Uma imagem com texto

Descrição gerada automaticamente

**DEPARTAMENTO DE ELETRÓNICA, TELECOMUNICAÇÕES E INFORMÁTICA**

MESTRADO EM ENGENHARIA DE COMPUTADORES E TELEMÁTICA

ANO 2021/2022

**MODELAÇÃO E DESEMPENHO DE REDES E SERVIÇOS**

**MINI-PROJECT 2**

**TRAFFIC ENGINEERING OF**

**TELECOMMUNCATION NETWORKS**

Tiago Dias (88896)

Rita Amante (89264)

|  |
| --- |
| **TASK 1** |

In this task, the aim is to compute a symmetrical single path routing solution to support the unicast service which minimizes the resulting worst link load.

**1.a.** With a k-shortest path algorithm (using the lengths of the links), compute the number of different routing paths provided by the network to each traffic flow. What do you conclude?

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58 | clear all;  close all;  Nodes= [30 70  350 40  550 180  310 130  100 170  540 290  120 240  400 310  220 370  550 380];  Links= [1 2  1 5  2 3  2 4  3 4  3 6  3 8  4 5  4 8  5 7  6 8  6 10  7 8  7 9  8 9  9 10];  T= [1 3 1.0 1.0  1 4 0.7 0.5  2 7 2.4 1.5  3 4 2.4 2.1  4 9 1.0 2.2  5 6 1.2 1.5  5 8 2.1 2.5  5 9 1.6 1.9  6 10 1.4 1.6];  nNodes= 10;  nLinks= size(Links,1);  nFlows= size(T,1);  co= Nodes(:,1)+j\*Nodes(:,2);  L= inf(nNodes);  for i=1:nNodes  L(i,i)= 0;  end  for i=1:nLinks  d= abs(co(Links(i,1))-co(Links(i,2)));  L(Links(i,1),Links(i,2))= d+5;  L(Links(i,2),Links(i,1))= d+5;  end  L= round(L);  n= inf;  [sP nSP]= calculatePaths(L,T,n);  fprintf('With a k-shortest path algorithm (using the lengths of the links):\n');  for i = 1:nFlows  fprintf(' Flow %d has %d different routing paths provided by the network.\n', i, nSP(i));  end |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiram-se três matrizes: a matriz com a localização de cada nó para depois calcular o comprimento das ligações, onde a primeira coluna corresponde à coordenada x e a segunda à coordenada y (linhas 3 a 12); a matriz que contém todas as ligações da rede (linhas 13 a 28) e a matriz para cada fluxo, onde a primeira coluna corresponde ao nó origem, a segunda ao nó destino, a terceira ao débito binário origem-destino e a quarta coluna ao débito binário destino-origem (linhas 29 a 37).  De seguida, inicializaram-se algumas variáveis como o número de nós na rede (linha 38), o número de ligações (linha 39), o número de fluxos (linha 40) e os números complexos, onde a parte real corresponde à coordenada x e a parte imaginária à coordenada y (linha 41).  Posteriormente, definiu-se uma matriz L que contém os comprimentos, em km, de cada ligação ij, ou infinito se a ligação não existir, com a diagonal preenchida a zeros (linhas 42 a 51).  Depois, definiram-se quantos caminhos se pretende usar, onde n=inf corresponde a todos os caminhos possíveis na rede (linha 52). Calcularam-se todos os caminhos da rede para cada fluxo, do mais curto para o mais longo, com a ajuda da função auxiliar *calculatePaths(L,T,n)* que devolve, para cada fluxo, em sP os caminhos possíveis e em nSP o número total de caminhos.  Por fim, imprimiu-se o número total de caminhos para cada fluxo (linhas 55 a 57).  O código das linhas 1 a 51, será utilizado em todas as restantes alíneas da tarefa 1 e na tarefa 2. | |
| **Result** | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| **FALTAAAAAAAAAAAAAAA** | |

