LAB6实验报告

专业	学号	姓名	开始/结束日期	Email
计算机科学与技术系	191220156	张桓	5.29~5.30	2659428453@qq.com

LAB6实验报告

- 实验名称
- 实验目的
- 实验内容
  - Task 2: Middlebox
    - 实现逻辑
    - 核心代码
  - Task3: Blastee
    - 实现逻辑
    - 核心代码
  - Task4: Blaster
    - 准备工作
    - 窗口的实现
    - 窗口的动作
    - 判断结束
  - Task5: Running your code
- 总结感想

实验名称

$Reliable\ \ Communication$

实验目的

本实验中需要建立一个端到端的**可靠通信**，包含三个部分，整体来说就是一个$blaster$通过$middlebox$发送数据包到$balstee$。由于网络层的IP服务是个“尽力而为”的服务($best-effort\ \ service$)，这意味着在数据包在网络中会发生各种各样的错误：丢包，延迟，冗余等等。本实验就是实现一些额外的担保保证通信的可靠：

- 对每个正确收到的包$balstee$需要发送ACK
- 在$balster$处维护一个大小固定的滑动窗口
- $blaster$要对未收到ACK的包超时重传

实验内容

Task 2: Middlebox

> $Middlebox$的结构很简单，**只有两个端口**，它的工作逻辑大概由两部分组成：
>
> - 转发：从一个端口收到一个数据包那么只需要简单从**另一个**端口发出去，甚至不用查询转发表。
> - 单向丢包：当从$blaster$收到发向$balstee$的数据包需要以P的概率丢包$(0 < P < 1)$，这个丢包是单向的，不会丢掉ACK包。

实现逻辑

在转发包的时候需要改写包头的MAC地址，由于$Middlebox$根本没有ARP机制，怎么知道目的MAC呢？后来根据FAQ可以知道直接查询 `start_mininet.py` **硬编码**。查询可知，$Middlebox$的 `eth0` 是连接$balster$的，MAC为 `40:00:00:00:00:01` ， `eth1` 和$blastee$连接MAC为 `40:00:00:00:00:02` 。$balster$的MAC为 `10:00:00:00:00:01` ，$blastee$的MAC为 `20:00:00:00:00:01` .

实现单向的P概率丢包时，用 `random` 库中的 `random.random()` 生成 `0-1` 之间的**随机浮点数**，如果随机值小于 `dropRate` 就丢包，同样根据FAQ，一个包**不处理就是丢**。

核心代码

```
if fromIface == "middlebox-eth0":
    log_debug("Received from blaster")
    if random.random()  > self.dropRate:
        packet[Ethernet].src = '40:00:00:00:00:02'
        packet[Ethernet].dst = '20:00:00:00:00:01'
        self.net.send_packet("middlebox-eth1", packet)
elif fromIface == "middlebox-eth1":
    log_debug("Received from blastee")
    packet[Ethernet].src = '40:00:00:00:00:01'
    packet[Ethernet].dst = '10:00:00:00:00:01'
    self.net.send_packet("middlebox-eth0", packet)
else:
    log_debug("Oops :))")
```

参考文章：python随机数生成方法

Task3: Blastee

> $Blastee$作为接收方，在收到来自$Blaster$的数据包之后需要**立即确认**，他需要从包中**提取序列号信息**，并创建一个具有该序列号的ACK包，整体工作如下：
>
> - 收到数据包后提取序列号信息$sequnence$和有效负载$payload$作为ACK包的一部分内容，如果$payload$的长度不足8字节，需要自己补齐。
> - 构造ACK包，并且指定目的IP为$blaster$发出。

实现逻辑

根据手册使用`RawPacketContents`类型，根据源码发现该类型**初始化时**数据都已经处理成了`bytes`类型，其中的`data`函数返回的也是`bytes`类型，如下：

```
class RawPacketContents(PacketHeaderBase):
    __slots__ = ['_raw']

    def __init__(self, raw=None):
        if isinstance(raw, str):
            raw = bytes(raw, 'utf8')
        elif isinstance(raw, bytes):
            pass
        else:
            raise TypeError("RawPacketContents must be initialized with either str or bytes.  You gave me {}".format(raw.__class__.__name__
        self._raw = raw

    def to_bytes(self):
        return self._raw

    @property
    def data(self):
        return self._raw
```

要从原始包中读取$seqnum$字段，首先需要知道原始包的结构，在$Task4$中可以找到原始包的结构如下：

```
<------- Switchyard headers -----> <----- Your packet header(raw bytes) ------> <-- Payload in raw bytes --->
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
|  ETH Hdr |  IP Hdr  |  UDP Hdr  | Sequence number(32 bits) | Length(16 bits) |   Variable length payload  |
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
```

