

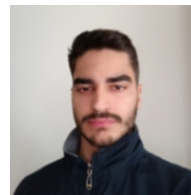


Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Programação Ciber-Física 2023/2024

Trabalho Prático 1

Ricardo Lopes Santos Silva :: pg54188; Afonso Xavier Cardoso Marques :: pg53601



Abstract

As redes de comunicação estão a evoluir rapidamente para atender às crescentes necessidades por conectividade num mundo que está cada vez mais digitalizado. Tecnologias como fibra ótica, redes sem fio (Wi-Fi, 5G), acesso fixo sem fio (FWA), e satélites de comunicação são amplamente exploradas para fornecer acesso de alta velocidade e confiabilidade. Além disso, novas abordagens, como redes definidas por software (SDN) e virtualização de funções de rede (NFV), transformam a forma como as redes de acesso são projetadas, implementadas e geridas. No entanto, obstáculos como custo e disponibilidade continuam a ser enfrentados.

Index Terms

Fibra Ótica, Cobre, Wired, Wireless, Redes.

I. INTRODUÇÃO

O seguinte trabalho pretende explorar o uso de tecnologias de acesso à rede, mais especificamente a fibra ótica num cenário de teste criado para esse propósito. Foram testados diferentes cenários de rede com diferentes níveis de latência e velocidade com todas as conclusões retiradas especificadas neste documento.

Todos os testes foram realizados na seguinte topologia:

`images/topologia.png`

Fig. 1: Topologia utilizada

II. DESENVOLVIMENTO

A. Rede de Acesso - Fibra ótica

Para a realização deste trabalho e os seus objetivos, propomos explorar a tecnologia de acesso à base de fibra ótica. A fibra ótica é um material flexível e transparente feito de vidro ou plástico, utilizado para transmitir luz, imagens ou sinais codificados com alta eficiência. Com um diâmetro ligeiramente superior ao de um fio de cabelo humano, a fibra ótica é capaz de conduzir esses sinais sem ser afetada por interferências eletromagnéticas, tornando-a crucial para sistemas de comunicação de dados.

Inicialmente, as fibras óticas tinham limitações, como perda de luz na transmissão, geração de calor pelos lasers e problemas com emendas, o que limitava a sua aplicação em longas distâncias. No entanto, a partir dos anos 70, houve avanços significativos nas técnicas óticas, possibilitando a transmissão de informações em distâncias maiores. Em Portugal, a fibra ótica foi introduzida apenas nos anos 90, em 1992.

Existem dois tipos principais de fibras óticas: monomodo e multimodo. A fibra ótica monomodo permite apenas um caminho de propagação, sendo ideal para transmissões de longa distância devido à baixa perda de informação. Por outro lado, a fibra ótica multimodo permite a propagação da luz em vários modos e é normalmente utilizada em redes locais (LAN), devido ao seu custo mais acessível.

B. Parâmetros Escolhidos

A rede residencial de acesso usada neste projeto usa um link de acesso a T bps (Mbps ou Gbps) com atraso de D ms e o HOME-PC tem uma ligação Ethernet ao HOME ROUTER a 100 Mbps e com atraso de 10 μ sec.

De forma a realizar os testes necessários na rede e com base na tecnologia de acesso escolhida, foi necessário calcular os dois parâmetros, taxa de transmissão T bps e atraso D ms, para o link de acesso residencial (Access Link - Residencial).

Através da análise de diversas fontes sobre as especificações da fibra ótica, mencionadas no [capítulo das referências](#), e assumindo que temos um cabo de 10 km com uma latência de 5 μ sec por km, propomos os seguintes valores para os parâmetros T e D :

- $T = 163.50$ Mbps (163500000 bps)
- $D = 100$ μ sec (0.1 ms)

C. Testes Realizados

1) Exercício 1.1:

Neste primeiro exercício pretendeu-se obter valores experimentais, com base nos resultados obtidos com o utilitário *ping*, de atraso médio fim-a-fim entre o HOME-PC e o SERVER, usando pacotes com tamanhos de 64 bytes e de 1024 bytes.

Registaram-se os seguintes valores de atraso médio:

- *atraso nos pacotes 64 bytes* = 1.364 e 1.038 milissegundos
- *atraso nos pacotes 1024 bytes* = 1.586 e 2.043 milissegundos

2) Exercício 1.2:

Neste segundo exercício procedeu-se à modificação de algumas características na ligação no ponto de acesso residencial com o objetivo de tornar a ligação assimétrica, onde se modificou as taxas de transmissão (Bandwidth - BW) para 1 Gbps de Downstream e 256 Kbps Upstream.

Registou-se o seguinte valor de atraso médio para um pacote com tamanho de 1024 bytes:

- *atrasoMedio* = 34.960 milissegundos

3) Exercício 2:

Para este exercício, utilizou-se a ferramenta iPerf (versão 3) para realizar a medição da largura de banda máxima (BWmax) atingível em transferências de dados sobre IPv4, de volume considerável, entre o HOME-PC e o SERVER, tanto em TCP como em UDP. Obteve-se o seguinte valor:

- *BWmax em TCP* = 14.9 Mbps
- *BWmax em UDP* = 1.05 Mbps

4) Exercício 3.1:

Aqui alterou-se apenas um dos valores na configuração do link de acesso, *delay*, *loss* ou *duplicate*. Seguem os resultados obtidos com o *iperf3* na tabela em baixo.