**1.b.** Run a random algorithm during 10 seconds in three cases: (i) using all possible routing paths, (ii) using the 10 shortest routing paths, and (iii) using the 5 shortest routing paths. For each case, register the worst link load value of the best solution, the number of solutions generated by the algorithm and the average quality of all solutions. On a single figure, plot for the three cases the worst link load values of all solutions in an increasing order. Take conclusions on the influence of the number of routing paths in the efficiency of the random algorithm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36 | fprintf('RANDOM STRATEGY\n');  fprintf(' Using all possible routing paths:\n');  n = inf;  [sP nSP] = calculatePaths(L,T,n);  sol = ones(1,nFlows);  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  maxLoad = max(max(Loads(:,3:4)));  time = 10;  t = tic;  bestLoad = inf;  sol = zeros(1,nFlows);  allValues = [];  while toc(t) < time  for i = 1:nFlows  sol(i) = randi(nSP(i));  end  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load = max(max(Loads(:,3:4)));  allValues = [allValues load];  if load < bestLoad  bestSol = sol;  bestLoad = load;  end  end  fprintf(' Worst load = %.2f Gbps\n', bestLoad);  fprintf(' No. of solutions = %d\n', length(allValues));  fprintf(' Av. quality of solutions = %.2f Gbps\n\n', mean(allValues));  figure(1);  hold on  plot(sort(allValues));  ...  title({'Random algorithm'}, {'to minimize the worst link load'});  xlabel('No. of solutions');  ylabel('Best Load (Gbps)');  legend('All possible routing paths','10 shortest routing paths','5 shortest routing paths','Location','northwest'); |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiu-se o número de caminhos a utilizar no algoritmo Random (linha 3), que irá variar entre inf (usando todos os caminhos possíveis na rede), 10 (usando 10 caminhos de roteamento mais curtos) e 5 (usando 5 caminhos de roteamento mais curtos).  De seguida, calcularam-se os n caminhos da rede para cada fluxo (linha 4) e as cargas das ligações usando o primeiro caminho mais curto de cada fluxo (linhas 5 a 7), definiu-se o critério de paragem (linha 8) e inicializaram-se algumas variáveis auxiliares (linhas 9 a 12).  Enquanto o tempo não ultrapassa o estipulado (linhas 13 a 24), selecionou-se um caminho aleatório para cada fluxo, calcularam-se as cargas da solução gerada, verificou-se o maior valor das cargas entre a terceira e quarta coluna, guardaram-se todos os valores de carga máxima de todas as soluções e ficou-se com a melhor solução de todas (linhas 14 a 23).  Este processo repete-se para n=10 e n=5 caminhos mais curtos. Para cada valor de n, imprimiu-se o pior valor de carga da melhor ligação, o número de soluções geradas pelo algoritmo e a qualidade média de todas as soluções (linhas 25 a 27) e, por fim, desenhou-se o gráfico com as melhores cargas de todas as soluções geradas para cada simulação de n (linhas 28 a 36).  É importante salientar que, quando a função objetivo é minimizar a carga máxima, não é preciso se preocupar se a carga máxima ultrapassa os 10 Gbps. Escolhe-se o melhor percurso e, mesmo que a carga máxima seja superior a 10 Gbps, não há problema porque como se pretende minimizar a carga máxima, pode-se começar com uma carga superior a 10Gbps e depois, ou o algoritmo Hill Climbing consegue baixar a carga ou, se no fim tiver a solução superior a 10 Gbps, desde que haja uma solução abaixo dos 10 Gbps, ignora-se todas as soluções acima do 10 Gbps. | |
| **Result** | |
|  | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| Relativamente à qualidade das soluções e à melhor carga, quando n=inf, ou seja, quando são utilizados todos os caminhos possíveis na rede para cada fluxo, obtêm-se soluções com baixa qualidade, pois como como se calcula a carga para todos os caminhos possíveis, considerando os mais curtos ou não, a qualidade média das soluções é elevada.  Quando n=10, ou seja, quando são utilizados os 10 caminhos mais curtos, obtêm-se soluções com melhor qualidade, o que aumenta a probabilidade de encontrar uma carga melhor, visto que se restringe o intervalo de procura para 10 caminhos mais curtos para cada fluxo em vez de se analisarem todos os caminhos possíveis.  Quando n=5, ou seja, quando são utilizados os 5 caminhos mais curtos, obtêm-se soluções com melhor qualidade, o que aumenta ainda mais a probabilidade de encontrar uma carga melhor.  Relativamente ao número de soluções geradas, para cada um dos valores de n, variam ligeiramente, mas, de uma vista geral, o número de caminhos de roteamento não influencia o número de soluções.  Concluindo, o número de caminhos de roteamento influencia a eficiência do algoritmo Random, pois quanto menor for o número de caminhos, menor será a melhor carga da ligação e melhor será a qualidade das soluções. No entanto, o número de caminhos não influencia o número de soluções geradas. | |

**1.c.** Repeat experiment **1.b** but now using a greedy randomized algorithm instead of the random algorithm. Take conclusions on the influence of the number of routing paths in the efficiency of the greedy randomized algorithm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47 | fprintf('GREEDY RANDOMIZED STRATEGY\n');  fprintf(' Using all possible routing paths:\n');  n= inf;  [sP nSP] = calculatePaths(L,T,n);  sol = ones(1,nFlows);  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  maxLoad = max(max(Loads(:,3:4)));  time= 10;  t = tic;  bestLoad = inf;  allValues = [];  while toc(t) < time  ax2 = randperm(nFlows);  sol = zeros(1,nFlows);  for i = ax2  k\_best = 0;  best = inf;  for k = 1:nSP(i)  sol(i) = k;  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load = max(max(Loads(:,3:4)));  if load < best  k\_best = k;  best = load;  end  end  sol(i) = k\_best;  end  load = best;  allValues = [allValues load];  if load < bestLoad  bestSol = sol;  bestLoad = load;  end  end  fprintf(' Best load = %.2f Gbps\n', bestLoad);  fprintf(' No. of solutions = %d\n', length(allValues));  fprintf(' Av. quality of solutions = %.2f Gbps\n\n', mean(allValues));  figure(2);  hold on  plot(sort(allValues));  ...  title({'Greedy Randomized algorithm'}, {'to minimize the worst link load'});  xlabel('No. of solutions');  ylabel('Best Load (Gbps)');  legend('All possible routing paths','10 shortest routing paths','5 shortest routing paths','Location','southeast'); |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiu-se o número de caminhos a utilizar no algoritmo Greedy Randomized (linha 3), que irá variar entre inf (usando todos os caminhos possíveis na rede), 10 (usando 10 caminhos de roteamento mais curtos) e 5 (usando 5 caminhos de roteamento mais curtos).  De seguida, calcularam-se os n caminhos da rede para cada fluxo (linha 4) e as cargas das ligações usando o primeiro caminho mais curto de cada fluxo (linhas 5 a 7), definiu-se o critério de paragem (linha 8) e inicializaram-se algumas variáveis auxiliares (linhas 9 a 11).  Enquanto o tempo não ultrapassa o estipulado (linhas 12 a 35), escolheu-se uma ordem aleatória para os fluxos e depois, para cada fluxo, por essa ordem, escolheu-se o percurso que dá a melhor função objetivo. Ou seja, o i vai rodar por todos os fluxos pela ordem ax2, vão calcular-se as cargas e a carga máxima entre a terceira e quarta coluna e vai escolher-se o melhor percurso para o fluxo i da função objetivo (linhas 13 a 34).  Este processo repete-se para n=10 e n=5 caminhos mais curtos. Para cada valor de n, imprimiu-se o pior valor de carga da melhor ligação, o número de soluções geradas pelo algoritmo e a qualidade média de todas as soluções (linhas 36 a 38) e, por fim, desenhou-se o gráfico com as melhores cargas de todas as soluções geradas para cada simulação de n (linhas 39 a 47).  O algoritmo implementado é greedy porque sempre que se escolhe um percurso, escolhe-se o melhor e é randomized pois escolhe-se uma ordem para os fluxos e ao se escolher diferentes ordens, o resultado são diferentes soluções. | |
| **Result** | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| Relativamente à qualidade das soluções e à melhor carga, quando n=inf, ou seja, quando são utilizados todos os caminhos possíveis na rede para cada fluxo, obtém-se uma eficiência boa, com poucas soluções geradas e com boa qualidade média das soluções.  Quando n=10, ou seja, quando são utilizados os 10 caminhos mais curtos, obtém-se uma eficiência semelhante à anterior quando n=inf, mas com um aumento bastante significativo no número de soluções geradas pelo algoritmo.  Quando n=5, ou seja, quando são utilizados os 5 caminhos mais curtos, a eficiência do algoritmo piora, geram-se mais soluções com pior qualidade e o valor da melhor carga aumenta.  Concluindo, o número de caminhos de roteamento influencia a eficiência do algoritmo Greedy Randomized, pois quanto menor for o número de caminhos, maior será a melhor carga da ligação e pior será a qualidade média das soluções, aumentando o número de soluções geradas. | |

