网络安全

第八章 防火墙

黄 玮

温故

- 网络与系统渗透无孔不入
  - —人
  - —应用程序
  - —网络设备
  - —主机/服务器操作系统
  - —物理设备
- 掌握网络与系统渗透方法
  - —知己知彼，百战不殆

知新

- 防火墙在网络与系统防御中的作用和地位
- 防火墙实现的关键技术
- 防火墙实例及应用

本章内容提要

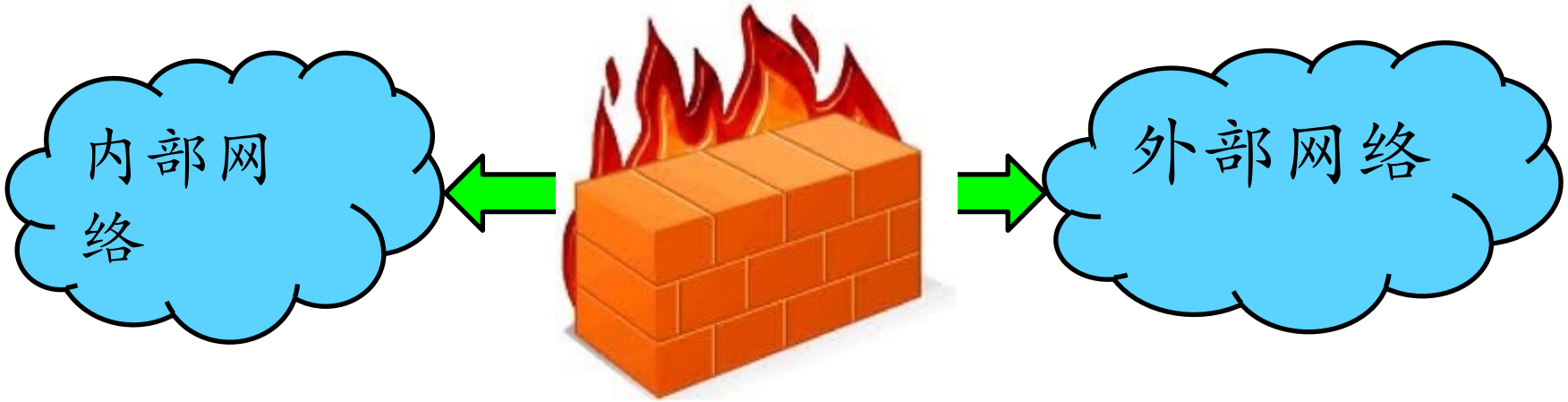
- 防火墙发展简史
- 防火墙关键技术原理
- 防火墙的实现技术
- 防火墙的配置和应用

防火墙概述

- 防火墙的定义
- 防火墙的发展简史
- 设置防火墙的目的和功能
- 防火墙的局限性
- 防火墙技术发展的动态和趋势

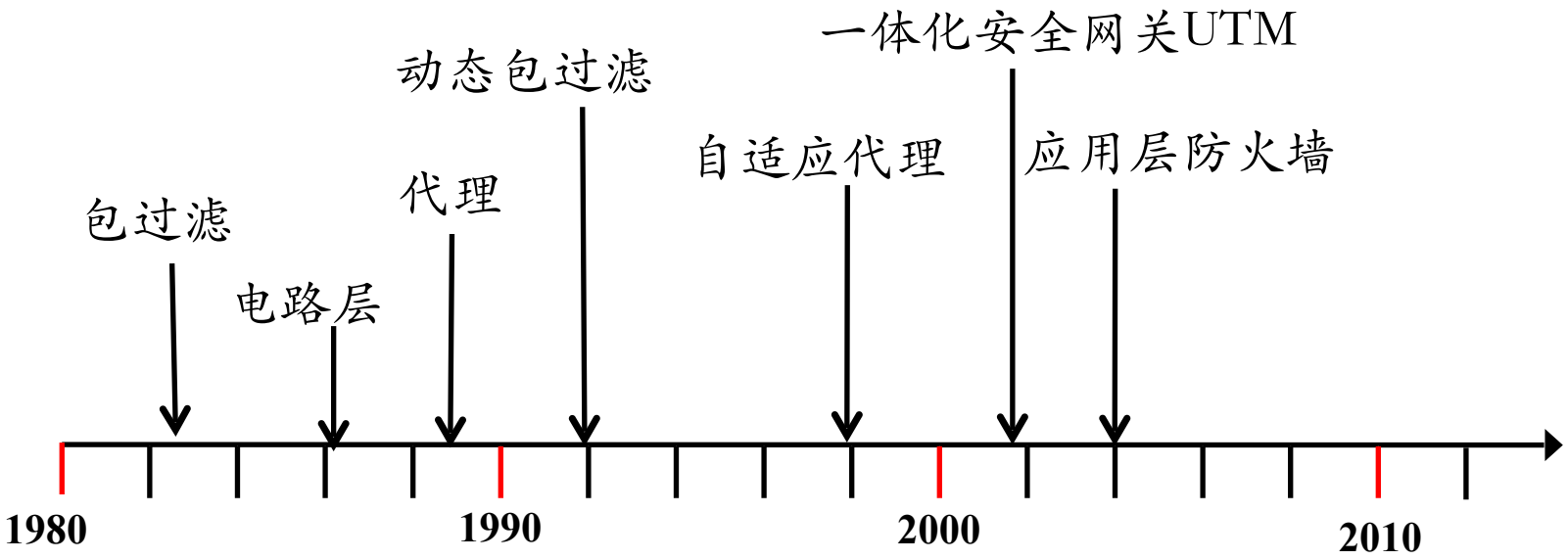
防火墙定义

- 什么是防火墙



防火墙：在两个信任程度不同的**网络**之间设置的、用于加强**访问控制**的软硬件保护措施

防火墙发展简史(1/3)


一体化安全网关UTM
动态包过滤
自适应代理
应用层防火墙
代理
包过滤
电路层
1980
1990
2000
2010

防火墙发展简史(2/3)

- 第一代防火墙
  —采用了包过滤技术
- 第二代、第三代防火墙
  —1989年，推出了电路层防火墙和应用层防火墙的初步结构
- 第四代防火墙
  —1992年，开发出了基于动态包过滤技术的第四代防火墙
- 第五代防火墙
  —1998年，NAI公司推出一种自适应代理技术，可以称之为第五代防火墙

防火墙发展简史(3/3)

- 一体化安全网关UTM
  - —统一威胁管理
  - —整合防火墙、入侵检测、入侵保护、防病毒、防垃圾邮件等综合功能
- 应用防火墙
  - —又可以称为IPS：入侵保护
    - 病毒防火墙
    - Web防火墙
    - VoIP防火墙
    - 。 。 。

防火墙的目的和功能

- 防火墙能够强化安全策略
- 防火墙能够有效记录因特网上的活动
- 防火墙限制暴露用户点
- 防火墙是一个安全策略检查站

防火墙的局限性

- 防外不防内
- 管理和配置复杂度高
  —配置不当易导致安全漏洞
- 很难为用户在防火墙内外提供一致的安全策略
- 粗粒度的访问控制
  —应用层防火墙和UTM产生的需求驱动力

已有的防火墙产品

- 开源产品
  - —Endian
  - —IPCop
  - —ModSecurity
  - —SmoothWall
  - —pfSense
  - —iptables
  - —m0n0wall
- 商业产品
  - —Juniper
  - —华为
  - —绿盟
  - —思科
  - —Safe3
  - —联想网御神州

- 按吞吐能力
  - —百兆 / 千兆 / 万兆
- 按并发处理能力
  - —少于5000
  - —5000~十万
  - —十万~五十万
  - —五十万以上
- 按防护类型
  - —传统防火墙
  - —应用层防火墙
  - —防DDoS
  - —垃圾信息过滤

防火墙技术发展动态和趋势

- 更强的性能
- 可扩展的结构和功能
  - —缓存加速 / 统一认证接入 / 防DDoS / 路由器 …
- 简化的安装和管理
- 积极适应持续变化的网络安全环境
  - —防病毒与防黑客
  - —反垃圾信息
    - 垃圾邮件 / 垃圾短信 / 垃圾电话等

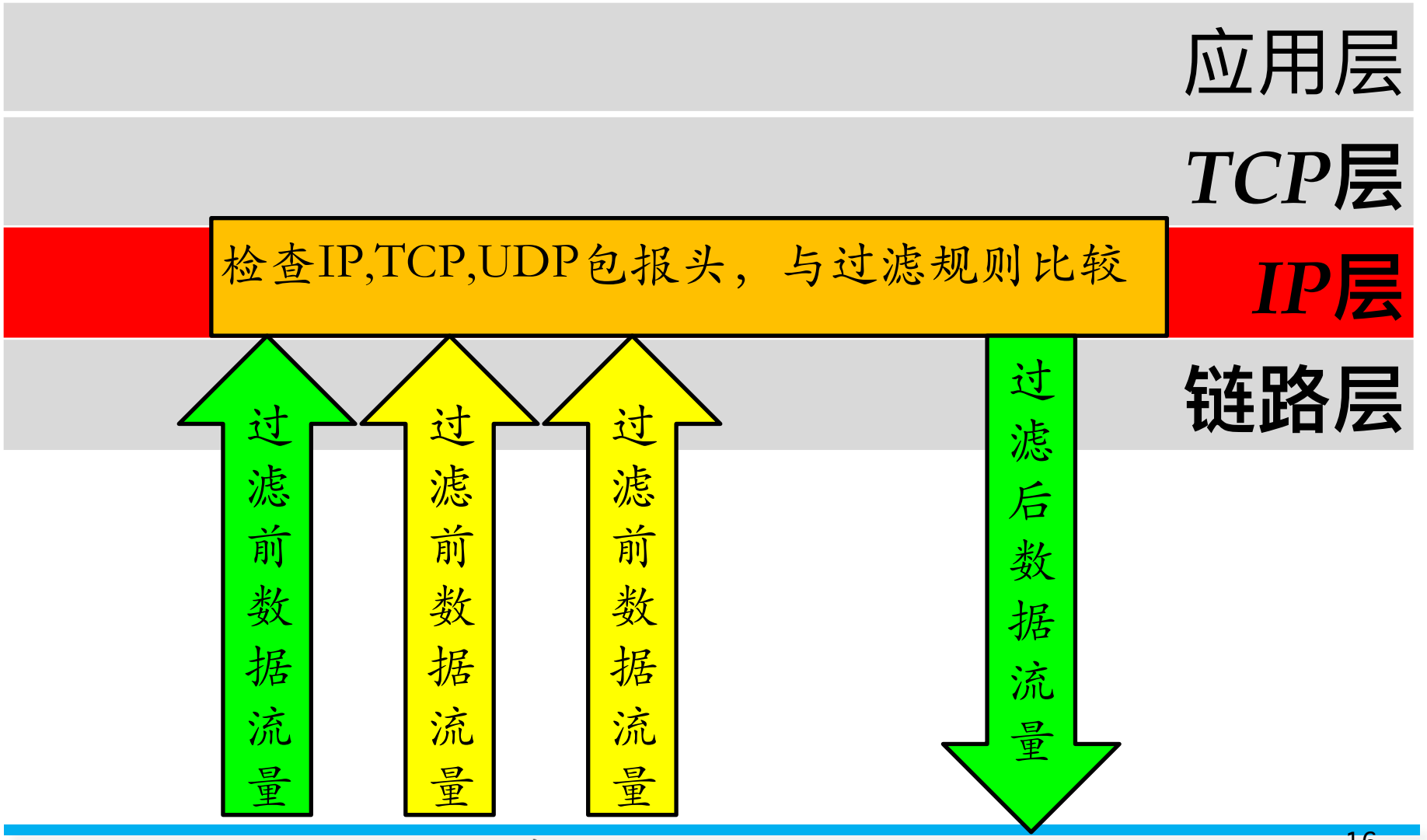
本章内容提要

- 防火墙发展简史
- 防火墙关键技术原理
- 防火墙的实现技术
- 防火墙的配置和应用

防火墙关键技术

- 网络防火墙
  - —包过滤技术
  - —状态检测技术
  - —代理服务技术
- 应用防火墙
  - —见下一节《入侵检测》的技术原理

包过滤技术(1/3)


