TCP 实验报告

实验详细设计

实验中，依照给出的 TCP 框架实现了 TCP 的收发。详细设计如下：

1. 初始化

```
/**
 * @brief 初始化tcp在静态区的map
 *        供应用层使用
 *
 */
void tcp_init() {
  map_init(&tcp_table, sizeof(uint16_t), sizeof(tcp_handler_t), 0, 0, NULL);
  map_init(&connect_table, sizeof(tcp_key_t), sizeof(tcp_connect_t), 0, 0,
NULL);
  net_add_protocol(NET_PROTOCOL_TCP, tcp_in);
}
```

   初始化两个 `map`，分别存储 `port <-> handler` 和 `key <-> connect`。

2. TCP 包处理

   1. 大小检查

   ```
   if (buf->len < sizeof(tcp_hdr_t)) {
     Log("tcp: too short (%zu)", buf->len);
     return;
   }
   ```

   2. checksum 检查

   ```
   uint16_t checksum_expected = p->chunksum16;
   p->chunksum16 = 0;
   uint16_t checksum_actual = tcp_checksum(buf, src_ip, net_if_ip);
   if (checksum_actual != checksum_expected) {
     Err("tcp: checksum error, expected %x, actual %x",
 checksum_expected, checksum_actual);
     return;
   }
   p->chunksum16 = checksum_expected;
   ```

   3. 获取信息并根据 `port` 查找 `handler`

```
  uint16_t src_port = swap16(p->src_port16);
  uint16_t dst_port = swap16(p->dst_port16);
  uint32_t got_seq = swap32(p->seq_number32);
  uint32_t got_ack = swap32(p->ack_number32);
  tcp_flags_t flag = p->flags;
  tcp_handler_t *handler = (tcp_handler_t *) map_get(&tcp_table,
&dst_port);
  if (!handler) {
    Err("tcp: no handler for port %d", dst_port);
    return;
  }
```

4. 创建 Key，用于存储当前连接 Connection 的索引

```
  tcp_key_t key = new_tcp_key(src_ip, src_port, dst_port);
  Dbg("tcp: KEY = (src=%s, src_port=%d, dst_port=%d)", iptos(key.ip),
key.src_port, key.dst_port);
```

5. 查找 `connect_map`，获得当前连接。如果没找到，就创建一个连接，如果找到了就使用已经创建的连接。

```
  tcp_connect_t *connect = (tcp_connect_t *) map_get(&connect_table,
&key);
  if (!connect) {
    // connect not found, create a new connect.
    // NOTE that this `connect` is not the same location as the
`connect` in the map.
    connect = malloc(sizeof(tcp_connect_t));
    memset(connect, 0, sizeof(tcp_connect_t));
    connect->state = TCP_LISTEN;
    // connect->local_port = dst_port;
    // connect->remote_port = src_port;
    memcpy(connect->ip, src_ip, NET_IP_LEN);
    connect->handler = handler;
    // connect->tx_buf = malloc(sizeof(buf_t));
    // connect->rx_buf = malloc(sizeof(buf_t));
    // buf_init(connect->tx_buf, TCP_BUF_SIZE_TX);
    // buf_init(connect->rx_buf, TCP_BUF_SIZE_RX);
    Assert(map_set(&connect_table, &key, connect) == 0, "Cannot insert
connection table!");
    free(connect);
    // update pointer
    connect = (tcp_connect_t *) map_get(&connect_table, &key);
    Ok("tcp: create new connection %p", connect);
  } else {
    Dbg("tcp: using created connection %p", connect);
  }
```

6. 依据连接状态处理连接。如果是 `TCP_LISTEN` 状态

（1）如果收到的flag带有rst，则close_tcp关闭tcp链接
（2）如果收到的flag不是syn，则reset_tcp复位通知。因为收到的第一个包必须是syn
（3）调用init_tcp_connect_rcvd函数，初始化connect，将状态设为TCP_SYN_RCVD
（4）填充connect字段，包括 local_port、remote_port、ip、unack_seq（设为随机值）、由于是对syn的ack应答包，next_seq与unack_seq一致；ack设为对方的sequence