**1.d.** Repeat experiment **1.b** but now using a multi start hill climbing algorithm instead of the random algorithm. Take conclusions on the influence of the number of routing paths in the efficiency of the multi start hill climbing algorithm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58  59  60  61  62  63  64  65  66  67  68  69  70  71  72  73  74  75  76  77  78 | fprintf('MULTI START HILL CLIMBING STRATEGY\n');  fprintf(' Using all possible routing paths:\n');  n = inf;  [sP nSP] = calculatePaths(L,T,n);  sol = ones(1,nFlows);  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  maxLoad = max(max(Loads(:,3:4)));  time = 10;  t = tic;  bestLoad = inf;  allValues = [];  contadortotal = [];  while toc(t) < time  % Greedy Randomized  ax2 = randperm(nFlows);  sol = zeros(1,nFlows);  for i = ax2  k\_best = 0;  best = inf;  for k = 1:nSP(i)  sol(i) = k;  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load = max(max(Loads(:,3:4)));  if load < best  k\_best = k;  best = load;  end  end  sol(i) = k\_best;  end  load = best;  % Multi start Hill CLimbing  continuar = true;  while continuar  i\_best = 0;  k\_best = 0;  best = load;  for i = 1:nFlows  for k = 1:nSP(i)  if k ~= sol(i)  aux = sol(i);  sol(i) = k;  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load1 = max(max(Loads(:,3:4)));  if load1 < best  i\_best = i;  k\_best = k;  best = load1;  end  sol(i) = aux;  end  end  end  if i\_best > 0  sol(i\_best) = k\_best;  load = best;  else  continuar = false;  end  end  allValues = [allValues load];  if load < bestLoad  bestSol = sol;  bestLoad = load;  end  end  fprintf(' Best load = %.2f Gbps\n', bestLoad);  fprintf(' No. of solutions = %d\n', length(allValues));  fprintf(' Av. quality of solutions = %.2f Gbps\n\n', mean(allValues));  figure(3);  hold on  plot(sort(allValues));  ...  title({'Multi start Hill CLimbing algorithm'}, {'to minimize the worst link load'});  xlabel('No. of solutions');  ylabel('Best Load (Gbps)');  legend('All possible routing paths','10 shortest routing paths','5 shortest routing paths','Location','southeast'); |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiu-se o número de caminhos a utilizar no algoritmo Multi Start Hill Climbing (linha 3), que irá variar entre inf (usando todos os caminhos possíveis na rede), 10 (usando 10 caminhos de roteamento mais curtos) e 5 (usando 5 caminhos de roteamento mais curtos).  De seguida, calcularam-se os n caminhos da rede para cada fluxo (linha 4) e as cargas das ligações usando o primeiro caminho mais curto de cada fluxo (linhas 5 a 7), definiu-se o critério de paragem (linha 8) e inicializaram-se algumas variáveis auxiliares (linhas 9 a 12).  Enquanto o tempo não ultrapassa o estipulado (linhas 13 a 66), em primeiro lugar, construiu-se uma solução, usando o algoritmo Greedy Randomized (linhas 14 a 31) e, com essa solução, calculou-se uma nova solução aplicando o algoritmo Hill Climbing (linhas 32 a 65). Já tendo o percurso escolhido para cada fluxo testaram-se todas as soluções dadas pela troca de um percurso por um outro para cada fluxo, ou seja, testando todas essas soluções, verifica-se se a solução é melhor que a atual e, caso seja, troca-se e volta-se a repetir até que nenhuma das trocas individuais seja melhor (mínimo local).  Este processo repete-se para n=10 e n=5 caminhos mais curtos. Para cada valor de n, imprimiu-se o pior valor de carga da melhor ligação, o número de soluções geradas pelo algoritmo e a qualidade média de todas as soluções (linhas 67 a 69) e, por fim, desenhou-se o gráfico com as melhores cargas de todas as soluções geradas para cada simulação de n (linhas 70 a 78). | |
| **Result** | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| Relativamente à qualidade das soluções e à melhor carga, quando n=inf, ou seja, quando são utilizados todos os caminhos possíveis na rede para cada fluxo, obtém-se uma eficiência bastante boa, com poucas soluções geradas e com boa qualidade média das soluções.  Quando n=10, ou seja, quando são utilizados os 10 caminhos mais curtos, obtém-se uma eficiência igual à anterior quando n=inf, mas com um aumento significativo no número de soluções geradas pelo algoritmo.  Quando n=5, ou seja, quando são utilizados os 5 caminhos mais curtos, a eficiência do algoritmo piora, geram-se mais soluções com pior qualidade e o valor da melhor carga aumenta.  Concluindo, o número de caminhos de roteamento influencia a eficiência do algoritmo Multi Start Hill Climbing, pois quanto menor for o número de caminhos, maior será a melhor carga da ligação e pior será a qualidade média das soluções, aumentando o número de soluções geradas. | |