应用层
TCP层
检查IP,TCP,UDP包报头，与过滤规则比较
IP层
链路层
过滤前数据流量
过滤前数据流量
过滤前数据流量
过滤后数据流量

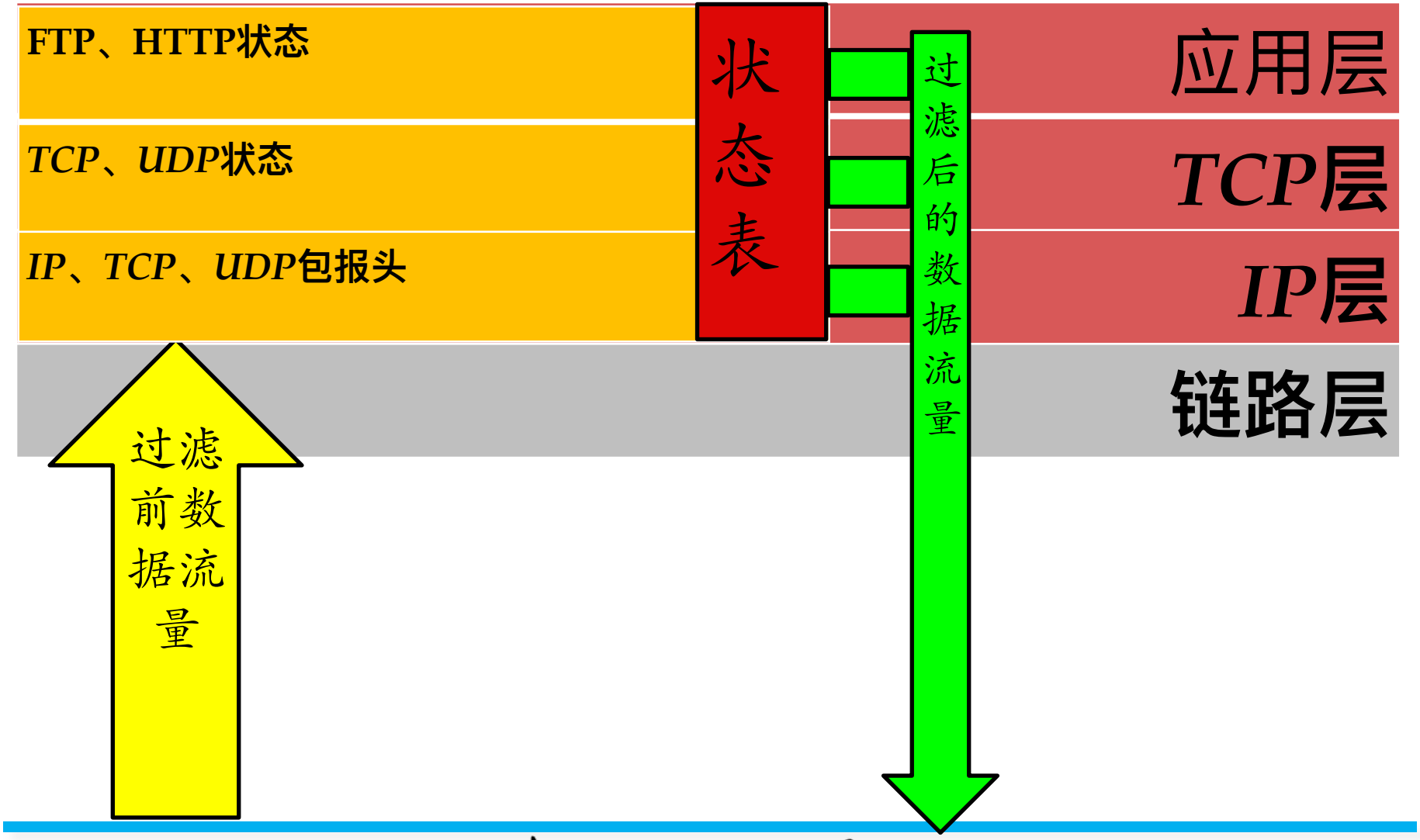
包过滤技术(2/3)

- 包过滤技术检查的数据包报头信息
  - —IP数据报的源IP地址、目的IP地址、协议类型，选项字段等
  - —TCP数据包的源端口、目标端口、标志段等
  - —UDP数据包的源端口、目标端口
  - —ICMP类型

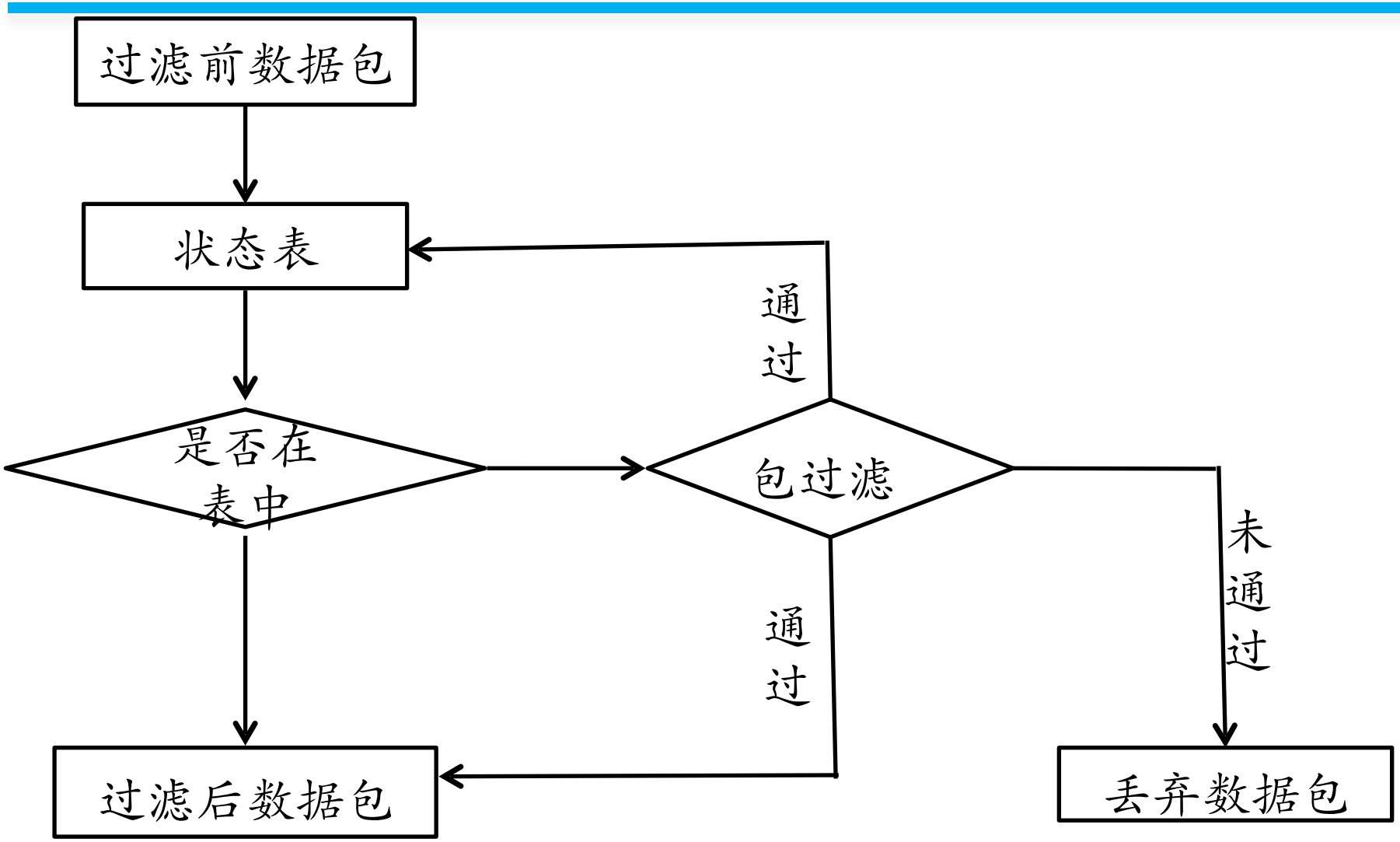
包过滤技术(3/3)

- 优点
  - —不需要内部网络用户做任何配置，对用户来说是完全透明的
  - —过滤速度快，效率高
- 缺点
  - —不能进行数据内容级别的访问控制
  - —一些应用协议不适合用数据报过滤
  - —过滤规则的配置复杂，容易产生冲突和漏洞

状态检测技术(1/3)


FTP、HTTP状态
TCP、UDP状态
IP、TCP、UDP包报头
状态表
过滤后的数据流量
过滤前数据流量
应用层
TCP层
IP层
链路层

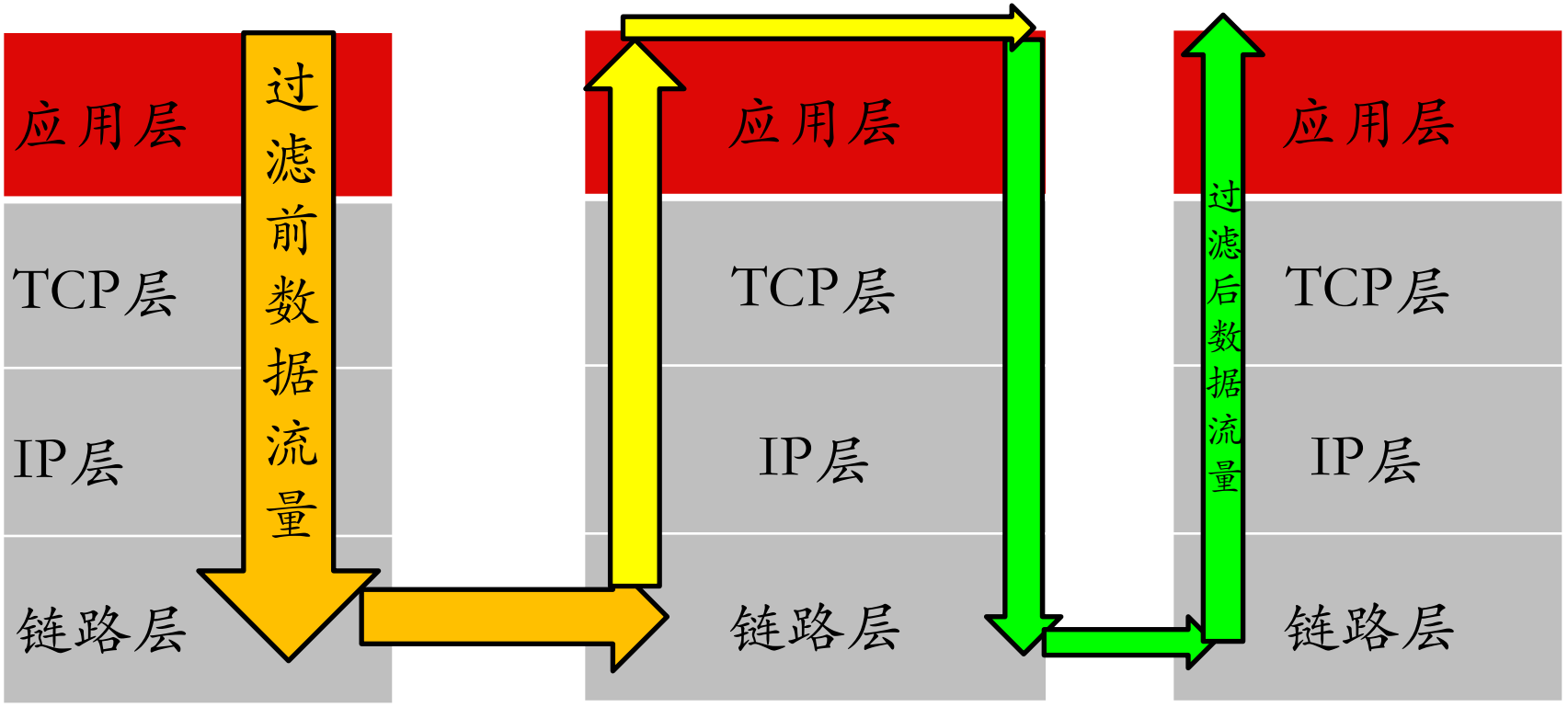
状态检测技术(2/3)



状态检测技术(3/3)