number+1；设置remote_win为对方的窗口大小，注意大小端转换
（5）调用buf_init初始化txbuf
（6）调用tcp_send将txbuf发送出去，也就是回复一个tcp_flags_ack_syn（SYN+ACK）报文
（7）处理结束，返回。

```
  if (connect->state == TCP_LISTEN) {
    if (flag.rst) {
      Err("tcp: close when TCP_LISTEN, flag RST recv");
      display_flags(flag);
      tcp_connect_close(connect);
      return;
    }
    if (!flag.syn) {
      Err("tcp: reset when TCP_LISTEN, not a SYN package at first");
      display_flags(flag);
      goto reset_tcp;
    }
    init_tcp_connect_rcvd(connect);
    connect->local_port = dst_port;
    connect->remote_port = src_port;
    memcpy(connect->ip, src_ip, NET_IP_LEN);
    connect->unack_seq = rand() & UINT32_MAX;
    connect->next_seq = connect->unack_seq;
    connect->ack = got_seq + 1;
    connect->remote_win = window_size;
    buf_init(&txbuf, 0);
    tcp_send(&txbuf, connect, tcp_flags_ack_syn);
    return;
  }
```

7. 检查 `seq` 和 `ack` ，不一致则发送 `RST` 复位连接

```
  if (got_seq != connect->ack) {
    Err("tcp: reset caused by got_seq(%u) != connect->ack(%u)", got_seq,
connect->ack);
    goto reset_tcp;
  }
```

8. *检查**flags**是否有**rst**标志，如果有，则**close_tcp**连接重置*

```
  if (flag.rst) {
    Err("tcp: reset caused by RST flag received");
    tcp_connect_close(connect);
    goto reset_tcp;
  }
```

9. *序号相同时的处理，调用**buf_remove_header**去除头部后剩下的都是数据*

```
buf_remove_header(buf, sizeof(tcp_hdr_t));
```

10. 状态转换

```
  switch (connect->state) {
    case TCP_LISTEN:
```

```
      panic("switch TCP_LISTEN");
      break;
    case TCP_SYN_RCVD:
      if (!flag.ack) {
        // 12、在RCVD状态，如果收到的包没有ack flag，则不做任何处理
        Err("tcp: no ACK flag, ignore");
      } else {
        /*
        13、如果是ack包，需要完成如下功能：
            （1）将unack_seq +1
            （2）将状态转成ESTABLISHED
            （3）调用回调函数，完成三次握手，进入连接状态TCP_CONN_CONNECTED。
        */
        connect->unack_seq++;
        connect->state = TCP_ESTABLISHED;
        Ok("tcp: state -> TCP_ESTABLISHED, call handler %p", *connect-
>handler);
        (*connect->handler)(connect, TCP_CONN_CONNECTED);
      }
      break;
    case TCP_ESTABLISHED:
      if (!flag.ack && !flag.fin) {
        /*
        14、如果收到的包没有ack且没有fin这两个标志，则不做任何处理
        */
        Err("tcp: when ESTABLISHED, no ACK or FIN flag, ignore");
      } else {
        /*
        15、这里先处理ACK的值，
            如果是ack包，
            且unack_seq小于sequence number（说明有部分数据被对端接收确认了，否
则可能是之前重发的ack，可以不处理），
            且next_seq大于sequence number
            则调用buf_remove_header函数，去掉被对端接收确认的部分数据，并更新
unack_seq值

        */
        if (flag.ack && connect->unack_seq < got_ack && connect-
>next_seq > got_ack) {
          buf_remove_header(connect->tx_buf, got_ack - connect-
>unack_seq);
          connect->unack_seq = got_ack;
        } else {
          Dbg("tcp: when ESTABLISHED, no ACK or ..., ignore ::
unack_seq=%u, got_seq=%u, ack=%u, next_seq=%u",
              connect->unack_seq, got_seq, got_ack, connect->next_seq);
        }
        /*
        16、然后接收数据
            调用tcp_read_from_buf函数，把buf放入rx_buf中
        */
        uint16_t read_sz = tcp_read_from_buf(connect, buf);
        /*
        17、再然后，根据当前的标志位进一步处理
            （1）首先调用buf_init初始化txbuf
            （2）判断是否收到关闭请求（FIN），如果是，将状态改为TCP_LAST_ACK，
ack +1，再发送一个ACK + FIN包，并退出，
                这样就无需进入CLOSE_WAIT，直接等待对方的ACK
```

```
            （3）如果不是FIN，则看看是否有数据，如果有，则发ACK相应，并调用handler回调函数进行处理
            （4）调用tcp_write_to_buf函数，看看是否有数据需要发送，如果有，同时发数据和ACK
            （5）没有收到数据，可能对方只发一个ACK，可以不响应
          */
          buf_init(&txbuf, 0);
          if (flag.fin) {
            connect->state = TCP_LAST_ACK;
            connect->ack++;
            tcp_send(&txbuf, connect, tcp_flags_ack_fin);
            return;
          } else {
            // if (read_sz > 0) {
            if (buf->len) {
              // connect->ack += read_sz;
              (*connect->handler)(connect, TCP_CONN_DATA_RECV);
              tcp_write_to_buf(connect, &txbuf);
              tcp_send(&txbuf, connect, tcp_flags_ack);
            }
          }
        }
        break;
      case TCP_CLOSE_WAIT:
        panic("switch TCP_CLOSE_WAIT");
        break;
      case TCP_FIN_WAIT_1:
        /*
        18、如果收到FIN && ACK，则close_tcp直接关闭TCP
            如果只收到ACK，则将状态转为TCP_FIN_WAIT_2
        */
        if (flag.fin && flag.ack) {
          tcp_connect_close(connect);
        } else if (flag.ack) {
          connect->state = TCP_FIN_WAIT_2;
        }
        break;
      case TCP_FIN_WAIT_2:
        /*
        19、如果不是FIN，则不做处理
            如果是，则将ACK +1，调用buf_init初始化txbuf，调用tcp_send发送一个ACK数据包，再close_tcp关闭TCP
        */
        if (flag.fin) {
          connect->ack++;
          buf_init(&txbuf, 0);
          tcp_send(&txbuf, connect, tcp_flags_ack);
          tcp_connect_close(connect);
        }
        break;
      case TCP_LAST_ACK:
        /*
        20、如果不是ACK，则不做处理
            如果是，则调用handler函数，进入TCP_CONN_CLOSED状态，，再close_tcp关闭TCP
        */
        if (flag.ack) {
          (*handler)(connect, TCP_CONN_CLOSED);
```

```
        tcp_connect_close(connect);
      }
      break;
    default:
      panic("tcp: unknown connect->state %d", connect->state);
      break;
  }
```

