indi

ara

1a EDIÇÃO DIGITAL

**2018**

2018

vidual

uso

José Legatheaux Martins

NOVA

Departamento de Informática

c

da Faculdade de Ciências e Tecnologia

da Universidade Nova de Lisboa

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

ara

**FICHA TÉCNICA**

2018

vidual

uso

Nova.FCT Editorial

Todos os direitos reservados incluindo os direitos de

reprodução total ou parcial em qualquer suporte.

Esta versão digital no formato PDF só pode ser usada

para estudo individual pelo próprio e não pode ser impressa em papel.

Editora: Nova.FCT Editorial

Faculdade de Ciências e Tecnologia

NOVA

2829-516 Caparica

c

Título: Fundamentos de Redes de Computadores

Editorial

Ilustrados com Base na Internet e nos Protocolos TCP/IP

Autor: José Legatheaux Martins

Fotografias: Edite Legatheaux Martins

FCT

Figuras: Autor com apoio do *site* https://openclipart.org

Paginação: Autor

Design de capa: Daniel Estrada para Redcherry - Produção de Conteúdos, Lda.

Foto de Capa: c Pixabay

versão

https://pixabay.com/pt/abril-ponte-tejo-lisboa-portugal-1865599 Impressão: Tipografia Lobão, Feijó - 2810-069 Almada

1.aedição: Janeiro de 2018

ISBN: 978-989-99528-5-0

Dep. Legal Número

D1.0

indi

ara

**O AUTOR**

**José Legatheaux Martins**

2018

vidual

uso

José Legatheaux Martins é professor catedrático de sistemas informá

ticos distribuídos e redes de computadores na Faculdade de Ciências e

Tecnologia FCT da NOVA (FCT NOVA). De 2007 a 2011 foi presidente

do Departamento de Informática e vice-presidente da FCT NOVA para

o Conselho Científico. Actualmente é presidente da direção do Capítulo

Português da Internet Society para o triénio 2017 - 2019, membro da

ACM e membro sénior do IEEE.

Formou-se em Engenharia Informática em 1979. De 1983 a 1987 foi

investigador no INRIA em França, na delegação central em Paris, onde

trabalhou no desenvolvimento dos primórdios dos sistemas de operação

NOVA

distribuídos. No final de 1986 obteve seu doutoramento em Sistemas

c

Distribuídos pela Universidade de Rennes em França. De 1988 a 1992

foi professor na Universidade de Lisboa e, a partir daí, na FCT NOVA.

A sua investigação anterior estava relacionada com sistemas de operação

Editorial

distribuídos, replicação de dados distribuídos, sistemas móveis e sistemas

CSCW. Actualmente, os seus principais interesses de investigação estão

relacionados com o encaminhamento e gestão de redes de computadores

e a evolução futura da Internet.

FCT

De 1990 a 1994 liderou o projeto nacional que estabeleceu o ramo

português da Internet e liderou o PUUG - Grupo Português de Usuários

Unix e a filial portuguesa da EUnet, organizações sem fins lucrativos

que promoviam os Sistemas Abertos, a rede TCP/IP e a adoção da

Internet. Em 1996 foi o principal fundador de um ISP português que

versão

foi adquirido em 2000 pela Qwest Communications Company. De 2000

a 2004 actuou como consultor e membro não executivo do conselho de

gestão da Companhia KPNQwest Portugal.

D1.0

indi

ara

**Endereço do autor**

2018

vidual

uso

Departamento de Informática

da FCT NOVA

Campus da Caparica

2829-516 Monte da Caparica,

PORTUGAL

*Email*: jose.legatheaux at fct.unl.pt

*Site*: http://legatheaux.eu

*Site* do livro pelo autor: http://legatheaux.eu/index.php/cnfbookNOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

ara

2018

vidual

uso

Dedicado à Edite e à Inês

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

ara

2018

vidual

uso

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

ara

**Prefácio**

Conheci o José Legatheaux Martins (**jalm**) em 1986 quando nos encon tramos num curso de duas semanas sobre Sistemas Distribuídos, na Tur

2018

vidual

quia, financiado ao abrigo do programa *Science for Stability* da NATO. uso

Aliás, e como curiosidade, assistiram a este curso outros dois portugue ses, o Henrique Madeira e o João Gabriel Silva, ambos atuais professores catedráticos da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. O João Gabriel é, no presente, o Reitor da Universidade de Coimbra.

Comecei a trabalhar profissionalmente com o **jalm** pouco depois,

quando ele voltou de França depois de terminar o seu doutoramento no INRIA e ele vinha com duas ideias fixas: UNIX e TCP/IP. Isto é uma maneira um pouco crua de descrever o seu posicionamento científico e NOVA

técnico, mas ajuda a entender o modo como ele desenvolveu a sua ativi dade e que terá conduzido a este livro. E tive a sorte de me ter cruzado

c

profissionalmente com ele muitas vezes, podendo desfrutar dos seus sóli dos conhecimentos científicos e técnicos em redes de computadores e em

sistemas distribuídos.

Editorial

O livro “Fundamentos de Redes de Computadores” é uma obra no

tável. Trata todos os temas essenciais para relacionados com a pilha

FCT

protocolar TCP/IP de um modo aprofundado e rigoroso. O modo como

os temas são abordados demonstra na parte do autor profundos co

nhecimentos na área, mas complementados por uma fluidez e clareza

expositivas que queremos realçar. Como o autor refere o livro pode ser

usado a nível da licenciatura, mas diversos capítulos podem ser usados a

nível do segundo ciclo pelo seu conteúdo mais avançado. Na análise que

versão

fizemos ao conteúdo do livro e com base na nossa experiência sobre a

maior ou menor dificuldade dos estudantes nos vários temas na área da

Internet queremos, de seguida, destacar alguns capítulos a que demos

mais atenção.

Consideramos a Parte II especialmente rica pelo papel determinante

que os seus cinco capítulos estão organizados e os seus conteúdos expos

tos, permitindo dar uma visão dos diversos contextos em que a rede é

D1.0

utilizada, quer pelo protocolo fundamental TCP mas também por ou

tros protocolos que ao longo dos anos tem vindo a ser normalizados e

fornecem uma elasticidade e plasticidade notáveis à rede para as mais

vii

**viii**

indi

diversas aplicações.

Também queremos aqui salientar a Parte IV, em especial os capítu los 16, 17 e 18 pelo modo como os seus conteúdos são expostos e que permitem uma visão aprofundado de aspetos que foram determinantes

no modo como a Internet pode crescer, funcionar e manter-se como uma

ara

rede sem uma gestão centralizada.

Parabéns ao **jalm** por este livro, resultado de um trabalho sólido e

certamente longo, bem como às instituições onde, ao longo dos anos, desenvolveu a sua brilhante carreira académica.

2018

vidual

Lisboa, Setembro de 2017

uso

Pedro Veiga

Prof. Catedrático da FCUL

e Coordenador do Centro Nacional de Cibersegurança.

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

ara

**Prefácio do autor**

Este livro nasceu da ambição de fornecer um suporte adequado ao ensino

e estudo do tema de redes de computadores por estudantes universitá

2018

vidual

rios de Engenharia Informática, ou outras pessoas que procuram perce

uso

ber como as redes funcionam e suportam os sistemas informáticos. Ele

destina-se essencialmente àqueles que estudam e praticam a Engenha

ria Informática e que necessitam de compreender profundamente como

funciona uma rede de computadores.

As aplicações informáticas são hoje em dia construídas predominan

temente como um sistema formado por componentes distribuídas, que

se coordenam entre si para providenciar o serviço final aos utilizadores.

O suporte desses sistemas são redes de computadores que permitem a

comunicação e coordenação dessas componentes.

NOVA

A forma como a rede funciona tem um impacto decisivo sobre a

arquitectura e o desempenho dos sistemas e aplicações informáticas e

c

influencia a sua arquitectura. Por outro lado, as características dos sis

temas informáticos influenciaram decisivamente a forma como a rede é

Editorial

construída, está organizada e funciona. Assim, as necessidades e carac

terísticas dos sistemas e aplicações estão no centro da acção. Entre as

necessidades dos sistemas informáticos desempenham um papel primor

FCT

dial o desempenho e a flexibilidade. Por isso a rede tem ela própria de

ter um bom desempenho e uma arquitectura flexível e extensível. Entre

as características dos dispositivos computacionais, a sua elevada capa

cidade computacional e a possibilidade de executarem inúmeros algo

ritmos, influenciaram também decisivamente as redes de computadores,

conduzindo àquilo que alguns chamaram a “rede estúpida”.

versão

Durante muitos anos o ponto de vista usado no ensino das redes

de computadores foi o de que os sistemas de telecomunicações eram o

ponto de partida e influenciavam directamente o que era ou não possível

fazer a nível das aplicações. Por isso o funcionamento das aplicações

vinha em último lugar, e usava-se predominantemente uma abordagem

de “baixo para cima” (*bottom-up*), com uma grande ênfase nos suportes

e tecnologias de comunicação que, de alguma forma, acabavam por tudo

D1.0

condicionar. Os protocolos TCP/IP eram introduzidos nessas aborda

gens apenas como um exemplo entre muitas outros, não como actores

principais.

ix

**x**

indi

Com o progresso das redes e das suas aplicações, este ponto de vista,

que também usei durante vários anos de ensino, tornou-se pouco interes sante para os estudantes de Engenharia Informática do Séc. XXI e está desfasado dos objectivos da sua formação. A evolução das próprias redes

tornaram obsoletas várias tecnologias de comunicações que preencheram

ara

(demasiado ?) espaço nessa formação.

Por volta do ano 2000 James Kurose e Keith Ross introduziram uma

outra forma de ensinar redes de computadores Kurose and Ross [2013],

baseada numa abordagem que estudava primeiro os níveis superiores das

redes de computadores e as aplicações mais conhecidas, numa forma que

2018

vidual

passou a designar-se por de “cima para baixo” (*top-down*), que também

uso

adoptei no ensino de licenciatura.

A minha reflexão e experiência de mais de 25 anos de ensino do

tema levaram-me, no entanto, a considerar que uma abordagem que

seguisse estritamente, de “baixo para cima” ou vice-versa, aquilo que

se convencionou chamar os níveis OSI (*Open Systems Interconnection*),

não era assim tão importante, tanto mais que esses níveis se vão cada vez

mais influenciando mutuamente e interpenetrando, e já não são assim

tão estanques e determinantes para se perceberem muitas das aplicações

modernas das redes (*e.g.*, a distribuição adaptativa de vídeo a pedido

NOVA

sobre HTTP, . . . ). Por isso, tentar perceber como a rede é usada, não

pode hoje em dia deixar de considerar como central a forma como os

c

sistemas distribuídos se organizam para tirarem todo o partido das redes.

Por isso preferi relaxar esse tipo de percurso rígido e seguir uma

Editorial

aproximação mais do tipo “saltar para dentro da piscina”. Mas que

obviamente continua a respeitar de alguma forma certas camadas essen

ciais da organização da rede, mas mais relacionadas com o local onde

FCT

residem o software e os algoritmos fundamentais para resolverem os pro

blemas. É o que de mais parecido consigo fazer com algo que poderia

ser descrito como uma aproximação “dirigida aos problemas”. Por outro

lado, as facetas mais ligadas a telecomunicações vão sendo introduzidas

na justa medida das necessidades da compreensão do impacto das suas

características nos níveis superiores das redes, e não são sequer objecto

de estudo per si.

versão

Foi a visão desta necessidade que foi decisiva para começar, e me deu coragem para continuar, a longa tarefa de escrever este livro. Até então, pensava que não valia a pena escrever um livro sobre um tema versado de forma tão brilhante por vários autores de grande qualidade, como por exemplo: [Tanenbaum and Wetherall, 2011; Peterson and Davies, 2012; Kurose and Ross, 2013; Marsic, 2013] e [Stallings, 2013], só para citar

os suportes bibliográficos que mais frequentemente usei.

D1.0

Esta tarefa é um alvo em movimento e que, acredito, não terminou ainda. Por um lado não tive ainda tempo de introduzir o tratamento de

indi

**xi**

questões fundamentais como a segurança e a mobilidade (só parcialmente abordadas de forma transversal em alguns capítulos). Por outro lado seria desejável aprofundar alguns aspetos suplementares em algumas das partes do livro. Finalmente, é inevitável que espero ter a oportunidade

de corrigir os erros e as gralhas que ainda possam estar presentes nesta

ara

versão.

**Utilizações esperadas**

2018

A maioria dos capítulos deste livro dão suporte ao ensino e aprendi

vidual

uso

zagem sobre redes de computadores ao nível de licenciatura. Não são

usados formalismos ou teorias que possam constituir uma barreira à sua

utilização ao nível dos primeiros anos de diferentes contextos de ensino

universitário ou politécnico.

De qualquer forma dois factores impedem provavelmente a sua utili

zação logo no primeiro ano. Por um lado é dada uma ênfase algorítmica

ao tratamento dos temas, são apresentados muitos algoritmos e suge

rida a realização de programas logo desde a primeira parte, pelo que é

necessário algum domínio da programação.

NOVA

No entanto, o aspecto principal que recomenda a sua utilização numa

fase mais avançada da formação, tem a ver com a necessidade de o

c

estudante ser capaz de raciocinar em termos de abstrações, interfaces e

de organização de sistemas. Uma aptidão que só se adquire após algum

Editorial

treino e relega o estudo das redes de computadores mais para o final do

segundo, ou para o início do terceiro ano de estudos superiores.

Vários capítulos ou partes de capítulos destinam-se a um estudo

FCT

mais avançado, no final da licenciatura ou no início de um mestrado.

No entanto, desse ponto de vista, faltam tratar vários tópicos que, não

sendo de investigação, são temas importantes que devem ser abordados

a esse nível e que estão ausentes desta versão do livro, nomeadamente:

redes baseadas em túneis (*e.g.*, MPLS, LISP e outros), desempenho e

optimização da rede, qualidade de serviço, redes de centros de dados,

*software defined networking*, *etc.*

versão

O livro também é adequado para auto-estudo ou para suporte da

formação de técnicos de redes de computadores, pois está escrito com

bastantes preocupações pedagógicas e de clareza. No entanto, se é bom

para a compreensão dos fundamentos e do que “está por detrás da super

fície visível”, tem de ser complementado, quando o objectivo é o treino na

utilização das tecnologias, com outras referências que contenham exem

D1.0

plos de como na prática as redes são construídas e os equipamentos

parametrizados. Sempre que relevante, essas referências bibliográficas

complementares também são fornecidas.

**xii**

indi

**Estrutura do livro**

Como referido acima, este livro está estruturado em torno de grandes temas ou partes.

ara

**Parte I - Introdução – O todo e as partes**

Esta parte do livro apresenta uma panorâmica da forma como estão

organizadas, quais são as componentes fundamentais e os princípios e

principais modelos que estão na base das redes de computadores. O

2018

domínio desta parte é imprescindível a qualquer estudante, não obstante

vidual

uso

incluir alguns aspectos no Capítulo 4 que podem ser dispensados numa

primeira abordagem. Ela é constituída pelos seguintes capítulos:

**Capítulo 1. Como funciona uma rede de computadores**. Este

capítulo apresenta uma panorâmica geral do que é uma rede de

computadores, como funciona e como permite o funcionamento

dos diferentes tipos de aplicações.

**Capítulo 2. Canais de dados**. Este capítulo apresenta uma introdu

ção aos canais de dados, como podem ser caracterizados qualitativa

NOVA

e quantitativamente, como são construídos, e apresenta ainda um

c

exemplo preliminar do funcionamento concreto de um dos mais

populares canais de dados, os canais Ethernet.

Editorial

**Capítulo 3. Comutação de circuitos e de pacotes**. Este capítulo

mostra porque as primeiras redes de telecomunicações se basea

vam na comutação de circuitos e evoluíram posteriormente para

FCT

a comutação de pacotes. Discute as características das redes de

pacotes, como funcionam e como podem ser caracterizadas através

de propriedades quantitativas.

**Capítulo 4. Princípios, modelos e ferramentas**. Este capítulo dis

cute os princípios fundamentais que presidiram ao desenvolvimento

versão

das redes de computadores modernas, os principais modelos utili

zados para as compreender e estudar, e finalmente discute quais

são as ferramentas usadas para desenhar redes concretas, para me

dir e estudar as suas as propriedades, ou ainda para simulá-las ou

emulá-las.

**Capítulo 5. Programação com Sockets em Java**. Apresenta, atra

D1.0

vés de exemplos, uma introdução à interface de programação sis

tema (API) para aceder aos serviços da rede num sistema de ope

ração moderno em Java.

indi

**Parte II - Transferência de dados**

**xiii**

Esta parte do livro discute os métodos usados para transferir dados en tre dispositivos computacionais ligados através de uma rede, e põe em

evidência como esses métodos se devem adaptar ao contexto e às neces

ara

sidades das aplicações. Trata-se de um capítulo que noutros livros se poderia chamar “Transporte” mas que inclui também facetas aplicaci onais que interferem directamente com a transferência de dados. Esta parte é constituída pelos seguintes capítulos:

**Capítulo 6. Fiabilidade com base em retransmissão**. Este capí 2018

vidual

uso

tulo introduz os métodos e protocolos fundamentais usados para transferir dados com base na retransmissão dos pacotes que se perderam, ou que foram corrompidos pela rede.

**Capítulo 7. O protocolo TCP**. É o principal protocolo de transfe

rência de dados usado na Internet, e que usa alguns dos métodos

e algoritmos apresentados no capítulo anterior.

**Capítulo 8. Controlo da saturação da rede**. Quando a quantidade

de pacotes que entram na rede é superior à que esta consegue

encaminhar, a qualidade de serviço extremo a extremo degrada-se.

NOVA

No entanto, se o software dos sistemas em comunicação cooperar,

c

é possível encontrar uma solução do tipo *“win-win”*.

**Capítulo 9. Transporte de dados multimédia**. Os dados multimé

Editorial

dia podem ser transportados com perda de resolução, envolvendo

mais intimamente as aplicações no transporte dos mesmos. Por

outro lado, são às vezes usados em cenários (*e.g.*, *multicasting*)

FCT

em que é preferível usar métodos de correção das faltas através do

envio de informação redundante.

**Capítulo 10. Outros protocolos de transferência de dados**. Este

capítulo introduz diversas alternativas de protocolos de transporte.

Trata-se de um capítulo complementar que usa um estilo mais

versão

adequado para um estudante com autonomia para realizar estudos

complementares.

**Parte III - Aplicações – Protocolos e sistemas de suporte**

Esta parte do livro apresenta um conjunto de mecanismos e princípios

em que as redes e os sistemas que a utilizam se cruzam e influenciam

mutuamente. Ela é constituída pelos seguintes capítulos:

D1.0

**Capítulo 11. Nomes e endereços**. Para além de introduzir estes conceitos e as suas variantes, discute os mecanismos usados para

**xiv**

indi

realizar o mapeamento de entidades dos diferentes níveis de desig nação e introduz o DNS (*Domain Name System*).

**Capítulo 12. O protocolo HTTP**. O protocolo HTTP (*Hyper Text*

ara

*Control Protocol*) é um protocolo genérico de transferência de ob jectos, do tipo cliente / servidor, que incluí um conjunto de funci onalidades extensíveis para adaptação do mesmo às necessidades dos diferentes tipos de aplicações. É dada bastante ênfase à pro blemática do *caching*, extensibilidade e implicações da segurança

do protocolo.

2018

vidual

**Capítulo 13. Redes de distribuição de conteúdos**. As aplicações

uso

de maior escala usadas hoje em dia são suportadas no protocolo HTTP mas também num conjunto de servidores e princípios ar quitecturais que conduziram à construção de um novo tipo de re des, ditas redes sobrepostas (*overlay networks*) ou lógicas. O ca pítulo discute a organização dos principais protocolos e redes de distribuição de conteúdos, quer os baseados em infraestruturas de centros de dados e *reverse caches*, quer os baseados em sistemas cooperativos (P2P). Boa parte deste capítulo não contém material obrigatório numa primeira introdução.