TABLE I: Resultados Exercício 3.1

Protocolo de Transporte	Loss	Duplicate	Delay	BWmax
TPC	4%	—	—	4.40 Mbps
UDP	4%	—	—	1.05 Mbps
TPC	10%	—	—	1.39 Mbps
UDP	10%	—	—	1.05 Mbps
TPC	—	2%	—	13.6 Mbps
UDP	—	2%	—	1.05 Mbps
TPC	—	5%	—	15.5 Mbps
UDP	—	5%	—	1.05 Mbps
TPC	—	—	2 seg	156 kbps
UDP	—	—	2 seg	1.05 Mbps

5) Exercício 3.2:

De seguida modificou-se novamente alguns valores na configuração da ligação do Link de Acesso Residencial, mais especificamente os valores *delay*, *loss* e *duplicate*, mantendo *delay* com o valor D definido na [secção sobre parâmetros](#), *loss* com valores de 4% e 10% e *duplicate* com valores de 2% e 5%.

Fez-se a seguinte combinação para os valores de *loss* e *duplicate*:

TABLE II: Combinações *loss* e *duplicate*

Combinação	Loss	Duplicate
N1	4%	2%
N2	4%	5%
N3	10%	2%
N4	10%	5%

Para N1 obteve-se o seguinte resultado com o iPerf:

- Em TCP = 6.24 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 2.1%

Em N2 obteve-se o seguinte:

- Em TCP = 5.17 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 0.22%

Para N3 os resultados foram como segue em baixo:

- Em TCP = 2.44 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 9.3%

Finalmente no N4 obteve-se o resultado que segue:

- Em TCP = 2.41 Mbps
- Em UDP = 1.05 Mbps
- UDP Loss = 6.2%

Em N1, apesar de a percentagem de loss ser de 4%, no final é de 2.1% uma vez que existe uma percentagem de duplicação de pacotes de 2% que suprimiu parte da perda inicial de pacotes. Este comportamento é evidenciado em todos os outros testes, de destacar N2 onde o facto da percentagem de pacotes duplicados ser maior levou a que a percentagem de perda fosse quase nula. Este comportamento é melhor discutido na secção abaixo.

6) *Exercício 3.3:*

Para o quarto e último teste, mantendo o uso do iPerf, modificou-se o valor do atraso de ligação para um valor muito grande, tendo como exemplo 2.000.000 μsec , que é um valor próximo do atraso médio entre a Terra e a Lua. Optamos por usar esse valor.

Obteve-se o seguinte resultado em cada um dos protocolos:

- Em TCP = 156 Kbps
- Em UDP = 1.05 Mbps

D. *Discussão dos Resultados*

1) *Exercício 1:*

No primeiro exercício, 1.1, onde realizamos medições de atraso médio fim-a-fim usando o ping com pacotes de diferentes tamanhos, observamos que quanto maior o pacote, maior o atraso médio associado. Isso é consistente com a natureza do tráfego na rede, onde pacotes maiores podem levar mais tempo a serem transmitidos e processados, resultando em atrasos mais significativos.

No segundo exercício, 1.2, modificamos as características da ligação no Link de Acesso Residencial para torná-la assimétrica, com uma bandwidth muito mais alta no sentido de download do que no de upload. No resultado, observamos um aumento significativo no atraso médio, especialmente para pacotes maiores. O atraso médio obtido de 34.960 milissegundos para pacotes de 1024 bytes indica uma grande diferença em relação aos valores obtidos no primeiro exercício, o que sugere que a assimetria na bandwidth pode ter um impacto substancial no tempo de transmissão de dados, especialmente para pacotes de maior tamanho.

2) *Exercício 2 e 3:*

Relativamente ao exercício 2, os resultados obtidos ao medir a bandwidth máxima (BWmax) entre o HOME-PC e o SERVER, tanto em TCP quanto em UDP, revelam diferenças significativas nos resultados entre os dois protocolos de comunicação. No caso do protocolo TCP, a bandwidth máxima atingível foi de 14.9 Mbps. Por outro lado, o protocolo UDP apresentou uma largura de banda máxima de 1.05 Mbps.

Relativamente ao exercício 3, conseguimos ver em relação ao TCP que alterando os valores a bandwidth máxima vai alterando, ao compararmos os valores que obtivemos em N1, N2, N3 e N4 com os valores de base obtidos no exercício 2.

Ao aumentar apenas a perda a bandwidth diminui, porém, aumentando apenas a chance de duplicação não tem impacto significativo na bandwidth com TCP.