我们用`get_header(RawPacketContent)`得到`raw bytes`之后的部分，前4个字节为$seqnum$字段，而$payload$字段从第6个字节之后开始。因此可以用`data[:4]`和`data[6:]`分别获取这两部分，如果读出的读出$payload$字段长度<8字节，就填充`'\x00'`字节至长度为8字节，否则直接截取其前8个字节`payload[0:8]`。

之后就是构造ACK包的结构，需要填好Eth头，IP头和UDP头，以及序列号和有效负载，ACK包的结构如下图，其中源和目的的MAC地址以及IP地址同之前的实现，都是通过查询`start.mininet.py`**硬编码**的。

```
<------- Switchyard headers -----> <----- Your packet header(raw bytes) ------> <-- Payload in raw bytes --->
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
|  ETH Hdr |  IP Hdr  |  UDP Hdr  |          Sequence number(32 bits)          |      Payload  (8 bytes)    |
-------------------------------------------------------------------------------------------------------------
```

核心代码

为了让输出更清楚，我用$Python$的`from_bytes`内置函数将字节类型转换成整型输出**方便观察**，参数`'big'`表示用大端读取。

```
_, fromIface, packet = recv
log_debug(f"I got a packet from {fromIface}")
log_debug(f"Pkt: {packet}")
raw = packet.get_header(RawPacketContents)
seqnum = raw.data[:4]
print(f"the seqnum is: {int.from_bytes(seqnum, 'big')}")
payload = raw.data[6:]
if len(payload) < 8:
    payload += b'\x00'*(8-len(payload))
else:
    payload = payload[0:8]
eth = Ethernet()
eth.src = "10:00:00:00:00:01"
eth.dst = "40:00:00:00:00:01"
ip = IPv4(protocol = IPProtocol.UDP)
```

```
ip.src = '192.168.200.2/30'
ip.dst = '192.168.200.1/30'
ip.ttl = 64
udp = UDP()
ACK = eth + ip + udp + seqnum + payload
self.net.send_packet(fromIface, ACK)
```

参考文章：int.from_bytes和int.to_bytes函数介绍

Task4: Blaster

> $Blaster$向$Blastee$发送数据包，并接收来自对方的ACK，它需要维护一个**大小固定**的滑动窗口，所谓发送者窗口$sender\ window(SW)$。为了解释窗口的性质，用LHS和RHS举例，需要满足：
>
> - $RHS-LHS+1<SW$，即当前窗口大小不能超过窗口最大大小
> - LHS之前的包一定都是被ACK过的，即LHS总指向第一个未被ACK的包
> - 为整个窗口维护一个粗糙的计时器，当LHS移动时更新计时器，当LHS在超时时间内没有改变就重发当前窗口中未被ACK的包

准备工作

- 可以看到窗口中的包不仅只是一个数据包，还需要有**包的序号**，**是否确认**等等附加信息，我们构造窗口中的包类如下：其中`pkt`为数据包本身，`seqnum`为该包的序号，`ACKed`表示该包是否被确认，`recounts`表示该包的重发次数，`sendTime`表示该包的发送时间，下面的`pkt_win`类就是**实际存在窗口中的数据结构**：

```
class pkt_win:
    def __int__(self, seqnum, pkt):
        self.pkt = pkt
        self.seqnum = seqnum
        self.ACKed = False
        self.recounts = 0
        self.sendTime = time()
```

- 由于发送方发送的数据包**有效负载随意**，我们**只关注发送包的序号**，因此构造数据包可以单独封装成一个函数`make_packet(self, seqnum)`，其参数也只有一个`seqnum`，具体函数如下。其中有效负载部分使用`os.urandom(self.length)`来生成随机的`length`长度的字节，源和目的的MAC以及IP地址是**硬编码**进去的，构造包的结构在已在上文提到。

```python
def make_packet(self, seqnum):
    eth = Ethernet()
    eth.src = '20:00:00:00:00:01'
    eth.dst = '40:00:00:00:00:02'
    ip = IPv4(protocol = IPProtocol.UDP)
    ip.src = '192.168.100.1/30'
    ip.dst = self.blasteeIP
    ip.ttl = 64
    udp = UDP()
    pkt = eth + ip + udp + seqnum.to_bytes(4, 'big') + self.length.to_bytes(2, 'big') + os.urandom(self.length)
    return pkt
```

