

第 1 章：计算机网络和因特网

什么是因特网？

具体地说就是：终端节点或端系统（运行应用程序）。端系统通过通信链路和分组交换机连接到一起。**链路：传输速率**通常比比特每秒（bps）慢得多，因此难以从它自己的链路速率收到它的分组。并且它的一条出去通信链路转发分组。端系统的分组交换机是路由器（通常用于网络核心）和**链路层交换机**（通常用于接入网）。当数据从一端系统发送到另一端时，发送端将数据分组，并为每段链路加上帧头字节，形成**分组**。从发送到接收端，一个分组所经过的一系列链路和链路层交换机称为该分组的**路径**。端系统通过**因特网网络层提供（IP）**接口接入因特网，每个 IP 地址是多组主机地址。因特网网络层提供路由服务，各 IP 端系统提供用于各种不同网络层的接口，也为网络层提供提供因特网接口服务，将 web 站连接到因特网，每个 IP 地址都是被管理的，IP 地址是互异的。端系统级分网地址和其他因特网地址都要通过同一协议，该协议是因特网协议中信息包的发送和接收（传输与连接、传输与连接交互、交换设备与交换设备）。TCP 和 IP 是因特网中最重要的两个协议，因特网中的主要协议称为 TCP/IP。因特网网络层由**因特网网络层任务组（IETF）**开发，IETF 将网络层名称称为**传输层（TCP）**。因特网定义了一**由一群端系统 TCP 协议 IP 协议所组成的最大异构组织起来的网络，该定义对于通信链路的实现有指导作用**。IP 内部网地址不重叠。因特网的几个特点：因特网是网络的网络，不存在严格的层次结构，没有统一的网络层定义。

服务层：因特网定义：为分布式应用提供通信服务的基础设施，该定义对于服务接口的应用有指导作用。有序可靠的数据传输服务及可靠的数据交付服务。因特网分布式应用为多路复用及多链路传输的数据系统，并不运行在网络的单一分组交换机上。与因特网传输的数据系统提供**应用层网络接口（API）**，该 API 规定了一个运行在一个端系统上的软件系统因特网数据系统向运行在另一个端系统上的本地软件交付数据的方式。什么协议？一个协议定义了在两个或多个端系统之间交换的报文格式和次序，以及报文交换和接收一条报文或数据单元所采取的动作。

网络结构

网络也称为主机，因为它们容纳（即运行）应用程序。主机有时进一步被划分成两类：客户和服务器。

接入网：接入网是指将端系统连接到其**边缘路由器**的物理链路，边缘路由器是端系统到任何其他远程端系统的路径上的第一台路由器。愿意在连接上采用两种流行的类型：数字用户线路和**数字用户线路（DSL）**；使用已有的数字电话线（双绞线）的线路。数字用户线路（DSL）使用已有的数字电话线（双绞线），中速上行信道（<25Mbps）和普通的电话网电话信道；电话公司用 IP：DSL 调制解调器将数字数据最后再转换为高频信号；近距 5~10 英里内使用。电话因特网接入：利用有线电话公司的有线电话基础设施，同时应用了有线和无线传输。称为混合光纤同轴（HFC），同轴还有有线调制解调器（cable modem）和有线调制解调器连接设备（CMTS）；500~5000 家庭采用下行 428Mbps 和一个重要特性是共享广域网络。下行 30Mbps 上行 20Mbps（DOCSIS 2.0 无线下行 428Mbps 和 30.7Mbps 上行）。**以太网（Ethernet）**：公司网和大学校园以及较大终端机的局域网应用网（LAN）；以太网最为流行的接入技术，使用双绞线技术，以太网双绞线链路传输速率：10Mbps、10Mbps、1Gbps、10Gbps；IEEE802.11 无线 LAN 移动接入（WiFi），使用有线设备几十米内，11Mbps 至 54Mbps。**广域无线接入（3G/LTE）**：移动通信公网络，提供与其他的蜂窝电话网络；数千米，3G 2Mbps，4G 通过**网络媒体**上行 20Mbps。

物理媒体：对于每个传输者-接收者对，通过跨越一种物理媒体将传输电磁波或光脉冲来发送该数据。物理媒体可以有各种形式和尺寸，并且对于通信的传输者-接收者对而言不必具有相同的属性。物理媒体划分为**引导型媒体和非引导型媒体**。沿着网络媒体在空气中或外层空间中传播。**双绞线**：两根铜质的导线，常用在 LAN、电话线路网、10Mbps 到 10Gbps、速率取决于线径与传输距离。**同轴电缆**：两根同心的铜质导线，没有电视电缆，能作短距离无线媒体。光纤：单波长光的电磁波传输，几十儿几百公里，抗电磁干扰，传输功率低损耗低、噪声、低误码率。**无线媒体**：无线线路，并具有穿透墙壁、提供与移动用户的主接口以长距离承载无线媒体；蓝牙（10m）、WiFi（几十米）、红外（室内短距离）、陆地微波（长距离）、卫星（长距离大范围）、可见光（正在研究中的网络）。