NOVA

c

**Parte IV - Redes de pacotes**

Esta parte do livro discute de forma detalhada o funcionamento interno

Editorial

de uma rede de pacotes. Segue-se o princípio de tentar resolver os pro

blemas de forma o mais simples que possível, passando apenas a soluções

mais complexas quando as anteriores deixaram de ser possíveis. Ela é

FCT

constituída pelos seguintes capítulos:

**Capítulo 14. Redes baseadas em canais de difusão**. Um canal

baseado em difusão permite construir imediatamente a mais sim

ples de todas as redes. O capítulo discute também em detalhe as

tecnologias IEEE 802.3 (Ethernet com fios) e 802.11 (Wi-Fi).

versão

**Capítulo 15. Encaminhamento com base em inundação**. É rela

tivamente fácil fazer uma rede capaz de encaminhar pacotes base

ada no algoritmo de inundação. O mesmo também pode ser usado

para difundir dados de forma fiável. Depois o capítulo introduz as

redes comutadas baseadas em *switches* Ethernet e os algoritmos e

protocolos complementares por estas usados.

D1.0

**Capítulo 16. Encaminhamento pelo caminho mais curto**. Quando

as soluções anteriores não são aplicáveis, é necessário passar a so

luções mais complexas. Uma solução de compromisso consiste em

indi

**xv**

usar encaminhamento pelo caminho mais curto, cujos algoritmos são apresentados em detalhe. É feita uma breve referência aos protocolos que usam este tipo de algoritmos.

**Capítulo 17. Interligação de redes - protocolo IP**. O protocolo

ara

IP proporciona uma interface e uma camada de abstração para os diferentes tipos de redes e é a “cola” da Internet. Por cima dele tudo pode mudar, e por baixo dele a diversidade também é a regra geral. Neste capítulo estuda-se este protocolo nas versões 4 e 6, como é organizado o endereçamento numa rede IP e como esta 2018

vidual

uso

funciona no concreto.

**Capítulo 18. Encaminhamento na Internet global**. Quando uma

rede interliga biliões de sistemas terminais através de milhões de

comutadores de pacotes e envolve milhares de operadores indepen

dentes e em competição, mas unidos pelo objectivo de proporcionar

conectividade completa, é necessário passar a um nível superior de

organização. O capítulo introduz também o protocolo BGP e uma

parte razoável da sua complexidade.

NOVA

Todos os capítulos terminam sempre com duas secções. A primeira

chama-se **Resumo e referências** e contém um resumo do capítulo,

c

muitas vezes baseado na repetição das caixas de resumos parciais das

diferentes secções do capítulo, a lista dos termos introduzidos, incluindo

Editorial

a sua definição, um conjunto de referências bibliográficas complementa

res, assim como apontadores para *sites* com informação relevante para

o tema do capítulo.

FCT

A segunda chama-se **Questões para revisão e estudo** e contém

um conjunto de questões para ajuda à revisão da matéria do capítulo e

treino da sua compreensão.

**Como o livro pode ser usado para ensino e estudo**

versão

Numa primeira disciplina de licenciatura de redes de computadores ha

bitualmente uso os materiais correspondentes aos seguintes capítulos:

**Parte I - Introdução.** Capítulo 1, Capítulo 2, Capítulo 3 e as primei

ras quatro secções do Capítulo 4. O Capítulo 5 é introduzido em

função das necessidades, durante as aulas laboratoriais.

D1.0

**Parte II - Transferência de dados.** Capítulo 6, Capítulo 7, as

primeiras três secções do Capítulo 8, e o Capítulo 9 sem a Secção

9.3.

**xvi**

indi

**Parte III - Protocolos e sistemas de suporte das aplicações.** Capítulo 11, Capítulo 12 e o início do Capítulo 13.

**Parte IV - Redes de pacotes.** Capítulo 14, as duas primeiras secções

ara

do Capítulo 15, Capítulo 16 e Capítulo 17. É feita uma breve referência ao tema do Capítulo 18.

Este conjunto de matérias deve ser complementado com um capítulo

sobre segurança caso a mesma não seja coberta noutra disciplina do

mesmo curso.

2018

vidual

uso

Alguns capítulos contém tópicos que habitualmente apenas trato em

disciplinas de mestrado. Nomeadamente os seguintes: as últimas três secções do Capítulo 4, as duas últimas secções do Capítulo 8, a Secção 4 do Capítulo 9. O Capítulo 10. Boa parte do Capítulo 13. A terceira e quarta secções do Capítulo 15 e praticamente todo o Capítulo 18.

**Do uso da língua portuguesa e de termos em inglês**

Os profissionais que trabalham em redes de computadores têm por há NOVA

bito, mesmo quando a sua língua de trabalho não é a língua inglesa, utilizarem muitos termos em inglês. Em contrapartida, os académicos c

portugueses têm por dever fomentar a correcta utilização da língua por tuguesa num contexto técnico e científico quando esta é a língua de

trabalho.

Editorial

Este livro está escrito em português e por isso existe a preocupação

de utilizar os termos adequados dessa língua para designar os conceitos,

FCT

mecanismos e dispositivos usados na área de redes de computadores. No

entanto, procura-se referir em todos os casos os termos tradicionalmente

usados em língua inglesa, para ajudar o leitor a situar-se num contexto

em que sejam utilizados predominantemente os termos na língua inglesa.

No entanto, esta opção não é aplicada de forma radical e por isso,

quando se descreve um mecanismo muito ligado a uma norma tecno

versão

lógica que só existe escrita na língua inglesa, ou se refere um conceito

para o qual é difícil introduzir um termo em português, optei por usar o

termo na língua inglesa impresso em itálico. Em cada caso a opção está

justificada.

Por outro lado, sempre que são apresentados extractos de programas

ou algoritmos em pseudo-código, dada a utilização de palavras chave em

inglês, os comentários e nomes de variáveis também estão em inglês para

manter a uniformidade.

D1.0

O livro utiliza a ortografia do português na sua versão de antes do último acordo ortográfico.

indi **Agradecimentos**

**xvii**

Este livro não teria sido possível sem a colaboração de diversos colegas e das instituições universitárias nas quais desempenhei ou desempenho

funções.

ara

Uma primeira palavra de agradecimento é devida ao Departamento

de Informática e à Faculdade de Ciências e Tecnologia por me terem libertado de leccionar aulas durante dois semestres, o que me permitiu dispor do tempo necessário para escrever a sua primeira versão.

Um grande agradecimento também é devido aos colegas: Henrique 2018

João Domingos, João Magalhães, Nuno Preguiça, Paulo Lopes, Pedro vidual

uso

Medeiros, Sérgio Marco Duarte e Vitor Duarte, com quem partilhei du rante vários anos o desafio de ensinar a estudantes dos cursos de licen ciatura e mestrado em Engenharia Informática as matérias de redes de computadores, em diversas disciplinas, primeiro na Faculdade de Ciên cias da Universidade de Lisboa, e depois na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

Agradeço igualmente a todas as pessoas que contribuíram com ob servações e revisões de partes deste texto, nomeadamente: Carmen Mor gado, Cecília Gomes, Henrique João Domingos, João Leitão, Mário de Almeida, Nuno Preguiça, Paulo Lopes, Ricardo Martins, Sérgio Marco

NOVA

Duarte e Vitor Duarte.

c

Agradeço igualmente aos autores dos inúmeros clips que utilizei nas figuras e que os colocaram à disposição do público para utilização sem constrangimentos via o *site* https://openclipart.org.

Monte da Caparica, Fevereiro de 2017

Editorial

José Legatheaux Martins

FCT

versão

D1.0

indi **Índice**

ara

**Prefácio vii**

2018

vidual

uso

**Prefácio do autor ix**

**I Introdução – O todo e as Partes 1**

**1 Como funciona uma rede de computadores 5**

1.1 O que é uma rede de computadores . . . . . . . . . . . . . 5

1.2 Interligação de redes - a rede Internet . . . . . . . . . . . 12

1.3 Divisão de responsabilidades na rede . . . . . . . . . . . . 16

1.4 Aplicações suportadas no protocolo TCP . . . . . . . . . 23

NOVA

1.5 Aplicações suportadas no protocolo UDP . . . . . . . . . 29

1.6 Interfaces de rede . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 37

c

1.7 Organismos de normalização e governação . . . . . . . . . 42

1.8 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 46

Editorial

1.9 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 49

**2 Canais de dados 55**

FCT

2.1 Definição de canal de comunicação . . . . . . . . . . . . . 57

2.2 Caracterização quantitativa dos canais . . . . . . . . . . . 62

2.3 Exemplos de meios de comunicação . . . . . . . . . . . . . 68

2.4 Detecção de erros . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 77

2.5 Exemplo – canais Ethernet . . . . . . . . . . . . . . . . . 85

2.6 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 90

versão

2.7 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 94

**3 Comutação de circuitos e de pacotes 97**

3.1 Comutação de circuitos . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 99

3.2 Comutação de pacotes . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 105

3.3 Tempo de trânsito extremo a extremo . . . . . . . . . . . 110

3.4 Como viver com o *jitter* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 118

D1.0

3.5 Comparação entre os dois modelos . . . . . . . . . . . . . 121

3.6 Indicadores de desempenho . . . . . . . . . . . . . . . . . 124

3.7 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 126

xviii

**Índice xix**  indi

3.8 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 130

**4 Princípios, modelos e ferramentas 139** 4.1 Princípios . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 140 4.2 Segurança e controlo de acesso e de recursos . . . . . . . . 149

ara

4.3 Neutralidade da rede . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 153

4.4 Modelos . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 156

4.5 Análise e avaliação do desempenho . . . . . . . . . . . . . 169

4.6 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 175

4.7 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 181

2018

vidual

uso

**5 Programação com Sockets em Java 185**

5.1 Utilização de sockets UDP em Java . . . . . . . . . . . . . 186

5.2 Comunicação multi-ponto – Sockets Multicast . . . . . . . 201

5.3 Sockets Java para canais TCP . . . . . . . . . . . . . . . 206

5.4 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 217

5.5 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 220

**II Transferência de Dados 225**

NOVA

**6 Fiabilidade com base em retransmissão 229**

c

6.1 Mecanismos de base . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 230

6.2 Protocolo *stop & wait* . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 236

6.3 Protocolos de janela deslizante . . . . . . . . . . . . . . . 241

Editorial

6.4 Protocolos e máquinas de estado com acções . . . . . . . . 258

6.5 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 260

6.6 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 262

FCT

**7 O protocolo TCP 273**

7.1 A interface do protocolo TCP . . . . . . . . . . . . . . . . 274

7.2 Descrição do protocolo . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 277

7.3 Abertura e fecho das conexões . . . . . . . . . . . . . . . . 291

7.4 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 303

versão

7.5 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 308

**8 Controlo da saturação da rede 315**

8.1 Em que consiste a saturação . . . . . . . . . . . . . . . . . 317

8.2 Como controlar a saturação . . . . . . . . . . . . . . . . . 324

8.3 Controlo da saturação no protocolo TCP . . . . . . . . . . 329

8.4 Controlo com *feedback* explícito . . . . . . . . . . . . . . . 341

D1.0

8.5 Equidade e desempenho do TCP . . . . . . . . . . . . . . 348

8.6 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 359

8.7 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 366

**xx Índice**  indi

**9 Transporte de dados multimédia 371** 9.1 Codificação de informação multimédia . . . . . . . . . . . 373 9.2 Transporte sobre TCP e sobre UDP . . . . . . . . . . . . 383 9.3 Tratamento de erros em fluxos multimédia . . . . . . . . . 390 9.4 RTP – *Real-time Transport Protocol* . . . . . . . . . . . . 396

ara

9.5 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 400

9.6 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 406

**10 Outros protocolos de transferência de dados 409** 10.1 Datagram Congestion Control Protocol . . . . . . . . . . 411

2018

vidual

uso

10.2 Stream Control Transmission Protocol . . . . . . . . . . . 412 10.3 Multi-Path TCP . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 415 10.4 *Middleboxes* e “ossificação” da Internet . . . . . . . . . . . 417 10.5 Propostas para aprofundamento . . . . . . . . . . . . . . . 419

**IIIAplicações – Protocolos e Sistemas de Suporte 421**

**11 Nomes e endereços 425**

11.1 Nomes, endereços e identificadores . . . . . . . . . . . . . 426

NOVA

11.2 O DNS (*Domain Name System*) . . . . . . . . . . . . . . 430

11.3 Organização e funcionamento . . . . . . . . . . . . . . . . 437

c

11.4 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 456

11.5 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 460

Editorial

**12 O protocolo HTTP 469**

12.1 Funcionamento . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 472

12.2 Desempenho . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 485

FCT

12.3 O protocolo HTTP e a Web actual . . . . . . . . . . . . . 493

12.4 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 503

12.5 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 507

**13 Redes de distribuição de conteúdos 515**

13.1 Servidores *proxies* de HTTP . . . . . . . . . . . . . . . . 517

versão

13.2 Distribuição de carga de acessos HTTP . . . . . . . . . . 521

13.3 CDNs com infra-estrutura dedicada . . . . . . . . . . . . . 528

13.4 Distribuição P2P de conteúdos . . . . . . . . . . . . . . . 538

13.5 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 551

13.6 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 555

D1.0

**IVRedes de Pacotes 561**

**14 Redes baseadas em canais de difusão 567**

**Índice xxi**  indi

14.1 Requisitos e possíveis soluções . . . . . . . . . . . . . . . . 571 14.2 Canais de dados Ethernet (IEEE 802.3) . . . . . . . . . . 579 14.3 Canais de dados Wi-Fi (IEEE 802.11) . . . . . . . . . . . 587 14.4 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 601

ara

14.5 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 605

**15 Encaminhamento com base em inundação 611** 15.1 Encaminhamento com base em inundação . . . . . . . . . 612 15.2 Comutação Ethernet (Ethernet *switching*) . . . . . . . . . 619 15.3 Árvores de cobertura e STP . . . . . . . . . . . . . . . . . 623 2018

15.4 Virtual Local Area Networks (VLANs) . . . . . . . . . . . 633 vidual

uso

15.5 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 637 15.6 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 641

**16 Encaminhamento pelo caminho mais curto 653**

16.1 Encaminhamento: o problema e uma solução . . . . . . . 654

16.2 Determinação de caminhos mais curtos . . . . . . . . . . . 657

16.3 Encaminhamento pelo estado dos canais . . . . . . . . . . 664

16.4 Encaminhamento pelo algoritmo Bellman-Ford . . . . . . 678

16.5 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 691

NOVA

16.6 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 698

c

**17 Interligação de redes - protocolo IP 711**

17.1 A Internet e o endereçamento IP . . . . . . . . . . . . . . 712

17.2 IP versão 4 e IP versão 6 . . . . . . . . . . . . . . . . . . 728

Editorial

17.3 Encaminhamento de pacotes IP . . . . . . . . . . . . . . . 736

17.4 Protocolos auxiliares do IP . . . . . . . . . . . . . . . . . 743

17.5 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 756

FCT

17.6 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 762

**18 Encaminhamento na Internet global 773**

18.1 Os problemas da escala . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 773

18.2 Sistemas autónomos . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 776

18.3 Protocolo BGP . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 789

versão

18.4 Resumo e referências . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 807

18.5 Questões para revisão e estudo . . . . . . . . . . . . . . . 811

**Bibliografia 821**

D1.0

indi

ara

2018

vidual

uso

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

ara

2018

vidual

uso

**Parte I**

**Introdução – O todo e as Partes**

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

1

indi

ara

2018

vidual

uso

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

indi

Uma rede de computadores serve para que os computadores (e os seus utilizadores) possam comunicar, partilhar informação e para se coorde narem. No entanto, quando o objectivo é entender um sistema e ficar a perceber *como* o mesmo funciona, não basta saber *para que serve*: é também necessário conhecer a sua organização e funcionamento interno.

ara

Esta é a perspectiva sobre o estudo de redes de computadores que este livro pretende suportar.

Uma rede de computadores, e em particular a rede Internet, é um

sistema complexo formado por várias partes que interagem. Antes de podermos começar a estudar cada parte em detalhe, é necessário ter uma 2018

vidual

primeira visão de conjunto, e elaborar um ou mais modelos mentais, que uso

permitam compreender as peças que formam a rede: para que servem, que forma têm, como se encaixam umas nas outras e como interagem entre si.

Esta primeira parte do livro tem exactamente o objectivo de permitir

ao leitor ter esta primeira perspectiva global do que é uma rede de computadores. Os capítulos que a constituem apresentam os conceitos iniciais das redes de computadores, proporcionando um vislumbre do quadro completo.

Para proporcionar uma abordagem introdutória à terminologia e

NOVA

principais conceitos das redes de computadores, começamos por apresen tar no Capítulo 1 uma panorâmica geral do que é uma rede de computa

c

dores e quais as suas componentes hardware e software. Essa panorâmica inclui igualmente uma breve discussão da organização e funcionamento

das aplicações que a utilizam.

Editorial

Internamente, depois de reduzidas à sua expressão mais simples, as

redes são formadas por dois componentes principais: os canais de co

FCT

municação e os comutadores de pacotes. O Capítulo 2 é dedicado à

apresentação dos canais de comunicação, sua caracterização, proprieda

des essenciais e apresentação sumária de vários exemplos de tecnologias

de suporte dos mesmos.

O Capítulo 3 discute a arquitectura interna de uma rede de com

putadores e as principais implicações da mesma. Ele começa com uma

versão

retrospectiva sobre a forma como as redes de computadores se diferen

ciaram da solução tradicional em redes de telecomunicações (redes or

ganizadas em torno da noção de circuito de voz) para se tornarem redes

de pacotes de dados.

O Capítulo caracteriza em detalhe o modelo de rede de comutadores

de pacotes, assim como as implicações do modelo para o comportamento

global da rede e a forma como esta suporta os protocolos e aplicações

que correm nos computadores que lhe estão ligados.

D1.0

Como as redes de computadores são sistemas complexos, ter uma vi são de conjunto do sistema é fundamental. A essas visões de conjunto de

**4 Índice**  indi

um sistema, naturalmente simplificadas, costumamos chamar modelos do sistema. No capítulo 4 são introduzidos vários princípios e modelos úteis para essa visão de conjunto de uma rede de computadores e da Internet em particular. O capítulo inclui também uma sensibilização à necessidade da segurança, e refere igualmente aspectos não técnicos,

ara

com especial realce para os organismos que têm um papel importante na governação das redes e na elaboração de normas tecnológicas sobre redes de computadores.

Finalmente, esta parte termina com o Capítulo 5, que apresenta uma

breve introdução à programação de aplicações distribuídas, através do 2018

vidual

estudo de parte das interfaces disponíveis na linguagem de programação uso

Java, complementando a descrição no Capítulo 1 de como a rede é usada pelas aplicações.

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

**rede de computadores 1**  indi

**Como funciona uma**

ara

*“Felix, qui potuit rerum cognoscere causas.”*

2018

*(Feliz aquele que conhece a causa das coisas)*

vidual

uso

– Autor: *Virgílio, historiador romano*

O objectivo deste capítulo é proporcionar uma visão panorâmica do

que é uma rede de computadores e de como a mesma funciona interna

mente, mostrando a sua estrutura e organização, a divisão de responsa

bilidades entre componentes e como é que estas interagem. Um segundo

objectivo consiste em mostrar como são desenvolvidas aplicações distri

buídas que utilizam os serviços disponibilizados pela rede. A Internet e

os protocolos TCP/IP são usados como ilustração. O capítulo apresenta

NOVA

uma visão introdutória, mas global e completa, que vai permitir ao leitor

situar-se mais facilmente nos capítulos e partes seguintes.

c

**1.1 O que é uma rede de computadores**

Editorial

Uma **rede de computadores (*computer network*)** é um conjunto

FCT

de computadores que comunicam através da troca de mensagens e se

coordenam entre si para proporcionarem serviços distribuídos aos seus

utilizadores.