- 根据手册的要求，在整个通信过程结束后还需要输出一些信息：
  - 从第一个包被发出到最后一个包被ACK之间的时间TX，只需要在代码中记录这两个时间`self.firstSend`和`self.lastACK`即可。
  - 重发的包的数量$reTX$，记录为`self.allre_count`
  - 超时次数$Number\ of\ coarse\ TOs$，记录为`self.TOs`
  - 吞吐量，记录总时间TX，还需要再记录总的发出包的数量(包括重发)`self.allsend_count`，用总包数*长度/TX即可
  - 有效吞吐量，只需用(总包数-重发数)*长度/TX即可

  这些信息的记录更新放在下文代码中。

窗口的实现

接下来就是窗口的实现了，由于窗口中的包都是左出右进，这里用`deque`来实现，`deque`可以设置最大长度`maxlen = self.maxsize`，这样就保证满足了$C_1: RHS - LHS + 1 < SW.$

还需要满足$C2: Every\ packet\ with\ sequence\ number\ Sj < Si\ has\ been\ successfully\ ACKd$，可以看到

- 当窗口大小$<maxlen$时，可以直接`deque.append()`新的包到窗口，即RHS右移
- 当窗口大小$=maxlen$时，且LHS指向的包被ACK了，那么LHS和RHS都需要右移，同样这种情况用`deque.append()`可直接实现，右侧新的包的进入会挤掉最左侧已经ACK的包，这是`deque`的定长特性导致的。
- 当窗口最左侧的包被ACK时，可以用`deque.popleft()`来移动LHS
- 为整个窗口维护的**粗糙计时器**`window.timer`，当**移动**LHS**时或者超时重发时，重置计时器。**如果LHS值在超时时间内没有改变，那么您将重新传输该窗口中的每个非ACK包。

窗口的动作

下面讨论在各种情况下窗口的具体动作：

- 当收到一个包的时候，这必定是一个ACK包，我们需要检查包中的`seqnum`来确定ACK的是哪一个包，类似上面$Blastee$的实现，同样用到`packet.get_header(RawPacketContents)`找到包的**序号字段**为前4个字节，然后再遍历窗口中的包看ACK的是其中哪一个，更新其信息即可，然后调用接下来的`window_send()`函数重传or发一个新数据包，代码如下：

```python
def handle_packet(self, recv: switchyard.llnetbase.ReceivedPacket):
    _, fromIface, packet = recv
    log_debug("I got a packet")
    #first complete the ACK's work
    raw = packet.get_header(RawPacketContents)
    this_seqnum = int.from_bytes(raw[:4], 'big')
    print(f"the ACK's seqnum is: {this_seqnum}")
    for i, v in enumerate(self.window):
        if v.seqnum == this_seqnum:
            v.ACKed = True
            print(f"the packet({i + 1}) in current window is ACKed!")
            self.lastACK = max(self.lastACK, time.time())
    #then send one pkt in this loop
    self.window_send()
```

- 重传和发包，根据FAQ的要求可以知道，发包应该在每次`recv_timeout`循环**发送单个数据包**，这个包可以是**新的数据包**，也可以是窗口内**超时重传的**数据包。在每个循环内，不管是收到包还是没收到包，都需要重传或者发一个新的包，因此可以单独抽象出一个函数`window_send()`，里面包含了两部分：
    - 首先检测**当前窗口的计时器**是否超时，然后重传**一个**未被ACK的包，更新窗口信息，这里面涉及到**窗口计时器**`window.timer`的维护，重发时需要重置计时器，该部分代码如下：

```python
#first if need resend a packet
RESEND = False
    if len(self.window) > 0:
        if time.time() - self.timer > self.timeout:
            #the window's timer is timeout
            self.TOs += 1
            print("the window's timer is timeout!")
            for v in self.window:
                if v.ACKed == False:
                    RESEND = True
                    print(f"resend a unACKed packet whose seqnum is
{v.seqnum}")

 self.net.send_packet(self.net.interface_by_name("blaster-eth0"), v.pkt)
                    v.sendTime = time.time()
                    self.timer = v.sendTime #update window's timer -> resend
                    v.recounts += 1
                    self.allre_count += 1
                    self.allsend_count += 1
                    break #only send one in a loop
```

    - 如果**不能重传**，那就尝试发**一个**新的数据包，并且更新窗口信息。在**还有包可发时**，只有**当前窗口未满**，或者窗口**最左侧的包被**ACK**后**，才能向窗口增加新的包**或者**滑动窗口，不同的情况对于窗