**1.e.** Compare the efficiency of the three heuristic algorithms based on the results obtained in **1.b**, **1.c** and **1.d**.

|  |
| --- |
| **Code analysis** |
| Para esta alínea reaproveitaram-se os códigos das alíneas 1.b, 1.c e 1.d, considerando apenas um caso: n= inf (usando todos os caminhos possíveis na rede). |
| **Result** |
|  |
| **Conclusions** |
| Relativamente ao algoritmo Random, é notório que é um algoritmo pouco eficiente quando se pretende minimizar a carga máxima, uma vez que apresenta um elevado número de soluções geradas, com má qualidade e a carga máxima ainda continua a estar elevada.  O algoritmo Greedy Randomized e o Multi Start Hill Climbing foram igualmente eficientes, obtendo uma melhor solução com o mesmo valor. No entanto, o algoritmo Multi Start Hill Climbing gera muito menos soluções que o algoritmo Greedy Randomized e com melhor qualidade média de soluções.  Concluindo, o Multi Start Hill Climbing traz ganhos para a função objetivo pois consegue minimizar a carga máxima. |

|  |
| --- |
| **TASK 2** |

Consider that the energy consumption of each link is proportional to its length. Consider also that a link not supporting traffic in any of its direction can be put in sleeping mode with no energy consumption. In this task, the aim is to compute a symmetrical single path routing solution to support the unicast service which minimizes the energy consumption of the network.

**2.a.** Run a random algorithm during 10 seconds in three cases: (i) using all possible routing paths, (ii) using the 10 shortest routing paths, and (iii) using the 5 shortest routing paths. For each case, register the energy consumption value of the best solution, the number of solutions generated by the algorithm and the average quality of all solutions. On a single figure, plot for the three cases the worst link load values of all solutions in an increasing order. Take conclusions on the influence of the number of routing paths in the efficiency of the random algorithm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43 | fprintf('RANDOM STRATEGY\n');  fprintf(' Using all possible routing paths:\n');  n = inf;  [sP nSP] = calculatePaths(L,T,n);  time = 10;  t = tic;  bestEnergy = inf;  sol = zeros(1,nFlows);  allValues = [];  while toc(t) < time  for i = 1:nFlows  sol(i) = randi(nSP(i));  end  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load = max(max(Loads(:,3:4)));  if load <= 10  energy = 0;  for a = 1:nLinks  if Loads(a,3)+Loads(a,4) > 0  energy = energy + L(Loads(a,1),Loads(a,2));  end  end  else  energy = inf;  end  allValues = [allValues energy];  if energy < bestEnergy  bestSol = sol;  bestEnergy = energy;  end  end  fprintf(' Best energy = %.1f Km\n', bestEnergy);  fprintf(' No. of solutions = %d\n', length(allValues));  fprintf(' Av. quality of solutions = %.1f Km\n\n', mean(allValues));  figure(1);  hold on  plot(sort(allValues));  ...  title({'Random algorithm'}, {'to minimize the energy consumption of the network'});  xlabel('No. of solutions');  ylabel('Best energy (Km)');  legend('All possible routing paths','10 shortest routing paths','5 shortest routing paths','Location','southeast'); |
| **Code analysis** | |
| Na tarefa 2, a função objetivo é diferente que a tarefa 1, em vez de ser para minimizar a carga máxima é para minimizar o consumo de energia. Quando a função objetivo é minimizar o consumo de energia, há tendência a concentrar os fluxos no menor número de ligações para que se obtenha o máximo de ligações possíveis sem suportar fluxos para se poderem colocar em sleeping mode (minimizar a energia). Sendo, então, preciso forçar, sempre que se constrói uma solução, a que essa solução não ultrapasse os 10 Gbps.  Reaproveitou-se o código da experiência 1.b, fazendo algumas alterações. Enquanto o tempo não ultrapassa o estipulado (linhas 10 a 31), selecionou-se um caminho de roteamento aleatório para cada fluxo, calcularam-se as cargas da solução gerada, verificou-se o maior valor das cargas entre a terceira e quarta coluna e verificou-se se a carga máxima da solução não ultrapasse os 10 Gbps pois, caso ultrapasse, é ignorada e volta-se a gerar uma nova solução até que a carga máxima não ultrapasse os 10 Gbps, caso contrário, a solução é aceite. Calculou-se a energia como a soma dos comprimentos de todas as ligações que não estão em spleeping mode, uma vez que a energia é proporcional ao comprimento das ligações que não estão em spleeping mode. Verificou-se se a energia é menor que o best e, caso seja, guarda-se esse valor (linhas 11 a 30).  Este processo repete-se para n=10 e n=5 caminhos mais curtos. Para cada valor de n, imprimiu-se o valor de consumo de energia da melhor solução, o número de soluções geradas pelo algoritmo e a qualidade média de todas as soluções (linhas 32 a 34) e, por fim, desenhou-se o gráfico com as melhores energias de todas as soluções geradas para cada simulação de n (linhas 35 a 43). | |
| **Result** | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| Por observação direta do gráfico, o algoritmo Random atinge um limite máximo aos 3111 que é quando a solução passa por todos os nós. Logo, a qualidade média das soluções tende sempre para inf.  Quanto à melhor energia, quando n=inf, ou seja, quando são utilizados todos os caminhos possíveis na rede para cada fluxo, obtém-se pior eficiência, com um valor elevado da melhor energia. Quando n=10, ou seja, quando são utilizados os 10 caminhos mais curtos, obtém-se uma melhor energia, visto que se restringe o intervalo de procura para 10 caminhos mais curtos para cada fluxo. Quando n=5, ou seja, quando são utilizados os 5 caminhos mais curtos, obtém-se uma energia ainda melhor.  Concluindo, o número de caminhos de roteamento influencia a eficiência do algoritmo Random, pois quanto menor for o número de caminhos, menor será o consumo de energia, pois os caminhos possíveis para a sua escolha são também menores. | |

