O objetivo deste teste é verificar o funcionamento do protocolo SCTP, verificando a transmissão dos pacotes pela rede, e principalmente a operação do recurso multihoming, analisando a troca da comunicação entre as interfaces eth0 e eth1, no sistema operacional Ubuntu. Para a verificação da comunicação, foi utilizado o analisador de pacotes Wireshark na máquina Villa-Lobos.

Para a realização do teste, a rede de dois computadores foi configurada da seguinte forma: A primeira interface de ambos os computadores (eth0) está ligada na LAN do bloco de Engenharia Elétrica da UFPR. A segunda interface (eth1) é uma conexão direta entre os dois computadores através de um cabo crossover, e seus IPs foram distribuídos manualmente, de modo que não há nenhum servidor DHCP envolvido no processo.

Distribuição dos IPs:

Máquina Villa-Lobos:

* eth0: 200.17.220.101
* eth1: 10.0.0.1

Máquina Beethoven:

* eth0: 200.17.220.102
* eth1: 10.0.0.2

O código consiste em dois aplicativos, um servidor e um cliente. O cliente envia de 10 em 10 segundos um pacote para o servidor, que imprime o endereço IP do cliente seguido de sua mensagem no terminal.

Em anexo estão presentes os códigos-fonte, escritos em C e previstos para Linux (Ubuntu).

A fim de analisar dos diversos aspectos da comunicação, o teste foi dividido em diversas etapas.

* Observar a abertura da comunicação, com os pacotes INIT, INIT-ACK, COOKIE e COOKIE-ECHO.
* Observar o envio dos pacotes do cliente até o servidor e seu conteúdo: DATA e SACK.
* Analisar o envio do HEARTBEAT e HEARTBEAT-ACK, por ambas as interfaces.
* Verificar a funcionalidade do recurso Multihoming, desconectando o cabo de rede da conexão primária, e observando a troca para a conexão secundária.
* Analisar o encerramento de conexão: SHUTDOWN, SHUTDOWN-ACK, SHUTDOWN-COMPLETE.

Primeira Etapa:

Foi definido como endereço primário a rede direta: entre 10.0.0.1 e 10.0.0.2:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Protocolo | Comprimento | Informação |
| 1 | 0.000000 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 98 | INIT |
| 2 | 0.000096 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 354 | INIT\_ACK |
| 3 | 0.000225 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 310 | COOKIE\_ECHO |
| 4 | 0.000301 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 50 | COOKIE\_ACK |
| 5 | 0.000389 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 6 | 0.000402 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |

Tabela 1: Primeiros pacotes recebidos em eth1

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Protocolo | Comprimento | Informação |
| 85 | 4.374.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 86 | 4.374.989 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 210 | 34.185.455 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |

Tabela 2: Primeiros pacotes (SCTP) recebidos em eth0

Acima estão os primeiro pacotes recebidos em ambas as interfaces de rede do computador onde a aplicação do servidor estava funcionando (Villa-Lobos), filtrados para mostrar apenas os pacotes SCTP.

Percebe-se por aqui o método utilizado pelo SCTP para início da comunicação entre dois *endpoints*. Este método difere-se do TCP pelo fato de utilizar um *4-way handshake* contra o *3-way handshake* do TCP. Isso representa um aprimoramento no quesito de segurança, uma vez que o *3-way handshake* permite o ataque de pacotes *SYN* ao servidor, problema já conhecido do protocolo TCP.

Também vale notar que a comunicação é sempre iniciada através do endereço primário definido pela aplicação do cliente, no caso o 10.0.0.1. Portanto, o endereço secundário recebe seus primeiros pacotes depois de muito tempo somente, através do *HEARTBEAT*, que apenas verifica se o caminho deste endereço está acessível.

**Obs:** Na tabela da eth0, a coluna No. não está em sequência pois a interface está recebendo pacotes de outros protocolos, que não estão sendo mostrados aqui.

Segunda Etapa:

Aqui é verificado o envio dos pacotes do cliente até o servidor, assim como a confirmação de recebimento por parte do servidor.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Protocolo | Comprimento | Informação |
| 4 | 0.000301 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 50 | COOKIE\_ACK |
| 5 | 0.000389 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 6 | 0.000402 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 7 | 10.000.843 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 8 | 10.199.847 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 11 | 20.001.262 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 12 | 20.199.849 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 16 | 30.001.670 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 17 | 30.199.842 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 18 | 31.735.848 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 19 | 31.735.932 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 20 | 40.002.068 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 21 | 40.199.842 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |

Tabela 3: Verificação dos envios de pacotes em eth1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Comprimento | Informação |
| 85 | 4.374.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 86 | 4.374.989 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 210 | 34.185.455 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 211 | 34.185.470 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 214 | 35.086.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 215 | 35.087.076 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 263 | 65.628.946 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 264 | 65.628.961 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |

Tabela 4: Verificação em eth0 durante a comunicação em eth1

Da maneira como o código da aplicação cliente foi criada, ela envia um pacote de 10 em 10 segundos para o servidor. Conseguimos perceber esse comportamento na coluna do Tempo.

Logo após o início da comunicação (depois de *COOKIE-ACK*), o primeiro pacote já é enviado, e depois outros pacotes são enviados com o intervalo de 10 segundos entre eles. No teste inicial, foram enviados dados de pequenos comprimentos, uma string de 20 caracteres, além do cabeçalho do SCTP, totalizando um pacote de apenas 82 bytes. Percebe-se também um atraso de 200ms **(revisar)** até o servidor enviar o SACK, confirmando o recebimento para o cliente.

Enquanto isso, a interface eth0 não recebeu nenhum dado, pois todos estão sendo enviados através da eth1. Os únicos pacotes SCTP recebidos por eth0 foram os *HEARTBEATs,* que são enviados periodicamente por ambas as interfaces.

Terceira Etapa:

Nesta etapa, o objetivo é verificar o funcionamento e frequência do envio dos *HEARTBEATs,* nas interfaces eth0 e eth1.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Comprimento | Informação |
| 28 | 63.223.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 29 | 63.223.928 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 32 | 70.003.276 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 33 | 70.199.839 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 34 | 80.003.683 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 35 | 80.199.841 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 36 | 90.004.105 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 37 | 90.203.844 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 38 | 93.815.848 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 39 | 93.815.931 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 42 | 100.004.521 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 43 | 100.203.845 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 46 | 110.004.940 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 47 | 110.203.840 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 48 | 120.005.362 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 49 | 120.203.841 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 120s - CABO DE REDE DESCONECTADO | | | | | |
| 50 | 124.663.847 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 575s - CABO DE REDE CONECTADO | | | | | |
| 66 | 578.631.930 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 67 | 578.632.011 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 75 | 610.423.849 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 76 | 610.423.935 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 79 | 642.807.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 80 | 642.807.932 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 83 | 654.598.350 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 98 | HEARTBEAT |
| 84 | 654.598.379 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 87 | 660.027.455 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 88 | 660.223.852 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 89 | 670.027.855 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 90 | 670.227.853 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 91 | 674.295.848 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 92 | 674.295.931 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 93 | 680.028.248 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 94 | 680.227.851 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 97 | 690.028.662 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 98 | 690.227.851 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 99 | 700.029.071 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 100 | 700.227.850 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 103 | 705.527.851 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 104 | 705.527.931 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 105 | 710.029.475 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 106 | 710.227.852 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 109 | 720.029.909 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 110 | 720.227.854 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 111 | 730.030.321 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 112 | 730.227.850 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |
| 115 | 736.631.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 116 | 736.631.928 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |

Tabela 5: Heartbeats em eth1

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Comprimento | Informação |
| 263 | 65.628.946 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 264 | 65.628.961 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 265 | 66.190.825 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 266 | 66.191.068 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 318 | 96.267.425 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 319 | 96.267.441 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 322 | 97.038.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 323 | 97.039.018 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 120s - CABO DE REDE DESCONECTADO EM eth1 | | | | | |
| 368 | 127.148.424 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 369 | 127.148.443 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 371 | 127.886.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 372 | 127.886.958 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 426 | 157.709.386 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 427 | 157.709.409 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 432 | 159.246.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 433 | 159.246.934 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 509 | 188.750.384 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 510 | 188.750.424 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 513 | 190.094.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 514 | 190.095.009 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 517 | 192.430.498 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 518 | 192.626.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 571 | 221.582.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 572 | 221.583.099 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 576 | 223.951.523 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 577 | 223.951.550 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 616 | 252.302.828 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 617 | 252.302.942 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 618 | 252.752.467 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 621 | 252.950.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 680 | 283.406.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 681 | 283.406.982 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 723 | 313.074.369 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 724 | 313.270.833 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 725 | 314.254.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 726 | 314.255.127 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 784 | 345.486.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 785 | 345.487.061 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 825 | 373.396.310 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 826 | 373.594.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 829 | 376.206.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 830 | 376.207.010 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8655 | 406.926.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8656 | 406.927.137 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8734 | 433.718.221 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 8735 | 433.914.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8741 | 437.966.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8742 | 437.966.959 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8807 | 469.134.831 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8808 | 469.135.127 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8842 | 494.040.196 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 478 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 8843 | 494.238.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8881 | 500.238.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8882 | 500.239.124 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8886 | 502.347.730 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8890 | 502.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8909 | 512.348.138 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8910 | 512.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8928 | 522.348.566 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8929 | 522.546.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8947 | 530.830.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8948 | 530.830.941 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8950 | 532.348.980 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8951 | 532.546.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8967 | 542.349.395 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8968 | 542.546.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9084 | 552.349.789 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9085 | 552.546.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9105 | 562.190.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9106 | 562.191.124 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9107 | 562.350.225 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9111 | 562.546.817 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9132 | 572.350.629 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9133 | 572.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 575s – CABO DE REDE CONECTADO EM eth1 | | | | | |
| 9150 | 582.351.054 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9151 | 582.550.834 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9164 | 592.351.481 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9165 | 592.550.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9169 | 593.038.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9170 | 593.039.015 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9185 | 602.351.916 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9186 | 602.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9202 | 612.352.351 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9203 | 612.550.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9224 | 622.352.762 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9227 | 622.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9230 | 623.886.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9231 | 623.887.146 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9250 | 632.353.172 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9251 | 632.550.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9268 | 642.353.590 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9269 | 642.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9286 | 652.354.008 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9287 | 652.550.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9292 | 654.670.818 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9293 | 654.671.081 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9340 | 685.902.818 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9341 | 685.902.943 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9386 | 713.887.135 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 9387 | 713.887.163 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9394 | 717.326.825 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9395 | 717.327.121 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |

Tabela 6: Heartbeats em eth0

Em eth1, percebe-se que os *HEARTBEATs* são enviados apenas no sentido servidor -> cliente, de forma que os pacotes *DATA* enviados pelo cliente já são suficientes para verificar a disponibilidade da conexão. Por outro lado, em eth0 os *HEARTBEATs* são enviados nos dois sentidos (servidor -> cliente; cliente -> servidor). A frequência de envio também se manteve constante, com cerca de 30 segundos por *HEARTBEAT*, tanto em eth0 quanto em eth1.

Em 120s, o cabo de rede de eth1 foi desconectado, e portanto o caminho 10.0.0.1 -> 10.0.0.2 se tornou inválido. O comportamento esperado do protocolo SCTP é que ambos os lados enviem *HEARTBEATs* frequentemente, sem obter resposta (*HEARTBEAT-ACK*). No entanto, no teste realizado, verificou-se que após o cabo de rede ser retirado, apenas mais um *HEARTBEAT* foi enviado em eth1 (sem resposta), mesmo que o tempo de desconexão tenha sido maior que 400s. Depois de conectar o cabo de rede novamente, os pacotes voltaram a ser enviados e respondidos normalmente.

O fato de não ter sido enviado mais nenhum *HEARTBEAT* enquanto o cabo estava desconectado merece uma atenção especial e deve ser pesquisado.

Quarta Etapa:

O principal motivo de se ter colocado duas placas de rede em cada computador era de testar o recurso *multihoming* suportado pelo *SCTP*. Por possuir duas conexões simultâneas, foi retirado o cabo de rede de eth1 (conexão primária) durante o teste, e portanto a conexão secundária, em eth0, deveria assumir o papel de enviar os pacotes de dados. Abaixo está a análise dos pacotes focando o *multihoming*.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 120s - CABO DE REDE DESCONECTADO | | | | | |
| 50 | 124.663.847 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 575s - CABO DE REDE CONECTADO | | | | | |
| 66 | 578.631.930 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 67 | 578.632.011 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 75 | 610.423.849 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 76 | 610.423.935 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 79 | 642.807.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 94 | HEARTBEAT |
| 80 | 642.807.932 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 83 | 654.598.350 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 98 | HEARTBEAT |
| 84 | 654.598.379 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 87 | 660.027.455 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | 82 | DATA |
| 88 | 660.223.852 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | 62 | SACK |

Tabela 7: eth1 durante a desconexão e reconexão.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 120s - CABO DE REDE DESCONECTADO EM eth1 | | | | | |
| 368 | 127.148.424 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 369 | 127.148.443 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 371 | 127.886.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 372 | 127.886.958 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 426 | 157.709.386 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 427 | 157.709.409 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 432 | 159.246.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 433 | 159.246.934 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 509 | 188.750.384 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 510 | 188.750.424 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 513 | 190.094.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 514 | 190.095.009 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 517 | 192.430.498 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 518 | 192.626.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 571 | 221.582.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 572 | 221.583.099 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 576 | 223.951.523 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 577 | 223.951.550 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 616 | 252.302.828 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 617 | 252.302.942 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 618 | 252.752.467 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 621 | 252.950.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 680 | 283.406.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 681 | 283.406.982 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 723 | 313.074.369 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 724 | 313.270.833 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 725 | 314.254.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 726 | 314.255.127 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 784 | 345.486.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 785 | 345.487.061 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 825 | 373.396.310 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 826 | 373.594.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 829 | 376.206.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 830 | 376.207.010 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8655 | 406.926.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8656 | 406.927.137 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8734 | 433.718.221 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 8735 | 433.914.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8741 | 437.966.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8742 | 437.966.959 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8807 | 469.134.831 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8808 | 469.135.127 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8842 | 494.040.196 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 478 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 8843 | 494.238.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8881 | 500.238.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8882 | 500.239.124 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8886 | 502.347.730 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8890 | 502.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8909 | 512.348.138 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8910 | 512.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8928 | 522.348.566 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8929 | 522.546.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8947 | 530.830.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8948 | 530.830.941 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8950 | 532.348.980 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8951 | 532.546.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8967 | 542.349.395 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8968 | 542.546.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9084 | 552.349.789 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9085 | 552.546.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9105 | 562.190.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9106 | 562.191.124 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9107 | 562.350.225 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9111 | 562.546.817 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9132 | 572.350.629 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9133 | 572.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 575s – CABO DE REDE CONECTADO EM eth1 | | | | | |
| 9150 | 582.351.054 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9151 | 582.550.834 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9164 | 592.351.481 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9165 | 592.550.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9169 | 593.038.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9170 | 593.039.015 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9185 | 602.351.916 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9186 | 602.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9202 | 612.352.351 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9203 | 612.550.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9224 | 622.352.762 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9227 | 622.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9230 | 623.886.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9231 | 623.887.146 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9250 | 632.353.172 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9251 | 632.550.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9268 | 642.353.590 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9269 | 642.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9286 | 652.354.008 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9287 | 652.550.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |

Tabela 8: eth0 durante conexão e desconexão em eth1.

Ao desconectar o cabo de rede, todos os pacotes não conseguem mais ser enviados por eth1, e portanto o recurso *multihoming* entra em funcionamento. Percebe-se que há um atraso de 72 segundos até a primeira mensagem ser enviada pelo caminho alternativo. As mensagens seguintes são acumuladas e enviadas apenas 60 segundos depois da primeira solicitação.

Essa resposta está acontecendo porque o cliente provavelmente deve estar tentando retransmitir a mensagem pelo caminho principal, porém isto não foi possível comprovar através deste teste, já que estamos monitorando apenas os pacotes recebidos e enviados no servidor.