Em tempos que já lá vão, tempos que em termos da evolução das

redes poderia ser caracterizado como o tempo “em que os animais fa

lavam”, a maioria dos computadores estavam isolados e trabalhavam

versão

apenas para utilizadores que estavam praticamente ao seu lado. Esta

situação alterou-se radicalmente. Não só o próprio conceito de compu

tador evoluiu, como quase todos eles se encontram actualmente interli

gados através de redes.

Com efeito, a evolução da electrónica e a massificação dos circui

tos integrados permitiram que o conceito de computador evoluísse e a

sua utilização se generalizasse. Hoje em dia existem computadores que

D1.0

se chamam *smartphones*, *tablets*, computadores pessoais, computadores

servidores (que podem estar agregados aos milhares em centros de da

dos acessíveis na “nuvem”), sensores e controladores computorizados de

5

**6 Como funciona uma rede de computadores**  indi

toda a espécie, televisões e rádios com computadores de controlo e co municação embebidos, automóveis cheios de computadores e com ligação à Internet, relógios, peças de vestuário e óculos com computadores in tegrados, *etc.* Quase todos os exemplos de computadores apresentados estão hoje em dia ligados a redes, pelo menos em parte do tempo. Os

ara

computadores e as redes de computadores generalizaram-se a todos os domínios de actividade: económica, militar, artística e de lazer.

**Aplicações distribuídas**

2018

vidual

Uma primeira forma de definir um sistema é indicar para o que ele uso

serve. Um automóvel serve para deslocar pessoas e mercadorias entre dois pontos distintos interligados por uma rede viária. Uma máquina de lavar roupa serve para lavar roupa (mas não loiça por exemplo), etc. Uma rede de computadores também pode ser definida pelos serviços que presta: acesso a informação e conteúdos, suporte de colaboração e discussão, execução de cálculos à distância, entrega de informação a terceiros (como por exemplo quando entregamos uma declaração de impostos a um servidor do Portal das Finanças/Autoridade Tributária e Aduaneira), suporte de vídeo-chamadas telefónicas, acerto do relógio NOVA

através da rede, aquisição de dados do ambiente, actuação sobre esse ambiente,*etc.*

c

Editorial FCT

Figura 1.1: Uma rede de computadores

versão

Esta definição funcional não é suficiente em muitos contextos. Para

os estudantes de engenharia é necessário ir um pouco mais à essência das

D1.0

coisas. Os computadores executam programas e a rede permite construir

uma nova categoria de aplicações, as **aplicações distribuídas (*dis***

***tributed applications*)**, formadas por um conjunto de programas em

**1.1. O que é uma rede de computadores 7**  indi

execução em computadores distintos, e que comunicam e se coordenam entre si através da troca de mensagens. Por exemplo, quando entrega mos a declaração de impostos através do nosso computador pessoal, esse computador executa um programa que envia uma mensagem para o ser vidor do serviço de colecta de impostos, onde é executado um programa

ara

que vai analisar a nossa mensagem, e responder com uma mensagem de confirmação de recepção.

Poderíamos discutir se os programas fazem ou não parte da rede

de computadores. Eles fazem certamente parte do sistema distribuído que fornece serviços aos utilizadores finais. O software que executa no

al

18

sistema de operação dos computadores e dá suporte às aplicações distri uso

buídas também faz parte da rede. No entanto, para simplificar, vamos assumir por agora uma definição mais simples, ilustrada na Figura 1.1.

| idu20Uma **rede de computadores** permite que os programas executados  pelos diferentes computadores que lhe estão ligados troquem men sagens, tanto para a troca de informação como para a coordenação da sua execução. |
| --- |

v

NOVA

A coordenação requer a ordenação dos eventos ligados ao envio e

recepção de mensagens. Por exemplo, eu só posso saber se a minha

c

mensagem com a declaração de impostos foi bem recebida depois de o

programa no meu computador a ter enviado ao servidor.

Editorial

**Canais e comutadores de pacotes de dados**

FCT

Os computadores estão ligados à rede através de interfaces para dispo

sitivos, que designaremos por **canais de comunicação (*communica***

***tion links, data links*, ou simplesmente *links*)**, os quais permitem

a circulação das mensagens. Podemos imaginar os canais como se fossem

estradas e os pacotes como veículos que nela circulam.

A maioria dos canais de comunicação suporta a circulação de men

versão

sagens nos dois sentidos: do computador para a rede e da rede para o

computador (como as estradas com dois sentidos). No entanto, como é

muito caro e trabalhoso introduzir canais dedicados entre todos os pares

de computadores quando o seu número é muito elevado (numa rede com

*n* computadores seriam necessários *n×*(*n−*1) canais), é necessário algo

mais do que canais.

Se fizermos *zoom* sobre a nuvem, ver Figura 1.2, verificamos que

D1.0

os canais estão interligados por equipamentos, ditos equipamentos de

comutação, que permitem interligar muitos computadores com um nú

mero mais baixo de canais. Recuperando a analogia anterior, podemos

**8 Como funciona uma rede de computadores**  indi

imaginar os equipamentos de comutação como os cruzamentos nas redes viárias.

A Figura 1.2 dá uma ideia mais detalhada da rede. Agora já são visíveis os canais e os comutadores. Os comutadores são assim chamados porque executam o encaminhamento de mensagens entre canais. Quando

ara

uma mensagem chega, o comutador decide qual o canal pelo qual ela deve

continuar até ao seu destino. Esta operação é muitas vezes designada por

**comutação de mensagens entre canais (*message switching*)**.1

2018

vidual

uso

NOVA

c

Figura 1.2: A rede de computadores contém canais e comutadores de

pacotes

Editorial

Por razões que ficarão mais claras no capítulo 2, e que se destinam,

no essencial, a tornar mais fácil e eficiente o funcionamento dos canais

FCT

e dos comutadores de pacotes, a uma mensagem trocada entre os pro

gramas que executam nos computadores não corresponde directamente

uma mensagem que vai transitar na rede através dos canais e dos co

mutadores. Na verdade, a nossa declaração de impostos pode conter

300 KBytes mas não transita na rede como uma mensagem única com

essa dimensão. Ela transita decomposta em pequenas mensagens, de

versão

por exemplo 1 KByte cada uma, enviadas umas a seguir às outras.

A essas pequenas mensagens, que podem transitar internamente pe

los canais e os comutadores, chamamos geralmente **pacotes de dados**

**(*data packets*)**, e por essa razão os comutadores chamam-se **comu**

**tadores de pacotes de dados (*data packet switches*)**. Há uma

parte do software que executa nos computadores, cujo papel é decom

D1.0

1Os termos usados em inglês são *switching* e às vezes *forwarding*. Na língua

portuguesa poderíamos usar os termos encaminhar, dirigir ou comutar. Por analogia

com o termo *switching* que foi inicialmente o mais usado, continuaremos a usar o

termo comutar.

**1.1. O que é uma rede de computadores 9**  indi

por as mensagens dos programas em pacotes, enviá-los uns a seguir aos outros, agregá-los no destino e recompor a mensagem original antes de a entregar ao programa de destino. É assim como pegar num móvel, decompô-lo em peças, despachar as peças uma a uma, e montar o móvel de novo no destino.

ara

Começamos agora a ter uma ideia mais clara da rede. Nela existem

programas distribuídos pelos diferentes computadores que comunicam

entre si para executarem aplicações distribuídas.

Para suportar essa comunicação, existe um conjunto de software que

executa nos computadores e que se apoia nos serviços de uma infra

2018

vidual

estrutura de mais baixo nível (no sentido em que os serviços que pro

uso

videncia são mais elementares). Esse conjunto de software permite que

os computadores comuniquem através da troca de pacotes de dados.

A este nível da rede chamemos por agora o **nível da rede de enca**

**minhamento de pacotes de dados (*packet routing network*)** ou

simplesmente **rede de pacotes (*packet network*)**.

**O protocolo IP**

Para que um conjunto de entidades possa comunicar e coordenar-se, é

NOVAT

necessário que “falem a mesma língua” e saibam exactamente do que es

tão a falar. Como os computadores são muito diferentes uns dos outros,

c

foram fabricados por diferentes fabricantes e usam sistemas de operação

distintos (por exemplo, uns usam Windows, outros Linux ou Android,

orial

outros Mac OS X ou iOS, etc.), é necessário que se ponham de acordo

sobre o formato dos pacotes de dados e sobre o significado dos mes

mos. A esse conjunto de regras, que envolvem o formato e o significado

das mensagens trocadas, chama-se um **protocolo (*protocol*)**. Para

que uma rede de computadores funcione correctamente estabelecem-se

protocolos para diferentes funcionalidades e níveis.

| FCitUm **protocolo** é um conjunto de mensagens, regras sintácticas e  regras semânticas que regulam a comunicação e coordenação de um conjunto de entidades para atingirem um objectivo comum. |
| --- |

versão

E~~d~~

Um exemplo é o protocolo que regula a troca de informações entre

um *browser* e um servidor de dados da Web. Outro é um protocolo que

permite decompor uma mensagem de grande dimensão num conjunto de

pacotes de dados e vice-versa.

D1.0

O sistema de protocolos que suporta o funcionamento da rede In ternet designa-se genericamente TCP/IP (mais tarde veremos porquê). Por agora, vamos abordar o protocolo que lhe serve de suporte, um

**10 Como funciona uma rede de computadores**  indi

dos protocolos mais importantes do conjunto utilizado na Internet: o **protocolo IP (*Internet Procotol*)**, ver o RFC 7912. Este protocolo regula o formato dos pacotes de dados trocados pelos computadores ligados através da rede Internet e por isso esses pacotes chamam-se **pacotes de dados IP** ou simplesmente **pacotes IP (*IP***

ara

***packets*)**. A Figura 1.3 mostra o formato de um pacote IP.

32 bits

Version

Type of service

H. length

Total length - bytes (16 bits)

(4 bits)

(4 bits)

2018 (8 bits)

vidual

Flags

Fragment offset

uso

Identification (16 bits)

(3 bits)

(13 bits)

TTL (8 bits)

Protocol 8 bits

Checksum (16 bits)

Cabeçalho IP (20 bytes sem

Source IP address (32 bits)

Destination IP address (32 bits) Options (if any)

Data or Payload

Payload do datagrama UDP

opções)

Dados

(64 K - 20 bytes)

NOVA

Figura 1.3: Pacote IP - campos do cabeçalho do pacote e parte de dados

c

Praticamente todas as mensagens trocadas numa rede de computa

dores estão organizadas em duas partes. Uma parte que se chama o

Editorial

cabeçalho da mensagem e outra que se chama os dados da mensagem.

Em inglês é habitual usar os termos *message header*, para designar o

cabeçalho da mensagem, e *message payload*, para designar a parte de

FCT

dados. O cabeçalho contém informação de controlo que permite saber,

por exemplo, a quem se destina a mensagem. A parte de dados contém

a parte da mensagem com dados para o destinatário. Uma analogia

usada frequentemente é a que existe entre o cabeçalho da mensagem e

as informações escritas no envelope de correio que transporta uma carta

versão

(o nome e endereço de quem envia a mensagem e o nome e endereço do

destinatário da mesma, carimbos, *etc.*). O conteúdo do envelope cor

responde aos dados da mensagem, isto é, ao *message payload*, já que

geralmente os correios facturam o serviço de encaminhamento de cartas

ou encomendas de forma proporcional ao seu peso.

Os pacotes IP, tal como as mensagens de outros protocolos, também

estão divididos em cabeçalho e parte de dados. O cabeçalho dos pacotes

D1.0

IP contém várias informações que permitem aos computadores e aos

2 Na secção 1.7 é apresentada a forma de consultar a série de normas tecnológicas

conhecidas pela sigla RFC.

**1.1. O que é uma rede de computadores 11**  indi

comutadores de pacotes saberem como devem processá-los. Por exemplo, dois dos mais importantes campos do cabeçalho desses pacotes são o endereço origem e o endereço de destino. O endereço origem contém um endereço do computador que envia o pacote IP, e o endereço de destino contém um endereço do computador a quem o pacote IP se destina.

ara

Tal como o formato e o significado dos pacotes IP, também o formato

e os significado dos endereços também está normalizado. Na Internet, de acordo com o protocolo IP, os endereços origem e destino dos pacotes dizem-se **endereços IP (*IP addresses*)**, e correspondem, na versão mais comum do protocolo, a um campo com 32 bits, que especifica

al

018

a origem, ou o destino, dos pacotes IP. Mais tarde veremos que esses uso

endereços têm uma estrutura que facilita o trabalho dos comutadores de pacotes quando tomam decisões sobre como fazer chegar os pacotes ao destino.

| idu2As mensagens usadas pelos protocolos são normalmente estrutura das em duas partes. A primeira diz-se cabeçalho e contém essen cialmente informação de controlo. A segunda é a parte de dados e contém os dados transportados pela mensagem. |
| --- |

v

NOVA

Assim, daqui para a frente o nosso objecto de estudo serão as redes

c

a funcionar ao nível da troca de pacotes de dados segundo o protocolo

IP, redes essas que permitem aos computadores que lhes estão ligados

Editorial

trocarem pacotes IP entre si, com origem e destino indicados através de

endereços IP.

FCT

**Qualidade de serviço do protocolo IP**

O protocolo IP especifica que a rede formada pelos comutadores de pa

cotes, os canais e os computadores origem e destino dos pacotes IP,

funciona segundo o **princípio do melhor esforço (*best-effort prin***

***ciple*)**. Quer isso dizer que a rede ao nível do protocolo IP (*i.e.*, ao nível

versão

da troca de pacotes IP entre computadores) vai fazer o melhor possível

para encaminhar os pacotes da origem até ao destino.

No entanto, se no interior da rede ocorrerem problemas que tornem

mais difícil fazer chegar o pacote ao seu destino, os equipamentos do

interior da rede podem estar programados para não tentarem resolver

todos os problemas.

Os problemas que podem surgir chamam-se normalmente erros ou

D1.0

falhas. Quando um sistema está preparado para “corrigir” essas falhas,

diz-se que é **tolerante a falhas, mascara as falhas ou compensa**

**as falhas (*fault tolerant*)**.

**12 Como funciona uma rede de computadores**  indi

O protocolo IP está definido de tal forma que considera que o nível interno da rede pode não conseguir mascarar integralmente todas as falhas e que, quando recebe um pacote para entregar ao destino, é apenas obrigado a fazer o melhor possível para que o pacote chegue lá, sem oferecer garantia de entrega. A definição do protocolo não prevê sequer

ara

que a origem ou destino do pacote sejam notificados da decisão (de

entrega ou não).

Poderíamos considerar que nesses casos a rede não cumpriu as suas

promessas. Mas isso não é verdade, pois a definição do protocolo IP, que

é um contrato entre as partes, não faz promessas, exigindo apenas que

vidual 2018

a rede faça o melhor possível para entregar o pacote ao destino. Apesar

uso

de tudo, trata-se de um contrato aceitável pois, na maioria dos casos,

uma rede bem desenhada e dimensionada, ou seja com capacidade para

lidar com o tráfego expectável, acaba por entregar a grande maioria dos

pacotes ao destino. É como uma rede de estradas onde circulam os auto

móveis: na ausência de catástrofes, anomalias, e fora das horas de ponta,

não existem razões para acreditar que um automóvel não pode chegar

atempadamente ao destino por razões imputáveis à rede de estradas.

Trata-se de um contrato baseado na experiência prévia e na confiança

entre as partes, mas sem cláusulas que implicariam um custo demasiado

A

elevado em situações limite ou anómalas.

| c  NOVCTUma rede de pacotes baseada na filosofia do protocolo IP assegura  o transporte de pacotes IP entre os computadores que lhe estão ligados, através do encaminhamento dos mesmos pelos canais e co mutadores. No entanto, a rede IP não faz promessas que pode não conseguir cumprir, e não garante o transporte dos pacotes em situa ções limite ou até simplesmente anómalas. É uma rede que se baseia na **filosofia do melhor esforço**. Se a rede estiver bem dimensio nada e não existirem situações anómalas, a maioria dos pacotes são entregues ao destino. |
| --- |

Edi~~to~~rial

F

versão

Bom, está tudo muito certo, mas será que nós queremos usar uma

rede que não faz promessas e até poderia fazer com que os nossos ficheiros

ficassem corrompidos durante uma transferência? É claro que não e

veremos a seguir como isso pode ser evitado. Mas antes vamos de novo

ajustar o grau de *zoom* sobre o interior da rede de pacotes.

**1.2 Interligação de redes - a rede Internet**

D1.0

Na secção anterior apresentámos a rede que está dentro da infra-estrutura que interliga os computadores como um conjunto de canais e de comu-

**1.2. Interligação de redes - a rede Internet 13**  indi

tadores de pacotes, sem mais estrutura. Sugerimos que dentro desse conjunto não existe nenhuma outra estrutura. Esta visão foi proposita damente simplificada. De facto, a maioria das redes não são assim tão horizontais, elas encontram-se também organizadas internamente.

ara

No mundo da Internet e dos protocolos IP essa divisão em redes in

ternas é muitas vezes escondida e a mesma pode ser ignorada em muitas

discussões. Para um estudante de redes isso não é aconselhável, pois

essa estrutura interna irá revelar-se mais tarde importante para a com

preensão real de como funciona a Internet. A seguir vamos esclarecer

melhor qual é de facto a estrutura interna dessa “rede” e que sub-redes a

2018

vidual

formam. A Figura 1.4 dá uma visão idealizada de parte dessa estrutura

uso

interna.

**Redes de acesso, redes residenciais e redes institucionais**

Existem diversos tipos de redes que se distinguem pelo seu objectivo e

configuração. Desde logo as redes dos operadores especializados em fa

zer chegar canais aos particulares e às empresas. Geralmente essas redes

são conhecidas como **redes de acesso (*access networks*)** e são espe

cialmente concebidas para servir o maior número possível de utilizadores

NOVA

residenciais (*i.e.*, que acedem à rede a partir de casa ou de empresas) da

forma mais económica e eficiente possível.

c

Existem outras redes de acesso que são especializadas em fornecer

conectividade a computadores móveis. São as redes de acesso dos opera

Editorial

dores móveis, que hoje em dia fornecem igualmente canais que ligam os

computadores portáteis (incluindo verdadeiros computadores portáteis,

*smartphones* e *tablets*) à Internet. Estas redes usam canais que usam o

FCT

ar como meio de propagação, ou seja, canais sem fios ou *wireless*.

Vulgarizaram-se igualmente as situações em que um utilizador, ou

uma empresa, dispõem igualmente de uma rede própria nas suas instala

ções. Finalmente, as grandes instituições (universidades, empresas, *etc.*)

dispõem igualmente de redes próprias, às vezes cobrindo vários edifícios,

ou até várias cidades. Essas redes particulares, geralmente designadas

versão

**redes institucionais**, são muitas vezes autênticas redes de acesso pri

vadas. A maioria das redes de acesso têm uma predominância de canais

que servem para ligar mais e mais computadores à Internet.

**Redes de trânsito**

Os operadores de redes de acesso são de várias dimensões. Alguns de

D1.0

les fornecem serviços numa região alargada, como por exemplo um país

ou um continente. Naturalmente, as diferentes redes de acesso de um

operador estão interligadas numa rede que se chama normalmente um

**14 Como funciona uma rede de computadores**

ara

indi Rede institucional

Rede de

transito

Rede de acesso

2018

vidual

uso

Rede de acesso móvel

Rede de transito Tier 1

Figura 1.4: A Internet é uma rede de redes

***backbone* de operador**3. As redes de acesso, mesmo que estejam in

terligadas com outras redes de acesso do mesmo operador, necessitam

também de estar interligadas com as redes de acesso dos outros operado

res, assim como com as redes dos operadores de aplicações e conteúdos

de que falaremos a seguir.