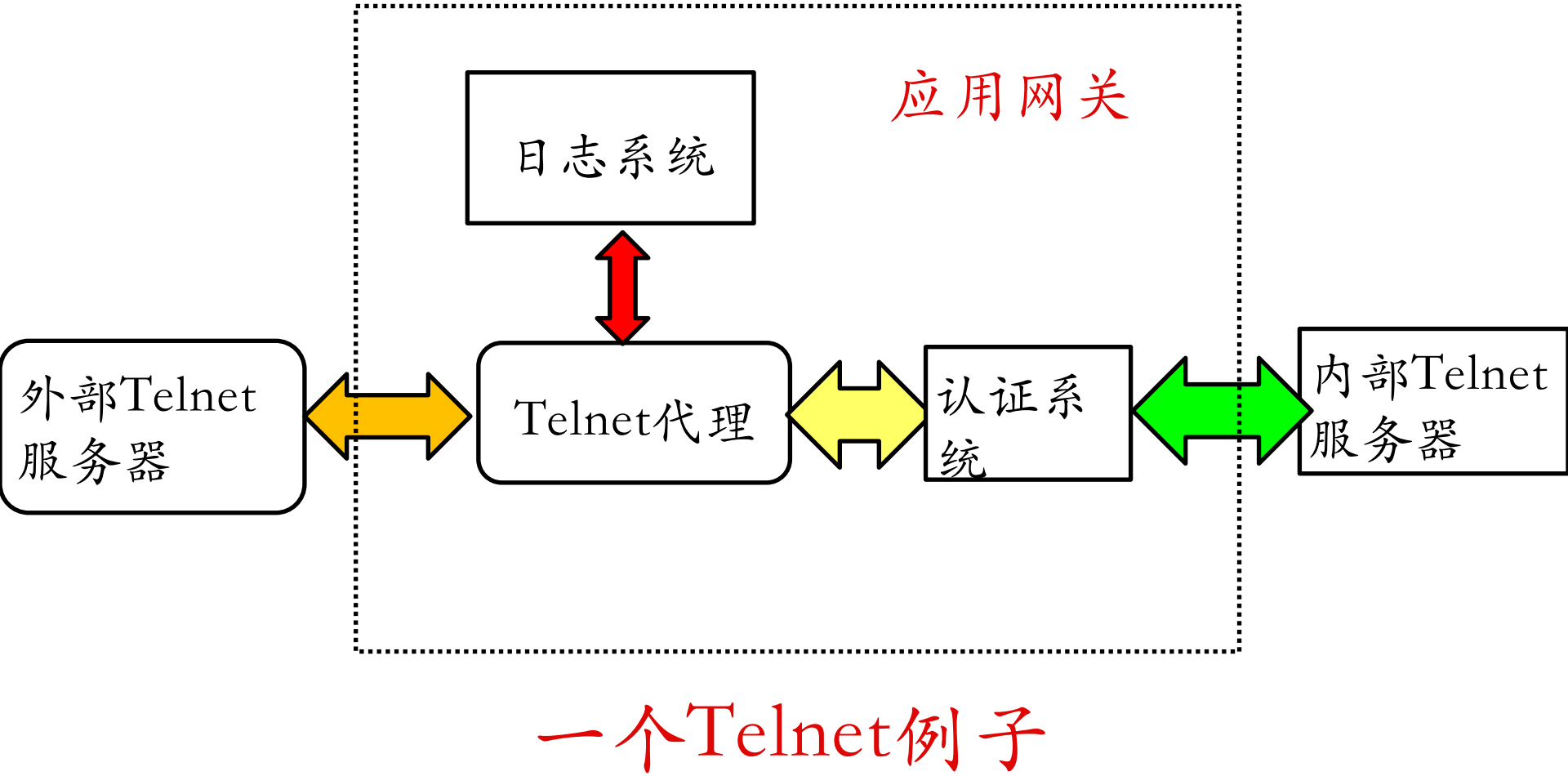
- 优点
  - —状态表是动态建立的，可以实现对一些复杂协议建立的临时端口进行有效的管理
  - —状态检测技术是为每一个会话连接建立、维护其状态信息，并利用这些状态信息对数据包进行过滤
  - —动态状态表是状态检测防火墙的核心，利用其可以实现比包过滤防火墙更强的控制访问能力
- 缺点
  - —没有对数据包内容进行检测，不能进行数据内容级别的控制
  - —允许外部主机与内部主机直接连接，容易遭受黑客攻击

应用级代理(1/4)



外部网络主机　　应用代理型防火墙　　内部网络主机

应用级代理(2/4)



一个Telnet例子

应用级代理(3/4)

- 应用代理原理
  - —当接收到客户方发出的连接请求后，应用代理检查客户的源和目的IP 地址，并依据事先设定的过滤规则决定是否允许该连接请求
  - —如果允许该连接请求，进行客户身份识别。否则，则阻断该连接请求
  - —通过身份识别后，应用代理建立该连接请求的连接，并根据过滤规则传递和过滤该连接之间的通信数据
  - —当一方关闭连接后，应用代理关闭对应的另一方连接，并将这次的连接记录在日志内

应用级代理(4/4)

- 优点
  - —内部网络的拓扑、IP地址等被代理防火墙屏蔽，能有效实现内外网络的隔离
  - —具有强鉴别和日志能力，支持用户身份识别，实现用户级的安全
  - —能进行数据内容的检查，实现基于内容的过滤，对通信进行严密的监控
  - —过滤规则比数据包过滤规则简单
- 缺点
  - —代理服务的额外处理请求降低了过滤性能，其过滤速度比包过滤器速度慢
  - —需要为每一种应用服务编写代理软件模块，提供的服务数目有限
  - —对操作系统的依赖程度高，容易因操作系统和应用软件的缺陷而受到攻击

本章内容提要

- 防火墙发展简史
- 防火墙关键技术原理
- 防火墙的实现技术
- 防火墙的配置和应用

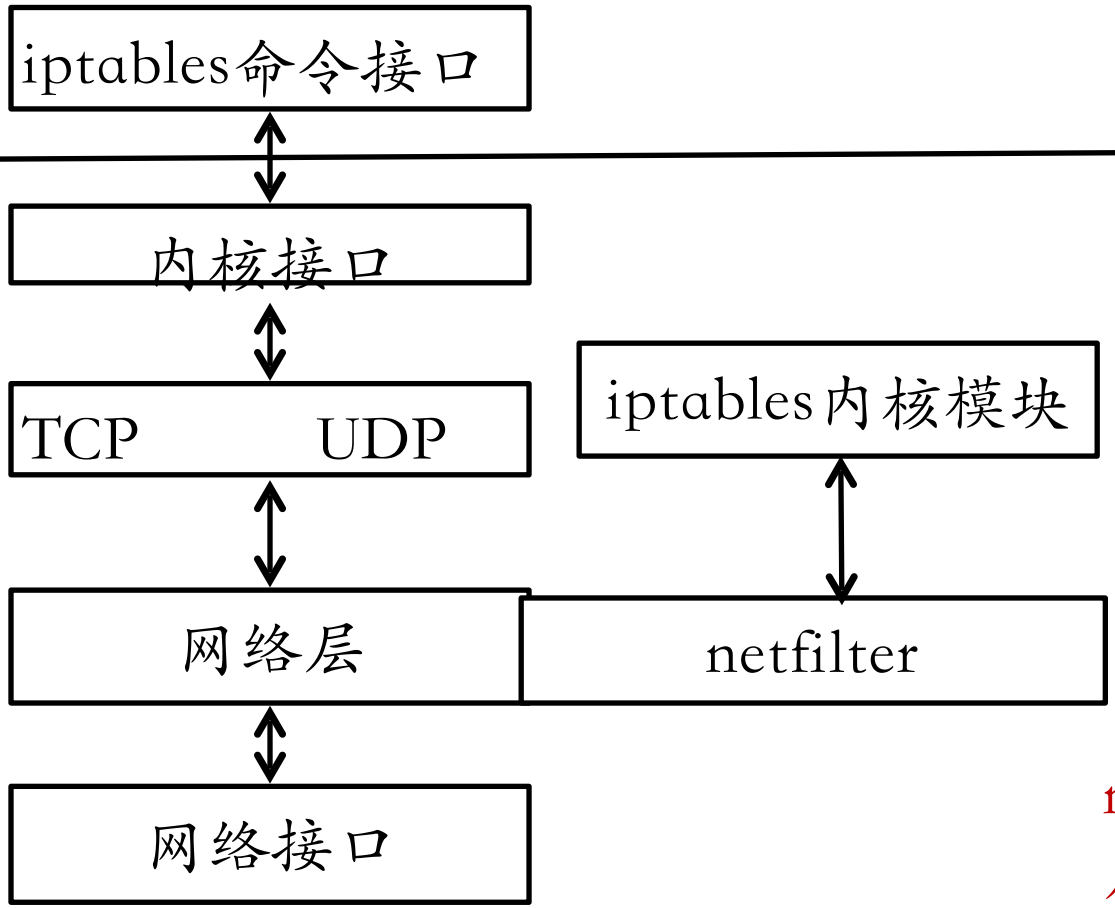
- 以Linux操作系统上的Netfilter/iptables机制为例

Netfilter/iptables框架简介

- Netfilter/iptables从Linux内核版本2.4开始，默认被包含在内核源代码树中
- 可以对操作系统的流入和流出数据报文进行控制
  - —防火墙
  - —NAT
  - —数据报文自定义修改
- Netfilter工作在系统内核层
- iptables工作在用户层

Netfilter架构(1/2)

- netfilter是 linux内核中一个强大的网络子系统

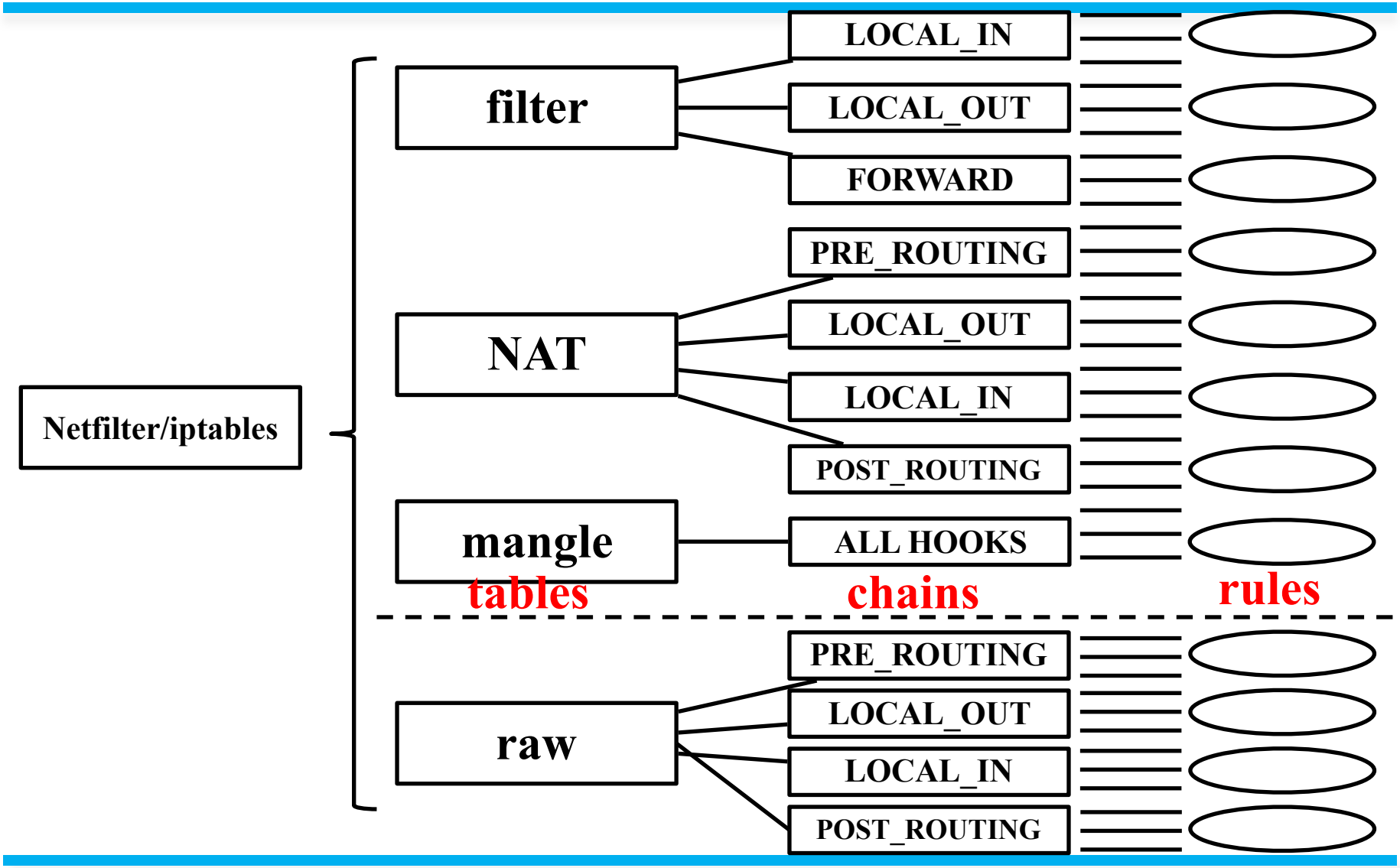


用户空间

内核空间

netfilter位于linux网络层和防火墙内核之间

Netfilter架构(2/2)