Analisando o acúmulo dos pacotes na transmissão, se torna visível que esta possível tentativa de retransmissão acontece apenas algumas vezes, até que o protocolo entenda que o caminho está de fato inatingível e que é mais viável enviar os pacotes através do caminho secundário. Isto ocorre aos 502 segundos, quando os pacotes não são mais acumulados e voltam a ser enviados em seus intervalos corretos.

Aos 575s, o cabo de rede em eth1 é reconectado, a fim de testar quando os pacotes voltariam a ser enviados para esta interface.

Na interface eth1, verifica-se o envio de 3 *HEARTBEATs* de Villa-Lobos para Beethoven. Após o envio do terceiro, um *HEARTBEAT* é enviado no sentido contrário. Depois destes pacotes, o protocolo já entende o caminho como acessível, e transfere a comunicação de volta por este caminho.

Quinta Etapa:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 119 | 746.923.860 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 60 | SHUTDOWN |
| 120 | 746.923.893 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 50 | SHUTDOWN\_ACK |
| 121 | 746.923.962 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 60 | SHUTDOWN\_COMPLETE |

Tabela 9: Encerramento da conexão em eth1

Diferentemente do TCP, o SCTP depende do envio de três pacotes somente para o fechamento da associação. Na prática, isto significa o SCTP não possui suporte a *half-closed connections*, recurso que dificilmente era utilizado no TCP.

Na Tabela 9 estão os pacotes envolvidos no encerramento da associação. É importante destacar que estes pacotes estão sendo enviados apenas para o caminho ativo no momento, no caso, o da interface eth1.

Próximos trabalhos:

Os próximos trabalhos vão procurar abordar as faces que este teste não conseguiu abordar, e corrigir o que talvez tenha sido mal executado aqui. Primeiramente, serão realizados testes para verificar porque não foram enviados *HEARTBEATs* enquanto a conexão em eth1 estava fora.

Em seguida, serão alterados alguns parâmetros do SCTP para tentar realizar a troca de caminho mais rapidamente, como o intervalo de *HEARTBEAT*, RTO, e outros parâmetros de retransmissão e verificação de caminho.

Anexos:

Interface eth0:

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Comprimento | Informação |
| 85 | 4.374.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 86 | 4.374.989 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 210 | 34.185.455 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 211 | 34.185.470 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 214 | 35.086.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 215 | 35.087.076 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 263 | 65.628.946 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 264 | 65.628.961 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 265 | 66.190.825 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 266 | 66.191.068 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 318 | 96.267.425 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 319 | 96.267.441 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 322 | 97.038.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 323 | 97.039.018 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 368 | 127.148.424 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 369 | 127.148.443 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 371 | 127.886.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 372 | 127.886.958 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 426 | 157.709.386 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 427 | 157.709.409 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 432 | 159.246.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 433 | 159.246.934 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 509 | 188.750.384 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 510 | 188.750.424 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 513 | 190.094.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 514 | 190.095.009 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 517 | 192.430.498 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 518 | 192.626.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 571 | 221.582.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 572 | 221.583.099 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 576 | 223.951.523 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 577 | 223.951.550 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 616 | 252.302.828 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 617 | 252.302.942 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 618 | 252.752.467 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 621 | 252.950.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 680 | 283.406.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 681 | 283.406.982 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 723 | 313.074.369 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 724 | 313.270.833 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 725 | 314.254.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 726 | 314.255.127 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 784 | 345.486.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 785 | 345.487.061 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 825 | 373.396.310 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 826 | 373.594.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 829 | 376.206.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 830 | 376.207.010 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8655 | 406.926.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8656 | 406.927.137 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8734 | 433.718.221 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 262 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 8735 | 433.914.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8741 | 437.966.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8742 | 437.966.959 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8807 | 469.134.831 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8808 | 469.135.127 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8842 | 494.040.196 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 478 | DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA DATA |
| 8843 | 494.238.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8881 | 500.238.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8882 | 500.239.124 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8886 | 502.347.730 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8890 | 502.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8909 | 512.348.138 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8910 | 512.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8928 | 522.348.566 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8929 | 522.546.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8947 | 530.830.820 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 8948 | 530.830.941 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 8950 | 532.348.980 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8951 | 532.546.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 8967 | 542.349.395 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 8968 | 542.546.826 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9084 | 552.349.789 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9085 | 552.546.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9105 | 562.190.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9106 | 562.191.124 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9107 | 562.350.225 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9111 | 562.546.817 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9132 | 572.350.629 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9133 | 572.546.821 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9150 | 582.351.054 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9151 | 582.550.834 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9164 | 592.351.481 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9165 | 592.550.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9169 | 593.038.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9170 | 593.039.015 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9185 | 602.351.916 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9186 | 602.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9202 | 612.352.351 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9203 | 612.550.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9224 | 622.352.762 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9227 | 622.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9230 | 623.886.824 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9231 | 623.887.146 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9250 | 632.353.172 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9251 | 632.550.827 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9268 | 642.353.590 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9269 | 642.550.822 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9286 | 652.354.008 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 82 | DATA |
| 9287 | 652.550.829 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 62 | SACK |
| 9292 | 654.670.818 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9293 | 654.671.081 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9340 | 685.902.818 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9341 | 685.902.943 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9386 | 713.887.135 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 98 | HEARTBEAT |
| 9387 | 713.887.163 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9394 | 717.326.825 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9395 | 717.327.121 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 9445 | 747.918.823 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | 94 | HEARTBEAT |
| 9446 | 747.919.147 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | 94 | HEARTBEAT\_ACK |

Interface eth1:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Tempo | Remetente | Destino | Protocolo | Comprimento | Informação |
| 1 | 0.000000 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 98 | INIT |
| 2 | 0.000096 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 354 | INIT\_ACK |
| 3 | 0.000225 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 310 | COOKIE\_ECHO |
| 4 | 0.000301 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 50 | COOKIE\_ACK |
| 5 | 0.000389 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 6 | 0.000402 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 7 | 10.000.843 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 8 | 10.199.847 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 11 | 20.001.262 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 12 | 20.199.849 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 16 | 30.001.670 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 17 | 30.199.842 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 18 | 31.735.848 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 19 | 31.735.932 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 20 | 40.002.068 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 21 | 40.199.842 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 22 | 50.002.472 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 23 | 50.199.842 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 26 | 60.002.885 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 27 | 60.199.841 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 28 | 63.223.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 29 | 63.223.928 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 32 | 70.003.276 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 33 | 70.199.839 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 34 | 80.003.683 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 35 | 80.199.841 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 36 | 90.004.105 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 37 | 90.203.844 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 38 | 93.815.848 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 39 | 93.815.931 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 42 | 100.004.521 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 43 | 100.203.845 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 46 | 110.004.940 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 47 | 110.203.840 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 48 | 120.005.362 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 49 | 120.203.841 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 50 | 124.663.847 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 66 | 578.631.930 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 67 | 578.632.011 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 75 | 610.423.849 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 76 | 610.423.935 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 79 | 642.807.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 80 | 642.807.932 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 83 | 654.598.350 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 84 | 654.598.379 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 87 | 660.027.455 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 88 | 660.223.852 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 89 | 670.027.855 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 90 | 670.227.853 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 91 | 674.295.848 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 92 | 674.295.931 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 93 | 680.028.248 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 94 | 680.227.851 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 97 | 690.028.662 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 98 | 690.227.851 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 99 | 700.029.071 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 100 | 700.227.850 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 103 | 705.527.851 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 104 | 705.527.931 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 105 | 710.029.475 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 106 | 710.227.852 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 109 | 720.029.909 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 110 | 720.227.854 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 111 | 730.030.321 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 112 | 730.227.850 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 115 | 736.631.846 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 116 | 736.631.928 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 117 | 740.030.730 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 82 | DATA |
| 118 | 740.227.854 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 62 | SACK |
| 119 | 746.923.860 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 60 | SHUTDOWN |
| 120 | 746.923.893 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 50 | SHUTDOWN\_ACK |
| 121 | 746.923.962 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 60 | SHUTDOWN\_COMPLETE |

Teste 2:

Após a realização do teste número 1, foram identificados algumas outras possibilidades para ampliar o alcance do teste, verificando mais aspectos e parâmetros do protocolo SCTP. O objetivo principal deste teste é fazer com que a troca de interfaces no *multihoming* seja mais acelerada, identificando o problema na rota mais rápido, e retransmitir pelo caminho alternativo assim que possível, para que o atraso dos pacotes seja mínimo.