网络核心

网络核心是互联不同系统的路由交换机和链路构成的广域网。网络核心的任务是将数据包从发送侧的分组路由器转发到接收侧的边缘路由器。基本问题：数据包如何在网络核心中高效地传输（分组传输延迟小，网络吞吐量高）？

分组交换：将源长报文划分为较小的数据块，称为**分组**。分组对于等于该链路的最大传输速率通过通信链路（Lbit of data）/R(bits/传输速率)秒。**存储转发传输机制**：在数据链路能够开始输出到输出链路传输的第一个 bit 之前必须等待到整个分组。每个分组交换机的多条链路与之相连。对于每个接收到的分组，该分组交换机将其一个输出链路分配给该分组，它用于将分组转发给设备发送那条数据链路的下一站。分组还要等待接收链路的排队时间，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。

电路交换：通过网络链路传输数据时移动数据有某种成本 A。**电路交换和分组交换**、电路交换网络中通信链路**预留了端到端通信资源（像、电路交换网络）**（在分组交换网络中，报文传输使用这些资源，如果是网络不拥挤是不等代价的。传统的电话网是电路交换的网络。该网络被看作一条电路，网络创建时预留了固定的资源，则发送方向可以确保的恒定速率向接收方传输数据。区别是**分组交换的媒体资源**，也可以说**可以通过多种方法或方向共享于独立于该子网电路**，电路是物理媒体的一条子信道。当两台主机通过电路网络在两台主机之间建立一条专用的通信链路时，链路中的链路是**通过预留带宽（带宽）或时分复用（TDM）实现的**。FDM 的链路为每一个连接专用一个信道，频段的宽度称为频带的（bandwidth）TDM 中间时间划分为固定时间段的帧，帧被划分为固定时间段的帧，帧的每个时间段为每个连接专门预留。**TDM 电路的传输速率=帧速率×每个帧中的 bit 数**。**电路交换的缺点**：**静态预留带宽**电路带宽利用率较低；创建端到端电路所需端到端时间是复杂的，需要复杂的命令软件以协调端到端网络资源的操作。**分组交换的缺点**：分组交换服务共享式服务，由于端到端排队延迟是不可控制和不可预期的（可能丢包），并且不能保证服务质量（带宽）。**分组交换的优点**：提供更易的带宽利用，比电路交换简单而更有效，实现成本更低。分组交换通常突发数据。

网络结构：接入 IP、地区 IP、第一层 IP、存在点（PoP）：低层 ISP 接入高层 ISP 的端口，多播：一个低层 ISP 可以接入多个高层 ISP；对称：每层层次的 ISP 都至少尝试以试图向上层；因特网交换点（IXP）：第三方公司创建，多个 ISP 可以在这里对等；**内容提供者网络**。

分组交换中的时延、丢包和吞吐量

分组交换中的时延问题：当分组从一个节点沿着这条链路到达后继节点时，该分组在沿途的每个节点经历了几个不同类型的延迟：结点处理时延、排队时延、传输时延、传播时延，累加起来就是结点总时延。排队时延：检查分组是否到达该节点的时点而检查 bit 级别的时延（微秒级或更低）。排队时延：分组在链路路上等待传输时，取决于它前面到达的分组的数量和网络拥塞度，是流量属性和性质上的函数。（差异大，毫秒到秒级）传播时延：L bit 延迟的时延。在 b rps 的链路上，传播时延是 L/R，是得将具有比特率的链路所需的时间。（毫秒到秒级）传播时延：从该链路的起点到数据帧所需要的时间，速率取决于

物理媒体，通常是 2/3~1 倍光速。传播时延是 d/s，d 距离，s 速率。（百毫秒到几毫秒）。总时延 d_nodeal+d_prop（处理+传输）+d_trans（排队）+d_prop（传输）。这些成分或延迟的不可靠可能差异大（如卫星通信）。**排队时延和时延**：不同系统之间的一个排队延迟对不同的节点可能是不同的，本在排队时延一般使用统计量来度量。s 表示分组到该链路的平均速率（分组每秒），R 传输速率，L 分组大小 bit，L/ra 为排队时延。到达速率高，排队时延也高。大时延系统的**资源利用率不能大于 1**，L/ra 不能超过 1。到达速率高性能影响时延高，分组拥挤到达时延时延更低，接近于 1，到达的排队时延迅速增加，平均排队时延的增加导致时延大多数的增加。一条链路拥挤的队列只有有限的数据量，尽管排队延迟并不依赖于拥挤的队列设计或容量。因为排队时延量是有限的，随着流量密度接近 1，排队时延甚至成几何级数增长。相反，到达的分组会发现一个满的队列，路由丢弃该分组，则该时延将变长。分组丢失的时延随着流量的密度的增加而增加。一个结点的性能常常与它前面队列的时延量有关，并且根据该时延丢失的概率要度量。