口信息的更新方法不同，具体见代码：

```
#if don't need resend, then send a next pkt in this loop
if RESEND == False and self.allcount > 0 and (len(self.window) < self.maxsize or self.window[0].Acked == True):
    next_seq = 1
    if len(self.window) > 0: #get the last seq in window
        next_seq  = self.window[-1].seqnum + 1
        pkt = self.make_packet(next_seq) #create next pkt
        pktWindow = pkt_win(next_seq, pkt)
        self.net.send_packet(self.net.interface_by_name('blaster-eth0'), pkt)
        print(f"send the packet whose seqnum is {next_seq}")

        if len(self.window) < self.maxsize and self.window[0].Acked == True:#LHS change
            self.window.popleft() #pop the left ACKed pkt
            self.window.append(pktWindow) #add pkt in window
            self.timer = pktWindow.sendTime #update window's timer
        elif len(self.window) < self.maxsize:#LHS not change
            self.window.append(pktWindow)
        elif self.window[0].Acked == True: #LHS change
            self.window.popleft()
            self.window.append(pktWindow)
            self.timer = pktWindow.sendTime

        if self.firstSend == -1.0: #the first send pkt's time
            self.firstSend = pktWindow.sendTime
        self.allsend_count += 1
        self.allcount -= 1
```

判断结束

当没有可发的包并且所有发出去的包都收到了ACK，那么整个过程结束，需要输出之前记录的各种信息，代码如下：

```
def check_over(self):
    if self.allcount > 0:
        return False
    for i, v in enumerate(self.window):
        if v.Acked == False:
            return False
    totalTXtime = self.lastACK - self.firstSend
    print("=" * 80)
    print(f"Total TX time (in seconds): {totalTXtime}")
    print(f"Number of reTX: {self.allre_count}")
    print(f"Number of coarse TOs: {self.TOs}")
```

```
12      print(f"Throughput (Bps): {self.allsend_count * self.length / totalTXtime}")
13      print(f"Goodput (Bps): {(self.allsend_count - self.allre_count) * self.length
    / totalTXtime}")
14      print("=" * 80)
```

Task5: Running your code

> 为了让观察更直观，我设置$blastee$发出的ACK的$ttl = 64$，$blaster$发出的包的$ttl = 0$，这样在$wireshark$抓包文件中，$balster$发出的数据包颜色为红色，$balstee$发出的ACK包颜色为蓝色。

- 在$mininet$上运行给好的拓扑`start_mininet.py`，然后在$blastee$ $middlebox$ $blaster$各自的$xterm$上运行上文中编写好的代码，按照**手册中**给出的参数进行测试：

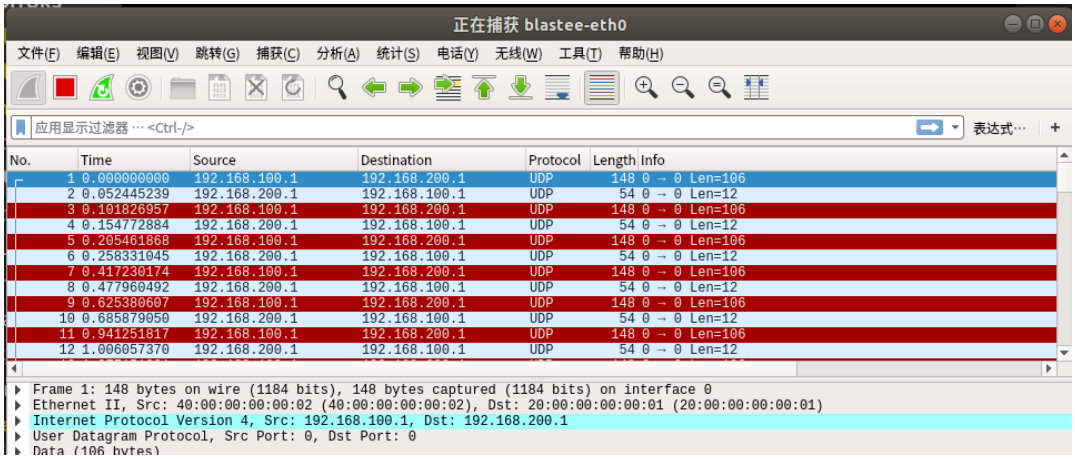
```
1   middlebox# swyard middlebox.py -g 'dropRate=0.19'
2   blastee# swyard blastee.py -g 'blasterIp=192.168.100.1 num=100'
3   blaster# swyard blaster.py -g 'blasteeIp=192.168.200.1 num=100 length=100
    senderWindow=5 timeout=300 recvTimeout=100'
```