Para que isto seja possível, foram feitas algumas alterações no código, modificando:

* Tempo de envio de Heartbeats diminuído de 30s para 20s.
* Diminuído o PMR (*Path Maximum Retransmition*) para 2 tentativas.
* Diminuído o RTO (*Retransmition timeout*) para de 60s para 1s.

Também foi alterado o tempo de envio entre as mensagens, desta vez sendo enviada 1 mensagem/segundo. Por este motivo, só serão mostrado os pacotes interessantes para cada análise, por se tratar em um volume muito grande de pacotes.

Para realizar um teste mais coerente, desta vez será monitorado ambos os *endpoints*, a fim de verificar pacotes que são enviados de um lado e não chegam no outro, principalmente os *Heartbeats.*

Abaixo está o análise do tempo de envio entre os *Heartbeats* confirmando a alteração feita.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| 4669 | 217.330.470 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 4670 | 217.330.485 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 4699 | 236.079.025 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 4700 | 236.079.144 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 4704 | 238.730.905 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 4705 | 238.730.932 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 4733 | 256.687.028 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 4734 | 256.687.248 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |

Percebe-se uma diferença de aproximadamente 20 segundos entre o envio dos heartbeats de mesma origem, como entre os pacotes 4699 e 4733.

Abaixo estão listados os pacotes enviados e recebidos por eth1 na desconexão do cabo de rede.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| 329 | 264.830.795 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 330 | 265.022.225 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 62 | SACK |
| RETIRADO CABO DE REDE DE ETH1 | | | | | | |
| 331 | 265.830.889 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 332 | 267.024.814 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 333 | 268.222.338 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| CONECTADO CABO DE REDE DE ETH1 | | | | | | |
| 336 | 350.505.039 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 337 | 350.505.065 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 338 | 352.015.120 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 339 | 352.015.245 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 340 | 352.839.765 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 341 | 353.034.999 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 62 | SACK |

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| RETIRADO CABO DE REDE DE ETH1 | | | | | | |
| 4780 | 278.191.018 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 4781 | 278.191.180 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |
| 4784 | 279.147.027 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 82 | DATA |
| 4786 | 279.344.681 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 62 | SACK |
| 4787 | 280.343.022 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 82 | DATA |
| 4788 | 280.412.219 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 98 | HEARTBEAT |
| 4789 | 280.412.235 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 98 | HEARTBEAT\_ACK |
| 4790 | 280.542.204 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 62 | SACK |
| 4793 | 281.539.031 | 200.17.220.101 | 200.17.220.102 | SCTP | 118 | DATA DATA |
| 4794 | 281.732.244 | 200.17.220.102 | 200.17.220.101 | SCTP | 62 | SACK |

Obs: Os tempos não estão sincronizados.

A partir deste teste verificou-se o novo valor configurado para o PMR e RTO Máximo. Percebe-se que quando o pacote atinge aproximadamente 1 segundo sem resposta, seu timer RTO estoura, e o pacote é enviado pela interface eth0. Os próximos pacotes também são enviados por eth1, até o contador atingir o valor de PMR, e então o caminho é considerado inválido e todos os pacotes são enviados por eth0.

A fim de investigar porque os *heartbeats* não estavam sendo enviados quando eth1 estava desconectado, foi retirado o filtro para aparecer apenas os pacotes SCTP na interface. O resultado está apresentado na tabela abaixo:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| No. | Time | Source | Destination | Protocol | Length | Info |
| 8 | 2.803.216 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 9 | 3.000.089 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 62 | SACK |
| RETIRADO CABO DE REDE DE ETH1 | | | | | | |
| 10 | 3.803.320 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 11 | 5.000.167 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 12 | 6.190.207 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 82 | DATA |
| 13 | 17.348.386 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 14 | 28.292.384 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 15 | 33.300.376 | 3com\_ce:95:be | 3com\_e0:e4:d3 | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 16 | 34.300.378 | 3com\_ce:95:be | 3com\_e0:e4:d3 | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 17 | 35.300.377 | 3com\_ce:95:be | 3com\_e0:e4:d3 | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 18 | 39.780.390 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 19 | 40.780.380 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 20 | 41.780.379 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 21 | 50.756.393 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 22 | 51.756.378 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 23 | 52.756.376 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 24 | 61.924.391 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 25 | 62.924.380 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 26 | 63.924.378 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| CONECTADO CABO DE REDE EM ETH1 | | | | | | |
| 27 | 68.872.186 | 10.0.0.2 | 224.0.0.22 | IGMP | 60 | V3 Membership Report |
| 28 | 69.124.726 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 360 | Standard query ANY 3.d.4.e.0.e.e... |
| 29 | 69.186.931 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 158 | Standard query response PTR \_work... |
| 30 | 69.375.532 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 360 | Standard query ANY 3.d.4.e.0.e.e... |
| 31 | 69.626.211 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 360 | Standard query ANY 3.d.4.e.0.e.e... |
| 32 | 69.826.900 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 336 | Standard query response PTR, ca... |
| 33 | 70.416.633 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 245 | Standard query response PTR \_wor... |
| 34 | 71.056.695 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 336 | Standard query response PTR, ca... |
| 35 | 73.209.479 | 10.0.0.2 | 224.0.0.251 | MDNS | 245 | Standard query response PTR \_wor... |
| 36 | 73.316.391 | 3com\_ce:95:be | Broadcast | ARP | 42 | Who has 10.0.0.2? Tell 10.0.0.1 |
| 37 | 73.316.482 | 3com\_e0:e4:d3 | 3com\_ce:95:be | ARP | 60 | 10.0.0.2 is at 00:01:03:e0:e4:d3 |
| 38 | 73.316.489 | 10.0.0.1 | 10.0.0.2 | SCTP | 94 | HEARTBEAT |
| 39 | 73.316.591 | 10.0.0.2 | 10.0.0.1 | SCTP | 94 | HEARTBEAT\_ACK |

Os pacotes acima explicam o comportamento anômalo que não foi explicado anteriormente, o fato de o *Heartbeat* não ser enviado enquanto eth1 está fora. Quando o endereço 10.0.0.2 sai da tabela ARP, protocolos ARP são enviados em *Broadcast* para a rede para descobrir qual o endereço MAC do endereço 10.0.0.2. Porém, como não obtém resposta, o *Heartbeat* não aparece na interface do *wireshark*. Ao reconectar o cabo de rede, o protocolo ARP consegue obter o endereço físico de 10.0.0.2, e os *Heartbeats* voltam a ser enviados normalmente.

**Teste 3:**

Para o próximo passo, o objetivo era criar uma aplicação cliente/servidor udp capaz de se comunicar por dois caminhos diferentes, simulando o recurso multihoming do SCTP. Depois disso, caberia também ao programa registrar os RTT, SRTT, Perda de Pacotes e definir um caminho preferencial através da análise dos dados, definindo o caminho de maior desempenho. Para isso, foi necessário também enviar periodicamente dados pelo caminho secundário, para avaliar o seu desempenho atual.

Depois de elaborada a estrutura do programa, formatou-se os dados de forma a escrever em um arquivo .csv, para depois importa-lo em algum programa capaz gerar gráficos com as informações obtidas, como o MatLab ou o Octave.