NOVA

O argumento que serviu para justificar que uma rede, por razões

c

económicas e técnicas, tem comutadores de pacotes, serve também para

justificar a necessidade de existirem *backbones* de interligação de outros

*backbones* e de redes de acesso. Trata-se de uma espécie de *backbones* de

Editorial

*backbones* que cobrem geralmente uma grande região, como por exemplo

um país ou um continente. Assim, alguns operadores especializaram-se

em fornecer serviços de interligação a outros operadores através de redes

FCT

designadas como **redes de trânsito (*transit networks*)**. Geralmente,

as redes de trânsito caracterizam-se por terem apenas como clientes

outros operadores, e os pacotes que as atravessam não têm origem nelas,

nem se destinam a elas, estão em trânsito, como sugerido pelo nome.

A existência de redes de trânsito não impede que vários operadores

estabeleçam canais directos entre os seus *backbones*. No essencial, a

versão

decisão sobre qual a melhor forma de interligar redes distintas segue

uma lógica económica.

No topo desta hierarquia estão **redes de trânsito transcontinen**

**tais** que interligam *backbones* continentais ou regionais. Na Internet

as redes de trânsito intercontinentais, que apenas interligam outras re

des, são designadas por **redes *Tier* 1** pois em inglês “*tier*” quer dizer

D1.0

o nível ou camada e “*Tier* 1” será a camada do topo. A redes *Tier* 1

3 *Backbone* pode ser traduzido por espinha dorsal mas este termo não é usado no

campo das redes de computadores no mundo da língua portuguesa.

**1.2. Interligação de redes - a rede Internet 15**  indi

encontram-se ligadas directamente uma às outras já que não faria sentido recorrerem a redes de trânsito de maior gabarito para se interligarem.

**Redes de centros de dados**

ara

Finalmente, é necessário referir que na Internet se vulgarizaram os cha mados centros de dados. Tratam-se de infra-estruturas constituídas por vários milhares de computadores, com elevada capacidade computaci onal, e instalados de forma compacta em edifícios especializados para 2018 

optimizar a segurança e as condições energéticas internas ou de arrefe vidual

uso

cimento, ver a Figura 1.5. A interligação destes aglomerados de com putadores é realizada através de redes especializadas de elevada capaci dade, que se designam por **redes de centros de dados (*data center networks*)**.

NOVA

c

Editorial

Figura 1.5: Um centro de dados contém vários milhares de servidores

FCT

interligados por uma rede especialmente dedicada a esse fim

Os centros de dados estão ligados, directa ou indirectamente, às re

des de acesso, para que os clientes finais possam aceder aos serviços neles

providenciados. Com efeito, os centros de dados são usados para com

versão

putação de alto desempenho, como por exemplo a análise de grandes

volumes de dados, mas também são usados para albergarem serviços

fornecidos aos clientes finais ligados às redes de acesso.

Os exemplos mais conhecidos desses serviços são as redes sociais, os

serviços de armazenamento de ficheiros e fotografias, o correio electró

nico, ou ainda os servidores de difusão de vídeos. Alguns operadores

especializados em fornecer serviços acessíveis através da Internet dis

D1.0

põem de centros de dados dedicados privados e de redes privadas que

interligam esses centros de dados. Quando tal é o caso, costuma-se cha

mar a essas redes **redes de operadores de conteúdos**.

**16 Como funciona uma rede de computadores**  indi

**A Internet é uma rede de redes**

Finalmente, é agora claro que a Internet não é uma rede mas deveria ser antes caracterizada como um conjunto de redes interligadas, como esquematizado na Figura 1.4. Na verdade, se considerarmos apenas

ara

as redes geridas pelos operadores e as redes empresariais de dimensão

razoável, o número de redes interligadas é superior a uma centena de

milhar. Se também considerarmos as redes residenciais, então a Internet

é constituída por muitos milhões de redes interligadas.

No entanto, vistas de fora, muitas vezes essas redes internas, ou

2018

sub-redes, podem ser ignoradas pelos computadores que estão ligados às

vidual

uso

mesmas. Quando o computador emissor emite um pacote IP destinado a

um computador de destino, existem boas razões para acreditar que esse

pacote acabará por ser entregue ao computador de destino, mesmo que

tenha de atravessar várias sub-redes distintas, geridas por operadores

distintos. É o protocolo IP e a obediência de todos os computadores,

comutadores e redes de diferentes operadores ao mesmo, que permite que

o conjunto se apresente como uma única rede lógica a que chamamos a

Internet.

A Internet pode ser definida como uma rede constituída por mui

tas redes interligadas, que comunicam através da família de protocolos

NOVA

TCP/IP. Essas redes são muito variadas e incluem redes residenciais,

c

redes institucionais, redes de acesso, redes de provedores móveis, redes

governamentais, redes de trânsito locais, regionais e mundiais, redes de

centros de dados, redes de fornecedores de conteúdos, *etc.* Essas redes

Editorial

interligam biliões de dispositivos equiparados a computadores e usam

uma grande variedade de canais de comunicação e comutadores de pa

cotes.

FCT

A tabela 1.1 sintetiza os diferentes tipos de redes a que nos referimos

nesta secção.

**1.3 Divisão de responsabilidades na rede**

versão

Pretende-se fazer o *download* de uma aplicação para executar num com

putador portátil. A aplicação que assegura esta funcionalidade, geral

mente um browser Web, foi programada usando directamente a interface

de rede IP? Isso seria o mesmo que programar o acesso a um ficheiro

local usando uma interface que permitiria apenas ler blocos de dados

gravados no disco do computador. Tal seria muito difícil e até muito

ineficaz do ponto de vista do desenvolvimento dos programas. Seria

D1.0

como se tivéssemos regressado ao tempo em que os computadores não

dispunham de sistemas de operação com sistemas de gestão de ficheiros,

nem houvesse a possibilidade de desenvolver aplicações usando lingua-

**1.3. Divisão de responsabilidades na rede 17**  ~~indi~~

Tabela 1.1: Tipos mais comuns de redes

**Tipo de rede Caracterização**

Rede residencial Rede que serve para interligar vários computadores

ara

numa residência, geralmente dispõe de um canal que a liga a uma rede de acesso

Rede empresarial Rede que serve para interligar vários computadores numa instituição de dimensão apreciável, geralmente

dispõe de um ou mais canais que a liga a uma ou mais

redes de acesso

2~~01~~~~8~~

vi~~du~~a~~l~~

Rede de acesso Rede que serve para interligar muitos utilizadores,

uso

residenciais ou móveis, à rede mais geral

*Backbone* Parte da rede de uma instituição ou de um operador que serve para interligar outras redes, geralmente da

mesma instituição

Rede de um centro de dados

Rede de um opera dor de conteúdos

Rede especializada que serve para interligar (cente nas ou milhares) de computadores do mesmo centro de dados

Rede que interliga diferentes centro de dados do ope rador de conteúdos, e directamente ligada a redes de trânsito e de acesso

NOV~~A~~

Rede de trânsito Rede de interligação de outras redes e que, geral mente, não origina nem é o destino final de pacotes

c

Editorial

gens de alto nível. Todos os sistemas de operação modernos oferecem

interfaces de mais alto nível que facilitam a leitura de ficheiros, e es

sas interfaces estão acessíveis na maioria das linguagens de programação

FCT

para facilitar a vida dos programadores.

Da mesma forma, todos os sistemas de operação dispõem de inter

faces que dão acesso a serviços de rede, de mais alto nível que o do

protocolo IP. No entanto, como esses serviços exigem o diálogo com ou

tros computadores e sistemas de operação diferentes, ligados através da

versão

rede, essas interfaces de mais alto nível têm de estar normalizadas no

que diz respeito ao formato das mensagens que usam e no significado

das mensagens trocadas, ou seja, essas interfaces dão acesso a serviços

proporcionados por protocolos normalizados de mais alto nível. Só que

esses protocolos não são executados pelos equipamentos da rede de pa

cotes, mas sim pelos sistemas de operação dos sistemas que usam essa

rede para comunicar.

D1.0

Deparamo-nos aqui com várias ideias novas importantes, ilustradas na Figura 1.6. Por um lado, sabemos agora que há protocolos de rede que proporcionam serviços de mais alto nível, e com melhor qualidade de

**18 Como funciona uma rede de computadores**  indi

ara

Programa aplicação

Transporte

Programa

Canal TCP aplicação Sequências ilimitadas de bytes

Transporte

(TCP, UDP, ...) Rede

Internet

(TCP, UDP, ...) Rede

2018

vidual

uso

Figura 1.6: Serviços de transporte no sistema de operação - um canal TCP

serviço, cuja implementação é da responsabilidade dos sistemas de ope ração dos computadores, e não da rede de pacotes propriamente dita. Ou seja, parte das funcionalidades da rede, tomada no sentido mais geral, são asseguradas pelos próprios computadores. Veremos a seguir que os protocolos deste tipo, que mais próximos estão dos serviços gerais de co NOVA

municação de base, chamam-se **protocolos de transporte (*transport***

***protocols*)**.

c

Por outro lado, como para comunicação na rede de pacotes propri

amente dita só está disponível o protocolo IP, quer isto dizer que as

Editorial

mensagens trocadas pelos protocolos de mais alto nível têm de viajar

obrigatoriamente na parte de dados dos pacotes IP. Chama-se a esta

técnica o **encapsulamento (*encapsulation*)** de mensagens de um ní

FCT

vel em mensagens do nível mais abaixo. Veremos já a seguir um exemplo

concreto.

**Exemplo - o protocolo TCP**

Um dos protocolos de transporte mais usados nas redes baseadas no

versão

protocolo IP é o protocolo TCP (Transport Control Protocol), ver o

RFC 793, que permite que dois programas, a executarem no mesmo ou

em computadores distintos, estejam ligados por aquilo a que poderíamos

chamar um canal TCP. Este canal não é um canal físico entre os dois

programas, não passa de uma abstração materializada pelos sistemas de

operação, que usam os serviços proporcionados pelo protocolo IP para

a realizar, ver a Figura 1.6.

D1.0

Este conceito não é novo para estudantes de engenharia. Os ficheiros, tal como os sistemas de operação os disponibilizam, não passam de uma abstração construída sobre uma funcionalidade implementada usando

**1.3. Divisão de responsabilidades na rede 19**  indi

discos, ou outros equipamentos similares. Essa funcionalidade, de mais baixo nível, é equivalente a um serviço de acesso a blocos de dados registados numa memória não volátil. Torna-se agora mais claro porque as redes que estamos a usar para ilustrar os conceitos se chamam redes baseadas nos protocolos TCP/IP.

ara

O protocolo TCP disponibiliza canais de dados fiáveis e bidireccio

nais, que permitem enviar sequências de bytes nos dois sentidos, ver a Figura 1.7. Estes canais permitem a cada uma das extremidades escre verem sequências de bytes no canal que, ao invés de serem escritas num ficheiro, são enviadas para a outra extremidade, que as pode ler como 2018

vidual

se se tratasse da leitura de um ficheiro. O protocolo trata de assegurar uso

a fiabilidade desta transmissão de bytes pela rede e não impõe nenhuma limitação à quantidade de informação que pode ser enviada ou lida de cada vez.

NOVA

c

Editorial FCT

Figura 1.7: Um canal TCP é uma canal bidireccional virtual que liga

directamente dois computadores

A interface que dá acesso aos serviços proporcionados pelo protocolo

TCP contém primitivas (ou seja métodos ou chamadas) que permitem

estabelecer o canal entre as partes. Para mais detalhes ver a Secção 1.6

versão

assim como o capítulo 5. Depois deste canal estabelecido, os programas

na sua extremidade podem usar as primitivas *read* e *write* para enviar

e receber dados.

O protocolo permite também que existam vários canais lógicos TCP

estabelecidos entre programas no mesmo computador. Ou seja, não exis

tem limitações ao número de programas distintos que no mesmo compu

tador têm canais TCP estabelecidos com programas a executarem nou

D1.0

tros computadores ligados à rede. Os computadores que proporcionam

serviços a muitos outros computadores podem ter centenas ou mesmo

milhares de canais TCP simultaneamente activos. Algumas vezes, cada

**20 Como funciona uma rede de computadores**  indi

um desses canais tem na extremidade um *thread* distinto, do mesmo ou de vários programas activos.

Desenvolver programas distribuídos com base em canais TCP é ge ralmente mais fácil do que desenvolver programas com base na troca de pacotes IP. Neste último caso, seria a aplicação que assumiria a respon

ara

sabilidade de verificar se não faltavam dados, e se estes estavam a ser lidos por ordem. As aplicações que usam canais TCP não têm este pro blema pois os canais TCP são fiáveis e o protocolo assegura que não se perdem dados, e que estes chegam pela ordem com que foram emitidos. Para garantir esta fiabilidade, o protocolo TCP usa mensagens mais

2018

vidual

ricas que os pacotes IP. Os dois computadores situados na extremidade uso

do canal TCP trocam mensagens que se chamam *segmentos TCP*. Um segmento TCP tem o formato indicado na Figura 1.8.

32 bits

Miscellaneous fields of the IP header

Cabeçalho IP

Source IP address Destination IP address

(20 bytes sem opções)

NOVA

Source port (16 bits) Destination port (16 bits)

Sequence number (32 bits)

c

Acknowledge number (32 bits)

H len (4 bits) 0 Advertised window (16 bits) Flags (8 bits)

Cabeçalho TCP (20 bytes sem opções)

Checksum (16 bits)

Editorial

Urgent pointer (16 bits)

Options (variable)

Payload do datagrama UDP Application data (Payload TCP)

Dados TCP (64 K - 40 bytes)

FCT

Figura 1.8: Segmento TCP e campos do seu cabeçalho

Ao analisarmos a Figura vários aspectos podem desde logo ser pos

tos em evidência. O primeiro está relacionado com o facto de que um

versão

segmento TCP viaja na rede encapsulado num pacote IP e no cabeçalho

do pacote IP encontram-se os endereços IP dos computadores situados

na extremidade do canal. A seguir vemos aparecer um padrão que já

conhecemos: o segmento TCP tem um cabeçalho e uma parte de dados.

No cabeçalho do segmento encontram-se as informações de controlo do

segmento, na parte de dados viajam uma fracção dos bytes que transitam

pelo canal. Ou seja, os dados que circulam no canal são transportados

em vários segmentos diferentes, enviados uns a seguir aos outros.

D1.0

É ao receptor que compete juntar os diferentes segmentos para obter os dados que circulam pelo canal e desta forma não existem limites à

**1.3. Divisão de responsabilidades na rede 21**  indi

quantidade de dados transmitidos. Como os canais TCP são bidirec cionais, existem segmentos a circular nos dois sentidos, entre ambas as extremidades do canal.

O protocolo TCP será analisado em detalhe no capítulo 7. Vamos apenas referir aqui alguns campos do cabeçalho que permitem ilustrar

ara

alguns aspectos de como o protocolo funciona. Os dois primeiros campos interessantes são as portas origem e destino. Estes campos permitem distinguir os canais TCP num computador, o qual pode ter vários activos em simultâneo.

A distinção dos canais faz-se com base nas portas TCP. Dois canais

2018

vidual

TCP distintos no mesmo computador, são em geral caracterizados por uso

portas distintas. Assim, um canal é caracterizado não só pelos endereços das extremidades, como também pelas portas. Ou seja, um canal TCP é caracterizado por dois pares, cada um constituído por um endereço IP e uma porta TCP.

A Figura 1.9 ilustra este aspecto. A mesma máquina cliente tem

dois canais TCP estabelecidos com uma mesma máquina servidor. Ou seja, existem dois canais a terminarem nos mesmos dois computadores. Um dos canais no servidor está ligado a um servidor Web, cuja porta específica é, por normalização, a porta 80, *i.e.*, a porta reservada para

NOVA

o protocolo HTTP (Hyper Text Transfer Protocol - RFC 2616)) que c

discutiremos a seguir. O outro canal no mesmo servidor está ligado a um servidor de correio electrónico cuja porta específica é, por normalização, a porta 25, *i.e.*, a porta reservada para o protocolo SMTP (Simple Mail

Transfer Protocol), ver o RFC 876.

Editorial

Cliente

Cliente HTTP (browser)

Cliente

FCT

Servidor

Servidor

HTTP

Servidor

SMTP

IP cliente, porta p1 ligado a IP servidor, porta 80

SMTP

p1 p2 80 25

versão

IP cliente, porta p2 ligado a IP servidor, porta 25 Transporte (TCP) no sistema de

operação

Transporte (TCP) no sistema de operação

Figura 1.9: Diferentes canais TCP nos mesmos computadores

distinguem-se por portas distintas

D1.0

Um outro campo do cabeçalho a que nos vamos referir desde já é o

campo número de sequência. Para que serve este campo? A resposta

é simples: para assegurar a fiabilidade do canal. Quando os segmentos

**22 Como funciona uma rede de computadores**  indi

são enviados, cada um deles recebe um número de sequência crescente. Para simplificar podemos imaginar que o primeiro segmento tem o número de sequência 1 e contém 1000 bytes, que o segundo tem o nú mero de sequência 1001 e contém 20 bytes, que o terceiro tem o número de sequência 1021 e contém 500 bytes. Que ilustra o exemplo? Que os

ara

diferentes segmentos podem ser de diferentes dimensões e levam a in dicação da posição dos bytes transmitidos na sequência lógica de bytes transferidos pelo canal (1, 1001, 1021, *etc.*). Desta forma o receptor do outro lado do canal pode controlar se se perderam dados ou se estes es tão fora de ordem. Caso assim seja, pode solicitar à outra extremidade

vidual c2018

que reenvie os dados em falta, ou pode colocá-los pela ordem certa antes uso

de os entregar à aplicação ligada a essa extremidade do canal.

Este diálogo entre os módulos que implementam o canal TCP nos

sistemas de operação dos computadores ligados pelo canal, faz-se tro cando segmentos TCP directamente entre esses computadores. Os seg mentos viajam encapsulados em pacotes IP e a rede dos comutadores de mais baixo nível não sabe que esses pacotes contêm segmentos TCP, no sentido em que não precisaria de o saber e isso lhe é indiferente. Ou seja, o protocolo TCP é um protocolo da exclusiva responsabili dade das extremidades. Um protocolo deste tipo diz-se um **protocolo** VA

**extremo-a-extremo (*end-to-end protocol*)**. O protocolo IP não é extremo-a-extremo, ao contrário do protocolo TCP.

| OTUm protocolo extremo-a-extremo é um protocolo exclusivamente im plementado pelos computadores ligados à rede e que usa a troca    directa de pacotes disponibilizada pela infra-estrutura dos canais e comutadores. |
| --- |

~~N~~

Edito~~r~~ial

FC

Esta arquitectura de protocolos permite pôr em evidência diversos

aspectos. O primeiro é que na rede existe uma divisão de responsabilida

des entre o centro e a periferia da rede, e que parte das funcionalidades

versão

são implementadas exclusivamente nos extremos (nos computadores li

gados à rede). No sistema de protocolos TCP/IP usou-se um princípio

em que se tenta, sempre que possível, colocar as funcionalidades mais

complexas nos computadores na periferia da rede, simplificando as fun

ções desempenhadas pelos comutadores de pacotes. Esta faceta tem-se

revelado muito importante para a evolução das redes IP no seu con

junto pois mudar a periferia é mais fácil e mais flexível. Por exemplo,

D1.0

se for introduzido um novo protocolo de transporte, o mesmo tem obri

gatoriamente que estar disponível nos sistemas de operação dos dois

computadores que querem comunicar usando esse novo protocolo. No

**1.4. Aplicações suportadas no protocolo TCP 23**  indi

entanto, não é necessário modificar o software dos outros computadores ou dos comutadores de pacotes IP da rede.