  得到如下结果

  - 从$blastee$视角：

```
receive a pkt with seqnum: 1
send a ACK for seqnum:1
receive a pkt with seqnum: 2
send a ACK for seqnum:2
receive a pkt with seqnum: 3
send a ACK for seqnum:3
receive a pkt with seqnum: 4
send a ACK for seqnum:4
receive a pkt with seqnum: 5
send a ACK for seqnum:5
receive a pkt with seqnum: 6
send a ACK for seqnum:6
receive a pkt with seqnum: 7
send a ACK for seqnum:7
receive a pkt with seqnum: 8
send a ACK for seqnum:8
receive a pkt with seqnum: 9
send a ACK for seqnum:9
receive a pkt with seqnum: 10
send a ACK for seqnum:10
receive a pkt with seqnum: 11
```

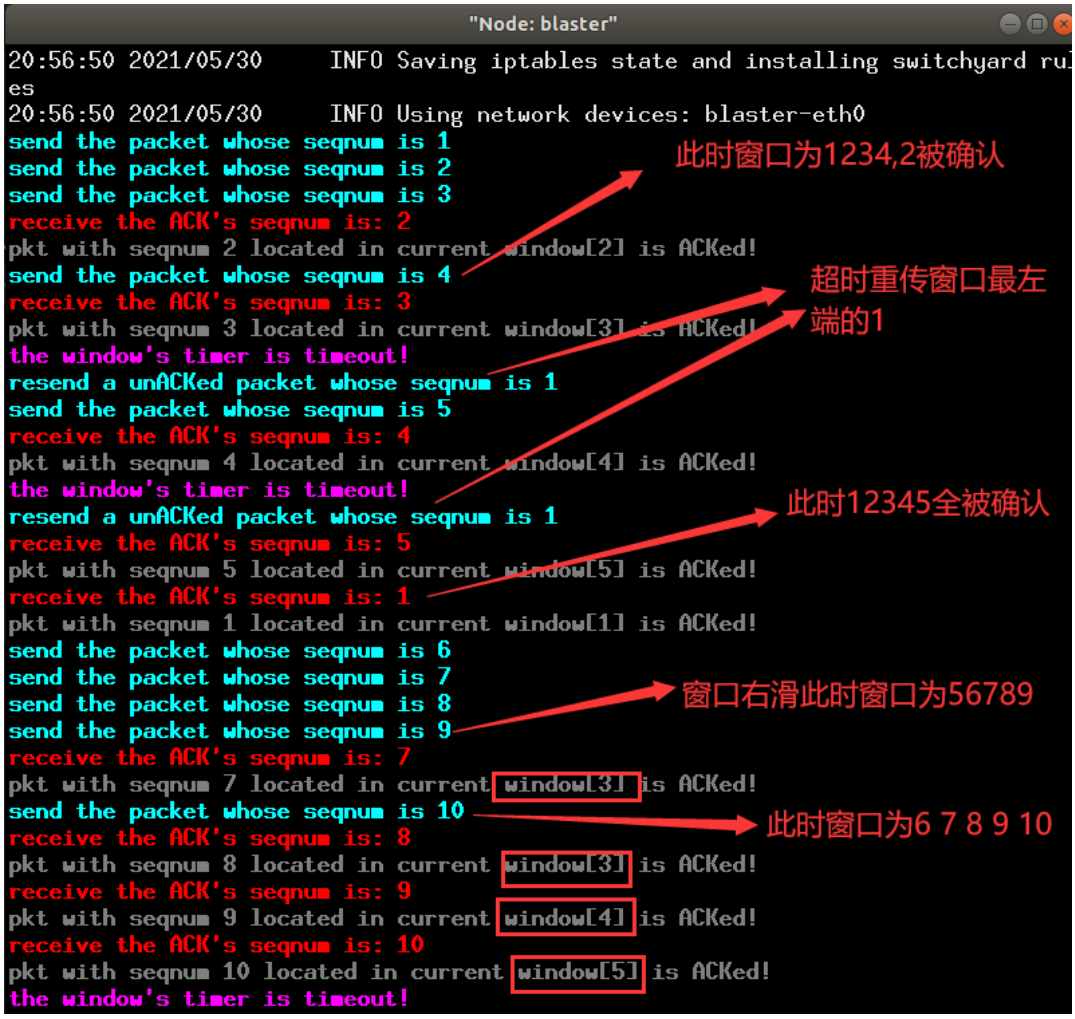
    可以看到$blastee$的工作非常简单，就是简单**收到一个包之后对其回复**即可，从$wireshark$的抓包文件看到也是如此：



