



ALGORITMIA E DESEMPENHO EM REDES DE COMPUTADORES

3º MINI PROJETO - *Connectivity in graphs*

Bernardo Gomes, 75573

Tomás Falcato, 75876

2 de Dezembro de 2015

1 Descrição do problema

Neste mini-projeto pretende-se avaliar a conectividade de uma rede representada por um grafo, ou seja, determinar qual o número mínimo de nós que ao retirar não permitem que o grafo esteja ligado.

Numa primeira fase, dado um par de nós do grafo, calcula-se o número mínimo de nós que é necessário retirar para que não haja nenhum caminho a ligar o par especificado.

Posteriormente, fez-se uma análise mais detalhada da rede, repetindo o processo anterior para todos os pares de nós de forma a armazenar a informação do número de nós que foi necessário retirar para cada par. Com a informação anterior, torna-se possível calcular a probabilidade cumulativa do número de nós a separar um par de nós.

Por fim, é verificado qual o número mínimo de nós que previne o grafo de ser conexo e é mostrado ao utilizador quais são os identificadores dos mesmos, por forma a que a informação do programa possa ser facilmente comprovada.

2 Abordagem ao problema

Sendo do nosso conhecimento que o número mínimo de nós que separa a fonte do destino é igual ao número máximo de caminhos independentes entre a origem e o destino, é de notar que o problema em causa é bastante semelhante à determinação de quais as arestas de um grafo que previnem que este seja conexo. No caso anterior, o problema seria reduzido a um problema de fluxos. Ora recorrendo à técnica de *vertex splitting* será possível resolver o problema de forma semelhante.

Ao dividir cada nó em dois, define-se "nó -" como o nó que irá receber todas as ligações, que o nó respetivo do grafo inicial receberia, entre os restantes e ele mesmo e que apenas tem ligação ao nó com o mesmo identificador que ele ("nó +"). Define-se "nó +" como o nó com o mesmo identificador que o nó que lhe deu origem, mantendo este as ligações entre este nó e todos os outros, que o nó respetivo do grafo inicial teria, recebendo apenas a ligação do respetivo "nó -".

Colocando as arestas que ligam as extremidades "-" e "+" de cada nó com capacidade "1" e todas as outras arestas, que já pertenciam ao grafo inicial, com capacidade infinita, aplicando o algoritmo de *Ford-Fulkerson*, é-nos possível resolver o problema enunciado.

3 Função *ford_fulkerson*

Apesar da referência ao algoritmo com o mesmo nome da função, o nosso código é uma adaptação do algoritmo em questão.

Tendo todas as arestas do grafo dado no ficheiro capacidade infinita e todas as arestas "internas" de cada nó capacidade "1", não foi necessário preocuparmos com as atualizações dos fluxos. Apenas é necessário atualizar a rede residual no que respeita à inversão do sentido da aresta que liga os nós - e + de cada nó pertencente a dado caminho descoberto, garantindo assim que todos os caminhos descobertos em cada iteração são independentes.

O pseudo-código da função será o seguinte:

```

Result: number of nodes that separate the graph and its identifiers
see if there's a path from source to destination;
while there's a path from source to destination do
    | invert edge link between - and + node in each original node from
    | path;
    | see if there's a path in new residual network;
end
see in discovered vector which nodes were only half discovered and count
them;
if counted nodes are less than previous counts then
    | pass to a string which nodes prevented the graph from being connex;
end

```

Algorithm 1: Função *ford_fulkerson*

Para a realização desta função, realizámos sucessivas BFSs por forma a verificar se existia um caminho independente da origem para o destino. Esta função, irá retornar um vetor *discovered* que indica quais os nós que foram descobertos e um vetor *parent* que indica através de que nó o nó em causa foi descoberto.

Através desta informação, a função *path* irá reconstruir o caminho da BFS começando pelo destino. Se conseguir chegar à origem significa que o algoritmo conseguiu identificar um caminho independente dos descobertos anteriormente pelo que é necessário alterar novamente a rede residual.