O outro aspecto ilustrado por este exemplo tem a ver com a orga nização da rede por níveis. No que toca à transmissão e comutação dos pacotes IP, tudo o que não está nos respectivos cabeçalhos pode ser

ara

ignorado.

Os problemas da fiabilidade da transmissão de dados, por exemplo,

são da responsabilidade dos protocolos de transporte, ou seja, de um nível superior. Mas o nível de transporte depende dos serviços do nível inferior, o nível da comutação dos pacotes IP, para poder ser imple

l

18

mentado. No capítulo 4 serão discutidos diversos princípios e modelos uso

usados para estruturar as redes de computadores.

| idua20O software e o hardware das redes de computadores está organizado  por níveis ou camadas independentes, em que as camadas dos níveis superiores estão dependentes das funcionalidades providenciadas pe las dos níveis inferiores. |
| --- |

v

NOVA

**1.4 Aplicações suportadas no protocolo TCP**

c

Começa agora a ser mais claro como é que a rede funciona. No en tanto ainda não falámos de como é que a mesma é de facto útil para os Editorial

utilizadores finais, ou seja, como funcionam as aplicações distribuídas que a utilizam. Já vimos que o protocolo TCP disponibiliza uma inter face que permite criar canais lógicos entre programas em execução em FCT

computadores distintos, graças à funcionalidade de troca de pacotes IP proporcionada pela infra-estrutura de canais e comutadores de pacotes e ao software TCP executado nos sistemas de operação.

Vamos agora ver como esses canais podem ser usados para criar

aplicações distribuídas.

**Aplicações cliente / servidor**

versão

É frequente estruturar as aplicações distribuídas mais simples em duas

partes: o programa cliente e o programa servidor. Essas aplicações

dizem-se **aplicações cliente / servidor (*client / server*)** pois usam

o **padrão cliente / servidor** que está ilustrado na Figura 1.10.

Tipicamente, na sequência de uma acção do utilizador, o programa

D1.0

cliente envia uma mensagem para o programa servidor. Essa mensagem

designa-se por **mensagem de pedido (*request message*)**. Quando

a mensagem chega ao servidor, o programa servidor analisa-a e deduz

**24 Como funciona uma rede de computadores**  indi

ara

2018

vidual

uso

Figura 1.10: O padrão cliente / servidor

qual o serviço solicitado, calcula a resposta e envia uma **mensagem de resposta (*reply message*)** ao programa cliente. Este interpreta a mensagem de resposta e apresenta o resultado ao utilizador. A Figura 1.11 apresenta um diagrama temporal da execução do padrão.

NOVA

Cliente Servidor

c

criar o pedido

enviar (pedido, servidor)

pedido resposta

Editorial

receber() → pedido, cliente

calcular a resposta

enviar (resposta, cliente)

receber() → resposta, ... processar a resposta

FCT tempo

Figura 1.11: Diagrama temporal de execução do padrão cliente servidor

**Exemplo - o protocolo HTTP**

versão

O exemplo mais popular de aplicação cliente / servidor é a que propor

ciona acesso a páginas Web através do protocolo HTTP (Hyper Text

Transfer Protocol), ver o RFC 2616, que funciona sobre o protocolo

TCP. O cliente é geralmente uma aplicação conhecida como *browser*,

que espera que o cliente indique o URL (grosso modo o endereço) do

D1.0

conteúdo a que o utilizador pretende aceder. Quando o utilizador dá o

URL ao *browser*, este encontra o endereço do servidor (veremos a seguir

como), estabelece um canal TCP com o mesmo (usando como porta do

**1.4. Aplicações suportadas no protocolo TCP 25**  indi

servidor a porta 80 que é a porta normalizada do protocolo HTTP), e finalmente envia-lhe a mensagem com o pedido. Depois de analisar a mensagem de pedido, o servidor responde com a mensagem de resposta, que contém a informação ou o conteúdo solicitado pelo utilizador (que pode ser um texto, uma imagem, um filme, *etc.*). Finalmente, o *browser*

ara

mostra ao utilizador a informação que recebeu do servidor.

A Figura 1.12 ilustra uma hipotética troca de mensagens que obe

dece ao protocolo HTTP, o qual especifica o formato das mesmas. Ao contrário dos dois outros exemplos vistos atrás (pacotes IP e segmen tos TCP), as mensagens do protocolo HTTP estão estruturadas como 2018

vidual

sequências de bytes, com informação geralmente codificada em código uso

ASCII e facilmente legível. Os diferentes campos das mensagens são muito extensíveis e flexíveis (*i.e.*, existem inúmeras opções), mas essas mensagens não deixam de ter a mesma organização que as dos protocolos anteriores: uma parte de cabeçalho e outra de dados.

**GET /index HTTP/1.0 <cr lf>**

Host: www.wikipedia.org <cr lf> User-Agent: Mozilla/4.03 <cr lf>

Pedido HTTP

<cr lf>

NOVA **HTTP/1.1 200 OK <cr lf>**

c

Date: Mon, 30 May 2016 15:21:58 GMT <cr lf>

Server: mw1248.eqiad.wmnet <cr lf>

Last-Modified: Tue, 02 Feb 2016 14:25:41 GMT <cr lf>

Resposta HTTP Tempo

Accept-Ranges: bytes <cr lf> Content-Length: 4768 <cr lf> Vary: Accept-Encoding <cr lf> Connection: close <cr lf> Content-Type: text/html <cr lf> <cr lf>

……………….

Editorial

FCT

Figura 1.12: Exemplo de mensagens de pedido e resposta do protocolo

HTTP

O cabeçalho da mensagem de pedido contém na primeira linha o có

versão

digo de operação a executar (GET neste caso, para obter um conteúdo alo

jado no servidor), a indicação do nome do conteúdo pretendido (/index)

e a versão do protocolo que o cliente pretende executar.

Seguem-se várias linhas com indicações opcionais que podem ser úteis

ao servidor. O cliente começa por indicar o nome do servidor específico

a que pretende aceder, pois no endereço IP do servidor pode estar um

servidor que aloja vários servidores virtuais e é necessário discriminar

D1.0

aquele em que o cliente está interessado (Host: www.wikipedia.org).

Adicionalmente o cliente indica o seu tipo (User-Agent:...).

Cada linha é terminada com dois caracteres de controlo que na figura

**26 Como funciona uma rede de computadores**  indi

estão indicados pela sequência <cr lf> como abreviatura de <carriage return line feed>. Nas mensagens do protocolo HTTP uma linha vazia separa o cabeçalho dos dados. Como neste pedido não são enviados mais dados para o servidor, a mensagem de pedido termina nesta linha vazia, que na figura corresponde à sequência <cr lf> <cr lf>.

ara

A mensagem de resposta também contém uma primeira linha espe

cial com o código do resultado da operação (HTTP/1.1 200 OK - indi cando neste caso que o conteúdo foi encontrado), seguida de várias outras linhas de cabeçalho. As primeiras dessas linhas indicam a hora do ponto de vista do servidor, o tipo do servidor e a data em que o conteúdo foi

2018

vidual

modificado pela última vez. Após estas indicações seguem-se outras que uso

são imprescindíveis ao cliente, como por exemplo a indicação da dimen são do conteúdo enviado na resposta (Content-Length: 4768), e a forma como este está codificado (Content-Type: text/html). Final mente, após a linha em branco <cr lf> <cr lf>, que separa a parte do cabeçalho da parte de dados, segue-se o objecto retornado (que no exemplo está omitido e é representado por vários pontos).

O protocolo HTTP é muito simples e dado que o cliente e o servi dor podem trocar entre si qualquer tipo de conteúdos (textos, ficheiros, filmes, código executável pelo *browser*, *etc.*), é muito utilizado como pro NOVA

tocolo de base para construir aplicações distribuídas cliente / servidor em que um *browser* Web é utilizado como cliente genérico.

c

**Aplicações P2P**

Editorial

As aplicações distribuídas do tipo cliente / servidor, como a ilustrada,

seguem um padrão simples e fácil de realizar. No entanto, na prática,

FCT

nem sempre as coisas são assim tão simples, pois muitas vezes existem

muitos clientes a tentar obter serviços do mesmo servidor. Nesses casos

o servidor pode não conseguir servir atempadamente todos os clientes e

o serviço torna-se muito lento e desconfortável.

Uma solução possível consiste em arranjar mais servidores, e uma vez

resolvido o problema de distribuir os clientes pelos diferentes servidores,

versão

continua-se a usar o padrão cliente / servidor. É a solução adoptada na

maioria dos serviços mais populares na Internet. Para suportarem mi

lhões de utilizadores, geralmente esses serviços são disponibilizados atra

vés de vários milhares de servidores. Este tipo de solução só é acessível a

instituições muito grandes e com grande poder económico. Quando um

conteúdo é popular e não é possível, directa ou indirectamente4, cobrar

D1.0

pelo acesso ao mesmo, este é dificilmente acessível de forma confortável,

4Muitos serviços disponibilizados “gratuitamente” na Internet são afinal pagos por

publicidade ou por cedência de privacidade para tornar a publicidade mais valiosa.

**1.4. Aplicações suportadas no protocolo TCP 27**  indi

pois será disponibilizado apenas por poucos servidores visto que não há capacidade económica para suportar um melhor serviço. A seguir vamos ilustrar outro padrão utilizado por algumas aplica ções distribuídas e que é particularmente adequado a situações em que há necessidade de acesso massificado a conteúdos imutáveis (*i.e.*, conteú

ara

dos contidos em ficheiros que não sofrem alterações, como por exemplo

músicas, livros ou filmes).

Nestes casos é comum utilizar outro padrão de estruturação de apli

cações distribuídas, conhecido como o **padrão parceiro a parceiro ou**

**P2P** (em inglês diz-se ***peer-to-peer***, o que está na origem da abrevia

2018

vidual

tura P2P). Uma motivação comum para a utilização do padrão P2P é

uso

a aceleração do acesso a ficheiros imutáveis, transformando os clientes

simultaneamente em servidores. Esta faceta, caracterizada por os clien

tes serem simultaneamente servidores, é a característica mais relevante

do padrão P2P.

**Exemplo - o protocolo BitTorrent**

As aplicações mais conhecidas que o utilizam o padrão P2P usam o pro

tocolo BitTorrent para implementarem o *download* colectivo de ficheiros.

NOVA

De acordo com este protocolo os ficheiros são obtidos por blocos. Um

cliente conseguirá aceder a uma cópia válida do ficheiro depois de obter

c

todos os blocos que o formam, o que pode validar, pois antes de co

meçar a tentar obter o ficheiro deverá saber qual o número de blocos

Editorial

total. Como cada bloco contém o seu número, cada participante conse

gue saber se já tem uma cópia completa do ficheiro mesmo que receba

os blocos de forma desordenada.

FCT

Assim, as aplicações baseadas no protocolo BitTorrent usam um ser

vidor para obter um ficheiro que descreve as características dos ficheiros

a trocar (dimensão, número de blocos, *etc.*) e que servidores usar para

se coordenarem com outros clientes5. Cada cliente tenta conhecer outros

clientes que lhe forneçam blocos que ele ainda não tenha e, à medida que

vai obtendo blocos, funciona simultaneamente como servidor fornecendo

versão

os blocos que já arranjou a outros parceiros que deles precisem para

completar o *download*. A Figura 1.13 ilustra o protocolo em execução.

Não vamos entrar nos detalhes do protocolo BitTorrent, mas o mesmo

caracteriza-se por cada participante funcionar simultaneamente como

cliente e servidor neste processo de troca de blocos. O protocolo (e as

aplicações e serviços que o usam) inclui mecanismos engenhosos para

incentivar que cada cliente funcione igualmente como servidor, ou até

D1.0

5 Além desta forma, também é possível utilizar os chamados “magnet links”,

da forma magnet:hash, e obter a restante informação por comunicação com outros

clientes já conhecidos.

**28 Como funciona uma rede de computadores**  indi

ara

2018

vidual

uso

Figura 1.13: O padrão P2P em execução - parceiros a usarem o protocolo

BitTorrent

que a partir do momento em que já conseguiu obter uma cópia integral

NOVA

do ficheiro, passe a funcionar apenas como servidor.

c

Nas aplicações cliente / servidor em que os clientes apenas fazem o

Editorial

*download* de conteúdos, os canais que ligam esses clientes à rede estão

a ser usados sobretudo no sentido da rede para o cliente. A capacidade

disponível do cliente para a rede, geralmente designada por capacidade

FCT

de *upload*, não está a ser usada. O que o protocolo BitTorrent faz com

eficácia é conseguir uma utilização mais completa e eficaz dos recursos

da rede que estão disponíveis pois, cada cliente, ao funcionar simulta

neamente como servidor, contribui para a transmissão mais rápida do

ficheiro ao conjunto de parceiros nele interessados. Esse ganho vem do

facto de que cada cliente utiliza de forma mais efectiva a capacidade de

*upload* do canal que o liga à rede.

versão

Como o protocolo BitTorrent também utiliza o protocolo TCP para

a troca dos blocos do ficheiro entre parceiros, a pergunta a fazer é a

seguinte: para que dois programas possam comunicar através da rede,

a única funcionalidade de nível transporte de dados que está disponível

são os canais lógicos TCP? A resposta é não. Existem vários outros

D1.0

protocolos de transporte que seguem lógicas diferentes. Entre esses ou

tros protocolos, o mais conhecido é um protocolo chamado UDP (User

Datagram Protocol).

**1.5. Aplicações suportadas no protocolo UDP 29**  indi

**1.5 Aplicações suportadas no protocolo UDP**

No protocolo TCP os dois programas que comunicam estão ligados por um canal lógico de dados, fiável e bidireccional, que lhes permite tro carem sequências de bytes, potencialmente ilimitadas, entre eles. Não

ara

existe a noção de mensagem pois com TCP, ao nível dos programas utilizadores, os bytes são enviados e recebidos pura e simplesmente em sequência, sem nenhum marcador relacionado com blocos, ou mensa gens, ou mesmo de grupos de bytes enviados de uma só vez. Compete aos programas que usam os canais TCP arranjarem os seus mecanismos 2018

vidual

próprios para definirem onde começam e acabam as mensagens.

uso

Por exemplo, no protocolo HTTP, as mensagens têm um formato

especial que permite a ambas as partes reconhecerem onde acaba o ca

beçalho e começa a parte de dados, ou ainda qual a dimensão da parte

de dados. Nas mensagens de resposta, ver o exemplo na Figura 1.12,

existe uma linha em branco que indica onde acaba o cabeçalho e existe

um campo no cabeçalho que indica a dimensão da parte de dados.

O protocolo UDP, ver o RFC 768, disponibiliza um serviço diferente

do dos canais lógicos TCP. Ele permite a troca de mensagens bem de

finidas entre os computadores ligados à rede. Ou seja, se um programa

NOVA

emissor emite uma mensagem composta por um certo número de bytes,

o programa receptor recebe de uma só vez uma mensagem exactamente

c

idêntica e com os mesmos bytes.

Assim, à primeira vista, poderia parecer que esta filosofia não jus

Editorial

tificaria a necessidade de introduzir um protocolo diferente. Afinal o

protocolo HTTP é um protocolo aplicacional que usa mensagens de pe

dido e resposta implementadas pela aplicação sobre canais TCP.

FCT

No entanto, surpreendentemente, a funcionalidade que mais distin

gue o UDP do TCP tem a ver com a ordem e a fiabilidade da transmissão

dos dados e não com a delimitação das mensagens. Como o protocolo

TCP garante a chegada dos dados por ordem, quando um dado se atrasa,

todos os que foram emitidos a seguir também se atrasam pois têm de de

ser entregues depois. Na verdade, o protocolo TCP é um protocolo com

versão

plexo que diminui o ritmo de emissão sempre que constata que a rede

poderá ter dificuldade em suportar o ritmo actual. O protocolo TCP

negoceia e equilibra a fiabilidade com a velocidade com que os dados

chegam à outra extremidade da conexão.

No protocolo UDP cada mensagem é independente, e se uma mensa

gem se atrasar, ou desaparecer, as outras emitidas a seguir não sofrem

com isso e podem até chegar primeiro que as anteriores.

D1.0

Por outro lado, para garantir as suas funcionalidades, o protocolo TCP leva um certo tempo e gasta alguns pacotes de controlo só para estabelecer o canal. O protocolo UDP é mais leve e não requer que ambas

**30 Como funciona uma rede de computadores**  indi

as partes estabeleçam qualquer forma de relação prévia: ao emissor basta conhecer o endereço (e a porta) do receptor para poder enviar-lhe mensagens. Finalmente, o protocolo UDP não garante a entrega fiável das mensagens e não avisa sequer se as mesmas não chegarem ao destino.

ara

A Figura 1.14 mostra uma mensagem UDP. Estas designam-se por

***datagrama* UDP (*UDP datagram*)**, por analogia com a terminologia usada num dos primeiros serviços de envio electrónico de mensagens à distância, que usava o termo telegrama para designar uma mensagem.6

2018

vidual

uso

32 bits

Miscellaneous fields of the IP header

Origin IP address (32 bits)

Destination IP address (32 bits)

Cabeçalho IP (20 bytes sem opções)

Source port (16 bits) Destination port (16 bits) Cabeçalho UDP

Datagram length (16 bits)

Checksum UDP (16 bits)

(8 bytes)

NOVA

Payload do datagrama UDP

Application data (Payload)

c

Dados ou *payload*

(64K - 28 bytes)

Editorial

Figura 1.14: Formato de um *datagrama* UDP

Ao analisarmos os datagramas UDP verificamos de novo que estes

FCT

viajam na parte de dados de um pacote IP, cujos campos endereços ori

gem e destino indicam a origem e o destino do *datagrama*, que existe

um cabeçalho de *datagrama* e que o *datagrama* também tem uma parte

de dados. No cabeçalho encontramos de novo dois campos chamados

porta origem e porta destino. Na verdade o serviço fornecido pelo pro

versão

tocolo UDP não é mais do que o serviço fornecido pelo protocolo IP, mas

os pacotes são agora acessíveis directamente aos programas através das

portas, que identificam dentro de cada computador, diferentes origens e

destinos dos *datagramas*.

6O serviço do telégrafo, e mais tarde o de telegramas, foi ultrapassado pelo serviço

D1.0

de FAX, e mais recentemente pelo serviço de correio electrónico. Assim já não existem

telegramas mas continuam a existir *datagramas*. A palavra é usada abusivamente

neste livro como um neologismo, que não é reconhecido pelos dicionários portugueses

normais, e por isso quando isolada é escrita em itálico.

**1.5. Aplicações suportadas no protocolo UDP 31**  indi

**Exemplo - transmissão de som e vídeo em tempo real**

O leitor poderia fazer a seguinte pergunta: mas se desenvolver aplica ções distribuídas com base na troca directa de pacotes IP é difícil e pode até revelar-se penoso e pouco eficaz, é interessante fazer aplicações dis

ara

tribuídas com base nas funcionalidades do protocolo UDP? A resposta é afirmativa em pelo menos dois tipos de situações.

A primeira situação é a das aplicações que se baseiam na troca de

grandes sequências de mensagens mas que preferem perder algumas das 2018

mensagens (desde que não seja uma grande maioria delas) a atrasarem vidual

uso

todas as que forem enviadas a seguir. As aplicações mais comuns deste tipo são as aplicações de transmissão de informação multimédia (som ou vídeo) em tempo real.

Estas aplicações toleram alguma perda de pedaços de informação

intermédia (cuja perda provoca deficiências, às vezes imperceptíveis, no som ou na imagem do receptor) do que receberem a informação com um atraso que a tornasse imperceptível (o som ou a imagem ficam deforma dos, ou os interlocutores não se entendem).