Netfilter/iptables基本概念

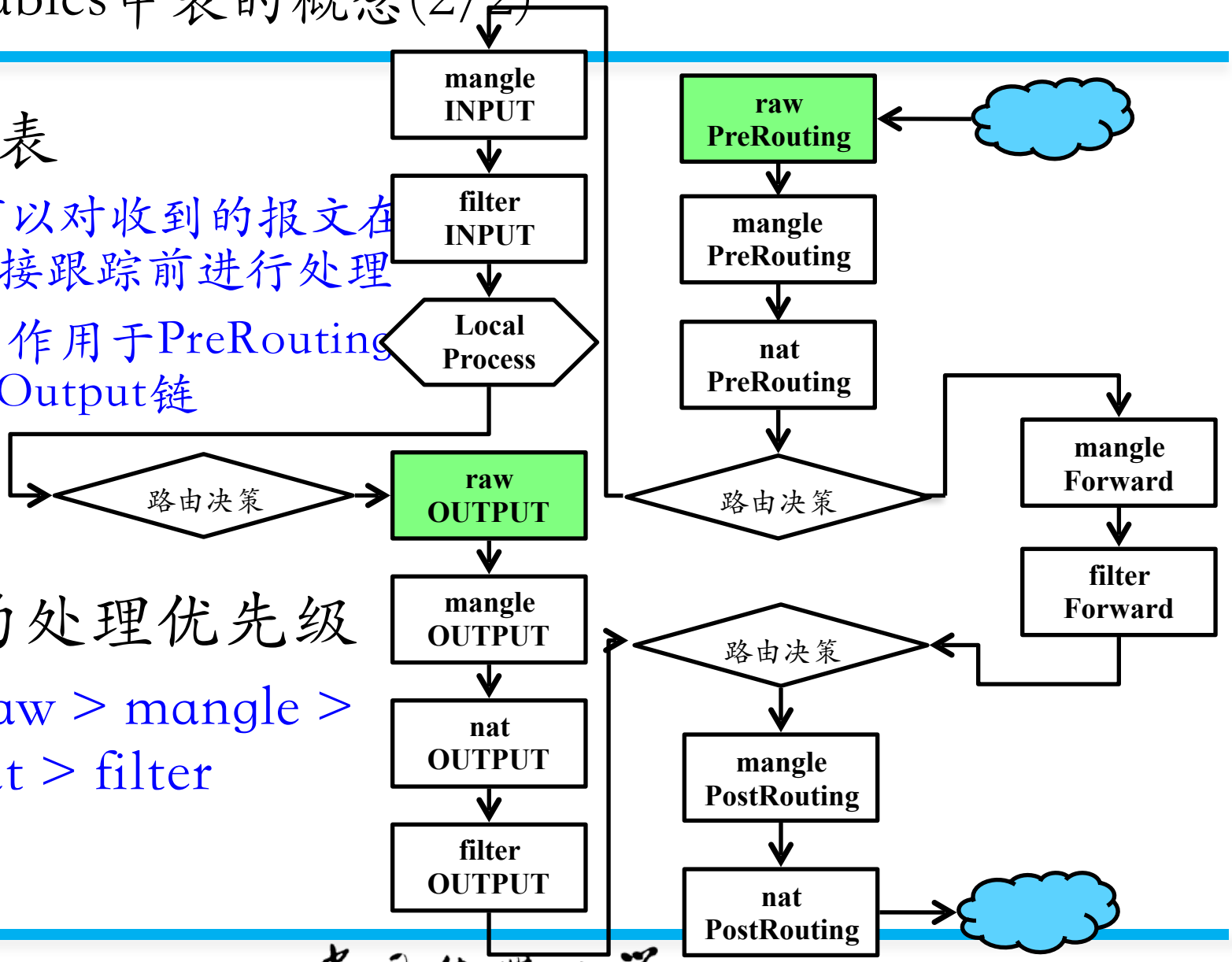
- 表(tables)
  - —filter表、nat表、mangle表、raw表
- 链(chains)
  - —数据包的传输路径，每条链其实就是众多规则中的一个检查清单
    - Input、Forward、PreRouting、PostRouting、Output
- 规则(rules)
  - —网络管理员预定义的网络访问控制策略

iptables中表的概念(1/2)

- filter表
  - —报文过滤
  - —只读过滤报文
- nat表
  - —实现NAT服务
- mangle表
  - —报文处理
    - 修改报文
    - 附加额外数据到报文

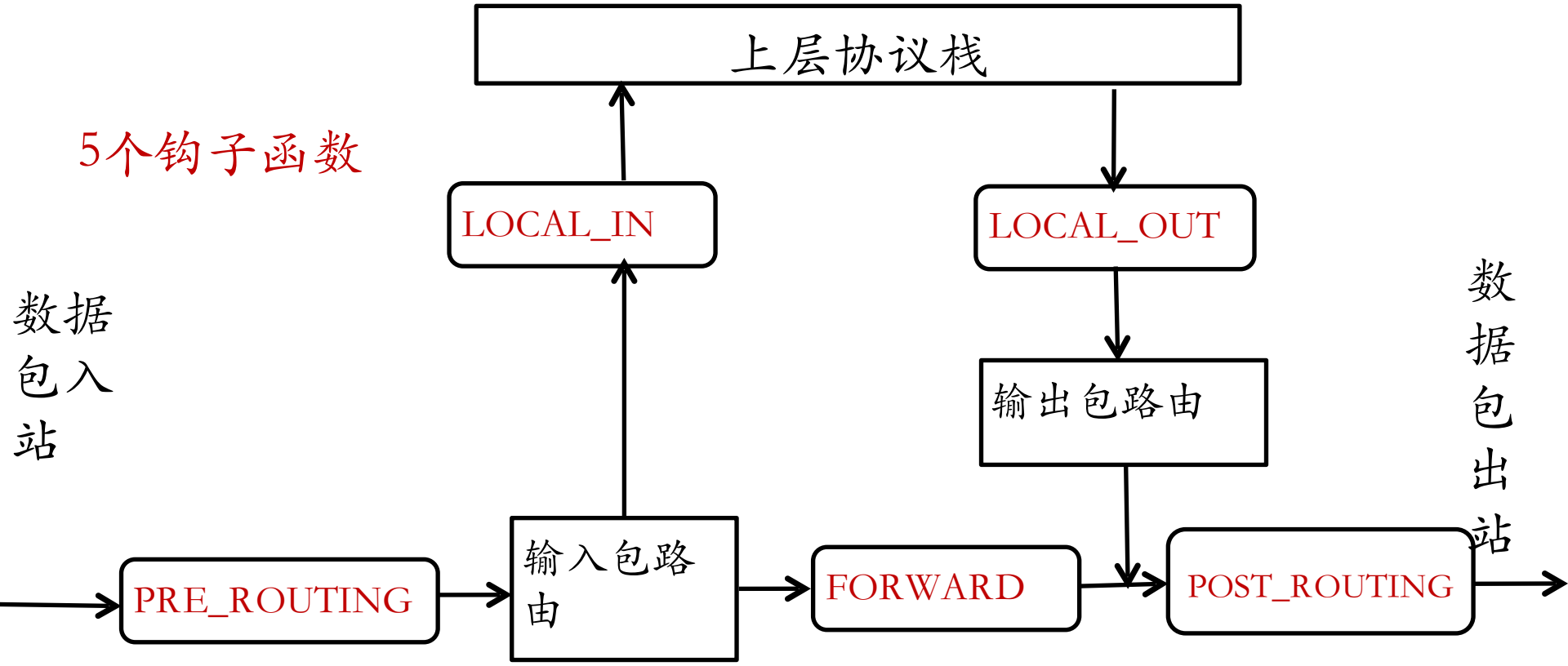
iptables中表的概念(2/2)

- raw表
  - —可以对收到的报文在连接跟踪前进行处理
  - —只作用于PreRouting和Output链
- 表的处理优先级
  - —raw > mangle > nat > filter



Netfilter架构的数据流图(1/2)

- netfilter模块将防火墙功能引入IP层，实现防火墙代码与IP协议栈代码完全分离



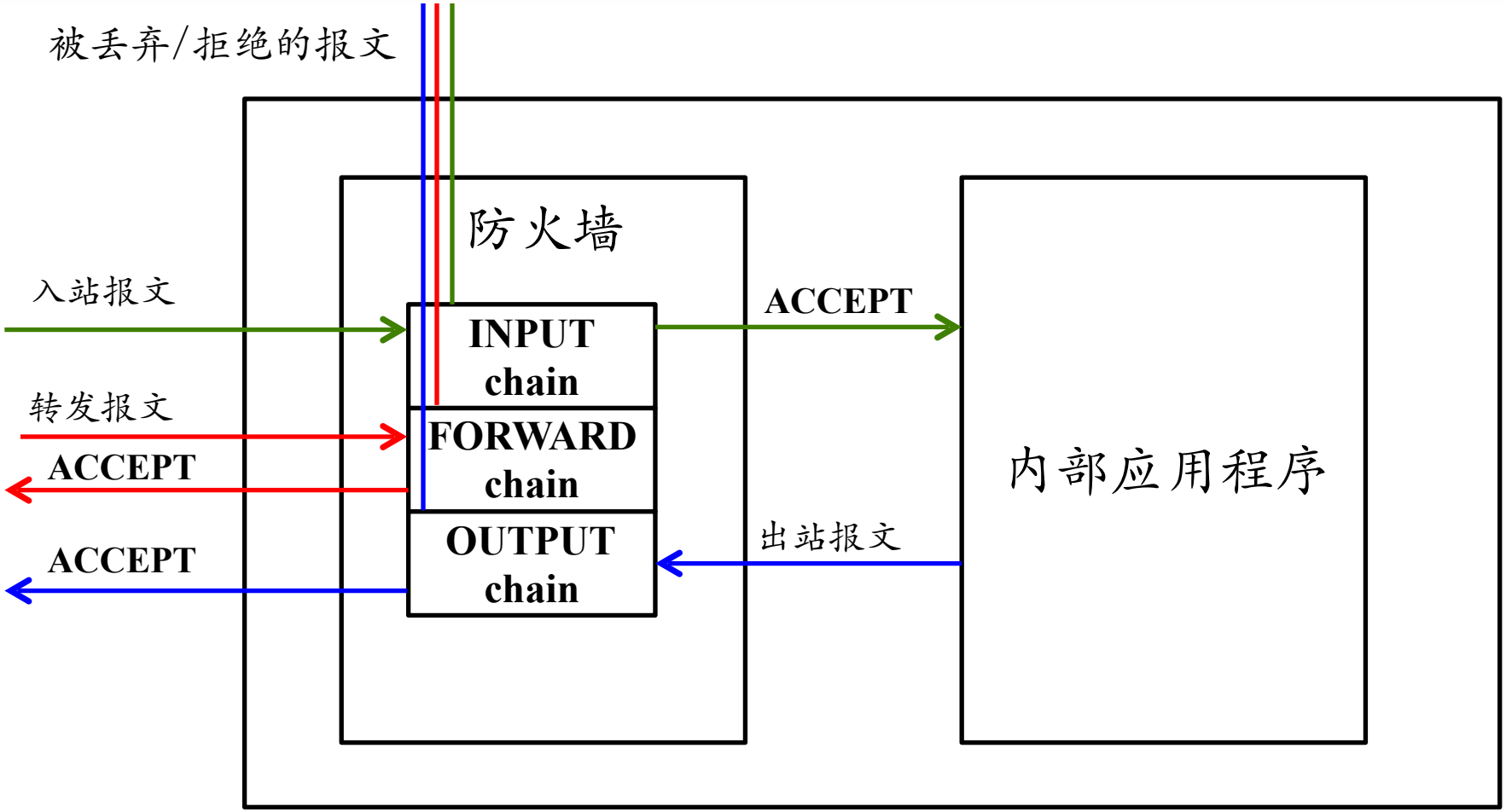
Netfilter架构的数据流图(2/2)