Após feito o código-fonte, o primeiro teste realizado foi da diferença entre os RTT medidos pela aplicação e pelo wireshark, para constatar se o programa estava medindo de forma adequada. Como o protocolo udp não envia nenhuma espécie de SACK, o programa na outra ponta foi configurado para enviar um eco da mensagem recebida para o mesmo caminho. Abaixo segue o resultado da comparação entre os RTT medidos.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| RTT Wireshark (us) | RTT Aplicação (us) | Diferença (us) | Porcentagem |
| 207 | 299 | 92 | 44,44% |
| 318 | 372 | 54 | 16,98% |
| 121 | 157 | 36 | 29,75% |
| 313 | 350 | 37 | 11,82% |
| 121 | 135 | 14 | 11,57% |
| 319 | 372 | 53 | 16,61% |
| 119 | 155 | 36 | 30,25% |
| 312 | 349 | 37 | 11,86% |
| 112 | 146 | 34 | 30,36% |
| 293 | 327 | 34 | 11,60% |
| 119 | 154 | 35 | 29,41% |
| 312 | 347 | 35 | 11,22% |
| 119 | 132 | 13 | 10,92% |
| 317 | 366 | 49 | 15,46% |
| 120 | 133 | 13 | 10,83% |
| 318 | 372 | 54 | 16,98% |
| 120 | 156 | 36 | 30,00% |
| 313 | 347 | 34 | 10,86% |
| 118 | 152 | 34 | 28,81% |
| 314 | 349 | 35 | 11,14% |
| Média | | 38,25 | 19,54% |

Percebe-se que a aplicação desenvolvida foi de fato mais lenta no processo de adquirir os pacotes e contabilizar o tempo de ida e volta do pacote, porém é um atraso quase sempre constante, perto dos 50 us. Para pacotes muito rápidos, é um erro grande, chegando até os 36% no pior caso. Mas para os pacotes mais lentos, representa um erro de menos de 0,1%.

Para efeitos de teste, considerando um atraso médio nos pacotes de 10ms, o erro percentual médio seria de aproximadamente 0,54%, o que é praticamente desprezível.

A fim de avaliar o caminho com maior desempenho, foi desenvolvido um índice matemático (batizado de θ) que pondera o SRTT e um outro índice (ω), referente à perda de pacotes.

O cálculo de θ é feito da seguinte forma:

Onde:

* PLXSRTT é uma constante de valor entre 0 e 1 que define quem terá mais peso no cálculo de θ: as perdas de pacotes ou o SRTT.
* TIMEOUT é tempo limite no qual a aplicação admite o pacote enviado como perdido.

O cálculo de ω é feito de maneira similar ao do SRTT:

Onde:

* %PL é a porcentagem de pacotes perdidos até o momento (a aplicação considera apenas as últimas 50)
* PLALPHA é uma constante de valor entre 0 e 1 que define o quanto os valores anteriores de %PL irão influenciar no cálculo do novo ω.

O cálculo do primeiro valor de ω é:

Assim, o valor de θ sempre assumirá valores entre 0 e 1, e pode ser entendido como um índice de qualidade do caminho, sendo que um valor de 1 representa 0% de perda de pacotes e 0s de SRTT, enquanto 0 representa 100% de perda de pacotes e TIMEOUT como o valor de SRTT.

Os gráficos abaixo foram gerados no MatLab e representam dois testes realizados, com alguns *delays* e perda de pacotes simulados pelo *netem.*

No segundo caso, foram emuladas situações extremas, onde o índice θ atingiu os dois extremos, e depois os *delays* e perdas de pacotes foram invertidos entre as interfaces. Serviu para testar a troca do caminho ativo e o tempo decorrido até que a troca de caminhos fosse realizada. 



A seguir, foram realizados testes com múltiplos clientes conectando-se simultaneamente ao mesmo servidor pelas mesmas redes. O objetivo deste teste é comprovar a distribuição uniforme dos pacotes enviados pelos dois enlaces, quando estes estiverem com características de rede parecidas (*delay* e *packet loss*).

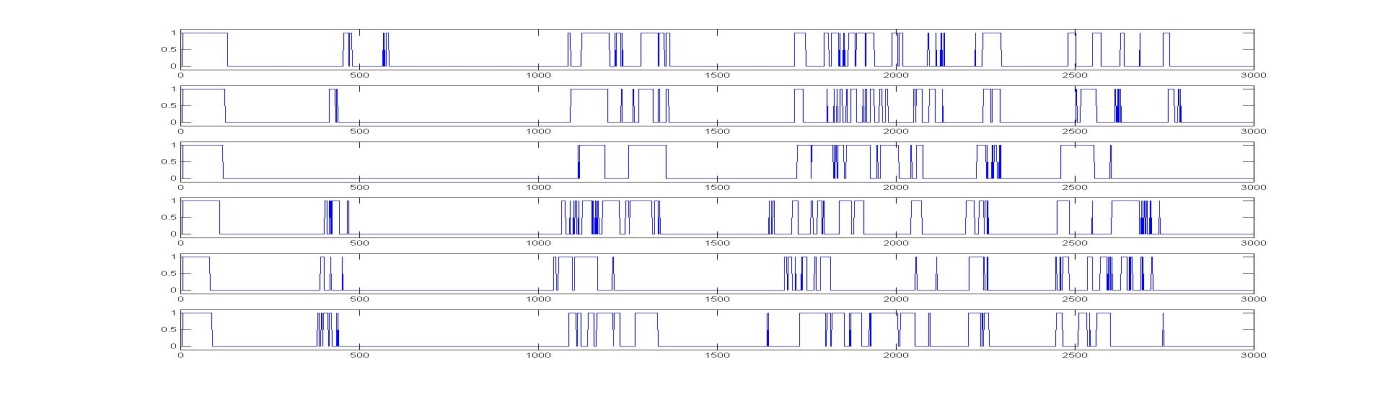
Os gráficos a seguir apresentam o caminho ativo dos 6 clientes (que estão funcionando paralelamente) pela da sequência dos pacotes. O primeiro gráfico é uma visão geral dos aproximadamente 3000 pacotes coletados, e o segundo é uma janela desse gráfico entre os pacotes 1800 e 2200, quando as duas interfaces estavam com características semelhantes.