É esta razão que justifica que as aplicações com requisitos estritos

NOVA

sobre o tempo que as mensagens levam a circular pela rede possam ser c

concebidas recorrendo ao protocolo UDP. Dado não tolerarem os poten ciais atrasos introduzidos pelo protocolo TCP, alguns jogos de compu tador distribuídos também usam o protocolo UDP para transmitirem as

jogadas dos jogadores.

Editorial

O segundo exemplo de aplicações distribuídas em que se pode recor

rer ao protocolo UDP são aplicações do tipo cliente / servidor, em que o

FCT

cliente e o servidor fazem uma única interacção na qual trocam poucas

mensagens de reduzida dimensão (contendo algumas centenas de bytes

por exemplo). Nestas aplicações, o problema da fiabilidade pode ser

resolvido se as **operações forem idempotentes (*idempotent ope***

***rations*)**, isto é, se as mensagens do cliente para o servidor podem ser

versão

reenviadas, de novo interpretadas e executadas sem problema. Se um

cliente não receber a resposta a uma pergunta, não é suficiente repeti

la? E se recebeu a resposta, então também tem a certeza que o servidor

recebeu o seu pedido.

Se a interacção entre o cliente e o servidor se resumir a esta breve

troca de mensagens, talvez não compense pagar o preço de estabelecer

um canal TCP, sobretudo se o cliente tem de fazer muitas interacções

D1.0

deste tipo com muitos servidores diferentes. O serviço DNS, apresen

tado a seguir, baseia-se nestas hipóteses e utiliza um protocolo cliente /

servidor geralmente executado directamente sobre o protocolo UDP.

**32 Como funciona uma rede de computadores**  indi

**Exemplo - o serviço DNS**

Até ao momento quando precisámos de designar um programa a executar num servidor foi sugerido que os protocolos UDP e TCP se baseiam nos endereços IP para designar as partes em comunicação. De facto assim é,

ara

mas como todos os utilizadores sabem, geralmente os endereços usados

pelos utilizadores têm a forma de mnemónicas7, *i.e.*, nomes com algum

significado.

Por exemplo, supondo que existia um banco designado “Banco de

Depósitos Muito Seguros”, com a sigla bdms, seria natural que o seu site

2018

Web estivesse acessível por um URL como por exemplo http://bdms.com.

vidual

uso

Existem inúmeros outros exemplos bem conhecidos do dia a dia. Esta

técnica é muito rica pois é mais fácil memorizar a mnemónica do que

um número inteiro com muitos dígitos (o endereço IP). Adicionalmente,

também permite uma maior flexibilidade. De facto, o nome mnemónico

de um serviço pode ser sempre o mesmo, mas o endereço pode mudar

(pois arranjou-se um servidor novo), ou ser diferente para diferentes cli

entes (poder-se-ia associar um endereço IP diferente conforme o país do

cliente por exemplo), *etc.*

Mas como é possível usar estes nomes mnemónicos quando as co

municações pela rede vão ter lugar entre interlocutores designados por

VA

endereços IP e portas? É o serviço DNS (Domain Name System), ver

c

o RFC 1034, que permite, entre outras funcionalidades, traduzir nomes

mnemónicos em endereços IP.

rial

| NO  O serviço DNS é uma base de dados distribuída, contendo entradas para vários milhões de nomes mnemónicos hierárquicos, que permite FCT  estabelecer relações entre nomes e atributos ou propriedades. O DNS pode, logicamente, ser assimilado a uma gigantesca tabela, com um nome por linha, e tantas colunas quantos os atributos que  Edito  é possível associar-lhe. O principal atributo associado à grande maioria dos nomes é constituído por um ou mais endereços IP.  A base dados está organizada em domínios hierárquicos, e distri buída por muitos servidores. Cada servidor apenas conhece uma parte da base dados, geralmente um conjunto de linhas associadas a nomes com o mesmo sufixo, que se chama um domínio DNS. |
| --- |

versão

O serviços DNS é outro exemplo em que a complexidade está relegada

D1.0

para a periferia pois a rede dos canais e dos comutadores não conhece

7Uma mnemónica é uma técnica de codificação, ou uma simples associação a

símbolos ou ideias, que permite memorizar mais facilmente algo mais complexo.

**1.5. Aplicações suportadas no protocolo UDP 33**

indi

**.**

**raiz**

**Domínios de topo funcionais Domínios de topo de países**

**pt fr**

ara

**com edu org net**

**…..**

**uk ….**

**google**

**wikipedia**

**unl inria**

**www**

**www**

**fct**

**www**

**www.google.com www.wikipedia.org (91.198.174.192)**

**www.inria.fr**

2018

vidual

uso

**www**

**www.fct.unl.pt (193.136.126.43)**

**(128.93.162.84)**

Figura 1.15: Uma parte da árvore de domínios do DNS e exemplo de

alguns nomes

nomes mnemónicos, apenas conhece endereços IP, tal como os protocolos

de transporte.

Os nomes mnemónicos usados pelo DNS estão organizados por do

NOVA

mínios, ver a Figura 1.15. Estes são hierárquicos, com uma raiz da

hierarquia por baixo da qual estão nomes bem conhecidos (*e.g.*, com,

c

net, org, edu, info, uk, eu, pt, fr, ...) associados a proprie

dades do domínio (*e.g.*, edu para universidades, com para empresas) ou

Editorial

a países (*e.g.*, pt é o domínio de Portugal e fr o da França). Conti

nuando a descer na hierarquia aparecem domínios subordinados (*e.g.*,

unl.pt é o dominio da Universidade Nova de Lisboa, fct.unl.pt é o

FCT

dominio da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de

Lisboa). Os nomes lêem-se da esquerda para a direita como é habitual,

e usando esse sentido de leitura vai-se subindo na hierarquia. A Figura

1.15 ilustra um pequeno subconjunto da hierarquia do DNS.

Associado a cada domínio da hierarquia existem vários servidores que

conhecem os nomes subordinados ao domínio, *i.e.*, terminados no nome

versão

do domínio, como por exemplo o nome www.wikipedia.org que é for

mado pelo nome www, concatenado com o nome do domínio wikipedia.org.

Adicionalmente, se um domínio não é o fim do seu ramo da hierarquia,

no domínio também estão registados os sub-domínios e os endereços IP

dos respectivos servidores. Por exemplo, no domínio .org estaria re

gistado o domínio wikipedia.org e o endereço IP dos servidores DNS

desse domínio.

D1.0

Quando se pretende conhecer o endereço IP associado a um nome, é necessário dirigir a questão para um servidor do respectivo domínio. Mas como saber o endereço IP dos servidores dos muitos milhões de

**34 Como funciona uma rede de computadores**

ara

indi

Servidor

de .com

Cliente

1

2

3

Servidor do

domínio raiz

Servidor do

domínio .org

2018

vidual

uso

Servidor do domínio

wikipedia.org

Figura 1.16: Pesquisa do endereço IP de www.wikipedia.org

domínios existentes? Admitindo que se conhecem os endereços IP dos servidores do topo da hierarquia (*i.e.*, os chamados servidores da raiz, ou servidores de *root*), é possível descer na hierarquia até um servidor que NOVA

conhece o domínio do nome que procuramos. Como já referimos, para cada domínio, incluindo a raiz, existe sempre mais do que um servidor, c

pelo que o DNS pode continuar a ser consultado mesmo que alguns servidores estejam momentaneamente inacessíveis, o que confere uma

grande robustez ao serviço.

Editorial

Por exemplo (ver a Figura 1.16), admitindo que se procura o endereço

IP do servidor designado por www.wikipedia.org, é possível perguntar

FCT

a um dos servidores da raiz qual é esse endereço (a troca de mensa

gens 1 na figura). Este responderá que não o conhece, mas indicará os

endereços IP dos servidores do domínio .org. Repare-se que os servi

dores da raiz conhecem necessariamente o endereço dos servidores de

.org pois .org é um domínio subordinado da raiz. Escolhendo um dos

servidores de .org, é possível perguntar-lhe de novo qual é o endereço

versão

de www.wikipedia.org. A troca de mensagens 2 na figura. O servidor

responderá novamente que não o conhece, mas conhece os endereços IP

dos servidores do domínio wikipedia.org. Tal permite finalmente che

gar a um servidor que poderá responder à questão: qual é o endereço IP

de www.wikipedia.org? A troca de mensagens 3 na figura.

Para que os programas que executam nos computadores ligados à

Internet possam consultar o DNS, o sistema de operação fornece uma

D1.0

interface especial, designada por *resolver interface* (de resolução de no

mes), por detrás da qual é executada uma troca de mensagens obe

decendo ao protocolo DNS. Nada impede um computador de executar

**1.5. Aplicações suportadas no protocolo UDP 35**  indi

o protocolo do DNS directamente, executando a sucessão de questões que acabámos de ilustrar. Por exemplo, a aplicação dig dos sistemas Unix ou semelhantes (Linux, Android, Mac OS/X, iOS, . . . ) executa o protocolo descrito. No entanto, geralmente os computadores limitam-se a consultar um servidor DNS, designado *caching only server* ou *local*

ara

*name server*, como ilustrado na Figura 1.17. Estes servidores não são responsáveis por nenhum domínio, mas sabem executar o protocolo que descrevemos no exemplo anterior.

2018

C*aching only*

vidual

*server*Servidor do

uso

Cliente

Cliente HTTP

(browser)

Aplicação

1

Motor de

pesquisa

Cache com as respostas obtidas

2

3

4

5

6

domínio raiz

Servidor do domínio .org

*Resolver*

*interface (OS)*

87

em pesquisas

anteriores

Servidor do domínio wikipedia.org

NOVA

Figura 1.17: Pesquisa do endereço IP de www.wikipedia.org através de

um *caching only server* - a numeração das mensagens segue a ordem de

c

execução do protocolo

Editorial

A vantagem de se utilizarem servidores *caching only* está ligada ao

facto de que eles podem guardar as respostas que vão obtendo numa

*cache*. Desta forma podem responder a questões futuras idênticas muito

FCT

mais depressa pois já conhecem a resposta. Geralmente os diferentes

operadores de rede e as redes institucionais têm servidores DNS *caching*

*only* cujos endereços IP são fornecidos aos computadores que lhes estão

ligados.

O protocolo do DNS é na grande maioria das situações executado

pelos computadores dos utilizadores como um simples protocolo cliente

versão

/ servidor dirigido aos *caching only servers*. Estes executam a seguir um

protocolo do tipo cliente / servidor iterativo até obterem as informações

solicitadas, e no fim respondem aos clientes iniciais. Se a resposta às

questões recebidas estiverem na sua *cache*, eles respondem imediata

mente, sem necessidade de executarem o processo iterativo de consulta

de outros servidores DNS.

O protocolo pode ser executado sobre TCP ou UDP, mas dada a

D1.0

sua natureza, e a quantidade de informação trocada em cada mensa

gem, geralmente é executado sobre UDP. Caso um cliente não obtenha

resposta a uma questão, pode enviá-la de novo. Pode também enviá-la

**36 Como funciona uma rede de computadores** indi

a um servidor distinto que é suposto também saber a resposta, ou pelo menos parte dela, para poder continuar a iterar até obter a informação pretendida. No limite, um cliente até poderia dirigir a questão a vários servidores simultaneamente, para tentar obter a resposta do mais rápido a responder.

ara

Para fecharmos esta discussão sobre os protocolos ditos de transporte

e a sua relação com o tipo de aplicações que melhor suportam, apresenta

se a seguir uma caracterização sintética do protocolo TCP.

| 2018  O protocolo TCP é um protocolo *end-to-end* de transporte orien vidual  tado à conexão, pois requer o estabelecimento prévio de um canal lógico entre as partes.  O canal TCP é bidireccional e transporta sequencialmente bytes nos dois sentidos.  O canal TCP é fiável e ajusta a velocidade de transmissão à capacidade do receptor, o que se designa por **controlo de fluxo**, ver o Capítulo 7, e da rede, o que se designa por **controlo de saturação**, ver o Capítulo 8.  OVA  c  O TCP não garante a capacidade do canal nem o limite superior do tempo necessário para a entrega dos dados ao receptor.  O TCP é um protocolo adequado para o envio fiável de quantidades de dados de dimensão apreciável sem constrangimentos temporais fortes. |
| --- |

uso

~~N~~~~T~~orial

seguida da caracterização sintética do protocolo UDP.

| FC  Edit  O protocolo UDP é um protocolo *end-to-end* de transporte que permite trocar *datagramas* (mensagens) entre programas.  Não requer o estabelecimento prévio de qualquer ligação entre as partes que vão comunicar.  Não garante a fiabilidade nem a ordem de entrega das mensagens e não faz controlo de fluxo ou de saturação.  ve  Oferece a mesma qualidade de serviço que a própria rede (melhor esforço) e portanto exibe os defeitos e qualidades desta em termos |
| --- |

rsão

D1.0

**1.6. Interfaces de rede 37**

| di de fiabilidade e de tempo de trânsito das mensagens.  O UDP é um protocolo adequado para interações curtas do tipo das do DNS ou quando não se requer fiabilidade, nem se toleram atrasos na transferência dos dados. |
| --- |

ara

i~~n~~

Ambos os protocolos designam as partes em comunicação através

de endereços IP e portas, mas o serviço DNS permite associar nomes mnemónicos aos endereços IP para evitar que os utilizadores os tenham

2018

vidual

de memorizar.

uso

Para fecharmos esta primeira visita guiada ao mundo das redes va

mos ver a seguir que aspecto têm as interfaces dos computadores e dos programas com a rede.

**1.6 Interfaces de rede**

Geralmente os computadores estão ligados através interfaces de rede e canais aos primeiros comutadores de pacotes que lhes dão acesso ao NOVA

resto da rede. Essas interfaces de rede são baseadas em componentes electrónicos (e às vezes também ópticos) e contêm dispositivos de ligação c

aos meios de transmissão que suportam os canais (antenas nos canais sem fios e fichas para fios ou fibras ópticas nos restantes casos). A maioria Editorial

dos dispositivos móveis actuais têm as interface e antenas integradas na caixa, como os *smartphones* por exemplo.

FCT

**Computer bus**

**interface**

**DMA**

**interface**

**Control Logic**

**Memory**

**Medium Access Unit**

**Network link**

versão D1.0

Figura 1.18: Interfaces de rede para computadores (separadas das placas mãe) e um diagrama esquemático das suas componentes

**38 Como funciona uma rede de computadores**  indi

Muitas vezes usamos o termo placas de rede (*networking cards*) como nome informal dessas interfaces, ver a Figura 1.18, mas estas cada vez mais se encontram directamente embebidas nas placas mãe (*motherbo ards*) dos computadores, como é o caso corrente em todos os computa dores pessoais, *smartphones*, *tablets*, *etc.* Na transmissão, estes dispo

ara

sitivos transformam sequências de bytes (pacotes de dados) no formato

e representação adequados à sua transmissão pelo canal, e efectuam a

transformação inversa na recepção, ver o Capítulo 2.

Os programas não acedem directamente aos pacotes de dados, nem

às interfaces físicas dos canais, pois vêm os serviços da rede mediados

2018

vidual

pelo sistemas de operação, através de interfaces programáticas que dão

uso

acesso aos serviços proporcionados pelos protocolos de transporte (*e.g.*,

TCP e UDP).

Uma das primeiras interfaces deste tipo para o mundo TCP/IP foi

desenvolvida para o sistema Unix na Universidade de Berkeley, na Cali

fórnia, sob contrato do governo dos Estados Unidos. O contrato estipu

lava que a interface, assim como o código fonte da sua implementação,

seriam públicos e poderiam ser integrados noutros sistemas. Por esta

razão, esta interface, disponibilizada pela primeira vez em 1983, acabou

por ser transportada ou adoptada por quase todos os sistemas de opera

NOVA

ção e é, hoje em dia, praticamente universal. A interface ficou conhecida

pelo nome *sockets interface*8.

c

Actualmente a interface dos sockets está normalizada e integrada na

norma tecnológica POSIX9, a norma de sistemas “a la Unix”, imple

Editorial

mentada pela maioria dos sistemas UNIX ou semelhantes (Linux, Mac

OS/X, Android, iOS, . . . ). Mas a interface dos sockets também está

disponível nos sistemas Windows. No conjunto de todos estes sistemas

FCT

o comando netstat permite conhecer os sockets activos.

A interface de sockets utiliza vários conceitos nossos conhecidos como:

endereços IP, portas, *datagramas* UDP, canais TCP, *etc.* mas o conceito

central é o de “socket”, que foi a inspiração para o nome da interface.

Um socket é um meio de ligação à rede, como uma tomada eléctrica é

um meio de ligação à rede eléctrica. Trata-se de um ponto através do

versão

qual um programa acede aos serviços da rede para comunicar e constitui

aquilo que se designa como uma “extremidade de comunicação” (*commu*

*nication end-point*). No entanto, ao contrário dos aparelhos eléctricos,

um programa pode usar vários sockets simultaneamente.

8Em inglês socket pode ser traduzido por “tomada” e o termo aplica-se normal

mente a tomadas eléctricas de parede e aos suportes de encaixe de circuitos.

D1.0

9A norma POSIX corresponde ao Standard IEEE 1003.1, desenvolvido em conjunto pelo IEEE e o The Open Group, e pode ser consultada *on-line* a partir dos endereços das duas instituições: http://standards.ieee.org ou http://pubs.opengroup.org.

**1.6. Interfaces de rede 39**  indi

Os sockets podem ser de dois tipos: UDP ou TCP. Um socket UDP é caracterizado por um endereço IP (do computador que executa o pro grama que possui o socket) e por uma porta UDP, e não precisa de estar ligado a nenhum interlocutor. Um socket deste tipo pode receber e en viar *datagramas* UDP para qualquer outro socket UDP no mesmo ou

ara

noutro computador, bastando para isso conhecer o endereço IP e porta do socket de destino.

No fundo, um endereço IP e uma porta UDP activos (que podem re

ceber e enviar *datagramas*) estão associados necessariamente a um socket UDP de um programa em execução num computador ligado à rede na

2018

vidual

quele endereço IP. Como o *datagrama* recebido tem a porta UDP de uso

origem no seu cabeçalho e vem encapsulado num pacote IP com o en dereço IP de origem no respectivo cabeçalho, o receptor pode responder ao emissor do *datagrama*.

Cliente Servidor

socket(udp) → localUDPSocket

sendto (localUDPSocket, requestDatagram, serverAddress, serverPort)

socket(udp) → localUDPSocket

bind(localUDPSocket, serverPort)

request

NOVA

recvfrom(localUDPSocket) → requestDatagram,

clientIP, clientPort

c

recvfrom(localUDPport) → replyDatagram, ….

reply Tempo

sendto(localUDPSocket, replyDatagram,

clientIP, clientPort)

Editorial

FCT

Figura 1.19: Comunicação com sockets UDP

A Figura 1.19 mostra dois programas, um cliente e um servidor, a

comunicarem através de sockets UDP para trocarem *datagramas* entre si.

A seguir vamos dar uma primeira ideia em pseudo código das entradas

versão

na interface de sockets, isto é de alguns dos seus *system calls*, tal como

ela foi definida e é acessível (tipicamente usando a linguagem C) nas

camadas mais baixas dos sistemas de operação (*i.e.*, ao nível de *system*

*calls*). Veremos depois que existem muitas outras interfaces, de mais

alto nível e disponíveis em muitas linguagens diferentes, para aceder

às funcionalidades desta interface, como por exemplo em Java, ver o

Capítulo 5.

