

3.7 TCP拥塞控制

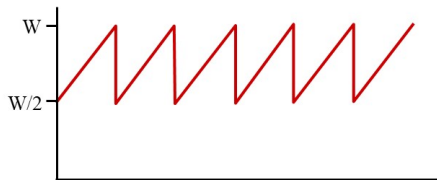


TCP拥塞控制：吞吐率问题讨论

▶ TCP连接的吞吐率与拥塞窗口大小和RTT相关，我们假设：

- ✓ 忽略慢启动阶段
- ✓ 总有数据要发送
- ✓ 设W为丢失事件发生时拥塞窗口的大小，W和RTT不变
- ✓ 一个连接的平均吞吐率

$$\text{一个连接的平均吞吐量} = \frac{0.75 \cdot W}{RTT}$$



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

105

3.7 TCP拥塞控制



TCP拥塞控制：吞吐率问题讨论

▶ TCP长肥管道问题

- ✓ 例如：报文段长度为1500字节，RTT为100毫秒，要获得10Gbps的吞吐率，要求平均窗口长度=83333报文段
- ✓ 假设丢包率为L，则

$$\text{一个连接的平均吞吐量} \approx \frac{1.22 \cdot MSS}{RTT \cdot \sqrt{L}}$$

- ✓ 要获得10 Gbps的吞吐量，则 $L \approx 2 \times 10^{-10}$ （非常小的丢失率，很难达到）
- ✓ 对高速网络需要对TCP进行优化（RFC 3649）

2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

106

3.7 TCP拥塞控制



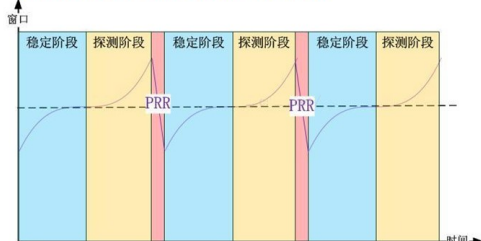
TCP拥塞控制：当前实现的有代表性的几个算法

▶ New RENO算法

- ✓ RENO仅考虑了每次拥塞发生时只丢失一个报文段的情形
- ✓ New RENO主要解决一次拥塞多个报文段丢失，而造成的拥塞窗口和阈值多次折半问题（使TCP吞吐率降低）

▶ Cubic算法

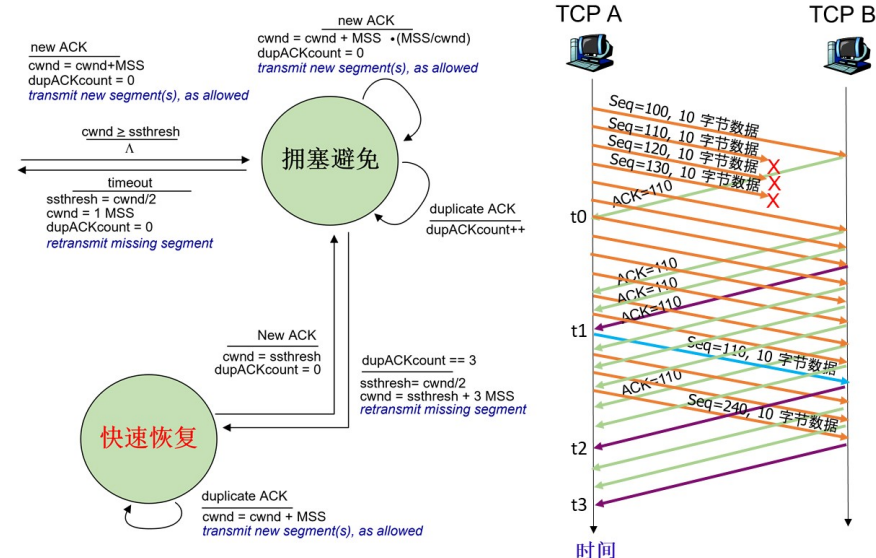
- ✓ Linux内核2.6之后的默认TCP拥塞控制算法
- ✓ 解决由于拥塞窗口的变化对RTT的依赖而造成的不公平性问题



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

110



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

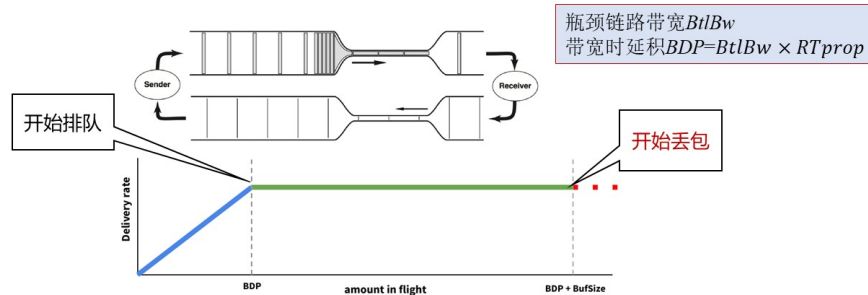
111

3.7 TCP拥塞控制



■ BBR算法 (Bottleneck Bandwidth and Round-trip propagation time)