Outra coisa de se notar é que com o mesmo nível de perdas, aumentando a chance de duplicação, ocorrem menos perda de pacotes com UDP, sendo que havendo a chance de um pacote ser duplicado um deles pode ser perdido, mas o outro pode chegar ao destino. Um exemplo disso é o que acontece em N4.

Em UDP a bandwidth não altera com a alteração dos valores, à exceção das perdas ocorridas efetivamente, conforme mencionado acima.

Com um valor tão grande de atraso, com TCP a bandwidth irá ser catastróficamente mais baixa, devido à demora que a confirmação da chegada do pacote levará.

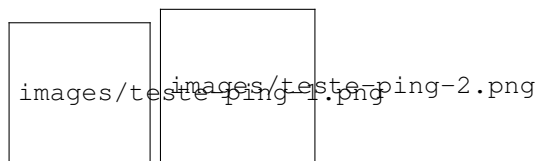
III. CONCLUSÃO

Com este projeto terminado, apresentamos uma breve conclusão que consideramos englobar todo o processo de aprendizagem despoletado por este trabalho.

Este relatório destaca a investigação dedicada ao emprego das tecnologias de acesso à rede, focando-se, em particular, na fibra ótica dentro do cenário de teste desenvolvido. Os diversos cenários de rede avaliados, com variações deliberadas de latência e velocidade, permitiram a extração de conclusões fundamentadas e específicas, as quais foram devidamente documentadas neste relatório. A análise abrangente desses resultados oferece uma visão aprofundada do desempenho da fibra ótica em diferentes contextos, fornecendo informações valiosas para orientar futuras implementações e otimizações em ambientes de rede.

APPENDIX A

TESTES DE PING - PACOTES 64 BYTES



APPENDIX B

TESTES DE PING - PACOTES 1024 BYTES



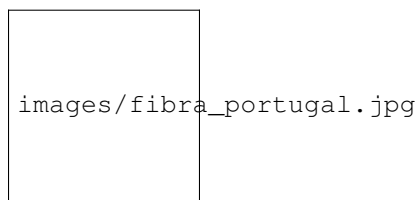
APPENDIX C

TESTES DE PING - REDE 1 GBPS / 256 KBPS



APPENDIX D

ÍNDICE GLOBAL DE FIBRA ÓTICA



APPENDIX E

LARGURA DE BANDA MÁXIMA ($T = 163.50$ MBPS, $D = 100 \mu\text{SEC}$)

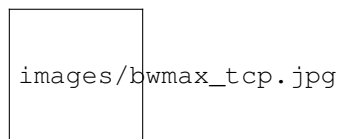


Fig. 2: Em TCP

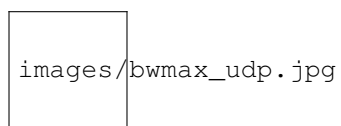


Fig. 3: Em UDP

APPENDIX F
LARGURA DE BANDA MÁXIMA - VÁRIOS TESTES

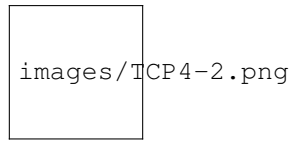


Fig. 4: TCP N1

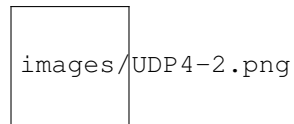


Fig. 5: UDP N1

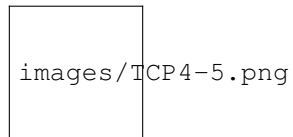


Fig. 6: TCP N2

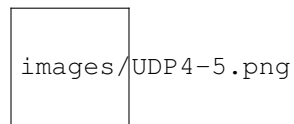


Fig. 7: UDP N2

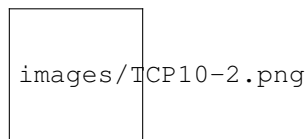


Fig. 8: TCP N3

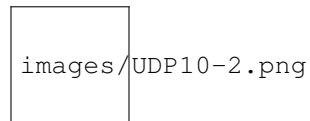


Fig. 9: UDP N3

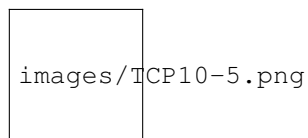


Fig. 10: TCP N4

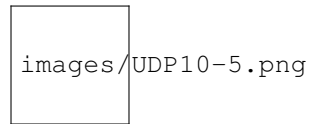


Fig. 11: UDP N4

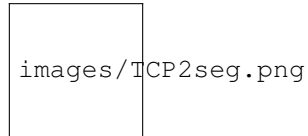


Fig. 12: TCP atraso 2 segundos



Fig. 13: UDP atraso 2 segundos

REFERENCES

- [1] <https://www.speedtest.net/global-index>
- [2] <https://www.anacom-consumidor.pt/-/destaque-redes-e-servicos-de-alta-velocidade-em-local-fixo-1-trimestre-de-2023>
- [3] <https://www.commscope.com/globalassets/digizuite/2799-latency-in-optical-fiber-systems-wp-111432-en.pdf?r=1>
- [4] <https://arquivos.rtp.pt/conteudos/fibra-optica-em-portugal/>