- 从*middlebox*视角：

  可以看到它负责一直接收来自*balster*的数据包和来自*blastee*的ACK包，并且以一定的概率丢掉来自*blaster*的数据包

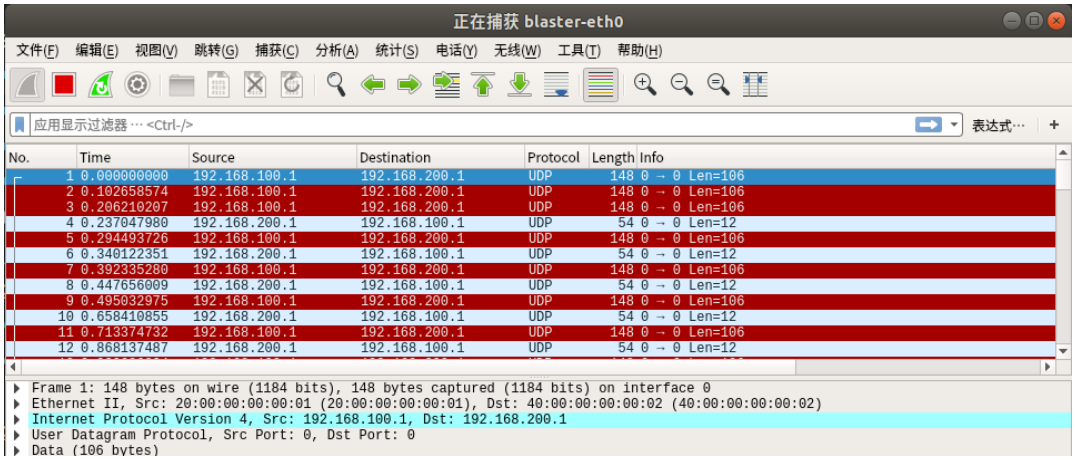
- 从*blaster*视角：



我们观察传输过程中**窗口动作滑是否正确**，可以看到开始时$balster$发送了123三个包，这时窗口大小为3，之后收到了对2的确认，发送4之后又收到了对3的确认，这时窗口大小为4且窗口**计时器超时**了，需要重传包，由于每个循环只能发一个包，我的代码实现是**重传优先**，所以**当前窗口中未被**ACK的包1就被重传了。可以判断**重传机制**应该被被正确实现了。

在图中看到当包1被确认后，此时窗口中12345都被确认，根据我的实现窗口需要右滑，由于**一次只能滑动一个**包，在发出包6789之后，这时的窗口为56789，且5已经在之前被ACK过了，收到对7的ACK后，根据输出信息看到包7位于当前的`window[3]`位置，**符合我们的预期**，并且发出包10后窗口再次右滑(因为**最左端**的包5之前**被**ACK过了**)，窗口变成了6 7 8 9 10，这之后收到对于包8 9 10的ACK，根据输出信息可以看到分别位于`window[3] window[4] window[5]`的位置上，**符合我们的预期**。经过这些分析可以判断**窗口的滑动**是正确的。

下图抓包文件和上述描述一致，观察抓包文件中的Len项，根据数据包的结构，$seqnum$的4字节+$length$的2字节+$payload$的100字节 = 106字节，正确；根据ACK包的结构，$seqnum$的4字节+$payload$的8字节 = 12字节，也正确。