- 对于ipv4协议来说，netfilter在IP数据包处理流程中的5个关键位置定义了5个钩子函数
  - —若数据包是送给本机的，则要经过钩子函数LOCAL_IN处理后传给本机上层协议
  - —若数据包应该被转发，则它将被钩子函数FORWARD处理，然后还要经过钩子函数POST_ROUTING处理后才能传输到网络
  - —本机进程产生的数据包要先经过钩子函数LOCAL_OUT处理后，再进行路由选择处理，然后经过钩子函数POST_ROUTING处理后再发送到网络

iptables防火墙内核模块

- 内核的防火墙模块正是通过把自己的函数注册到netfilter的钩子函数这种方式介入了对数据包的处理
- 函数按功能分为4种
  - —连接跟踪
  - —数据包过滤
  - —网络地址转换
    - SNAT
    - DNAT
  - —对数据包进行修改

Netfilter/iptables防火墙工作原理



部署了**Netfilter/iptables**的操作系统

- 通用CPU架构
- ASIC架构
- 网络处理器架构

通用CPU架构

- 又被称为x86架构
  - —采用通用CPU和PCI总线接口
- 可编程性高
  - —更灵活
  - —更易扩展
- 产品功能主要由软件实现
- 代表产品
  - —大部分的开源/商业软件防火墙（基于*nix系统）

ASIC架构

- Application Specific Integrated Circuit
  - —专用集成电路
  - —一种带有逻辑处理的加速处理器
- 把一些原先由CPU完成的经常性和重复工作交给ASIC芯片来负责完成
  - —交换机、路由器、智能IC卡
- 通常配合通用CPU单元来完成复杂运算
- 代表产品
  - —大部分国外的商业硬件防火墙

NP架构

- Network Processor
  - —网络处理器
- 通用CPU架构和ASIC架构的折衷
  - —开发难度
  - —性能
  - —灵活性/可扩展性
- 代表产品
  - —大部分国内的商业硬件防火墙

三种硬件架构的横向比较

架构类型	X86	NP	ASIC
灵活性	★★★	★★	★
扩展性	★★★	★★	★
性能	★	★★	★★★
安全性	★	★★	★★★
价格	低	中等	较高

本章内容提要

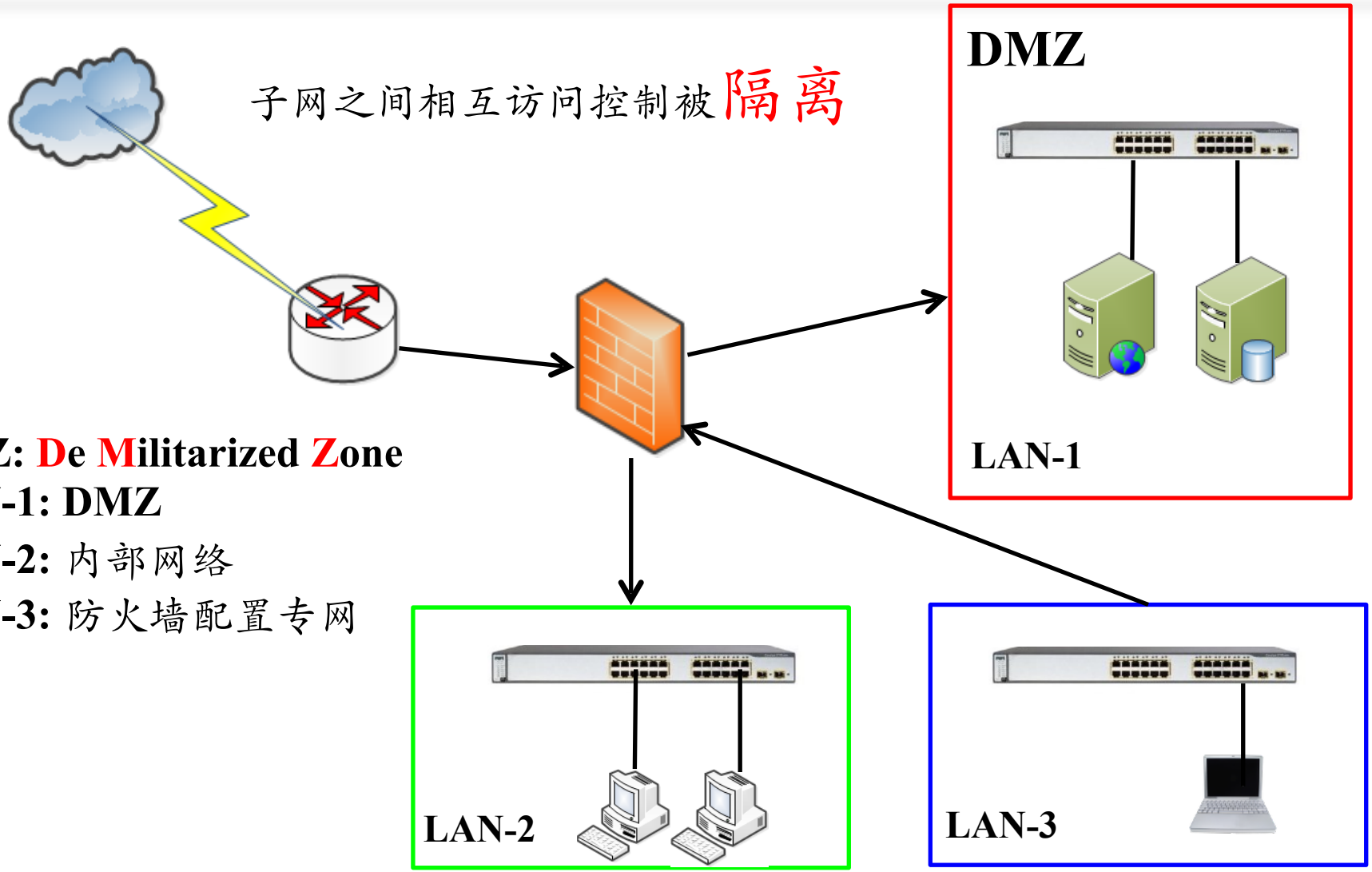
- 防火墙发展简史
- 防火墙关键技术原理
- 防火墙的实现技术
- 防火墙的配置和应用

