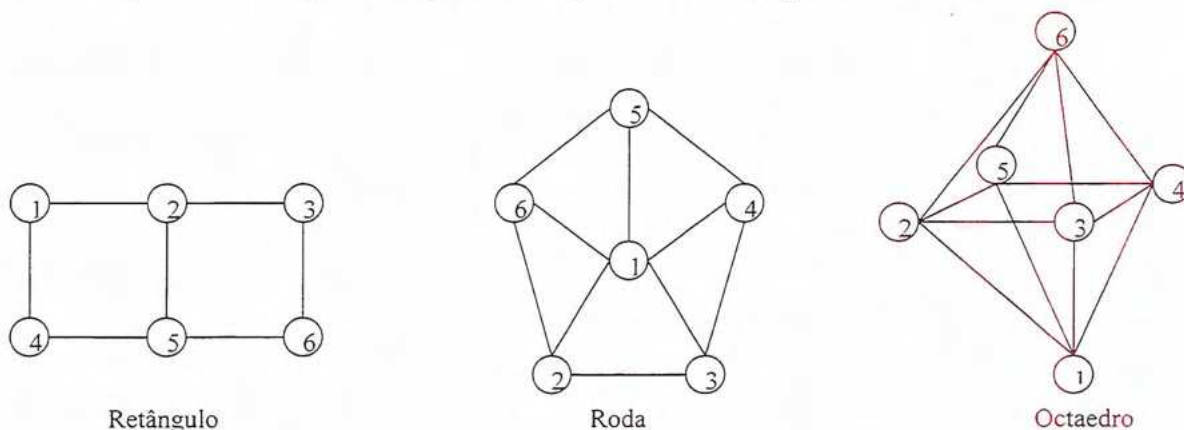


Figura 3: Grafos utilizados na simulação.

O agente se move pelo sistema passando de um nodo para o seguinte de acordo com o percurso determinado pelo algoritmo do Carteiro Chinês.

Após um nodo receber o Agente Chinês, foi utilizado um intervalo de 30 unidades de tempo para o nodo passar o agente ao nodo seguinte. Começando por um nodo qualquer, o carteiro irá percorrer todos os nodos e realizar testes de 30 em 30 unidades de tempo.

A seguir são descritos os resultados dos experimentos realizados nos três tipos de topologia.

*Grafo Retângulo:* não é euleriano e portanto deve ser transformado em tal. Define-se se que o percurso será iniciado pelo nodo 2, e que o evento irá ocorrer no link 2-3. Como o intervalo é de 30 unidades de tempo, o nodo 2 inicia a execução do agente no tempo 30, e a partir desse momento começa o percurso. O agente detecta a falha no link 2-3 após 120 unidades de tempo e deve disseminar essa mensagem de evento a todos os nodos, inclusive o próprio nodo 3, que detectou a falha e passa a ser então o nodo de origem. O diagnóstico é

obtido após o percurso total do agente, ou seja, ele deve voltar ao seu novo nodo de origem. O agente leva 240 unidades de tempo para percorrer toda a nova topologia e retornar ao seu nodo de origem com o diagnóstico da rede, sendo que o número de mensagens disseminadas foram 8.

*Grafo Roda:* não é euleriano. Iniciando o percurso pelo nodo 1, o agente detecta uma falha no link 1-5. A falha é detectada em 240 unidades de tempo, e o início da disseminação começa no tempo 270. O diagnóstico é obtido após a disseminação de 11 mensagens pelos nodos, e leva um tempo total de 330 unidades de tempo.

*Grafo Octaedro:* é um grafo euleriano. O percurso inicia no nodo 1, recebendo o agente no tempo 30. A falha é detectada no nodo 4-5 após 120 unidades de tempo e deve disseminar essa mensagem do evento a todos os nodos, inclusive o próprio nodo 4, que passa a ser então o nodo inicial. O diagnóstico é obtido após o percurso total do agente, ou seja, ele deve voltar ao seu novo nodo de origem, que agora é o 4. O agente leva 390 unidades de tempo para percorrer toda a nova topologia e retornar ao seu nodo de origem com o diagnóstico da rede. O número de mensagens disseminadas na rede é 13.