11. 在出错时，复位

```
reset_tcp:
Err("!!! reset tcp !!!");
connect->next_seq = 0;
connect->ack = got_seq + 1;
buf_init(&txbuf, 0);
tcp_send(&txbuf, connect, tcp_flags_ack_rst);
close_tcp:
release_tcp_connect(connect);
map_delete(&connect_table, &key);
```

3. 发送 TCP 包，`seq_number32 = connect->next_seq - buf->len`，`buf` 里的数据将作为负载，加上 `tcp` 头发送出去。如果 `flags` 包含 `syn` 或 `fin`，`seq` 会递增。

```
static void tcp_send(buf_t *buf, tcp_connect_t *connect, tcp_flags_t flags)
{
  Dbg("tcp: send sz=%zu, flags=%x", buf->len, *((uint8_t *) &flags));
  // display_flags(flags);
  size_t prev_len = buf->len;
  buf_add_header(buf, sizeof(tcp_hdr_t));
  tcp_hdr_t *hdr = (tcp_hdr_t *) buf->data;
  hdr->src_port16 = swap16(connect->local_port);
  hdr->dst_port16 = swap16(connect->remote_port);
  hdr->seq_number32 = swap32(connect->next_seq - prev_len);
  hdr->ack_number32 = swap32(connect->ack);
  hdr->data_offset = sizeof(tcp_hdr_t) / sizeof(uint32_t);
  hdr->reserved = 0;
  hdr->flags = flags;
  hdr->window_size16 = swap16(connect->remote_win);
  hdr->chunksum16 = 0;
  hdr->urgent_pointer16 = 0;
  hdr->chunksum16 = tcp_checksum(buf, connect->ip, net_if_ip);
  ip_out(buf, connect->ip, NET_PROTOCOL_TCP);
  if (flags.syn || flags.fin) {
    connect->next_seq += 1;
  }
}
```