典型网络部署模型

- 路由模式
- 透明模式
- 混合模式

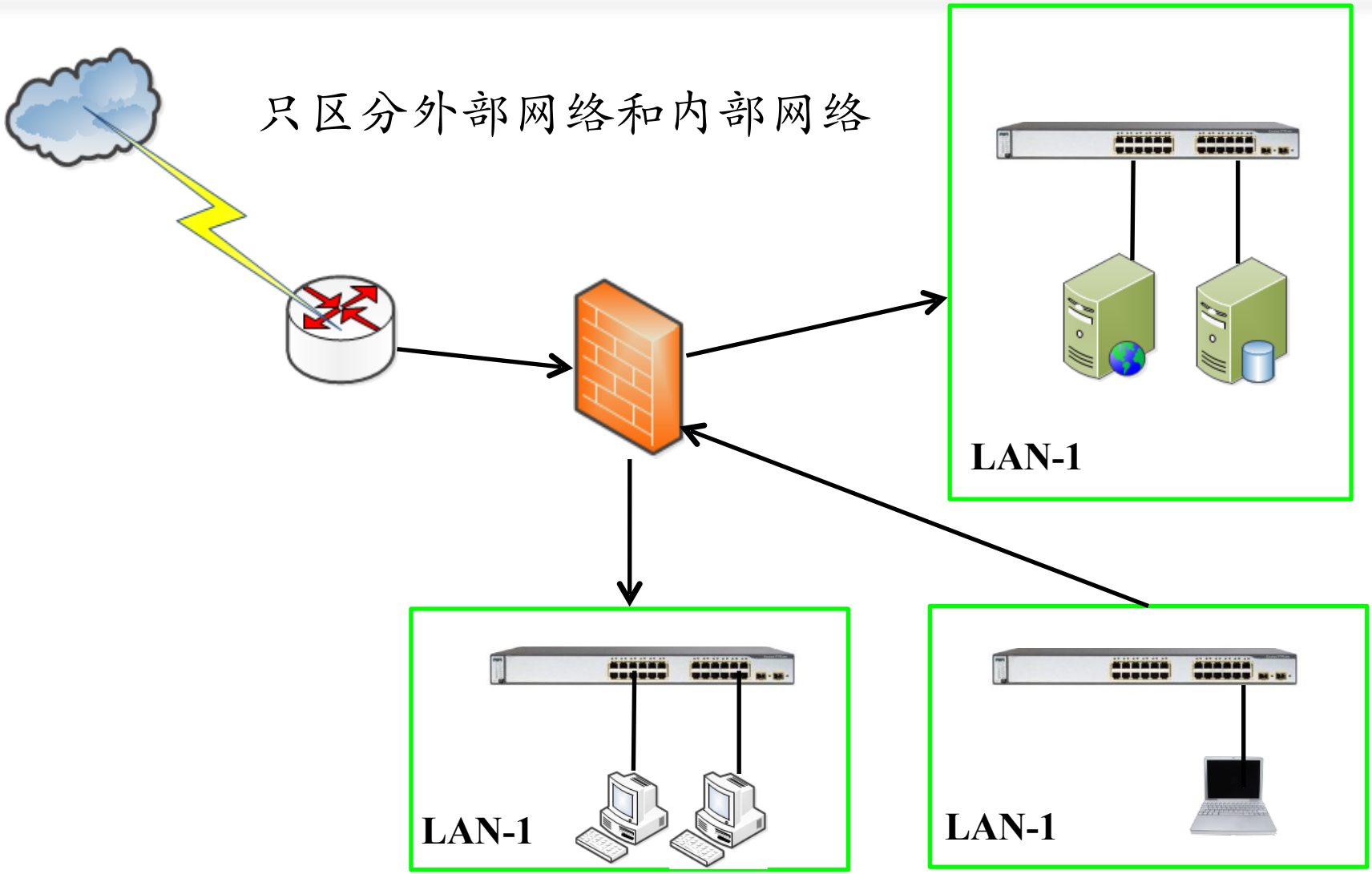
路由模式

子网之间相互访问控制被隔离

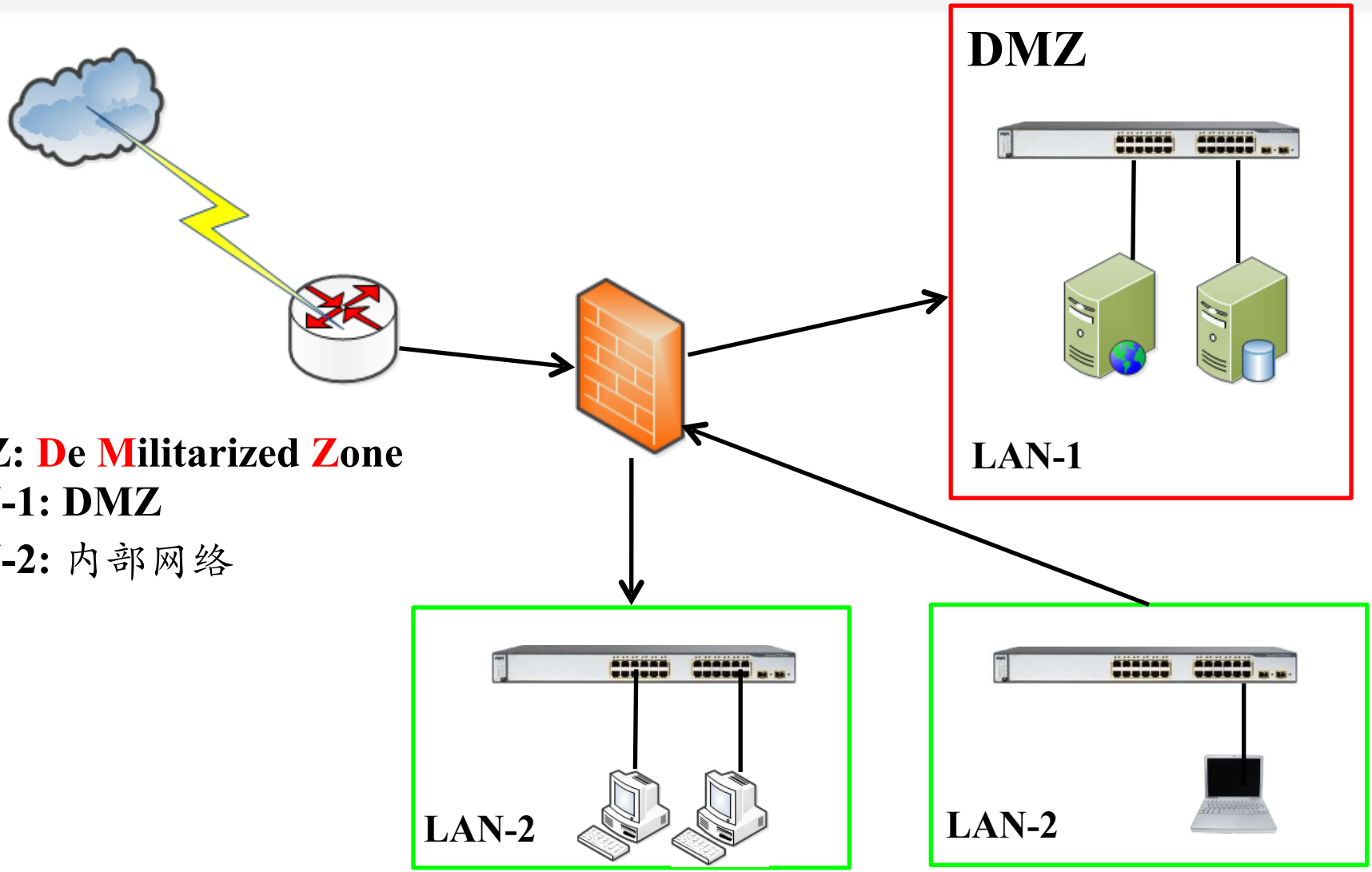


DMZ: De Militarized Zone
LAN-1: DMZ
LAN-2: 内部网络
LAN-3: 防火墙配置专网

透明模式



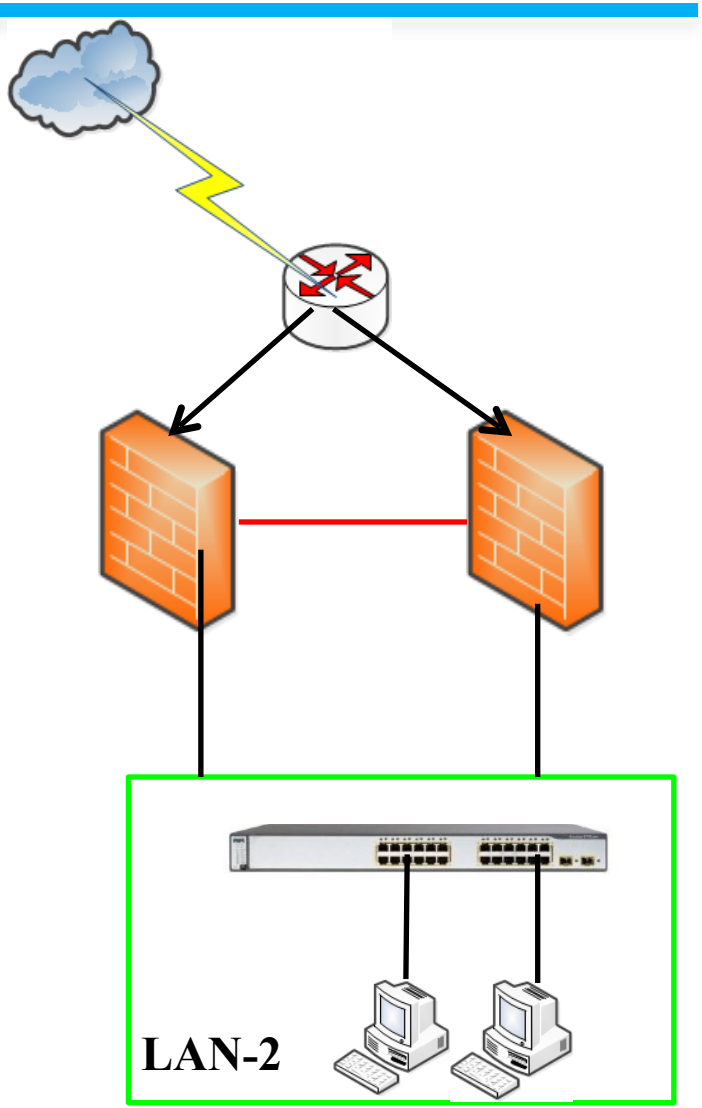
混合模式



DMZ: De Militarized Zone
LAN-1: DMZ
LAN-2: 内部网络

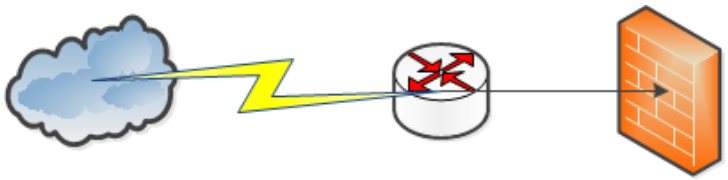
防火墙部署的其他细节(1/2)

- 双机热备模式
  - —避免单点故障
- 负载均衡模式
  - —性能扩展
  - —避免单点故障



防火墙部署的其他细节(2/2)

- 防火墙在网络中的实际部署位置
  - —串行接入在网络设备之前
    - 骨干网路由器防火墙
    - 接入网核心交换机之后的防火墙
  - —串行接入在网络设备之后
    - 小型网络的接入防火墙
    - 内网的子网防火墙
  - —直接部署于应用服务器之上
    - 单机网络防火墙
    - 应用防火墙



单机防火墙配置

- ufw
  - —ufw简介
  - —ufw使用
- iptables
  - —iptables简介
  - —iptables使用

ufw简介

- ufw是为了使linux防火墙更易于使用和管理
- ufw和其他linux类防火墙一样，使用iptable作为后台
- 安装ufw
  - —sudo apt-get install ufw
    - 通常ufw默认安装

ufw使用(1/3)

- 启用ufw
  - —sudo ufw enable
  - —sudo ufw default deny
- 作用
  - —开启了防火墙并随系统启动同时关闭外部对主机的所有访问，本机访问外部正常
- 关闭ufw
  - —sudo ufw disable

ufw使用(2/3)

- 查看防火墙状态
  - —sudo ufw status
- 开启/禁用相应端口和服务举例
  - —允许外部访问80端口
  - —sudo ufw allow 80
  - —禁止外部访问80端口
  - —sudo ufw delete 80
  - —允许此IP访问所有的本机端口
  - —sudo ufw allow from 192.168.1.54

ufw使用(3/3)

- 开启/禁用相应端口和服务举例(续)
  - —禁止外部访问smtp服务
  - —sudo ufw deny smtp
  - —拒绝所有的流量从TCP的10.0.0.0/8到端口22的地址192.168.0.1
  - —ufw deny proto tcp from 10.0.0.0/8 to 192.168.0.1 port
  - —可以允许指定网段访问这个主机
  - —sudo ufw allow from 10.0.0.0/8

iptables命令格式(1/3)

- iptables [-t 表] 命令 匹配 操作
  - —表选项，指定命令应用于哪个内置表(filter表、nat表、mangle表)
  - —命令选项

命令	说明
-P或--policy <链名>	定义默认策略
-L或--list <链名>	查看iptables规则列表
-A或—append <链名>	在规则列表的最后增加1条规则
-I或--insert <链名>	在指定的位置插入1条规则
-D或--delete <链名>	从规则列表中删除1条规则
-R或--replace <链名>	替换规则列表中的某条规则
-F或--flush <链名>	删除表中所有规则
-Z或--zero <链名>	将表中数据包计数器和流量计数器归零

iptables命令格式(2/3)

—匹配选项

匹配	说明
-i<网络接口名>	指定数据包从哪个网络接口进入，如ppp0、eth0和eth1等
-o<网络接口名>	指定数据包从哪块网络接口输出，如ppp0、eth0和eth1等
-p<协议类型>	指定数据包匹配的协议，如TCP、UDP和ICMP等
-s<源地址或子网>	指定数据包匹配的源地址
--sport <源端口号>	指定数据包匹配的源端口号，可以使用“起始端口号:结束端口号”的格式指定一个范围的端口
-d<目标地址或子网>	指定数据包匹配的目标地址
--dport目标端口号	指定数据包匹配的目标端口号，可以使用“起始端口号:结束

iptables命令格式(3/3)

—动作选项

动作	说明
ACCEPT	接受数据包
DROP	丢弃数据包
REDIRECT	将数据包重新转向到本机或另一台主机的某个端口，通常用功能实现透明代理或对外开放内网某些服务
SNAT	源地址转换，即改变数据包的源地址
DNAT	目标地址转换，即改变数据包的目的地址
MASQUERADE	IP伪装，即是常说的NAT技术，MASQUERADE只能用于ADSL等拨号上网的IP伪装，也就是主机的IP是由ISP分配动态的；如果主机的IP地址是静态固定的，就要使用SNAT
LOG	日志功能，将符合规则的数据包的相关信息记录在日志中，以便管理员的分析和排错

iptables的使用(1/3)

- 定义默认策略
  - —当数据包不属于链中任一规则时，iptables将根据该链预先定义的默认策略处理数据包
- 默认策略定义格式
  - —iptables [-t表名] <-P> <链名> <动作>
  - —参数说明
    - 表名,默认策略将应用于哪个表
    - -P,定义默认策略
    - 链名,默认策略应用于哪条链
    - 动作，处理数据包的动作

iptables的使用(2/3)

- 查看iptables规则

  —iptables [-t表名] <-L> [链名]

  - [-t表名],查看哪个表的规则列表
  - -L,查看指定表指定链的规则列表
  - 链名,查看指定表中哪个链的规则链表

- 增加、插入、删除、替换规则

  —iptables [-t表名] <A|I|D|R>链名 [规则编号] [i|o 网卡名称] [-s 源IP地址] [-d 目标IP地址] <-j 动作>

iptables的使用(3/3)

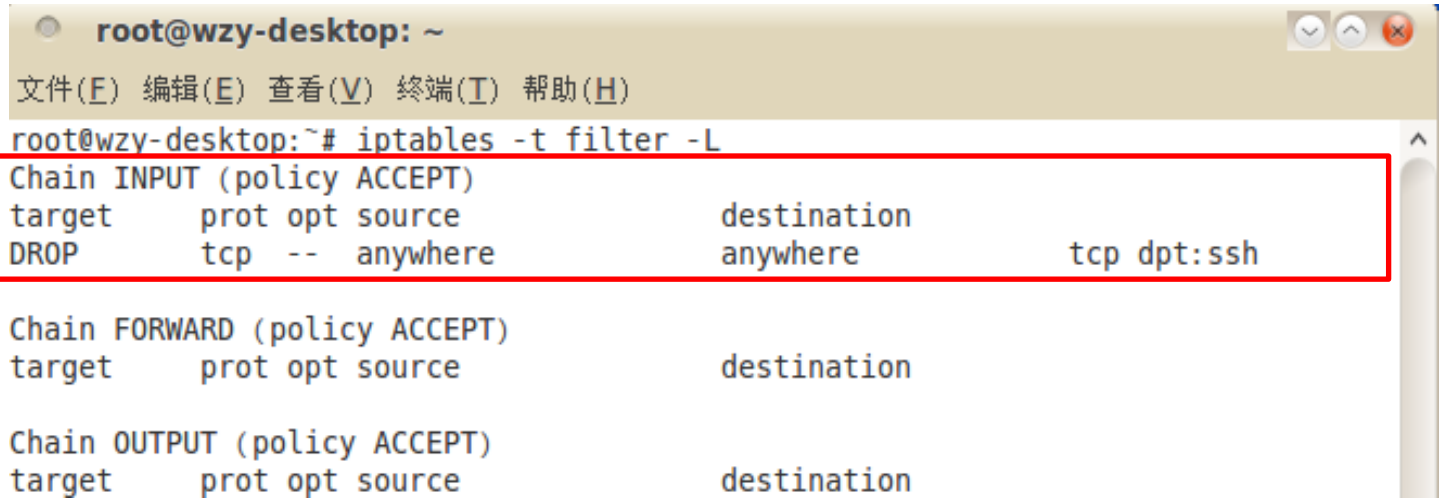
- 清除规则和计数器
  - —iptables [-t 表名] <-F|-Z>
    - [-t 表名]，指定默认策略应用于哪个表
    - -F,删除表中所有规则
    - -Z,将指定表中的数据包计数器和流量计数器归零

iptables配置实例

- 传输层防护实例
  - —禁止其他主机ssh连接自己
  - —防止各种端口扫描
  - —禁止自己主机使用FTP协议下载
  - —禁用DNS接口
- 网络层防护实例
  - —防止ping洪水攻击
  - —屏蔽一个IP
- 数据链路层防护实例