端到端时延：端到端时延：分组传输路径上所有结点的节点延迟之和。对端到端延迟敏感的应用：高度敏感（商务交互应用如网络电视视频会议），中间敏感（在线交互应用和网络浏览）。其他一些要求更低的：作为它协议的一部分，希望向其它媒体传输数据的端系统可以有意地延迟它的传输以与其端系统共享媒体。媒体分组化时延，经 IP 组播应用中间，发送方在想因特网传输之前必须首先编码数据为二进制语音填充一个帧，这个应用为如何分组化。

计算机链路中的吞吐量：在任何时间瞬间的**瞬时吞吐量**是目的主机接收到的数据的速率(bps)，文件传输的**平均吞吐量**是文件总文本数 bit / 总时间。吞吐量是 min(R1,R2,...,Rn)即为了**瓶颈链路**的传输速率。公共链路速率是 min(R1,R2,R3,R4)。速率取决于**数据流通过的链路的传输速率**，不仅取决于沿路链路的传输速率，而且取决于子网延迟。特别是，如果许多其他的流量也通过这条链路路由，一条具有高传输速率的链路仍然可能称为链路的瓶颈链路。

协议层及其服务提供：**分层的网络模型**：每个层次与下一层的结合在一起，实现了某些功能、服务。系统分层：将系统按功能划分为一系列不同的层次，每一层实现一功能（服务）。**层间交互模型**：每一层的功能实现都依赖于其下各提供服务的**服务**。每个服务通过下列方式提供服务：1. 在该层中执行了某项动作 2. 使用下层提供的服务。**分层的优点**：显示的层结构易于理解，每个层的部分都互有相关性，模块化简化了系统的维护和升级（改变某层的实现方式对于其他层没有影响）。网络层位于以层的方式组织起来以及实现这些层议的网络硬件和软件。每个协议属于这些层次之一。某层向它的上一层提供的服务，即所谓**上一层的服务提供**。一个协议能够与软件、硬件设备的结合实现（应用层和服务层提供数据的数据件实现。物理层和数据链路层是在与链路相关的物理接口中实现，网络层是硬件设备实现）。一个层间协议划分层在构成该网络的系统、分网交换机和其他组件中，也就是说是 n 层协议的不同部分常常分布于这些网络系统的各部分中）。协议分属具有概念化结构化的化过程，分属提供了一种按化方式来讨论系统结构，模块化使系统具有组件化特点。**分层的缺点**：一层可能允余较低层的性能，某层的功能可能需要在其他某层更易于出现的性能，这造成了层次之间的冗余。各层的所有协议按协议协议：**物理层、链路层、网络层、传输层和应用层**。**应用层**：应用程序层接口及它的应用层协议存留的地址。分布在多个端系统上，一个端系统的应用程序使用接口与另一个端系统上的应用程序交换信息的数据：信息（message）。**传输层**：在应用程序与网络的接口中间（进程-进程）传输数据段（segment）。**网络层**：负责将数据报（datagram）（PP 称为数据包 packet）的网络层分片从一台主机移动到另一台主机。**链路层**：在相邻设备（结点）之间传输帧（frame）。**物理层**：将帧中的一个 bit 从一个节点移动到下一个节点（物理媒体上）。ISO/OSI：应用层、表示层、会话层、传输层、……；这些层留给应用程序开发方处理。

封装：与端系统类，路由器将网络层交换机以多层次的方式组织他们的网络硬件和网络。而路由器和网络层交换机并不实现它们自己的所有层类。链路层交换机实现了物理层和链路层，路由器通过实现了链路层和网络层。本实现了所有五个层次。这体现了封装的概念。一个分组具有两种类型的子层：首部字节和有效载荷字节。有效载荷数据是来自网络上一层的数据。

第 2 章：应用层

网络应用不是计算机网络存在的理由。**应用层协议原理**：研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信。重要的是，你**不需要知道设备在网络上如何连接如路由器链路层接口上运行的软件**，这是变化的，取决于网络拥塞程度。因为缓冲空间的大小是有限的，一个到达的分组可能无法按该分组已被其他等待传输的分组完全充满，在此情况下出现**分组丢弃（丢包）**，到达该分组的延迟已经比该分组之前所经历的延迟大。**当大量分组同时到达时，排队延迟和丢包率严重**。当一个分组到达该网络中的路由器时，路由器检查该分组的目的地地址的一部分，并向一台能够向该目的地转发该分组。每路由器具有一组转发表，用于将目的地址（或一部分）映射到输出链路。因特网具有一些特殊的转发路由协议，用于自动地调整这些转发表（例如链路状态协议）、（分组交换网络：存储转发、动态路由、由输出表系统处理。研发新应用程序时，你需要编写将在多端系统上运行的软件，并能通过网络相互通信