D1.0

Ambos os programas começam por criar um socket UDP. Na inter face dos sockets esta chamada chama-se exactamente socket() e per mite criar diferentes tipo de sockets. Um socket UDP usa geralmente

**40 Como funciona uma rede de computadores**  indi

uma porta seleccionada dinamicamente pelo sistema, mas o programa também pode decidir associar-lhe uma porta à sua escolha através da chamada bind(socket, port). Um servidor é obrigado a usar esta funcionalidade, senão os seus clientes não saberiam qual era a sua porta pois a mesma teria um valor qualquer escolhido pelo sistema. O cliente

ara

pode usar o DNS para conhecer o endereço IP, mas (infelizmente?) o DNS não contém a porta dos serviços, pois estas estão normalizadas para os serviços principais. No exemplo da figura o servidor executa as chamadas:

2018

vidual

uso

socket(udp) *→* localUDPSocket

bind(localUDPSocket, serverPort)

Depois de criado o socket, um cliente geralmente envia um *datagrama*

com um pedido para o servidor e para tal utilizará a chamada sendto():

sendto(localUDPSocket, requestDatagram, serverIPAddress, serverPort)

para enviar, através de um seu socket local, um *datagrama*, para um socket remoto, identificado por um endereço IP e uma porta. Para

NOVA

receber um *datagrama*, um programa deve usar a chamada recvfrom(). c

Por exemplo, para receber o pedido do cliente, o servidor executa: recvfrom(localUDPSocket) *→* requestDatagram, clientIP,

clientPort

Editorial

que devolve o *datagrama* recebido e a identificação do emissor do mesmo

FCT

(na verdade essa identificação vem com o *datagrama*). Esta chamada

bloqueia o programa até que um *datagrama* esteja disponível, pois asso

ciada a cada socket UDP existe uma fila de espera de *datagramas* recebi

dos e à espera de serem consumidos através de chamadas a recvfrom().

Os sockets TCP também são criados através da chamada socket()

e podem ser associados a uma porta TCP específica usando também a

versão

chamada bind(). No entanto, a comunicação através de dois sockets

TCP só pode ter lugar depois de estes terem sido ligados através de um

canal TCP. A Figura 1.20 mostra um exemplo de comunicação entre

um cliente e um servidor com base em sockets TCP. O servidor fica à

espera que um cliente estabeleça uma comunicação pois é aos clientes

que compete tomar a iniciativa.

socket(tcp) *→* localTCPSocket bind(localTCPSocket, port)

accept(localTCPSocket) *→* newTCPSocket

D1.0

**1.6. Interfaces de rede 41**  indi

No exemplo, o servidor criou um socket, associou-lhe a porta acor dada com os clientes e ficou à espera que um deles estabeleça uma co nexão invocando:

ara

accept(localTCPSocket)

Esta chamada bloqueia o servidor até que um cliente desencadeie

uma conexão. Quando essa conexão se estabelecer, um novo socket é cri ado (accept() retorna o socket newTCPSocket) exclusivamente dedicado a representar a extremidade do novo canal de comunicação TCP que liga 2018

o servidor ao seu novo cliente. Efectivamente, repare-se que accept(), vidual

uso

após a conexão se estabelecer, retorna um novo socket (newTCPSocket) que passa a representar a extremidade do novo canal no servidor.

Cliente Servidor

socket(tcp) → localTCPSocket

connect(localTCPSocket, serverAddress, serverPort)

write (localTCPSocket, request data ) write (localTCPSocket, + request data )

socket(tcp) → localTCPSocket bind(localTCPSocket, serverPort)

accept(localTCPSocket) → newSocket

read(newSocket) → request data read(newSocket) → + request data

NOVA ….

c read(localTCPSocket) → reply data

Tempo

write (newSocket, reply data )

write (newSocket, + reply data )

write (newSocket, + reply data )

Editorial

Figura 1.20: Comunicação com sockets TCP

FCT

Por seu lado, o cliente cria um socket local e liga-o ao servidor através da chamada connect() que lhe permite ligar o seu socket ao do servidor (identificado pelo endereço IP e uma porta TCP que são passados em parâmetro da chamada connect()).

socket(tcp) *→* localTCPSocket

connect(localTCPSocket, ipAddress, port)

versão

A partir daqui ambos podem usar as chamadas read(socket) e

write(socket) para trocar dados, como se o socket que representa a

extremidade local do canal TCP fosse um ficheiro.

Os dados escritos pelo cliente podem vir a ser lidos pelo servidor

e vice versa. Com já referimos acima, os canais TCP não preservam

D1.0

nenhuma noção de mensagem, *i.e.*, o servidor pode escrever 100 bytes

de cada vez e o cliente pode ler todos esses bytes lendo 1000 bytes de

uma só vez caso estes já estejam disponíveis.

**42 Como funciona uma rede de computadores**  indi

O leitor interessado no desenvolvimento de aplicações que usem di rectamente a interface de sockets ao nível sistema, e a linguagem C, pode consultar por exemplo [Stevens et al., 2004; Comer and Stevens, 1997] e muitos outros livros, ou ainda a numerosa documentação disponível *on line*. Por exemplo, pesquisando por “Berkeley sockets” na Wikipedia.

ara

No capítulo 5 serão apresentados exemplos da utilização da interface de

sockets para realizar clientes e servidores utilizando bibliotecas de mais

alto nível.

2018

**1.7 Organismos de normalização e governação**

vidual

uso

Finalmente, para fechar o capítulo, vamos fazer referência a um aspecto

crítico das redes de computadores: a normalização. Ao longo deste

capítulo, em diversas ocasiões, foram feitas referência a normas tecno

lógicas, nomeadamente de protocolos e de interfaces. Sendo as redes

de computadores realizações sofisticadas, com inúmeras componentes

distintas, compostas por milhões de dispositivos hardware e software,

cobrindo todos os continentes e com inúmeras interfaces, a normaliza

ção de interfaces e protocolos tem um papel primordial para permitir a

NOVA

inter-operação dessas várias componentes, em ambiente de concorrência

e de multiplicidade de fornecedores de hardware e software. Só assim se

c

poderá tentar assegurar liberdade de fabrico, construção e aquisição dos

equipamentos e do software.

Editorial

Uma norma tecnológica é o equivalente a uma especificação técnica

de um mecanismo. O seu papel é garantir que qualquer implementa

ção desse mecanismo, que obedeça à norma, funciona de acordo com a

FCT

sua especificação e é capaz de interagir com mecanismos semelhantes

que implementem a mesma norma. Adicionalmente, permite que os fa

bricantes e utilizadores do mecanismo tenham uma base comum para

estabelecerem os seus contratos. Assim, uma norma funciona como uma

base de entendimento comum entre os implementadores e os diferentes

utilizadores.

versão

Por outro lado, a gestão e inter-ligação de redes de acesso público,

envolve facetas de governação e coordenação que também são relevantes

para a inter-operação de redes da responsabilidade de diferentes autori

dades administrativas.

Ao longo da história do desenvolvimento das redes de computadores

diversos organismos foram desempenhando um papel importante na ela

boração dessas normas e práticas de governação, promovendo grupos de

D1.0

trabalho que, através de discussão e consenso, vão elaborando as normas

necessárias para garantir a inter-operação e a inter-conexão das redes.

Entre esses organismos figuram associações profissionais, organismos

**1.7. Organismos de normalização e governação 43**  indi

oficiais dos estados, consórcios empresariais e organizações não governa mentais sem fins lucrativos. Para permitir ao leitor situar-se quando forem feitas referências a esses organismos, a seguir apresenta-se uma lista, não necessariamente completa, das mais relevantes na actualidade. Noutros capítulos serão referenciadas outras organizações que já tiveram

ara

maior impacto ou que actuam em facetas particulares, e cuja inclusão

na lista abaixo torná-la-ia demasiado longa.

A vida tem mostrado que os processos de normalização são comple

xos, muito lentos e pouco inovadores e estão, quase sempre, contami

nados por facetas comerciais e de concorrência. No que diz respeito às

2018

vidual

redes de computadores, acresce que as mesmas estão na confluência de

uso

várias aproximações e de pontos de vista diferentes: os da indústria de

computadores e os da indústria de telecomunicações tradicional (e até

mais recentemente de outras indústrias e sectores empresariais onde se

incluem os media).

Na indústria de computadores predominam as normas estabelecidas

através de consórcios de fabricantes (ou impostas na prática por alguns

deles). Devido à agilidade do desenvolvimento do software, e à constante

evolução da capacidade dos dispositivos hardware, as normas evoluem

muito depressa e os consórcios de construtores (e às vezes também de

NOVA

utilizadores) têm um peso significativo.

No que diz respeito à indústria de telecomunicações tradicional, que

c

actua sobretudo nas comunicações à distância e em ambientes que re

querem regulação (de frequências ou de direitos de instalação de infra

Editorial

estruturas), os organismos de normalização tendem sempre para envolver

organismos com representação dos Estados e Governos e um conjunto,

geralmente reduzido, de operadores e de fabricantes de equipamentos.

FCT

A actividade académica, e mais tarde também empresarial, que en

volveu o desenvolvimento da Internet, sempre esteve na confluência do

mundo dos computadores com o mundo das comunicações. Dada a sua

génese académica e o multiculturalismo tecnológico e industrial, a co

munidade envolvida acabou por desenvolver métodos inovadores de esta

belecimento de normas. Nesta comunidade, pelo menos numa primeira

versão

fase, foi dada uma grande importância ao mérito técnico e científico e

a soluções pragmáticas testadas através de implementações reais, por

isso a velocidade e impacto das normas foi, pelo menos inicialmente,

bastante rápida.

É esta constatação que justifica a ordem pela qual são listadas as

organizações que se seguem.

D1.0

**44 Como funciona uma rede de computadores**  indi

**Internet Society (ISOC)**

A Internet nasceu como um projecto de investigação académico, subsidiado pelo Governo dos EUA. Quando se tornou claro que era necessário tornar a rede pública, e acessível sem reservas em to

ara

dos os países, foi necessário libertar a Internet do enquadramento governamental e nacional inicial. A solução encontrada consistiu na formação da Internet Society (ISOC), http://isoc.org, uma organização não governamental, aberta, enquadrando uma mul tiplicidade de pontos de vista e grupos de interesse, destinada a 2018

promover e enquadrar a governação da Internet.

vidual

uso

No seu *site on-line* a sua missão é definida da seguinte forma: “To promote the open development, evolution, and use of the Internet for the benefit of all people throughout the world.”

A ISOC não desenvolve normas técnicas mas a sua intervenção nas facetas técnicas da Internet, e com impacto técnico nas redes de computadores, faz-se via a sua colaboração e enquadramento do IETF (Internet Engineering Task Force).

**Internet Engineering Task Force (IETF)**

NOVA

A IETF, https://www.ietf.org, é uma organização não lucra

tiva de voluntários, que nasceu em 1986 no âmbito do projecto de

c

desenvolvimento inicial da Internet, e que é responsável por pro

mover, de forma aberta, as soluções tecnológicas e de gestão, e as

Editorial

correspondentes normas, da rede Internet. No seu *site on-line* a

sua missão é definida da seguinte forma: “The mission of the IETF

is to make the Internet work better by producing high quality, re

FCT

levant technical documents that influence the way people design,

use, and manage the Internet.”

A IETF promove o desenvolvimento e é responsável pela edição e

publicação da série de documentos conhecida como “Request for

Comments” (RFC),

ver https://www.ietf.org/rfc.html, que registam a maioria das

versão

normas e outra documentação técnica sobre a Internet e os proto

colos e aplicações TCP/IP.

Actualmente a ISOC funciona como organização “guarda chuva”

da IETF e publica o IETF Journal.

**Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)**

D1.0

A IEEE, http://www.ieee.org, é uma associação de engenheiros e cientistas, com cerca de 400.000 membros no mundo inteiro, que tem como objectivo promover a evolução técnica e a educação nas

**1.7. Organismos de normalização e governação 45**  indi

áreas da engenharia electrotécnica, electrónica, de telecomunica ções e de computadores.

No seu *site on-line* a sua missão é definida da seguinte forma: “IEEE’s core purpose is to foster technological innovation and ex

ara

cellence for the benefit of humanity”.

A IEEE desenvolve uma actividade muito importante de normali zação em diversas áreas da sua actividade. Entre as normas mais conhecidas da IEEE, encontra-se o grupo de normas de redes locais e metropolitanas conhecidas pelo prefixo IEEE 802, que incluem 2018

as normas da rede Ethernet (802.3) e as normas de redes sem fios

vidual

uso

(802.11). Este conjunto de documentos normalizam os canais e redes mais populares a nível empresarial e residencial. Tratam-se de normas, essencialmente promovidas pela indústria de computadores, por contraponto às normas desenvolvidas pela indústria e os operadores de telecomunicações, que são sobretudo editadas pela ITU.

**International Telecommunication Union (ITU)**

A ITU, http://www.itu.int, é uma agência especializada das

Nações Unidas para as tecnologias de comunicação e informação.

NOVA

Trata-se portanto de uma organização inter-governamental, estru

c

turada por países, com origem nas necessidades de normalização e

da regulação da inter-operação dos sistemas de telecomunicações

internacionais. Naturalmente, dado o enquadramento, os regula

Editorial

dores nacionais e os operadores de telecomunicações de cada país

têm um peso significativo na sua actividade. Tem como membros

193 países, cerca de 700 empresas de telecomunicações e algumas

universidades.

FCT

No seu *site on-line* a sua missão é definida da seguinte forma: “We allocate global radio spectrum and satellite orbits, develop the te chnical standards that ensure networks and technologies seamlessly interconnect, and strive to improve access to ICTs to underserved

communities worldwide (. . . )”.

versão

A ITU tem uma actividade de normalização muito activa, sobre

tudo relevante a nível das tecnologias de comunicação mais im

portantes para os operadores de telecomunicações. O seu envolvi

mento nas redes de computadores baseadas na comutação de paco

tes desenvolveu-se em paralelo com as soluções desenvolvidas pela

indústria de computadores ou no seio da IETF. Só com a adopção

D1.0

dos protocolos TCP/IP pelos operadores de telecomunicações no

final do séc. XX os dois mundos se aproximaram em termos de

tecnologia e normas.

**46 Como funciona uma rede de computadores**  indi

**1.8 Resumo e referências**

**Resumo**

Uma rede de computadores tem na sua base uma infra-estrutura consti

ara

tuída por canais e comutadores de pacotes. Essa infra-estrutura permite aos computadores trocarem entre si mensagens de dimensão relativa mente reduzida, designadas por pacotes de dados. No tipo de redes dominantes actualmente, baseadas nos protocolos TCP/IP, essas men sagens chamam-se pacotes de dados IP, e são encaminhados do compu 2018

tador origem ao computador destino numa base dita de melhor esforço, vidual

uso

*i.e.*, sem garantias de entrega ou de ordenação.

Desenvolver aplicações com base na troca de pacotes IP é um pro

cesso complexo e pouco eficiente do ponto de vista da programação, pelo que os sistemas de operação dos computadores implementam protocolos de transporte extremo a extremo, (no sentido que são apenas executa dos nos computadores e não nos comutadores de pacotes), que oferecem serviços de nível superior que tornam mais fácil o desenvolvimento das aplicações distribuídas.

Vimos também que a infra-estrutura constituída pelos canais e os

NOVA

comutadores de pacotes é constituída geralmente por sub-redes, especi alizadas em funções específicas, de carácter operacional ou comercial (re

c

des de acesso, redes residenciais, redes institucionais, redes de trânsito, redes de centros de dados, *etc.*). A Internet é um gigantesco agregado

de milhões de redes de diferentes tipos.

Editorial

Dada a dimensão e diversidade dos comutadores, dos computadores

e dos sistemas de operação, os protocolos que especificam o significado e

FCT

formato das mensagens trocadas pelos participantes na rede estão nor

malizados. Na secção 1.7 apresentou-se uma lista de organismos com

relevância na normalização e governação das redes de computadores.

Os serviços de comunicação providenciados pelos protocolos de trans

porte são usados, por programas aplicação, para implementar aplicações

distribuídas, geralmente baseadas em protocolos ditos aplicacionais. Es

versão

sas aplicações distribuídas são constituídas por vários programas que

colaboram usando um pequeno número de padrões de comunicação e

coordenação. Alguns dos padrões mais populares são os que se desig

nam por cliente / servidor e P2P.

Os protocolos de transporte mais populares no mundo TCP/IP são

o TCP e o UDP. O protocolo TCP implementa uma abstracção de canal

de comunicação lógico, bidireccional e fiável, que liga directamente dois

D1.0

programas. Este tipo de canais são especialmente úteis para transportar

grandes quantidades de dados entre dois programas, com fiabilidade,

mas sem garantias de tempo real. Por exemplo, o protocolo HTTP é

**1.8. Resumo e referências 47**  indi

um protocolo cliente / servidor aplicacional que usa canais TCP para comunicar.

Por outro lado, aplicações que apenas trocam pequenas quantidades de dados entre vários interlocutores, e cujas interacções materializam predominantemente operações idempotentes, preferem usar o protocolo

ara

UDP. Um exemplo muito popular desta opção é o serviço DNS, que é um sistema que permite, entre outras funcionalidades, estabelecer asso ciações entre nomes mnemónicos e endereços IP. Outras aplicações que também usam UDP são aquelas que têm necessidades de tempo real, mas admitem perder alguns dos dados transferidos, como as aplicações 2018

vidual

multimédia em tempo real.

uso

Finalmente, o capítulo apresenta uma primeira visita guiada à inter

face de sockets, que é a interface dominante para aceder nos sistemas de operação aos serviços providenciados pelos protocolos TCP e UDP.

Os principais termos introduzidos neste capítulo são a seguir pas

sados em revista. Entre parêntesis figura a tradução mais comum em língua inglesa.

**Canal de comunicação** (*communication link, data link, link*) Dispo sitivo que permite transmitir dados entre equipamentos computa

NOVA

cionais na rede.

c

**Pacote de dados** (*data packet*) Pequena mensagem unitária, geral mente constituída por algumas centenas de bytes, que é trans

Editorial

mitida de uma só vez pela rede usando os comutadores de pacotes

e os canais de comunicação.

**Comutador de pacotes** (*packet switch*) Equipamento que encaminha FCT

pacotes de dados entre os vários canais que lhe estão directamente

ligados.

**Rede de computadores** (*computer network*) Infra-estrutura de canais e comutadores que liga vários computadores e lhes permite troca

rem pacotes de dados.

versão

**Protocolo** (*protocol*) Conjunto de mensagens, regras sintácticas e re

gras semânticas que regulam a comunicação e coordenação de um

conjunto de entidades para atingirem um objectivo comum.

**Protocolo IP** (*IP protocol*) Protocolo de encaminhamento de pacotes

entre computadores e comutadores da família TCP/IP. Os pacotes

D1.0

de dados, ditos pacotes IP à luz deste protocolo, são encaminhados

segundo uma política de melhor esforço, sem garantias de fiabili

dade.

**48 Como funciona uma rede de computadores**  indi

**Protocolo extremo a extremo** (*end-to-end protocol*) Protocolo im plementado apenas pelos computadores ligados à rede e que usa um protocolo de transporte ou a troca directa de pacotes disponi bilizada pela infra-estrutura dos canais e comutadores.

ara

**Protocolo de transporte** (*transport protocol*) Protocolo extremo a ex tremo especializado em funcionalidades de transporte de dados.

**Protocolo TCP** (*TCP protocol*) Protocolo de transporte que imple menta canais lógicos fiáveis, bidireccionais, que interligam directa

mente dois programas.

2018

vidual

uso

**Protocolo UDP** (*UDP protocol*) Protocolo de transporte que permite

aos programas trocarem mensagens, chamadas *datagramas* UDP,

sem garantias de fiabilidade.

**Cliente / servidor** (*client / server*) Protocolo ou aplicação estrutu

rados em torno de um padrão de interacção em que uma parte, o

cliente, toma a iniciativa de solicitar serviços à outra, o servidor.