传输层防护实例(1/4)

- 禁止其它机器通过ssh连接自己
  - —iptables -t filter -A INPUT -p tcp --dport 22 -j DROP
- 查看主机防火墙规则
  - —iptables -t filter -L



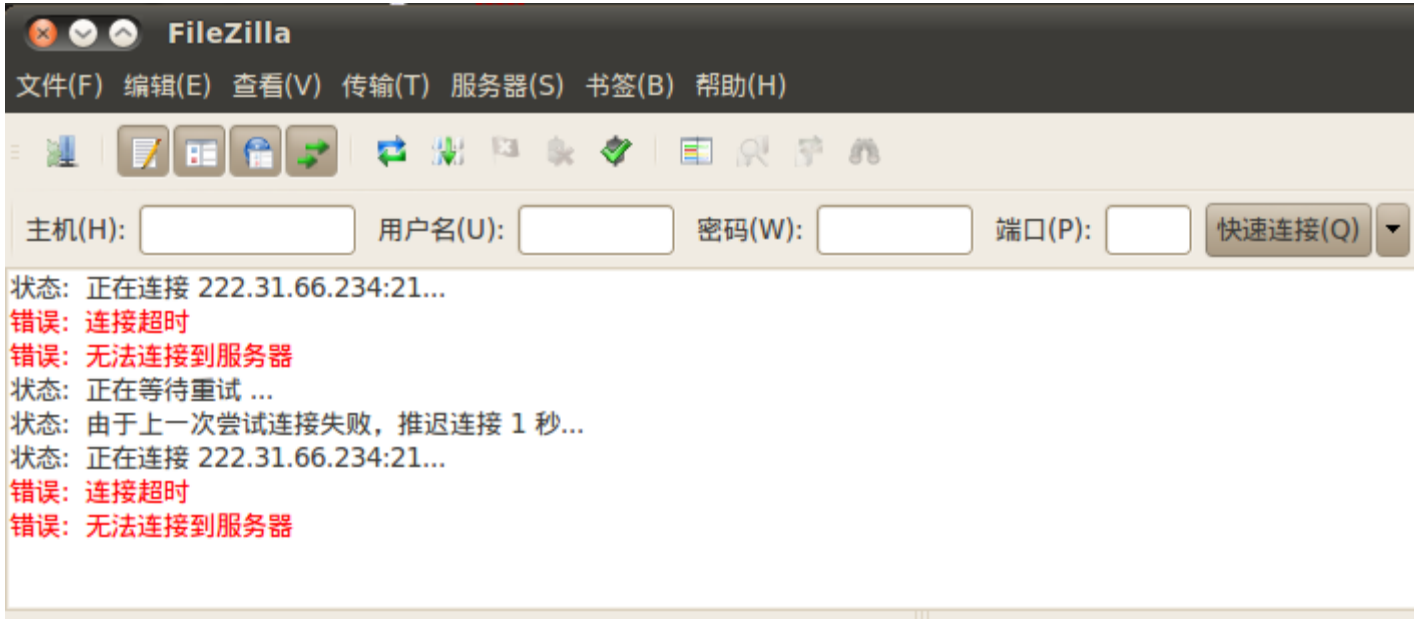
传输层防护实例(2/4)

- 防止各种端口扫描
  - —iptables -A FORWARD -p tcp --tcp-flags SYN,ACK,FIN,RST RST -m limit --limit 1/s -j ACCEPT
- 参数解释
  - — – limit 1/s 表示每秒一次; 1/m 则为每分钟一次

传输层防护实例(3/4)

- 禁止自己主机使用FTP协议下载（即封闭TCP协议的21端口）

  —iptables -I OUTPUT -p tcp --dprot 21 -j DROP



传输层防护实例(4/4)

- 禁用主机的DNS端口(DNS为UDP协议，使用53端口)

  —iptables -I OUTPUT -p udp --dport 53 -j DROP

- 防止ping洪水攻击
  - —iptables -A FORWARD -p icmp --icmp-type echo-request -m limit --limit 1/s -j ACCEPT
  - —说明
    - 限制ping的并发数，每秒一次
- 限制一个ip访问自己主机
  - —iptables -A INPUT -s 192.168.1.102 -j DROP
  - —说明
    - 限制了ip地址为192.168.1.102主机对自己的访问

数据链路层防护实例

- 阻断来自某个mac地址的数据包
  - —iptables -A INPUT -m mac --mac-source 00:1e:ec:f0:ae:77 -j DROP
  - —说明：
    - 阻断了mac地址为00:1e:ec:f0:ae:77 对本机的连接
- 查看本机iptables表

```
root@wzy-desktop: ~
文件(F) 编辑(E) 查看(V) 终端(T) 帮助(H)
root@wzy-desktop:~# iptables -t filter -L
Chain INPUT (policy ACCEPT)
target     prot opt source               destination
DROP       all  --  anywhere             anywhere            MAC 00:1E:EC:F0:AE:
77

Chain FORWARD (policy ACCEPT)
target     prot opt source               destination

Chain OUTPUT (policy ACCEPT)
target     prot opt source               destination
```

基于防火墙实现NAT

- 什么是私有地址
- 什么是NAT
- NAT的工作原理

私有地址

- 私有地址(private address)属于非注册地址，是专门为组织机构内部使用而划定的

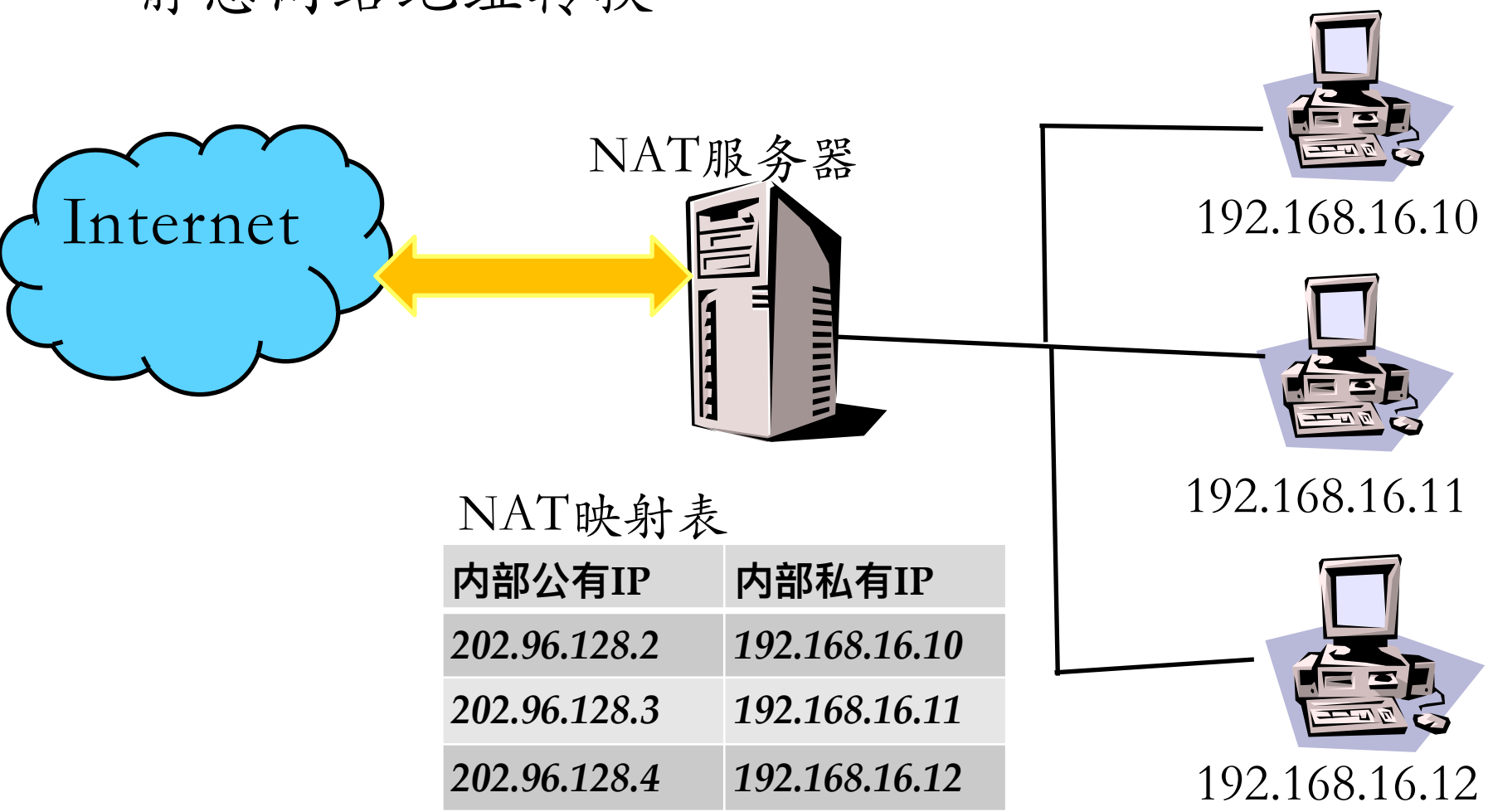
私有IP地址范围	子网掩码
10.0.0.0～10.255.255.255	255.0.0.0
169.254.0.0～169.254.255.255	255.255.0.0
172.16.0.0～172.31.255.255	255.255.0.0
192.168.0.0～192.168.255.255	255.255.255.0

NAT

- NAT是将一个地址域(如专用Intranet)映射到另一个地址域(如internet)的标准方法
  - —NAT可以将内部网络中的所有节点的地址转换成一个IP地址，反之亦然
  - —可以应用到防火墙技术里，把个别IP地址隐藏起来不被外部发现，使外部无法直接访问内部网络设备

NAT工作原理(1/3)

- 静态网络地址转换

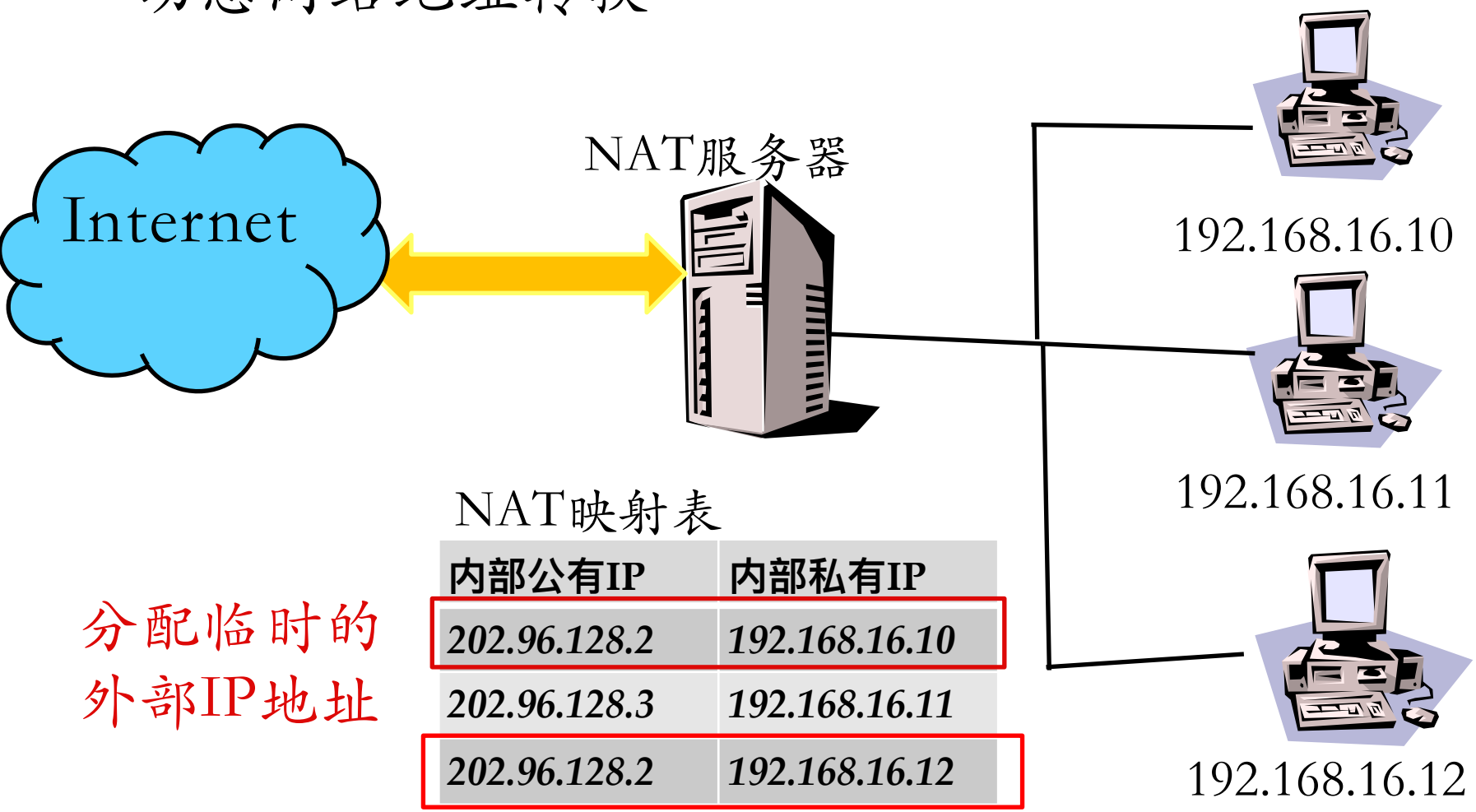


NAT映射表

内部公有IP	内部私有IP
202.96.128.2	*192.168.16.10*
202.96.128.3	*192.168.16.11*
202.96.128.4	*192.168.16.12*