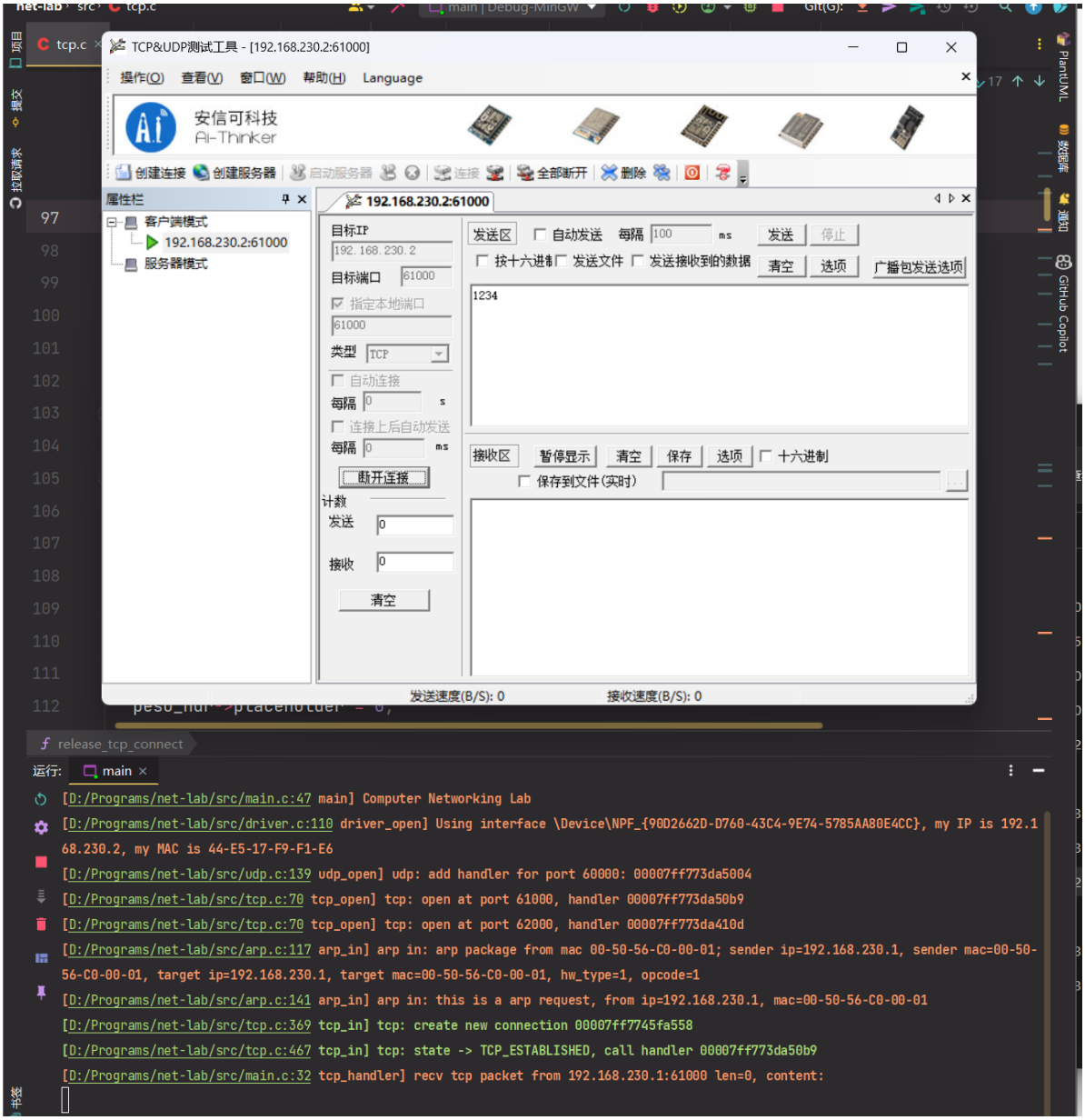
4. 校验 TCP 包。校验与 UDP 一样需要添加伪头部。

```
static uint16_t tcp_checksum(buf_t *buf, uint8_t *src_ip, uint8_t *dst_ip) {
  uint16_t len = (uint16_t) buf->len;
  tcp_peso_hdr_t *peso_hdr = (tcp_peso_hdr_t *) (buf->data -
sizeof(tcp_peso_hdr_t));
  tcp_peso_hdr_t pre; //暂存被覆盖的IP头
  memcpy(&pre, peso_hdr, sizeof(tcp_peso_hdr_t));
```

```
  memcpy(peso_hdr->src_ip, src_ip, NET_IP_LEN);
  memcpy(peso_hdr->dst_ip, dst_ip, NET_IP_LEN);
  peso_hdr->placeholder = 0;
  peso_hdr->protocol = NET_PROTOCOL_TCP;
  peso_hdr->total_len16 = swap16(len);
  uint16_t checksum = checksum16((uint16_t *) peso_hdr, len +
sizeof(tcp_peso_hdr_t));
  memcpy(peso_hdr, &pre, sizeof(tcp_peso_hdr_t));
  return checksum;
}
```