**2.b.** Repeat experiment **2.a** but now using a greedy randomized algorithm instead of the random algorithm. Take conclusions on the influence of the number of routing paths in the efficiency of the greedy randomized algorithm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58  59  60  61  62  63 | fprintf('GREEDY RANDOMIZED STRATEGY\n');  fprintf(' Using all possible routing paths:\n');  n = inf;  [sP nSP] = calculatePaths(L,T,n);  time = 10;  t = tic;  bestEnergy = inf;  allValues = [];  while toc(t) < time  continuar = true;  while continuar  continuar = false;  ax2 = randperm(nFlows);  sol = zeros(1,nFlows);  for i = ax2  k\_best = 0;  best = inf;  for k = 1:nSP(i)  sol(i) = k;  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load = max(max(Loads(:,3:4)));  if load <= 10  energy = 0;  for a = 1:nLinks  if Loads(a,3)+Loads(a,4) > 0  energy = energy + L(Loads(a,1),Loads(a,2));  end  end  else  energy = inf;  end  if energy < best  k\_best = k;  best = energy;  end  end  if k\_best > 0  sol(i) = k\_best;  else  continuar = true;  break;  end  end  end  energy = best;  allValues = [allValues energy];  if energy < bestEnergy  bestSol = sol;  bestEnergy = energy;  end  end  fprintf(' Best energy = %.1f Km\n', bestEnergy);  fprintf(' No. of solutions = %d\n', length(allValues));  fprintf(' Av. quality of solutions = %.1f Km\n\n', mean(allValues));  figure(2);  hold on  plot(sort(allValues));  ...  title({'Greedy Randomized algorithm'}, {'to minimize the energy consumption of the network'});  xlabel('No. of solutions');  ylabel('Best energy (Km)');  legend('All possible routing paths','10 shortest routing paths','5 shortest routing paths','Location','southeast'); |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiu-se o número de caminhos a utilizar no algoritmo Greedy Randomized (linha 3), que irá variar entre inf (usando todos os caminhos possíveis na rede), 10 (usando 10 caminhos de roteamento mais curtos) e 5 (usando 5 caminhos de roteamento mais curtos).  De seguida, calcularam-se os n caminhos da rede para cada fluxo (linha 4), definiu-se o critério de paragem (linha 5) e inicializaram-se algumas variáveis auxiliares (linhas 6 a 8).  Enquanto o tempo não ultrapassa o estipulado (linhas 9 a 51), criou-se um ciclo while para construir a solução (linhas 11 a 44). Dentro deste ciclo, escolheu-se uma ordem aleatória para os fluxos e depois, para cada fluxo, por essa ordem, escolheu-se o percurso que dá a melhor função objetivo. Ou seja, o i vai rodar por todos os fluxos pela ordem ax2, vai calcular as cargas e a carga máxima entre a terceira e quarta coluna, vai verificar se a solução criada não ultrapasse os 10 Gbps pois, caso ultrapasse, é ignorada e volta-se a gerar uma nova solução até que a carga máxima não ultrapasse os 10 Gbps. Caso contrário, a solução vai ser aceite e calculada a energia como a soma dos comprimentos de todas as ligações que não estão em spleeping mode, vai se verificar se a energia é menor que o best e, caso seja, guarda-se esse valor (linhas 13 a 43). Caso k\_best = 0, quer dizer que no fluxo atual, nenhum dos percursos foi possível ser guardado sem que a carga máxima ultrapasse os 10 Gbps. Caso k\_best > 0, quer dizer que, pelo menos, um percurso foi possível guardar que não ultrapasse os 10 Gbps (linhas 37 a 42).  Este processo repete-se para n=10 e n=5 caminhos mais curtos. Para cada valor de n, imprimiu-se o valor de consumo de energia da melhor solução, o número de soluções geradas pelo algoritmo e a qualidade média de todas as soluções (linhas 52 a 54) e, por fim, desenhou-se o gráfico com as melhores energias de todas as soluções geradas para cada simulação de n (linhas 55 a 63). | |
| **Result** | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| Relativamente à qualidade das soluções e à melhor energia, quando n=inf, ou seja, quando são utilizados todos os caminhos possíveis na rede para cada fluxo, obtém-se uma eficiência boa, com poucas soluções geradas e com boa qualidade média das soluções.  Quando n=10, ou seja, quando são utilizados os 10 caminhos mais curtos, obtém-se uma eficiência semelhante à anterior quando n=inf, mas com um aumento bastante significativo no número de soluções geradas e, consequentemente, um aumento na qualidade média das soluções geradas pelo algoritmo.  Quando n=5, ou seja, quando são utilizados os 5 caminhos mais curtos, a eficiência do algoritmo piora, geram-se mais soluções com pior qualidade e o valor da melhor energia aumenta.  Concluindo, o número de caminhos de roteamento influencia a eficiência do algoritmo Greedy Randomized, pois quanto menor for o número de caminhos, maior será a melhor carga da ligação e pior será a qualidade média das soluções, aumentando o número de soluções geradas. | |