NAT工作原理(2/3)

- 动态网络地址转换



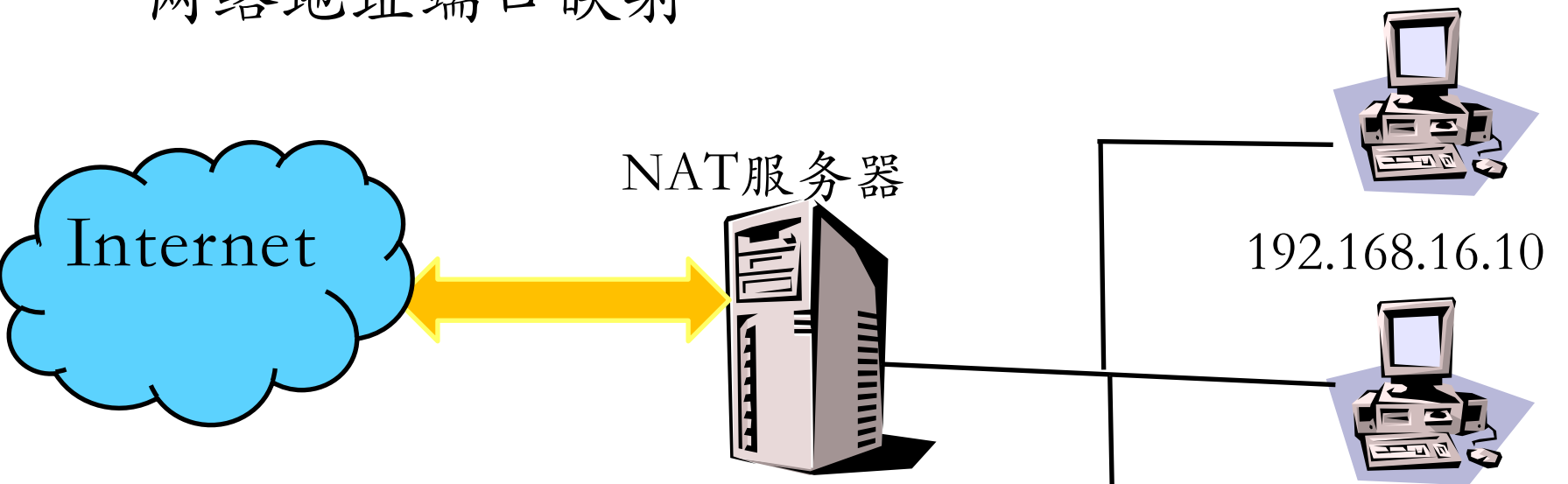
NAT映射表

内部公有IP	内部私有IP
202.96.128.2	192.168.16.10
202.96.128.3	192.168.16.11
202.96.128.2	192.168.16.12

分配临时的外部IP地址

NAT工作原理(3/3)

- 网络地址端口映射



NAT映射表

内部公有IP	内部私有IP
202.96.128.2:3200	192.168.16.10
202.96.128.2:3206	192.168.16.11
202.96.128.2:3542	192.168.16.12

映射到同一IP地址不同端口

使用实例(1/2)

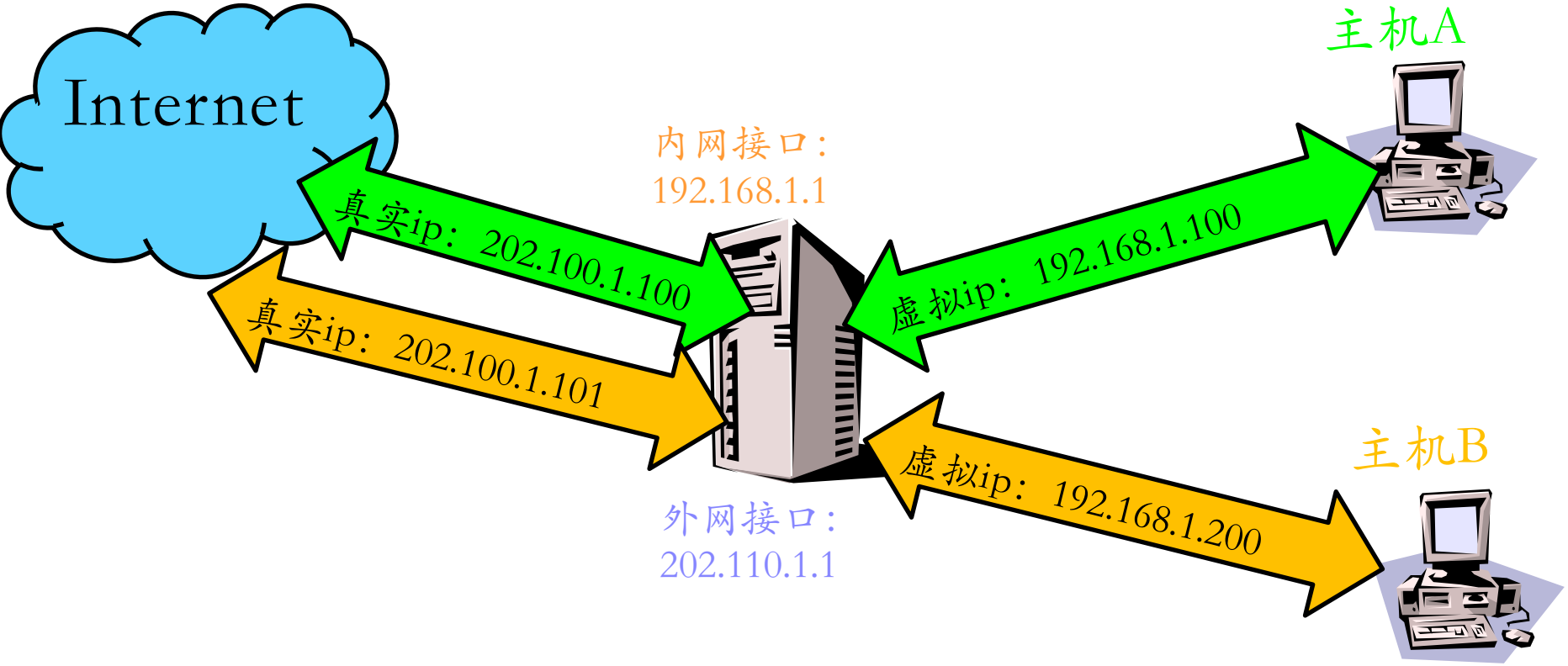
- 源NAT
  - —更改所有来自192.168.1.0/24的数据包的源ip地址为1.2.3.4
  - —iptables -t nat -A POSTROUTING -s 192.168.1.0/24 -i eth0 -jSNAT to 1.2.3.4
    - 注意，系统在路由及过虑等处理直到数据包要被送出时才进行SNAT

使用实例(2/2)

- 目的SNAT(DNAT)
  - —更改所有来自192.168.1.0/24的数据包的目的ip地址为1.2.3.4
  - —iptables -t nat -A PREROUTING -s 192.168.1.0/24 -i eth1 -jDNAT--to 1.2.3.4
    - 注意，系统是先进行DNAT，然后才进行路由及过虑等操作

iptables实现NAT综合实例

- IP映射情景



IP映射原理

- 将分配给主机A、B的真实IP绑定到防火墙的外网接口
  - —ifconfig eth0 add 202.110.1.100 netmask 255.255.255.0
  - —ifconfig eth0 add 202.110.1.101 netmask 255.255.255.0
- 对防火墙接收到的目的ip为202.110.1.100和202.110.1.101的所有数据包进行DNAT
  - —iptables -A PREROUTING -i eth0 -d 202.110.1.100 -j DNAT--to192.168.1.100
  - —iptables -A PREROUTING -i eth0 -d 202.110.1.101 -j DNAT--to192.168.1.200

IP映射原理

- 对防火墙接收到的源ip地址为192.168.1.100和192.168.1.200的数据包进行SNAT
  - —iptables -A POSTROUTING -o eth0 -s 192.168.1.100 -j SNAT--to202.110.1.100
  - —iptables -A POSTROUTING -o eth0 -s 192.168.1.200 -j SNAT--to202.110.123.101

防火墙规则调试(1/2)

- 查看概要统计数据
  - —iptables -L -v

```
Chain INPUT (policy DROP 15986 packets, 931K bytes)
 pkts bytes target     prot opt in     out     source               destination
30642   33M ACCEPT     all  --  lo     any     anywhere             anywhere
  157 79153 DROP       tcp  --  any    any     anywhere             anywhere             tcp flags:!FIN,SYN,RST,ACK/SYN state NEW
2287K 1227M ACCEPT     all  --  any    any     anywhere             anywhere             state RELATED,ESTABLISHED
   49  3008 ACCEPT     tcp  --  any    any     anywhere             anywhere             tcp dpt:8322 state NEW
27246 1563K ACCEPT     tcp  --  any    any     anywhere             anywhere             tcp dpt:www state NEW
 1117 68884 ACCEPT     tcp  --  any    any     anywhere             anywhere             tcp dpt:https state NEW
   72  4472 ACCEPT     icmp --  any    any     anywhere             anywhere             icmp echo-request

Chain FORWARD (policy DROP 0 packets, 0 bytes)
 pkts bytes target     prot opt in     out     source               destination

Chain OUTPUT (policy ACCEPT 1702K packets, 1600M bytes)
 pkts bytes target     prot opt in     out     source               destination
30642   33M ACCEPT     all  --  any    lo      anywhere             anywhere
```

- 日志法
  - —-j LOG --log-prefix "DEBUG_IPT"
  - —-t raw -A PREROUTING -j TRACE
  - —-t raw -A OUTPUT -j TRACE

  } syslog /var/log/kern.log

- 黑盒测试
  - —利用扫描器

防火墙规则调试(2/2)

- 备份当前防火墙规则到文件

  —iptables-save > iptables.rules

- 从文件恢复防火墙规则

  —iptables-restore < iptables.rules

防火墙规则安全审查

- 静态分析工具
  - —防火墙规则的语义理解
    - 数据流图分析
    - 自动化规则树生成
  - —举例
    - ITVal（见参考文献）
- 黑盒测试工具
  - —基于网络扫描器的fuzz测试

参考文献

- Netfilter/iptables官方文档 http://www.netfilter.org/
- iptables的相关概念和数据包的流程 http://selboo.com.cn/post/721/
- Robert Marmorstein , Phil Kearns, A Tool for Automated iptables Firewall Analysis, 2005 USENIX Annual Technical Conference

课后思考题

- 防火墙的典型网络部署方式有哪些
- 防火墙能实现的和不能实现的防护各有哪些