- ▶ 2016年由谷歌设计提出，目前已集成到Linux 4.9内核中
- ▶ BBR 算法不将出现丢包或时延增加作为拥塞信号，主动探测网络带宽



Neal Cardwell, Yuchung Cheng, C. Stephen Gunn, Soheil Hassas Yeganeh, and Van Jacobson. BBR: Congestion-Based Congestion Control. Communications of the ACM. Vol. 60, No. 2, 2017

2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

113

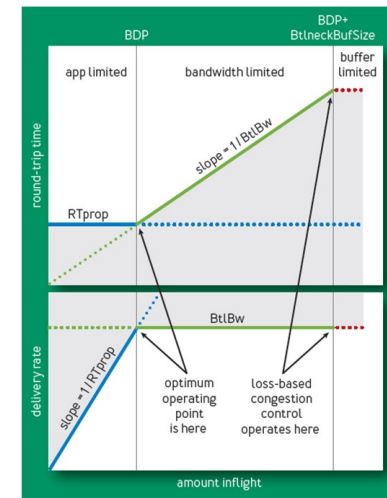
3.7 TCP拥塞控制



■ BBR算法的核心思想

- ▶ 寻找最高吞吐率、最低时延的点
- ▶ 试图测量图中左侧优化点的 $BtlBw$ ，尽量将 $cwnd$ 收敛到实际 BDP ，从而避免出现丢包

- ✓ $RTprop$: 往返时间
- ✓ $BtlBw$: 瓶颈链路带宽
- ✓ BDP : 带宽时延积 $= BtlBw \times RTprop$



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

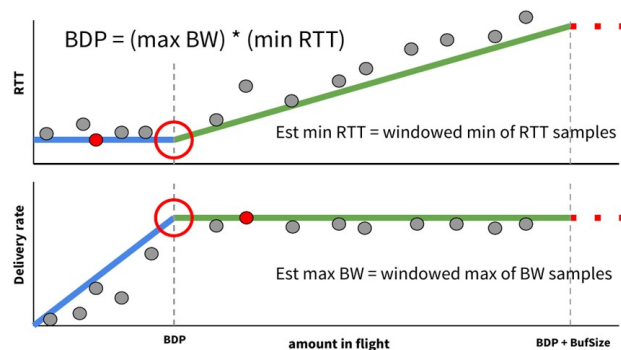
114

3.7 TCP拥塞控制



■ 优化点的近似观测

- ▶ 用过去10秒内的最小RTT(min RTT) 和最大投递率(max BW)，分别近似 $RTprop$ 和 $BtlBw$ ，并依据这两个值估算当前 BDP



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

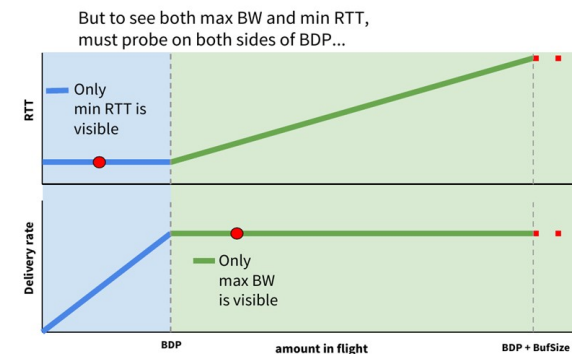
115

3.7 TCP拥塞控制



■ 优化点的近似观测

- ▶ max BW和min RTT不能同时被测得
- ✓ 要测最大带宽，需要把瓶颈链路填满，此时缓存中有排队分组，延迟较高
- ✓ 要测最低延迟，需要保证链路队列为空，网络中分组越少越好， $cwnd$ 较小



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

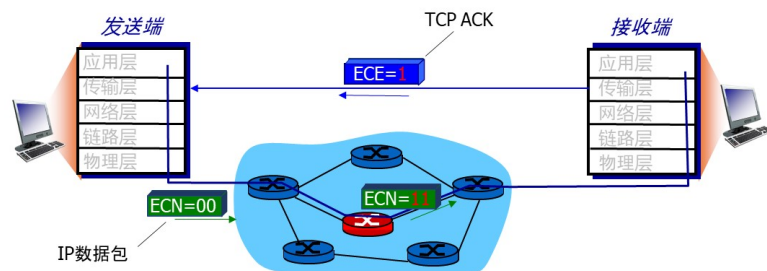
116

3.7 TCP拥塞控制



■ TCP拥塞控制：显示拥塞通知（ECN）

- ▶ 一种网络辅助的拥塞控制机制，在RFC3168中定义
- ▶ 路由器使用IP数据包首部TOS域段中的两位指示网络拥塞
- ▶ 采用前向通知：网络拥塞通知携带到接收端
- ▶ 接收端在返回的ACK中设置ECE位（TCP报文段的保留字段的低位），将网络拥塞通知给发送端



2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

117

总结



■ 传输层基本概念和原理

- ▶ 复用与分用
- ▶ 可靠数据传输
- ▶ 流量控制
- ▶ 拥塞控制

■ 两个典型传输层协议

- ▶ UDP
- ▶ TCP

2022/11/18

计算机网络与信息安全研究室

118