**2.c.** Repeat experiment **2.a** but now using a multi start hill climbing algorithm instead of the random algorithm. Take conclusions on the influence of the number of routing paths in the efficiency of the multi start hill climbing algorithm.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58  59  60  61  62  63  64  65  66  67  68  69  70  71  72  73  74  75  76  77  78  79  80  81  82  83  84  85  86  87  88  89  90  91  92  93  94  95  96  97  98  99  100  101  102  103  104  105  106 | fprintf('MULTI START HILL CLIMBING STRATEGY\n');  fprintf(' Using all possible routing paths:\n');  n = inf;  [sP nSP] = calculatePaths(L,T,n);  time = 10;  t = tic;  bestEnergy = inf;  allValues = [];  contadortotal = [];  while toc(t) < time  % Greedy Randomized  continuar = true;  while continuar  continuar = false;  ax2 = randperm(nFlows);  sol = zeros(1,nFlows);  for i = ax2  k\_best = 0;  best = inf;  for k = 1:nSP(i)  sol(i) = k;  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load = max(max(Loads(:,3:4)));  if load <= 10  energy = 0;  for a = 1:nLinks  if Loads(a,3)+Loads(a,4)>0  energy = energy + L(Loads(a,1),Loads(a,2));  end  end  else  energy = inf;  end  if energy < best  k\_best = k;  best = energy;  end  end  if k\_best > 0  sol(i) = k\_best;  else  continuar = true;  break;  end  end  end  energy = best;    % Multi start Hill CLimbing:  continuar = true;  while continuar  i\_best = 0;  k\_best = 0;  best = energy;  for i = 1:nFlows  for k = 1:nSP(i)  if k ~= sol(i)  aux = sol(i);  sol(i) = k;  Loads = calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,sol);  load1 = max(max(Loads(:,3:4)));  if load1 <= 10  energy1 = 0;  for a = 1:nLinks  if Loads(a,3)+Loads(a,4)>0  energy1 = energy1 + L(Loads(a,1),Loads(a,2));  end  end  else  energy1 = inf;  end  if energy1 < best  i\_best = i;  k\_best = k;  best = energy1;  end  sol(i) = aux;  end  end  end  if i\_best > 0  sol(i\_best) = k\_best;  energy = best;  else  continuar = false;  end  end  allValues = [allValues energy];  if energy < bestEnergy  bestSol = sol;  bestEnergy = energy;  end  end  fprintf(' Best energy = %.1f Km\n', bestEnergy);  fprintf(' No. of solutions = %d\n', length(allValues));  fprintf(' Av. quality of solutions = %.1f Km\n\n', mean(allValues));  figure(3);  hold on  plot(sort(allValues));  ...  title({'Multi start Hill Climbing algorithm'}, {'to minimize the energy consumption of the network'});  xlabel('No. of solutions');  ylabel('Best energy (Km)');  legend('All possible routing paths','10 shortest routing paths','5 shortest routing paths','Location','southeast'); |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiu-se o número de caminhos a utilizar no algoritmo Multi Start Hill Climbing (linha 3), que irá variar entre inf (usando todos os caminhos possíveis na rede), 10 (usando 10 caminhos de roteamento mais curtos) e 5 (usando 5 caminhos de roteamento mais curtos).  De seguida, calcularam-se os n caminhos da rede para cada fluxo (linha 4), definiu-se o critério de paragem (linha 8) e inicializaram-se algumas variáveis auxiliares (linhas 6 a 9).  Enquanto o tempo não ultrapassa o estipulado (linhas 10 a 93), em primeiro lugar, construiu-se uma solução, usando o algoritmo Greedy Randomized (linhas 11 a 47), como implementado na alínea 2.b e, com essa solução, calculou-se uma nova solução aplicando o algoritmo Hill Climbing. Já tendo o percurso escolhido para cada fluxo, testaram-se todas as soluções dadas pela troca de um percurso por um outro para cada fluxo, ou seja, testando todas essas soluções, vê-se qual a melhor e, se for melhor que a solução atual, troca-se e volta-se a repetir até que nenhuma das trocas individuais seja melhor (mínimo local), sempre considerando se a carga é inferior aos 10 Gbps tal como é implementado no algoritmo Greedy Randomized (linhas 49 a 87).  Este processo repete-se para n=10 e n=5 caminhos mais curtos. Para cada valor de n, imprimiu-se o valor de consumo de energia da melhor solução, o número de soluções geradas pelo algoritmo e a qualidade média de todas as soluções (linhas 94 a 96) e, por fim, desenhou-se o gráfico com as melhores energias de todas as soluções geradas para cada simulação de n (linhas 97 a 106). | |
| **Result** | |
|  | |
| **Conclusions** | |
| Relativamente à qualidade das soluções e à melhor energia, quando n=inf, ou seja, quando são utilizados todos os caminhos possíveis na rede para cada fluxo, obtém-se uma eficiência bastante boa, com poucas soluções geradas e com boa qualidade média das soluções.  Quando n=10, ou seja, quando são utilizados os 10 caminhos mais curtos, obtém-se uma eficiência igual à anterior quando n=inf, mas com um aumento significativo no número e na qualidade média das soluções geradas pelo algoritmo.  Quando n=5, ou seja, quando são utilizados os 5 caminhos mais curtos, a eficiência do algoritmo piora, geram-se mais soluções com pior qualidade e o valor da melhor energia aumenta.  Concluindo, o número de caminhos de roteamento influencia a eficiência do algoritmo Multi Start Hill Climbing, pois quanto menor for o número de caminhos, maior será a melhor carga da ligação e pior será a qualidade média das soluções, aumentando o número de soluções geradas. | |

**2.d.** Compare the efficiency of the three heuristic algorithms based on the results obtained in **2.a**, **2.b** and **2.c**.