实验结果

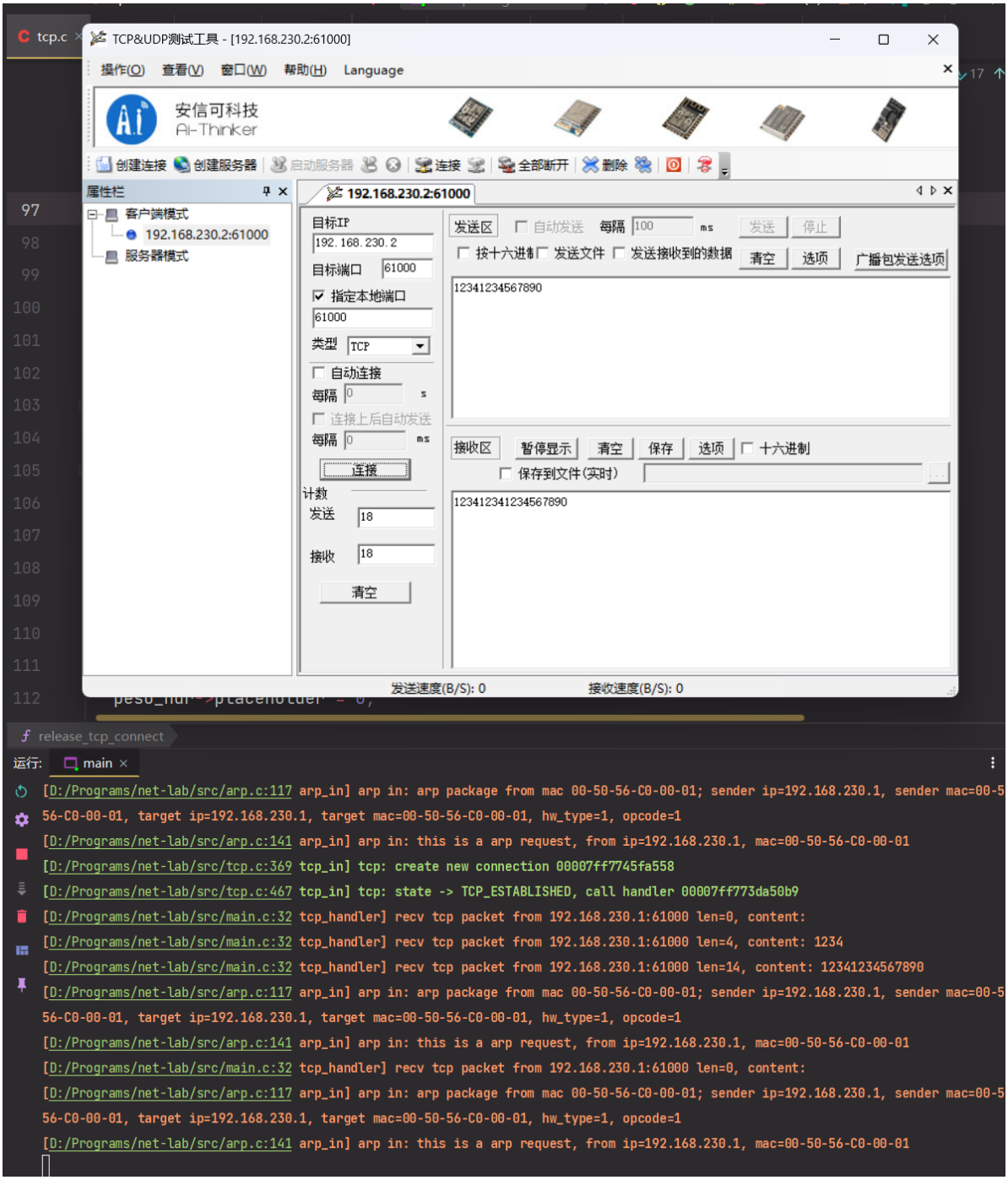
建立连接



发送两次数据


tcp.c
TCP&UDP测试工具 - [192.168.230.2:61000]
操作(O) 查看(V) 窗口(W) 帮助(H) Language
安信可科技
Ai-Thinker
创建连接 创建服务器 启动服务器 连接 全部断开 删除
属性栏
客户端模式
192.168.230.2:61000
服务器模式
192.168.230.2:61000
目标IP
192.168.230.2
目标端口
61000
指定本地端口
61000
类型
TCP
自动连接
每隔
连接上后自动发送
每隔
断开连接
计数
发送
18
接收
18
清空
发送区
自动发送
每隔
100
ms
发送
停止
按十六进制
发送文件
发送接收到的数据
清空
选项
广播包发送选项
12341234567890
接收区
暂停显示
清空
保存
选项
十六进制
保存到文件(实时)
123412341234567890
发送速度(B/S): 0
接收速度(B/S): 9
release_tcp_connect
运行:
main
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:47 main] Computer Networking Lab
[D:/Programs/net-lab/src/driver.c:110 driver_open] Using interface \Device\NPF_{90D2662D-D760-43C4-9E74-5785AA80E4CC}, my IP is 192.
68.230.2, my MAC is 44-E5-17-F9-F1-E6
[D:/Programs/net-lab/src/udp.c:139 udp_open] udp: add handler for port 60000: 00007ff773da5004
[D:/Programs/net-lab/src/tcp.c:70 tcp_open] tcp: open at port 61000, handler 00007ff773da50b9
[D:/Programs/net-lab/src/tcp.c:70 tcp_open] tcp: open at port 62000, handler 00007ff773da410d
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:117 arp_in] arp in: arp package from mac 00-50-56-C0-00-01; sender ip=192.168.230.1, sender mac=00-50
56-C0-00-01, target ip=192.168.230.1, target mac=00-50-56-C0-00-01, hw_type=1, opcode=1
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:141 arp_in] arp in: this is a arp request, from ip=192.168.230.1, mac=00-50-56-C0-00-01
[D:/Programs/net-lab/src/tcp.c:369 tcp_in] tcp: create new connection 00007ff7745fa558
[D:/Programs/net-lab/src/tcp.c:467 tcp_in] tcp: state -> TCP_ESTABLISHED, call handler 00007ff773da50b9
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=0, content:
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=4, content: 1234
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=14, content: 12341234567890

断开连接


tcp.c
TCP&UDP测试工具 - [192.168.230.2:61000]
操作(O) 查看(V) 窗口(W) 帮助(H) Language
安信可科技
Ai-Thinker
创建连接 创建服务器 启动服务器 连接 全部断开 删除