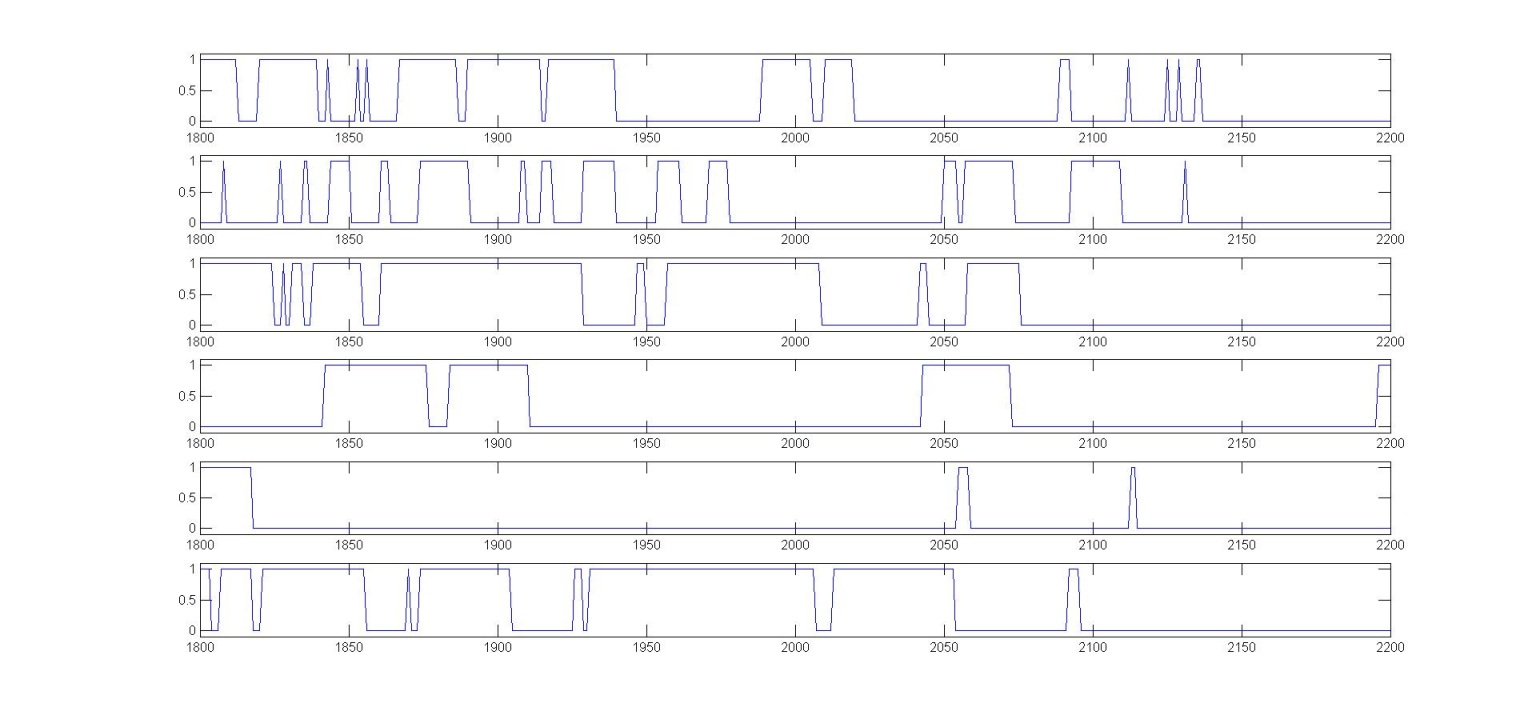




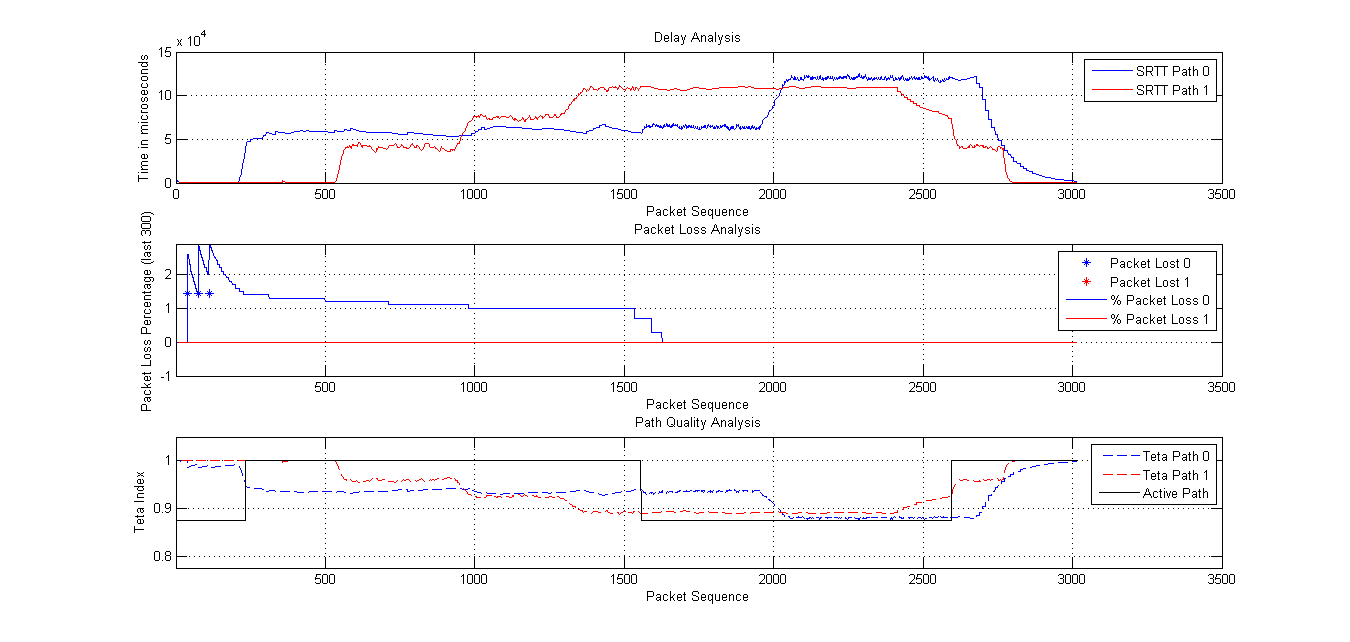
Pelo primeiro gráfico, é possível notar que na maior parte do tempo, todos os clientes utilizam a mesma interface como caminho primário, provavelmente por esta estar com um desempenho muito superior à outra no momento. Porém, em certos momentos, observa-se que há uma troca frequente entre os caminhos primários, e são nestes momentos em que a avaliação mais detalhada é necessária. Por este motivo foi retirado a janela de pacotes entre 1800 e 2200. Realizando a análise deste segundo gráfico, percebe-se que o caminho primário dos 6 clientes está distribuído quase de forma aleatória e uniforme, que é o comportamento esperado neste tipo de situação. Portanto, torna-se convalidada a distribuição dos pacotes pelas duas interfaces.

O próximo passo foi testar algum tráfego de fundo não-simulado para avaliar a resposta do algoritmo aos atrasos na rede. Para isto, foi utilizado o *software* *iperf*, que pode ser instalado gratuitamente nas distribuições Linux. Através dele, foi definido uma máquina como *server* e a outra como *client*. Na máquina *client,* foram executadas 6 instâncias do *iperf* enviando pacotes TCP, gerando um alto tráfego de fundo e consequentemente aumentando o RTT dos pacotes do algoritmo. Para este caso, o código-fonte foi simplificado, e os pacotes eram enviados apenas por um caminho. Além disso, as placas de rede de ambos os computadores foram reduzidas para uma velocidade máxima de 10Mbps, *full duplex*. Abaixo está o gráfico do resultado obtido.