Uma análise das simulações indica que número de mensagens distribuídas pela rede é igual ao número de arestas do grafo original mais o número de arestas que foram adicionadas a ele para torná-lo euleriano. Portanto, pode acontecer de um nodo receber a mesma mensagem de disseminação várias vezes, e tais mensagens são chamadas de mensagens redundantes. O impacto de alguns nodos receberem a mesma mensagem diversas vezes não é significativo, pois em um determinado momento da disseminação, apenas uma mensagem está trafegando pela rede.

O tempo necessário para se completar o diagnóstico da rede é igual ao número de arestas do grafo original mais o número de arestas que foram adicionadas a ele para torná-lo euleriano, multiplicado pelo intervalo de tempo que foi predefinido para disseminação. Esta medida, juntamente com o número de mensagens redundantes reflete a latência do algoritmo.

## 5. Conclusão

Neste trabalho foi apresentado um algoritmo baseado no carteiro chinês para o diagnóstico distribuído em redes de topologia arbitrária. Um agente de diagnóstico inicia seu percurso na rede percorrendo os nodos e testando os links, caso o agente detecte a ocorrência de um evento, o algoritmo recalcula a topologia da rede e reinicia o agente do carteiro chinês, fazendo-o percorrer a nova topologia resultante do evento e avisando aos outros nodos sobre o estado da rede. Foram realizadas simulações com três tipos diferentes de topologia e uma análise dos resultados mostra que a latência do algoritmo é igual ao número de arestas do grafo transformado em euleriano multiplicado pelo intervalo de tempo predefinido; e o número de mensagens transmitidas na disseminação é igual ao número de arestas do grafo euleriano. É importante salientar também que a ocorrência de mensagens redundantes não ocasiona um impacto maior na rede.

Trabalhos futuros incluem a modificação do algoritmo para permitir recuperações de links e nodos falhos. Além disso, deve-se também permitir falhas que particionem a rede, e a ocorrência de eventos dinâmicos, ou seja, a detecção e recuperação de diversos eventos simultâneos. A produção de uma ferramenta prática para o diagnóstico de conectividade de redes de longa distância é também objetivo de trabalho futuro.

## Referências

- [1] E.P. Duarte Jr., “Um Algoritmo para Diagnóstico de Redes de Topologia Arbitrária”, I Workshop de Tolerância a Falhas da SBC, Porto Alegre, 1998.
- [2] S. Rangarajan, A. T. Dahbura, and E.A. Ziegler, “A Distributed System-Level Diagnosis Algorithm for Arbitrary Network Topologies,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 44, pp. 312-333, 1995.
- [3] E.P. Duarte Jr., F. Mansfield, T. Nanya, and S. Noguchi, “Non-Broadcast Network Fault-Monitoring Based on System-Level Diagnosis”, *Proc.IFIP/IEEE IM’97*, pp. 597-609, 1997.
- [4] E.P. Duarte Jr., T. Nanya, “A Hierarchical Adaptive Distributed System-Level Diagnosis Algorithm,” *IEEE Transactions on Computers*, Vol. 47, pp.34-45, No.1, Jan 1998.
- [5] O. Lee, “Passeios e conexidade em grafos mistos – Algoritmos e complexidade computacional”, *Dissertação apresentada ao instituto de matemática e estatística da Universidade de São Paulo para obtenção do grau de mestre em matemática aplicada*, 1994.
- [6] F. J. N. Gomes, B. F. Rezende, G. C. Barcellos, L. W. L. Pereira, E. F. Coutinho, G. A. de Castro, M. J. N. Gomes, A. W. C. Palhano, “Xnês: Um Ambiente Visual para Geração de Soluções Ótimas de Instâncias do Problema do Carteiro Chinês”, 1999.
- [7] L. Euler, “Solutio problematis ad geometriam situs pertinentis”, *Comentarii Academiae Scientiarum Imperialis Petropolitanae* 8, pp.128-140, 1736.
- [8] R. J. Wilson, J. J. Watkins, “Graphs- An Introductory Approach”, John Wiley & Sons, 1990.
- [9] M. H. MacDougall, “*Simulating Computer Systems: Techniques and Tools*”, The MIT Press, Cambridge, MA, 1987.