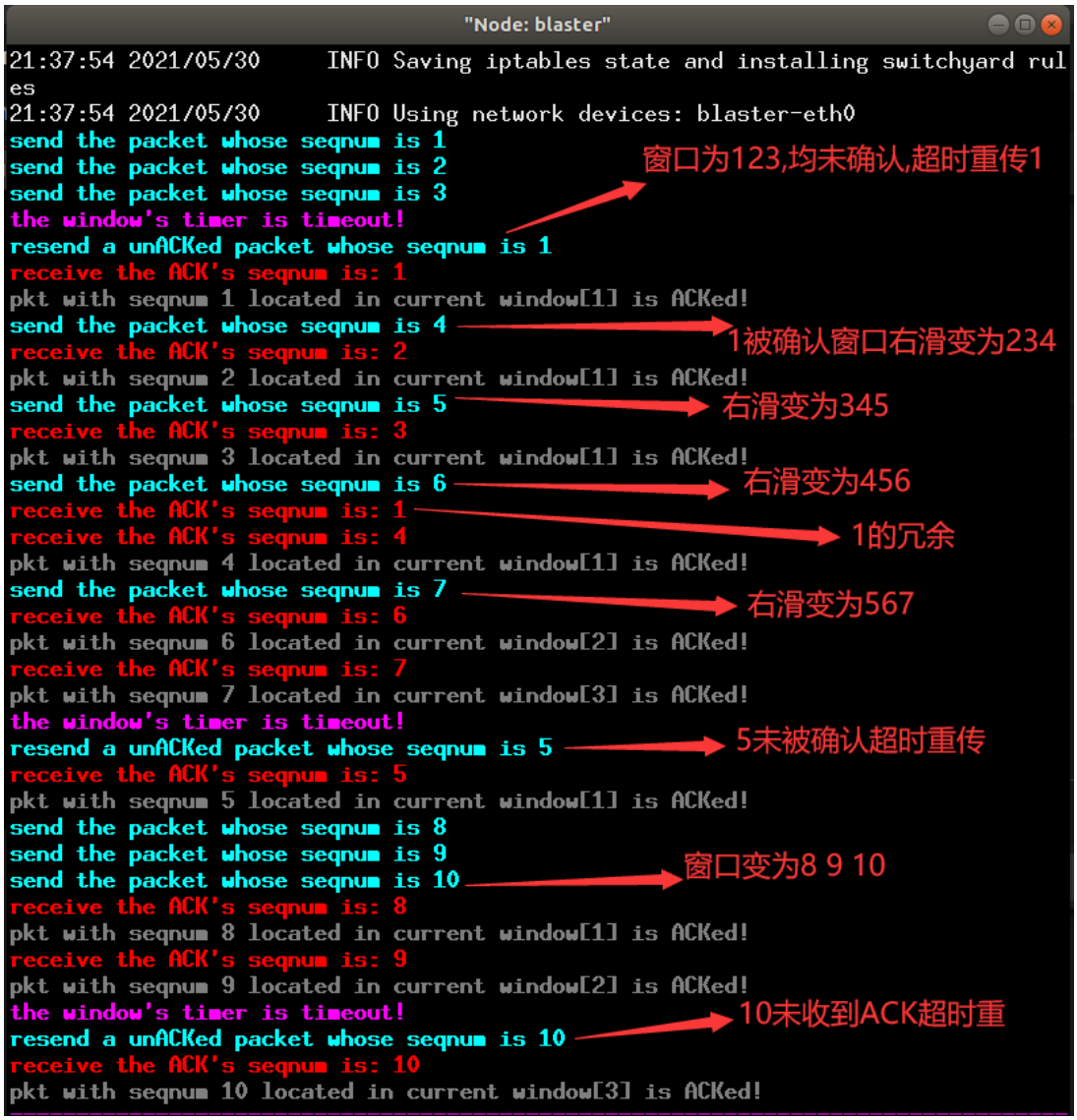


最后的输出信息如下：

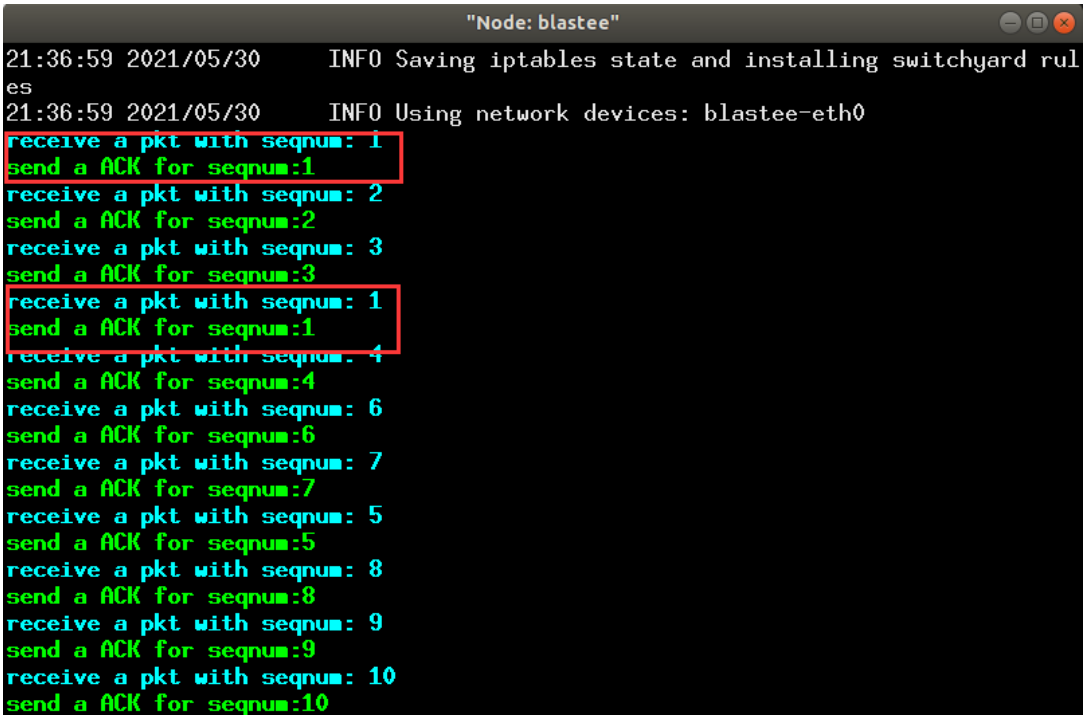
```
the window's timer is timeout!
resend a unACKed packet whose seqnum is 99
receive the ACK's seqnum is: 99
pkt with seqnum 99 located in current window[4] is ACKed!
================================================================================
Total TX time (in seconds): 21.960185289382935
Number of reTX: 39
Number of coarse TOs: 41
Throughput (Bps): 632.9636939229387
Goodput (Bps): 455.36956397333716
================================================================================
the transmition is overed!!!
20:57:12 2021/05/30      INFO Restoring saved iptables state
```