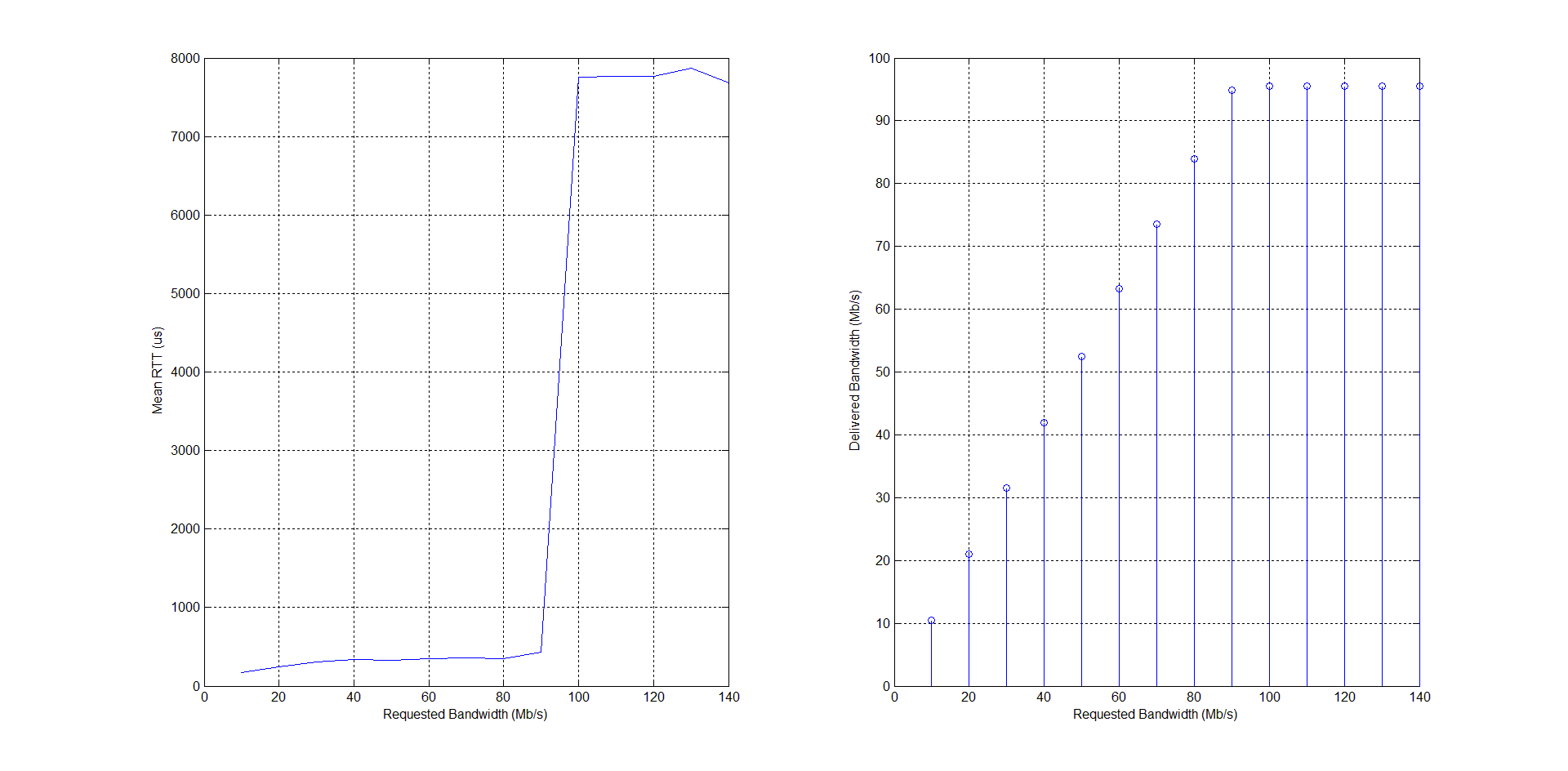


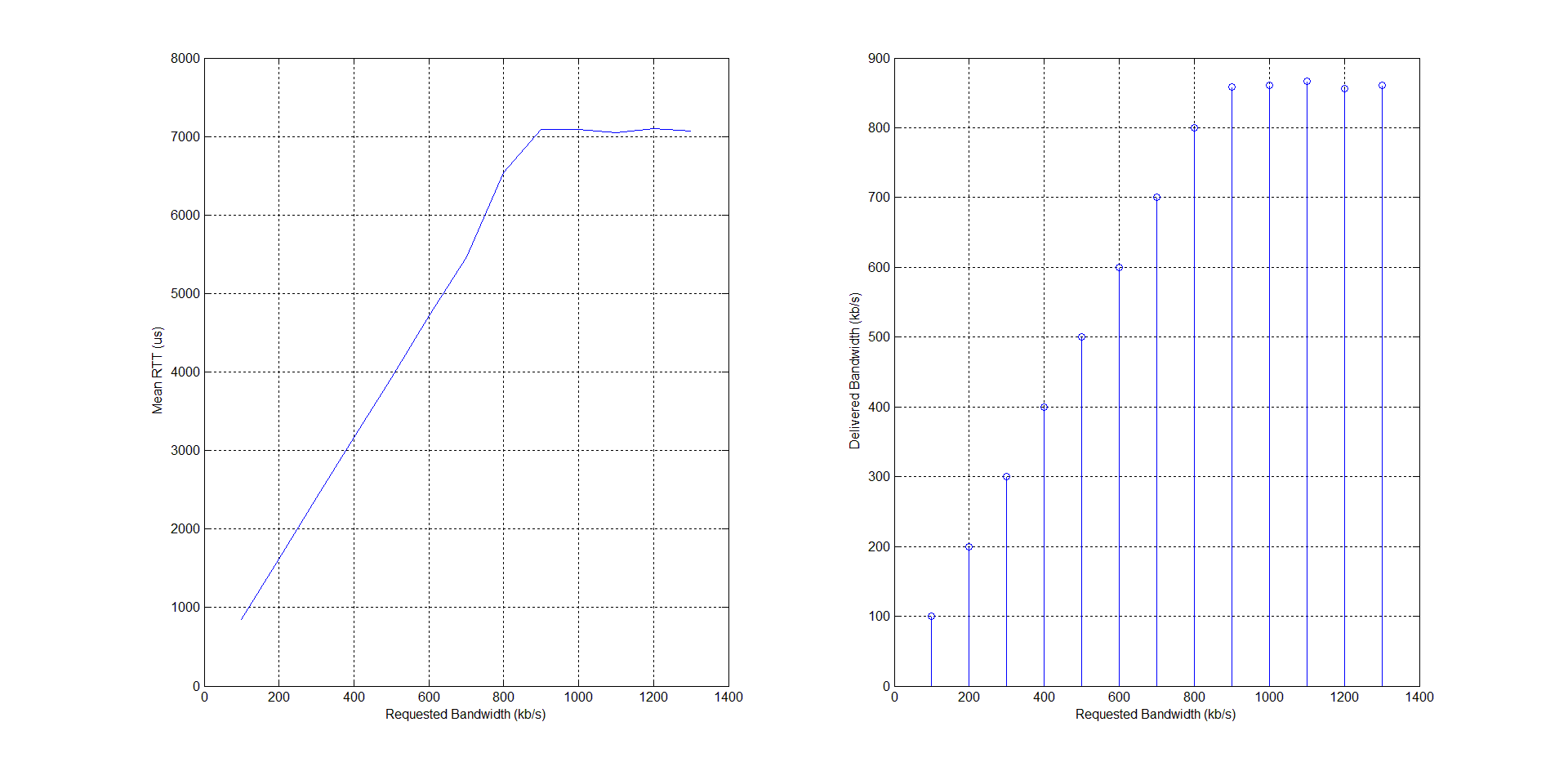


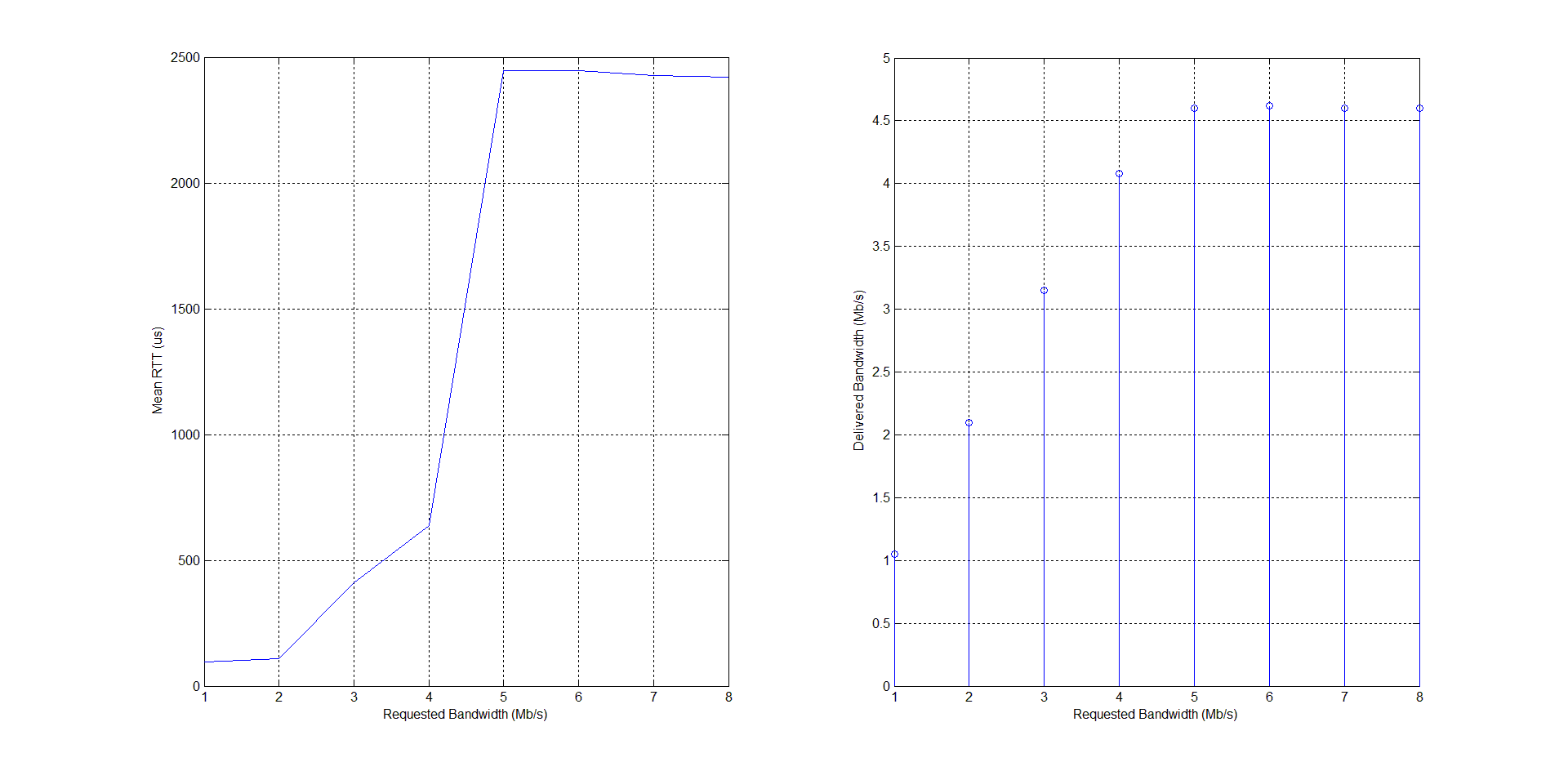
Utilizando o iperf em modo TCP, foi então colocado em teste o programa desenvolvido para operar com dois caminhos. Conforme o tempo passava, foram iniciadas algumas transferências pelo iperf de modo a aumentar a latência dos caminhos. Deste modo, o algoritmo analisava o índice de qualidade (teta) do caminho e enviava pelo de maior eficiência, considerando também certa histerese. Assim, mostrou-se também a funcionalidade do algoritmo mesmo para *delays* não simulados. A figura abaixo mostra o resultado do teste.