|  |
| --- |
| **Code analysis** |
| Para esta alínea reaproveitaram-se os códigos das alíneas 2.a, 2.b e 2.c, considerando apenas um caso: n= inf (usando todos os caminhos possíveis na rede). |
| **Result** |
|  |
| **Conclusions** |
| Relativamente ao algoritmo Random, é notório que é um algoritmo pouco eficiente quando se pretende minimizar o consumo de energia, uma vez que apresenta um elevado número de soluções geradas, com qualidade média inf e o consumo de energia mínimo ainda continua a estar elevado.  O algoritmo Greedy Randomized e o Multi Start Hill Climbing variam entre um mínimo e um máximo praticamente igual, a qualidade das soluções geradas é praticamente igual e o valor da melhor energia é igual. Logo, o Multi Start Hill Climbing não traz ganhos para a função objetivo pois não consegue minimizar o consumo de energia. |
|  |

|  |
| --- |
| **TASK 3** |

Assume that all routers are of very high availability (i.e., their availability is 1.0). Compute the availability of each link based on the length of the link assuming the model considered in *J.-P. Vasseur, M. Pickavet and P. Demeester, “Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-SDH, IP, and MPLS”, Elsevier (2004)*. In this task, the aim is to compute a pair of symmetrical routing paths to support each flow of the unicast service.

**3.a.** For each flow, compute one of its routing paths given by the most available path.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58  59  60  61  62  63  64  65  66  67  68  69  70  71 | clear all;  close all;  Nodes= [30 70  350 40  550 180  310 130  100 170  540 290  120 240  400 310  220 370  550 380];  Links= [1 2  1 5  2 3  2 4  3 4  3 6  3 8  4 5  4 8  5 7  6 8  6 10  7 8  7 9  8 9  9 10];  T= [1 3 1.0 1.0  1 4 0.7 0.5  2 7 2.4 1.5  3 4 2.4 2.1  4 9 1.0 2.2  5 6 1.2 1.5  5 8 2.1 2.5  5 9 1.6 1.9  6 10 1.4 1.6];  nNodes= 10;  nLinks= size(Links,1);  nFlows= size(T,1);  co= Nodes(:,1)+j\*Nodes(:,2);  L= inf(nNodes);  for i=1:nNodes  L(i,i)= 0;  end  for i=1:nLinks  d= abs(co(Links(i,1))-co(Links(i,2)));  L(Links(i,1),Links(i,2))= d+5;  L(Links(i,2),Links(i,1))= d+5;  end  L= round(L);  MTBF= (450\*365\*24)./L;  A= MTBF./(MTBF + 24);  A(isnan(A))= 0;  logA= -log(A);  [sP nSP]= calculatePaths(logA,T,1);  count= 1;  ava=ones(1,length(sP));  for i=1:length(sP)  fprintf('Flow %d: ',i);  path=sP{i}{1};  aux = 1;  for j=1:(length(path)-1)  initialNode = path(j);  nextNode = path(j+1);  ava(i)= ava(i)\*A(initialNode,nextNode);  end  fprintf('availability of Path ');  fprintf('%d ', path);  fprintf('= %.5f%%\n', ava(i))  end |
| **Code analysis** | |
| Primeiramente, definiram-se três matrizes: a matriz com a localização de cada nó para depois calcular o comprimento das ligações, onde a primeira coluna corresponde à coordenada x e a segunda à coordenada y (linhas 3 a 12); a matriz que contém todas as ligações da rede (linhas 13 a 28) e a matriz para cada fluxo, onde a primeira coluna corresponde ao nó origem, a segunda ao nó destino, a terceira ao débito binário origem-destino e a quarta coluna ao débito binário destino-origem (linhas 29 a 37).  De seguida, inicializaram-se algumas variáveis como o número de nós na rede (linha 38), o número de ligações (linha 39), o número de fluxos (linha 40) e os números complexos, onde a parte real corresponde à coordenada x e a parte imaginária à coordenada y (linha 41).  Posteriormente, definiu-se uma matriz L que contém os comprimentos, em km, de cada ligação ij, ou infinito se a ligação não existir, com a diagonal preenchida a zeros (linhas 42 a 51).  Depois, supondo que todos os routers tenham disponibilidade muito alta (ou seja, sua disponibilidade é 1,0), calculou-se a disponibilidade de cada link como uma matriz quadrada A assumindo o modelo considerado em J.-P. Vasseur, M. Pickavet e P. Demeester, “Network Recovery: Protection and Restoration of Optical, SONET-DH, IP, and MPLS”, Elsevier (2004) (linhas 52 a 55).  Por fim, calcularam-se os caminhos da rede para cada fluxo, usando o primeiro caminho de roteamento mais curto e imprimiu-se, para cada fluxo, um dos seus caminhos de roteamento dados pelo caminho mais disponível, com a respetiva disponibilidade (linhas 57 a 61).  O código das linhas 1 a 55, será utilizado em todas as restantes alíneas da tarefa 3. | |
| **Result** | |
|  | |

**3.b.** For each flow, compute another routing path given by the most available path which is link disjoint with the previously computed routing path. Compute the availability provided by each pair of routing paths. Present all pairs of routing paths of each flow and their availability. Present also the average service availability (i.e., the average availability value among all flows of the service).

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26 | **FALTAAA** |
| **Code analysis** | |
| **FALTAAA** | |
| **Result** | |
| **FALTAAA** | |
| **Conclusions** | |
| **FALTAAA** | |

**3.c.** Recall that the capacity of all links is 10 Gbps in each direction. Compute how much bandwidth is required on each direction of each link to support all flows with 1+1 protection using the previous computed pairs of link disjoint paths. Compute also the total bandwidth required on all links. Register which links do not have enough capacity.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26 | **FALTAAA** |
| **Code analysis** | |
| **FALTAAA** | |
| **Result** | |
| **FALTAAA** | |
| **Conclusions** | |
| **FALTAAA** | |

**3.d.** Compute how much bandwidth is required on each link to support all flows with 1:1 protection using the previous computed pairs of link disjoint paths. Compute also the total bandwidth required on all links. Register which links do not have enough capacity and the highest bandwidth value required among all links.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26 | **FALTAAA** |
| **Code analysis** | |
| **FALTAAA** | |
| **Result** | |
| **FALTAAA** | |
| **Conclusions** | |
| **FALTAAA** | |

**3.e.** Compare the results of **3.c** and **3.d** and justify the differences.

|  |
| --- |
| **Code analysis** |
| **FALTAAA** |
| **Result** |
| **FALTAAA** |
| **Conclusions** |
| **FALTAAA** |

|  |
| --- |
| **TASK 4** |

Consider the same availability values as in Task 3. In this task, the aim is to compute a pair of symmetrical routing paths to support each flow of the unicast service with 1:1 protection which minimizes the highest required bandwidth value among all links.