属性栏
客户端模式
192.168.230.2:61000
服务器模式
192.168.230.2:61000
目标IP
192.168.230.2
目标端口
61000
指定本地端口
61000
类型
TCP
自动连接
每隔
连接上后自动发送
每隔
连接
计数
发送
18
接收
18
清空
发送区
自动发送
每隔
100
ms
发送
停止
按十六进制
发送文件
发送接收到的数据
清空
选项
广播包发送选项
12341234567890
接收区
暂停显示
清空
保存
选项
十六进制
保存到文件(实时)
12341234567890
发送速度(B/S): 0
接收速度(B/S): 0
release_tcp_connect
运行:
main
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:117 arp_in] arp in: arp package from mac 00-50-56-C0-00-01; sender ip=192.168.230.1, sender mac=00-50-56-C0-00-01, target ip=192.168.230.1, target mac=00-50-56-C0-00-01, hw_type=1, opcode=1
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:141 arp_in] arp in: this is a arp request, from ip=192.168.230.1, mac=00-50-56-C0-00-01
[D:/Programs/net-lab/src/tcp.c:369 tcp_in] tcp: create new connection 00007ff7745fa558
[D:/Programs/net-lab/src/tcp.c:467 tcp_in] tcp: state -> TCP_ESTABLISHED, call handler 00007ff773da50b9
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=0, content:
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=4, content: 1234
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=14, content: 12341234567890
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:117 arp_in] arp in: arp package from mac 00-50-56-C0-00-01; sender ip=192.168.230.1, sender mac=00-50-56-C0-00-01, target ip=192.168.230.1, target mac=00-50-56-C0-00-01, hw_type=1, opcode=1
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:141 arp_in] arp in: this is a arp request, from ip=192.168.230.1, mac=00-50-56-C0-00-01
[D:/Programs/net-lab/src/main.c:32 tcp_handler] recv tcp packet from 192.168.230.1:61000 len=0, content:
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:117 arp_in] arp in: arp package from mac 00-50-56-C0-00-01; sender ip=192.168.230.1, sender mac=00-50-56-C0-00-01, target ip=192.168.230.1, target mac=00-50-56-C0-00-01, hw_type=1, opcode=1
[D:/Programs/net-lab/src/arp.c:141 arp_in] arp in: this is a arp request, from ip=192.168.230.1, mac=00-50-56-C0-00-01