> 以上抓包文件放在 `/report` 文件夹中，以 `lab_6_1` 开头。

- 我们将参数中窗口长度 `senderWindow` 设置为3，包的总数 `num` 设置为10，再次测验：
  - *blaster*视角：

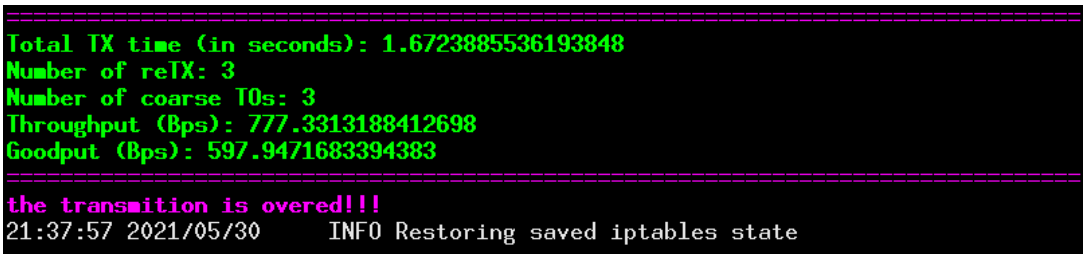


图中已经标出窗口每一步的动作，所有动作完全符合预期，其中有一点特殊的地方就是有个**包1的冗余**ACK，我们**分析其原因**：包1在窗口超时后都没有收到ACK，于是重发了包1，以为包1丢包了，但**实际上**包1并没有被丢掉，只是因为某种原因被延迟了，因此最终*blastee*收到了两个包1，因此会发出两个ACK，结合*balstee*视角：



可以发现$blastee$确实收到了两个包1，只是由于其中的一个ACK在途中被延迟了，导致了$blaster$的重传和冗余ACK.

最后的输出信息如下：



综上所述，实现的窗口机制应该是正确的。

> 以上抓包文件放在`/report`文件夹中，以`lab_6_2`开头。

总结感想

这次实验相比前三次实现的路由器来说还是比较简单的，需要关注的地方只有滑动窗口的维护，使用`deque`的想法是想到窗口滑动的情形，完全符合`deque`的左端出右端入的性质。我认为我做的比较好的地方一个就是用`deque`实现窗口，利用其定长特性，完全避免了LHS和RHS两个指针操作。

再有一个就是对于窗口内数据结构`pkt_win`的抽象，每个包不仅仅是一个数据包，还有这个包是否被ACK，包的序号，包的发送时间等等信息，抽象成一个类就相当于一个结构体，操作起来很清晰方便。

至于窗口该怎么维护，我完全按照了手册提供的思路，和课上学的还是有些不同的，本实验中采用的是窗口计时器，当整个窗口的计时器超时后重发窗口内的所有未ACK的包，而且在每个循环内只能发一个包，按照助教gg的意思是这样就可以通过`recv_time`来实现对速率的一定的控制...总之就是完全按照手册来的，**建议**FAQ的一部分内容可以放在前面的手册中，实际上就为实现代码给了更好的提示。

参考文章：

python随机数生成方法

int.from_bytes和int.to_bytes函数介绍

最后感谢助教的耐心批改😁😁😁