Quando a função indica que não existe caminho entre os nós especificados, significa que se chegou a uma situação semelhante à ilustrada na figura 1, em que o nó mais à esquerda é a origem e o mais à direita o destino. Nesse caso, nos nós da fronteira, onde se verifica qual o corte mínimo, a posição do vetor *discovered* irá conter informação que apenas os nós — foram descobertos ("*half discovered*").

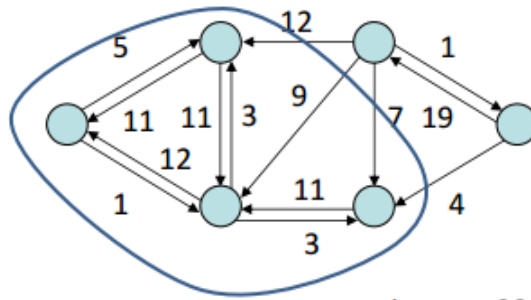


Figura 1

Este resultado deve-se à sucessiva inversão de arestas "interiores", até que a dado ponto seja impossível chegar desde a origem ao destino. Os nós "*half discovered*" serão os nós necessários para retirar para que o não seja descoberto nenhum caminho da origem para o destino.

Está também nesta função a terceira parte do projeto, em que nos é pedido para calcular a conetividade do grafo e fornecer os nós que separam o grafo. Esta parte de código encontra-se contemplada no *if* final da função, em que, caso o

número de nós necessário retirar para separar um nó de outro seja inferior ao número de nós da iteração anterior, atualiza-se a *string* que contém os índices desses nós, passando a conter apenas os que separaram o grafo nesta iteração. A conectividade é, simplesmente, o número de nós a retirar mínimo após corrido o programa para todos os pares de nós do grafo.

4 Função *cumulative_statistics*

Esta função destina-se à segunda parte do projeto, em que é necessário calcular a distribuição cumulativa do número mínimo de nós a serem retirados. Não se irá apresentar pseudo-código dada a simplicidade da função.

Ao correr cada iteração da função *ford_fulkerson* é armazenado num vetor o número de vezes que determinado número de nós é necessário retirar para separar dada origem e destino. Após concluídas todas as iterações ficamos com um vetor que, em cada posição, contém o número de vezes que se necessitou de retirar o valor do índice de cada posição do vetor.

Após a obtenção do vetor das estatísticas, é calculado na função *cumulative_statistics* as ocorrências totais de cada número de nós a serem retirados. É, depois, impresso no terminal a divisão das ocorrências de cada índice do vetor pelo valor total das ocorrências, é omitida a posição 0 desse vetor, visto que as estatísticas de nenhum nó ser necessário retirar não é interessante para o projeto, apesar de se ter em conta nas ocorrências totais.

5 Considerações Finais

Com a resolução deste mini-projeto conseguimos compreender melhor o algoritmo de *Ford Fulkerson* que, apesar de adaptado, esteve bastante presente na nossa implementação, bem como algoritmos previamente estudados como a *BFS (Breadth First Search)* e, finalmente, o teorema do *max flow min cut*, dado recentemente nas aulas teóricas.

Existem no entanto, algumas limitações do programa, especificadas no enunciado, como a existência de um máximo de 100 nós com índices entre 0 e 99. Assumimos também que não pode existir nó 1 se não existir nó 0, pois apesar de o programa correr corretamente e o número de nós a retirar ser correto, as estatísticas não irão ser as corretas, visto que o programa assume que existe uma ligação do nó 0, que está em falta no ficheiro de entrada, para todos os outros nós do grafo.

De forma a tornar o programa mais *user friendly* criou-se um menu inicial em que o utilizador escolhe um de dois modos de funcionamento do programa:

1. No primeiro modo o utilizador escolhe uma origem e um destino, existentes no grafo, o programa irá retornar o número de nós necessários para os separar e qual esse conjunto de nós.
2. No segundo modo o utilizador não introduz quaisquer *inputs*, o programa irá correr, automaticamente, para todos os pares de nós, calculando a distribuição cumulativa, o número mínimo de nós a retirar para que o grafo seja conexo e, finalmente, o conjunto dos nós a retirar para que tal aconteça.