**P2P** (*peer-to-peer*) Protocolo ou aplicação estruturados em torno de

um padrão de interacção em que os participantes actuam simulta

NOVA

neamente como clientes e servidores entre si.

c

**Protocolo HTTP** (*HTTP protocol*) Protocolo aplicacional que per

mite a um cliente Web pedir e receber objectos de um servidor

Editorial

Web. Para esse efeito o cliente usa um canal TCP para se ligar ao

servidor.

**Protocolo DNS** (*DNS protocol*) Protocolo aplicacional que permite a

FCT

um cliente interrogar um servidor de nomes. Geralmente, o proto

colo é executado usando directamente a troca de *datagramas* UDP

entre o cliente e servidores DNS.

**Interface de sockets** (*sockets interface*) interface do sistema de ope

ração que dá acesso directo aos serviços providenciados pelos pro

tocolos de transporte. **Referências**

versão

Este capítulo apresentou uma panorâmica de assuntos que vão ser tra

tados mais em detalhe nos capítulos seguintes. No entanto, caso o leitor

prefira optar por outras leituras, existem vários livros que constituem

D1.0

referências bem conhecidas para o estudo das redes de computadores.

Damos especial realce ao seguinte conjunto [Tanenbaum and Wetherall,

2011; Peterson and Davies, 2012; Kurose and Ross, 2013; Stallings, 2013].

**1.9. Questões para revisão e estudo 49**  indi

**Apontadores para informação na Web**

*•* https://www.wikipedia.org – A Wikipedia, sobretudo na sua versão inglesa, tem inúmeros artigos sobre aspectos de rede de

ara

computadores que podem servir como forma de tirar dúvidas, por exemplo quando o leitor encontrar um termo que não conhece.

*•* http://ietf.org/rfc.html – É o repositório oficial dos RFCs, nomeadamente dos citados neste capítulo.

*•* http://isoc.org/wp/ietfjournal/ – *Site* do IETF Journal. 2018

vidual

uso

*•* http://standards.ieee.org/about/get/ – *Site* das normas IEEE 802.

*•* http://www.itu.int/en/ITU-T/Pages/default.aspx – *Site* de normas da ITU.

*•* http://www.sigcomm.org – *Site* do Special Interest Group on Communications (SIGCOMM), *i.e.*, a divisão da Association for

Computing Machinery (ACM) dedicada a redes de computadores

NOVA

e sistemas distribuídos. É responsável pela edição de numerosas

publicações e organização de conferências sobre redes de compu

c

tadores.

Editorial

*•* http://www.comsoc.org – *Site* da IEEE Communications Soci ety, a divisão da IEEE dedicada a comunicações, redes de com

putadores e sistemas distribuídos. É responsável pela edição de

numerosas publicações e organização de conferências sobre redes

de computadores.

FCT

*•* http://www.internethalloffame.org – Este *Site*, em parte li gado à ISOC, contém muita informação sobre os pioneiros do de senvolvimento inicial das redes de computadores e a história da

Internet, nomeadamente no artigo disponível em

versão

http://www.internethalloffame.org/brief-history-internet.

*•* http://internetpt.legatheaux.info – Este *Site*, mantido pelo autor, contém informação diversa sobre o aparecimento da Internet em Portugal e os seus primeiros passos no nosso país.

**1.9 Questões para revisão e estudo** 1. Verdade ou mentira?

D1.0

**50 Como funciona uma rede de computadores**  indi

a) Um protocolo especifica rigorosamente a sequência de men sagens que um conjunto de interlocutores tem de trocar para atingir um objectivo comum. No entanto, o formato das men sagens trocadas é livre para possibilitar evoluções futuras.

ara

b) As mensagens de um protocolo contêm duas partes: um cabe çalho e uma parte de dados. O cabeçalho contém informações de controlo do protocolo, a parte de dados transporta geral mente dados arbitrários.

c) Para decidirem sobre a forma como encaminham os pacotes 2018

de dados, os comutadores de pacotes analisam a parte dos

vidual

uso

dados dos mesmos.

d) As mensagens de um protocolo de extremo-a-extremo viajam normalmente na parte de dados dos pacotes transportados pela rede de comutadores.

2. Verdade ou mentira?

a) O protocolo IP foi pensado para a comunicação aplicação a aplicação.

NOVA

b) Os pacotes IP emitidos por computador chegam sempre ao c

destino e pela ordem com que foram enviados. De qualquer forma, caso não seja esse o caso, o receptor é avisado pelos

comutadores de pacotes.

Editorial

c) Numa primeira análise, os pacotes de dados podem ser vistos

como mensagens de dimensão arbitrária, ou pelo menos sufi

ciente grande para a maioria das trocas de informação entre

FCT

os computadores se fazerem num único pacote.

d) Os comutadores de pacotes IP no interior da rede estão todos

sob a mesma autoridade administrativa, pois caso contrário

seria impossível garantir que os pacotes cheguem ao destino.

e) O protocolo IP é um exemplo de um protocolo de transporte

versão

que assegura uma comunicação fiável de extremo a extremo

f) O protocolo IP é responsável por encaminhar de forma fiável

pacotes de dados de um computador origem até um compu

tador de destino

g) O protocolo IP não garante a ordem de entrega dos pacotes

de dados de um computador origem até um computador de

destino nem sequer se os entrega de facto. 3. Verdade ou mentira?

D1.0

**1.9. Questões para revisão e estudo 51**  indi

a) A rede Internet é formada por diversas sub-redes, nomeada mente uma por país.

b) Os utilizadores domésticos com ligações à Internet estão liga dos por canais que os ligam directamente às redes de conteú

ara

dos.

c) Uma rede de trânsito é geralmente utilizada para a interliga ção de redes de acesso.

d) Uma rede de trânsito é uma rede que transporta pacotes que não tiveram origem nela e que não se destinam a computa 2018

vidual

uso

dores que lhes estejam directamente ligados.

4. Verdade ou mentira?

a) Os canais TCP não garantem a entrega ao receptor dos da dos emitidos pelo emissor, nem sequer na ordem pela qual os mesmos foram emitidos.

b) Os canais TCP implementam um canal lógico de transmissão entre o emissor e o receptor cujo débito (número de bytes transmitidos pelo emissor e entregues ao receptor por unidade NOVA

de tempo) é constante.

c) Uma conexão TCP é fiável e de extremo a extremo, isto é, não c

se perdem dados, porque os comutadores de pacotes da rede garantem que todos os pacotes que lhes chegam são entregues

intactos ao comutador seguinte.

Editorial

d) Uma conexão TCP é assegurada pelo sistema de operação dos computadores em diálogo através de um protocolo que pres FCT

supõe que a rede pode perder e trocar a ordem dos pacotes IP.

5. Verdade ou mentira?

a) As mensagens do protocolo HTTP são transmitidas na parte

de dados de um *datagrama* UDP.

versão

b) O número e tipo dos parâmetros de uma mensagem de pedido HTTP são fixos e não variam de pedido para pedido.

c) A dimensão de uma mensagem de resposta do protocolo HTTP é variável.

d) O tipo dos dados de uma resposta HTTP é variável e está

definido na mensagem.

D1.0

e) As mensagens de pedidos HTTP não estão divididas em ca beçalho e parte de dados.

**52 Como funciona uma rede de computadores**  indi

6. Verdade ou mentira?

a) As funções da biblioteca sistema *resolver* abrem sempre um canal TCP para um servidor DNS para obterem respostas aos

ara

pedidos das aplicações.

b) Quando um servidor DNS de um domínio não está disponível, deixa de ser possível conhecer os endereços IP dos computa dores do domínio.

c) O protocolo de consulta do DNS na sua versão iterativa faz 2018

do DNS um sistema P2P visto que todos os servidores DNS

vidual

uso

se comportam como clientes e servidores.

d) As aplicações consultam o DNS usando o protocolo UDP por

que, apesar de os pacotes UDP se poderem perder, a recepção

de uma resposta assinala que o servidor DNS recebeu o pe

dido, e a aplicação a resposta do servidor.

7. Suponha que o tempo médio para executar uma interacção cliente / servidor (com um pedido e uma resposta) com um dado servi

dor DNS é desprezável quando o servidor de DNS está na rede

NOVA

interna da sua faculdade (é um *caching only server*), e é de 100 ms

(milissegundos) quando o servidor DNS está fora dessa rede. Os

c

computadores da rede da faculdade estão a usar o servidor local

para obterem respostas a consultas ao DNS. Nas questões abaixo

Editorial

escolha a opção que mais se aproxima da resposta certa.

a) Qual o tempo necessário para um computador ligado à rede

FCT

da sua faculdade obter o endereço associado ao nome streaming.cnn.com, admitindo que o servidor local não faz *caching*, só conhece o

endereço IP dos servidores da raiz do DNS, e que o nome

existe?

desprezável, 20, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800

ms

versão

b) Os servidores DNS locais podem, ou não, ter a resposta a um pedido de um cliente disponível na sua *cache*. Tendo isso em consideração, qual é o tempo mínimo que pode ser necessário para um cliente dentro da rede da sua faculdade obter o endereço associado ao nome streaming.cnn.com?

desprezável, 20, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800

ms

D1.0

c) Idem alínea anterior, mas agora determine qual é o tempo máximo que pode ser necessário para um computador ligado

**1.9. Questões para revisão e estudo 53**  indi

à rede da sua faculdade obter o endereço associado ao nome streaming.cnn.com?

desprezável, 20, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800 ms

ara

d) Admita que a taxa de sucesso de o servidor DNS local ter a resposta a um pedido de um cliente disponível na sua cache é de 30%. Qual é o tempo médio que pode ser necessário a um computador ligado à rede da sua faculdade para obter o endereço associado ao nome streaming.cnn.com? Admita 2018

que quando o nome não está na *cache* o servidor demora

vidual

uso

sempre o tempo máximo determinado na alínea anterior.

desprezável, 20, 50, 75, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800

ms

8. Verdade ou mentira?

a) Muitas aplicações desenvolvidas para usarem a Internet são

estruturadas como um conjunto de programas que comuni

cam através de canais bidireccionais lógicos, capazes de en

caminharem de forma fiável sequências de bytes entre 2 pro

NOVA

gramas distribuídos.

c

b) As aplicações desenvolvidas para usarem a Internet utilizam

a interface de sockets do sistema de operação para aceder aos

serviços da rede. Essa interface não permite que entre dois

Editorial

computadores distintos exista mais do que um socket TCP

para comunicação.

FCT

c) Os sockets UDP são os mais adequados para aplicações de

transferência de ficheiros de grande dimensão.

d) Um socket UDP só pode ser usado para enviar *datagramas*

depois de estar ligado ao socket do receptor.

e) Um computador envolvido numa transferência de um ficheiro

a usar uma aplicação P2P só troca dados com um outro com

putador de cada vez.

versão

9. Dê exemplos de aplicações para as quais é preferível utilizar um transporte em modo *datagrama*, *e.g.*, usando o protocolo UDP, e exemplos de aplicações para as quais é preferível utilizar um transporte em modo ligação da dados, *e.g.*, usando o protocolo

TCP.

D1.0

indi

ara

2018

vidual

uso

NOVA

c

Editorial

FCT

versão

D1.0

**Canais de dados 2**  indi

ara

*I’m gonna wrap myself in paper,*

2018

*I’m gonna dab myself in glue,*

vidual

uso

*Stick some stamps on top of my head!*

*I’m gonna mail myself to you.*

– Autor: *Woody Guthrie, folk song writer, The Mail Song* Numa rede de computadores os pacotes de dados são transportados

pela rede desde o emissor até ao receptor. Durante esta viagem, o pa

cote pode atravessar inúmeros canais, viajar milhares de quilómetros e

os canais atravessados podem ser de diferentes naturezas e suportados

em tecnologias muito diversas. Por exemplo, nas grandes distâncias é

NOVA

comum os canais basearem-se em fibra óptica ou serem suportados por

satélites. Nas distâncias mais curtas é frequente serem suportados em

c

fios de cobre que foram instalados nos últimos 100 anos para suportar

a rede telefónica ou, mais recentemente, para suportar as redes de te

Editorial

levisão por cabo. No interior dos edifícios é comum serem suportados

em fios de cobre semelhantes aos fios telefónicos, mas começa também a

ser popular a instalação de fibra óptica. Finalmente, nos últimos anos,

FCT

os canais que usam a atmosfera como meio de propagação são cada vez

mais populares, quer nas redes para o interior dos edifícios (conhecidas

por redes Wi-Fi), quer nas redes celulares dos operadores de telecomu

nicações móveis.

Compreender em profundidade como funcionam os diferentes tipos

de canais exigiria o estudo de vários livros. De facto, o seu conhecimento

versão

profundo requer o tratamento de temas do âmbito da teoria da infor

mação, do processamento de sinal, da propagação de sinais, electrónica,

óptica, lasers, *etc.* No entanto, se o objectivo principal é compreender

como funcionam as redes de computadores, é possível trabalhar com um

modelo de canal de dados que abstrai as propriedades essenciais mais

relevantes para esse efeito. É esse o ponto de vista que será usado neste

capítulo – permitir ao leitor ter uma ideia suficiente para perceber o que

D1.0

é um canal de dados, quais as suas propriedades essenciais e como estas

têm impacto nos níveis superiores da rede. O nível de detalhe a que

chegaremos é o estritamente essencial para se perceber o impacto que

55

**56 Canais de dados**  indi

os diferentes tipos de canais têm no comportamento mais geral da rede e das aplicações que a utilizam.

Por outro lado, a evolução tecnológica e as dimensões industriais e co merciais das redes, tomadas no seu sentido mais lato, incluindo portanto as redes telefónicas e de entretenimento, tiveram um impacto profundo

ara

sobre os canais que são usados quer para nos ligarmos a redes, quer para construir os seus *backbones*. Hoje em dia, em muitos países mais desen volvidos, a disponibilidade de canais de dados em redes sem fios e em redes móveis é generalizada e as casas começam também a ser ligadas por canais de fibra óptica aos operadores de redes.

2018

vidual

uso

Antigamente os canais usados para construir redes de computadores

eram, na maior parte das vezes, como que subprodutos de canais de ou

tras redes (telefónicas, de televisão, *etc.*). Por esta razão, os livros sobre

redes de computadores dedicavam muitos capítulos a explicar como é

que esses canais eram construídos reutilizando funcionalidades disponi

bilizadas por essas redes especializadas. Em contrapartida, hoje em dia

a situação alterou-se bastante e as posições inverteram-se, e um livro so

bre redes de computadores deve explicar agora como o serviço telefónico

e a distribuição de canais televisivos (um conceito também em grande

mutação) passaram a ser oferecidos pelas redes de computadores.

NOVA

Por todas estas razões, este capítulo não dá muita ênfase a expli

car como funcionam as diversas variantes de canais de acesso à Internet

c

(*e.g.*, linhas telefónicas, ISDN, ADSL, redes híbridas de fibra e cabos

coaxiais, redes por cabo, redes ópticas, *etc.*) pois provavelmente pelo

Editorial

menos algumas delas deixarão de ser populares dentro de alguns anos.

Com efeito, os canais de dados só podem ser compreendidos em profun

didade abordando aspectos tecnológicos, económicos e de organização

FCT

dos mercados que ultrapassam o âmbito deste livro.

O capítulo começa por introduzir uma definição genérica e abstracta

de canal de dados que destaca as componentes que o formam, assim

como o seu papel, e descreve como estas funcionam. Depois apresenta

as facetas mais relevantes que caracterizam os diferentes tipos de ca

nais. Em seguida analisa que grandezas condicionam o desempenho de

versão

um canal, quer do ponto de vista da quantidade de informação que este

é capaz de transmitir por unidade de tempo, quer do ponto de vista do

tempo de trânsito imposto pelo canal. Aqui chegados veremos de forma

muito sucinta quais os principais suportes de transmissão à distância

que são utilizados para construir canais de dados. Um aspecto determi

nante para o desempenho global da rede são os erros de transmissão que

podem ocorrer nos canais. De facto, quando frequentes, os erros têm

D1.0

um impacto bastante negativo no desempenho da rede e das aplicações.

Por isso este capítulo dedica uma secção ao problema dos erros de trans

missão e sua detecção. Finalmente, o capítulo apresenta um exemplo de

**2.1. Definição de canal de comunicação 57**  indi

canal que é bastante comum e também usa o formato das mensagens que este transmite como exemplo representativo.

**2.1 Definição de canal de comunicação**

ara

Um **canal de comunicação (*communication link*)** é um dispositivo que permite a computadores e comutadores de pacotes trocarem pacotes de dados de forma directa. Geralmente utiliza-se o termo **nó de comu** 2018

**nicação (*communication node*)** para designar, sem necessidade de vidual

uso

distinções suplementares, os dispositivos que comunicam através dos ca nais.1

NOVA

c

Editorial FCT

Figura 2.1: Exemplos de interfaces de comunicação e de meios de pro

pagação do sinal

Como já foi referido, os pacotes de dados podem ser vistos como

mensagens, *i.e.*, simples sequência de bits. Para pôr em evidência o

facto de que os canais não interpretam os pacotes de dados, apenas os

versão

transmitem, e que os protocolos usados nos canais requerem cabeça

lhos específicos, a este nível os pacotes de dados são designados por um

termo distinto. Na literatura em língua inglesa sobre canais de dados

estas sequências são designadas normalmente por *bit frames* pois, como

veremos a seguir, elas têm um formato especial que inclui um prefixo e

um sufixo. Neste capítulo e noutros vamos frequentemente usar o termo

D1.0

1Esta nomenclatura tem origem na teoria dos grafos, pois uma rede é muitas vezes

modelada como um grafo, o qual é constituído por um conjunto de nós e um conjunto

de arcos (os canais).

**58 Canais de dados**  indi

em inglês *frame*2 para designarmos as mensagens transmitidas ao nível canal.

Grosso modo, um canal de dados é constituído por **interfaces de co municação (*communication interfaces, network adapters, network interface cards* (NIC))**, e um **meio de propagação do sinal (eléc**

ara

**trico, electromagnético, luminoso ou sonoro) (*propagation me dia*)** que transporta a informação a transmitir. A Figura 2.1 mostra exemplos de interfaces e de meios de propagação do sinal. Convém, no entanto, não esquecer que hoje em dia a maioria dos computadores e ou tros dispositivos equiparáveis têm as interfaces integradas na chamada 2018

vidual

“placa mãe” (*motherboard*). O meio de propagação do sinal é às vezes uso

designado como meio de transmissão ou de transporte da informação, e pode assumir formas muito variadas como por exemplo fios eléctricos, fibras ópticas, a atmosfera, *etc.* A Figura 2.2 mostra as componentes de um canal que liga dois nós através de um meio de transmissão cons tituído por 4 fios eléctricos: 2 transmitem sinais (um em cada sentido) e 2 transmitem o sinal de referência ou de terra (também um em cada sentido).

NOVA

c

0101010101

registo de

0101

registo de recepção

emissão

0101 registo de recepção

Editorial

0101010101

registo de

emissão

FCT

Interface meio de comunicação Interface

Figura 2.2: Um canal de comunicação

As interfaces de comunicação dispõem de registos que contêm os

pacotes a transmitir pelo meio de comunicação. Quando é possível re

versão

alizar a transmissão de um pacote, a unidade de controlo da interface

acrescenta-lhe os campos requeridos pelo protocolo do canal para cons

truir um *frame* e desencadeia a codificação da sequência de bits na forma

adequada à sua transmissão pelo meio, ou seja, realiza a transformação

da sequência de bits numa sequência de sinais eléctricos, electromagné

ticos, sonoros ou luminosos que permitem a sua transmissão.

D1.0

2Um *bit frame* poderia ser traduzido quase literalmente por “enquadramento de

bits”, “quadro de bits” ou “trama de bits”. Apesar de esta última tradução ser a mais

natural, não utilizaremos nenhuma destas traduções pois as mesmas podem resultar

confusas.