O gráfico abaixo foi feito utilizando o iperf em modo UDP, onde assim é possível configurar diversas bandas a ser usada pelo UDP. O eixo y representa o atraso médio medido na aplicação com o iperf utilizando uma largura de banda x. Percebe-se que ao chegar perto do limite da placa de rede (100Mbps), o atraso sobe consideravelmente e se mantém aproximadamente com o mesmo valor mesmo subindo a banda utilizada acima da capacidade da placa, uma vez que o iperf não consegue enviar a velocidades maiores do que essa.



O mesmo teste foi realizado para diferentes limitações de banda (1Mbps e 5Mbps), e o comportamento foi parecido com o anterior, com exceção dos degraus do atraso, que ficaram mais parecido uma reta, devido à própria limitação da banda. 



Código-fonte do Servidor:

1 #include <arpa/inet.h>

2 #include <netinet/in.h>

3 #include <stdio.h>

4 #include <sys/types.h>

5 #include <sys/socket.h>

6 #include <unistd.h>

7 #include <stdlib.h>

8 #include <netinet/sctp.h>

9 #include <ifaddrs.h>

10

11 #define BUFFER 20

12 #define PORT 34543

13

14 void erro(char \*s)

15 {

16 perror(s); // Aborta o programa em caso de erro

17 exit(1);

18 }

19

20 int main(void)

21 {

22 struct sockaddr\_in server[2], client, \*sa;

23 struct ifaddrs \*ifap, \*ifa;

24 int sfd, cfd, n\_bytes\_rec, cont, i=1;

25 unsigned int clen= sizeof client;

26 char str[BUFFER];

27

28 for (cont=0; cont<2; cont++) {

29 memset ((char \*) &server[cont], 0, sizeof (struct sockaddr\_in));

30 server[cont].sin\_family = AF\_INET;

31 server[cont].sin\_port = htons(PORT);

32 }

33

34 if ((sfd=socket(PF\_INET, SOCK\_STREAM, IPPROTO\_SCTP))==-1) // Cria socket do servidor

35 erro("Socket()");

36

37 if(setsockopt(sfd, SOL\_SOCKET, SO\_REUSEADDR, &i, sizeof(int))==-1)

38 perror("setsockopt");

39

40

41 getifaddrs (&ifap);

42 for (ifa = ifap, cont=0; ifa, cont<2; ifa = ifa->ifa\_next) {

43 if (ifa->ifa\_addr->sa\_family==AF\_INET) {

44 sa = (struct sockaddr\_in \*) ifa->ifa\_addr;

45 if (!strcmp(ifa->ifa\_name,"lo"))

46 continue;

47 else {

48 server[cont].sin\_addr = sa->sin\_addr;

49 printf("Interface: %s\tEndereco: %s\n", ifa->ifa\_name, inet\_ntoa(sa->sin\_addr));

50 cont++;

51 }

52 }

53 }

54 printf("\n");

55 fflush(stdout);

56 freeifaddrs(ifap);

57

58

59 if (bind(sfd, (struct sockaddr \*)&server[0], sizeof (struct sockaddr\_in))==-1) // Associa o socket ao struct server

60 erro("Bind()");

61

62 if (cont==2)

63 if (sctp\_bindx(sfd, (struct sockaddr \*)&server[1], 1, SCTP\_BINDX\_ADD\_ADDR)==-1)

64 erro("sctp\_bindx()");

65

66

67 if(listen (sfd, 10)==-1)

68 erro("Listen()");

69

70 if((cfd = accept(sfd, (struct sockaddr \*)&client, &clen)) == -1)

71 erro("accept()");

72

73 for (;;) {

74

75 if ((n\_bytes\_rec=recvfrom(cfd, str, BUFFER, 0, (struct sockaddr \*)&client, &clen))==-1) // Recebe a string do client

76 erro("Recv()");

77

78 if (n\_bytes\_rec==0) {

79 close(sfd);

80 break;

81 }

82

83 else {

84 printf("[%s]: %s\n", inet\_ntoa(client.sin\_addr), str); // E imprime na tela

85 fflush(stdout);

86 }

87 }

88

89 return 0;

90 }

Código-fonte do Cliente:

1 #include <arpa/inet.h>

2 #include <netinet/in.h>

3 #include <netinet/sctp.h>

4 #include <stdio.h>

5 #include <sys/types.h>

6 #include <sys/socket.h>

7 #include <unistd.h>

8 #include <stdlib.h>

9 #include <string.h>

10

11 #define BUFFER 18

12 #define PORT 34543

13

14 void erro(char \*s)

15 {

16 perror(s); // Aborta o programa em caso de erro

17 fflush(stdout);

18 exit(1);

19 }

20

21 int main(void)

22 {

23 struct sockaddr\_in server[3];

24 int cont, i=1;

25 int sfd, n\_bytes\_rec, slen = sizeof (server[0]);

26 char str[BUFFER], srv\_ip[15];

27

28 if ((sfd=socket(PF\_INET, SOCK\_STREAM, IPPROTO\_SCTP)) == -1) // Cria o socket

29 erro("Socket()");

30

31 printf("Digite o primeiro IP do servidor: "); // Possibilita o usuário de entrar com o IP no formato xxx.xxx.xxx.xxx

32 fgets(srv\_ip,16,stdin);

33

34 memset((char \*) &server[0], 0, sizeof (struct sockaddr\_in));

35 server[0].sin\_family = AF\_INET; // Família = Internet

36 server[0].sin\_port = htons(PORT); // Define a Porta a ser ouvida, realizando a conversão host to network

37 if (inet\_aton(srv\_ip, &server[0].sin\_addr)==0) { // Define o Endereço IP do server como o endereço ip atual da máquina

38 fprintf(stderr, "inet\_aton() failed\n");

39 exit(1);

40 }

41

42 printf("Digite o segundo IP do servidor: ");

43 fgets(srv\_ip,16,stdin);

44

45 memset((char \*) &server[1], 0, sizeof (struct sockaddr\_in));

46 server[1].sin\_family = AF\_INET; // Família = Internet

47 server[1].sin\_port = htons(PORT); // Define a Porta a ser ouvida, realizando a conversão host to network

48 if (inet\_aton(srv\_ip, &server[1].sin\_addr)==0) { // Define o Endereço IP do server como o endereço ip atual da máquina

49 fprintf(stderr, "inet\_aton() failed\n");

50 exit(1);

51 }

52

53 if (sctp\_connectx(sfd, (struct sockaddr \*)&server, 2, &i) == -1)

54 erro("sctp\_connectx()");

55

56 for (cont=1;;cont++) {

57

58 memset((char \*)&buffer, 0, BUFFER);

59

60 sprintf(str, "Pacote numero %d", cont);

61

62 if (send(sfd, str, BUFFER, 0) == -1) // Envia a string digitada para o servidor

63 erro("Send()");

64

65 if (cont==2048)

66 cont=0;

67

68 sleep(10);

69 }

70

71 return 0;

72 }