**4.a.** For each flow, compute 10 pairs of link disjoint paths in the following way. With a k-shortest path algorithm, first compute the k = 10 most available routing paths provided by the network to each traffic flow. Then, compute the most available path which is link disjoint with each of the k previous paths.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26 | **FALTAAA** |
| **Code analysis** | |
| **FALTAAA** | |
| **Result** | |
| **FALTAAA** | |
| **Conclusions** | |
| **FALTAAA** | |

**4.b.** Develop a multi start hill climbing algorithm for this optimization problem using the 10 pairs of link disjoint paths computed in **4.a** for each flow. Run the algorithm during 30 seconds. Present the pair of routing paths of each flow (and its availability) and the average service availability of the best solution. Present the highest required bandwidth value among all links. Compare this solution with the one in **3.d** and take all possible conclusions.

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26 | **FALTAAA** |
| **Code analysis** | |
| **FALTAAA** | |
| **Result** | |
| **FALTAAA** | |
| **Conclusions** | |
| **FALTAAA** | |

|  |
| --- |
| **AUXILIARY FUNCTIONS** |

|  |  |
| --- | --- |
| **Matlab code** | |
| 1  2  3  4  5  6  7  8  9  10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20  21  22  23  24  25  26  27  28  29  30  31  32  33  34  35  36  37  38  39  40  41  42  43  44  45  46  47  48  49  50  51  52  53  54  55  56  57  58  59  60  61  62  63  64  65  66  67  68  69  70  71  72  73  74  75  76  77  78  79  80  81  82  83  84  85  86  87  88  89  90  91  92  93  94  95  96 | function Loads= calculateLinkLoads(nNodes,Links,T,sP,Solution)  nFlows= size(T,1);  nLinks= size(Links,1);  aux= zeros(nNodes);  for i= 1:nFlows  if Solution(i)>0  path= sP{i}{Solution(i)};  for j=2:length(path)  aux(path(j-1),path(j))= aux(path(j-1),path(j)) + T(i,3);  aux(path(j),path(j-1))= aux(path(j),path(j-1)) + T(i,4);  end  end  end  Loads= [Links zeros(nLinks,2)];  for i= 1:nLinks  Loads(i,3)= aux(Loads(i,1),Loads(i,2));  Loads(i,4)= aux(Loads(i,2),Loads(i,1));  end  end  function [sP nSP]= calculatePaths(L,T,n)  nFlows= size(T,1);  nSP= zeros(1,nFlows);  for i=1:nFlows  [shortestPath, totalCost] = kShortestPath(L,T(i,1),T(i,2),n);  sP{i}= shortestPath;  nSP(i)= length(totalCost);  end  end  function Loads= calculateLinkLoads1plus1(nNodes,Links,T,sP1,sP2)  nFlows= size(T,1);  nLinks= size(Links,1);  aux= zeros(nNodes);  for i= 1:nFlows  if ~isempty(sP1{i}{1})  path= sP1{i}{1};  for j=2:length(path)  aux(path(j-1),path(j))= aux(path(j-1),path(j)) + T(i,3);  aux(path(j),path(j-1))= aux(path(j),path(j-1)) + T(i,4);  end  end  if ~isempty(sP2{i}{1})  path= sP2{i}{1};  for j=2:length(path)  aux(path(j-1),path(j))= aux(path(j-1),path(j)) + T(i,3);  aux(path(j),path(j-1))= aux(path(j),path(j-1)) + T(i,4);  end  end  end  Loads= [Links zeros(nLinks,2)];  for i= 1:nLinks  Loads(i,3)= aux(Loads(i,1),Loads(i,2));  Loads(i,4)= aux(Loads(i,2),Loads(i,1));  end  end  function Loads= calculateLinkLoads1to1(nNodes,Links,T,sP1,sP2)  nFlows= size(T,1);  nLinks= size(Links,1);  aux= zeros(nNodes);  for i= 1:nFlows  path= sP1{i}{1};  for j=2:length(path)  aux(path(j-1),path(j))= aux(path(j-1),path(j)) + T(i,3);  aux(path(j),path(j-1))= aux(path(j),path(j-1)) + T(i,4);  end  end  for link= 1:nLinks  aux2= zeros(nNodes);  t1= Links(link,1);  t2= Links(link,2);  for i= 1:nFlows  path= sP1{i}{1};  pathdif= find(path==t1 | path==t2);  if length(pathdif)<2 || pathdif(2)-pathdif(1)>1  for j=2:length(path)  aux2(path(j-1),path(j))= aux2(path(j-1),path(j)) + T(i,3);  aux2(path(j),path(j-1))= aux2(path(j),path(j-1)) + T(i,4);  end  elseif ~isempty(sP2{i}{1})  path= sP2{i}{1};  for j=2:length(path)  aux2(path(j-1),path(j))= aux2(path(j-1),path(j)) + T(i,3);  aux2(path(j),path(j-1))= aux2(path(j),path(j-1)) + T(i,4);  end  end  end  aux=max(aux,aux2);  end  Loads= [Links zeros(nLinks,2)];  for i= 1:nLinks  Loads(i,3)= aux(Loads(i,1),Loads(i,2));  Loads(i,4)= aux(Loads(i,2),Loads(i,1));  end  end |