

# RDT\_Protocol

---

## 目录

- [RDT\\_Protocol](#)
  - [目录](#)
  - [说明](#)
  - [Packet结构](#)
  - [CRC循环检验和](#)
  - [RDT原理概述](#)
    - [Sender](#)
    - [Receiver](#)
  - [测试结果](#)

## 说明

提交代码结构：

```
rdt_____Makefile(changed)
    |_crc.{h,cc}(crc functions)
    |_rdt_receiver.{h,cc}(.cc changed)
    |_rdt_sender.{h,cc}(.cc changed)
    |_rdt_struct.h
    |_rdt_sim.cc
```

和敬凯 519021910187 hjk020101@sjtu.edu.cn

## Packet结构

rdt中表示包的数据结构为`struct packet`, 是一个固定长度的字符数组.

```
struct packet {
    char data[RDTPKTSIZE];
};
```

在结构上, Packet分为header段和数据段, header中包括有效内容的长度(`size`), packet的序列号(`sequence number`)和循环校验和(`checksum`), 其中, `size`用一个字节表示(范围为0-255), `sequence number`用两个字节表示(范围为0-65535), `checksum`用三个字节表示(crc循环检验和为一个字节, 但是在测试中发现单个crc和两个循环检验和无法在错误率较高时检测出全部错误的包, 因此我们使用三次crc循环检验和来提高发现错误的概率, 详见[crc循环检验和](#)), 为了方便crc检验, `checksum`放在packet的末尾.

Packet的结构如下:

```
| size | seq_num | data | crc-1 | crc-2 | crc-3 |
|uint8_t|uint16_t |PKTSIZE-5|uint8_t|uint8_t|uint8_t|
```

## CRC循环检验和

为了方便receiver在收到包后检查包在传输中是否出错，我们添加了crc checksum，crc循环检验和的长度为一个字节，但是在测试中发现单个crc循环检验和无法在错误率较高时检测出全部错误的包，因此我们使用三个crc不同的循环检验和来提高发现错误的概率，首先我们使用包的前RDT\_PKTSIZE-3位计算crc6-ITU存储在包的倒数第三位，再使用包的前RDT\_PKTSIZE-2位计算crc4-ITU存储在包的倒数第二位，之后我们使用包的前RDT\_PKTSIZE-1位计算crc8-ROHC存储在包的最后一位；在sender收到包后需要检查包的前RDT\_PKTSIZE-2位的crc6-ITU的值、包的前RDT\_PKTSIZE-1位的crc4-ITU的值和整个包的crc8-ROHC的值，当且仅当三者均为0时认为包在传输中没有出错和损坏。测试表明这种方法相对于使用一个crc checksum和两个crc checksum可以显著降低出错的包未被检出的概率。

但是，增加crc虽然降低了损坏的包未被检出的概率，却增加了sender计算crc和receiver检查crc的时间开销，下面列举了使用./rdt\_sim 1000 0.1 100 0.15 0.15 0.15 0测试得到的不同crc个数(1-3)下包出错但未检出的概率和传输所需时间。我们认为错包的crc值可能等概率分布在0-255(uint8\_t范围)之间，因此对于出错的包，一位crc仍为0的概率为1/256，不同crc的概率分布相互独立。

crc checksum 个数	错包为被检出的概率	传输所用时间/s
1	1/256	1900
2	1/65536	2000
3	1/16777216	2170

测试发现对于在0.15错误率下使用两个crc循环检验和已经可以检出几乎所有错误的包，但是在0.3错误率下使用两个crc循环检验和几乎不可能通过测试。需要注意的是，即便使用3个crc checksum仍有概率出现出错但未检出的情况，尤其是错误率较高的情况下。

下面是使用的3个crc函数，分别为crc4-ITU、crc6-ITU、crc8-ROHC。

```
//x^4+x+1
u_int8_t crc4_itu(char const message[], int nBytes) {
    u_int8_t i;
    u_int8_t crc = 0xFF; // Initial value
    while (nBytes--) {
        crc ^= *message++; // crc ^= *data; data++;
        for (i = 0; i < 8; ++i) {
            if (crc & 1)
                crc = (crc >> 1) ^ 0xE0; // 0xE0 = reverse 0x07
            else
                crc = (crc >> 1);
        }
    }
    return crc;
}
```

```
//x^6+x+1
u_int8_t crc6_itu(char const message[], int nBytes) {
    u_int8_t i;
    u_int8_t crc = 0; // Initial value
    while (nBytes--) {
        crc ^= *message++; // crc ^= *data; data++;
        for (i = 0; i < 8; ++i) {
            if (crc & 1)
                crc = (crc >> 1) ^ 0x30; // 0x30 = (reverse 0x03)>>(8-6)
            else
                crc = (crc >> 1);
        }
    }
    return crc;
}
```

```
//x^8+x^2+x+1
u_int8_t crc8_rohc(char const message[], int nBytes) {
    u_int8_t i;
    u_int8_t crc = 0; // Initial value
    while (nBytes--) {
        crc ^= *message++; // crc ^= *data; data++;
        for (i = 0; i < 8; ++i) {
            if (crc & 1)
                crc = (crc >> 1) ^ 0x0C; // 0x0C = (reverse 0x03)>>(8-4)
            else
                crc = (crc >> 1);
        }
    }
    return crc;
}
```

## RDT原理概述

我使用Go-Back-N协议实现了该RDT,在该协议中sender以滑动窗口发包，receiver当且仅当包的序列号等于其希望收到的最近一个包（即`sequence_num==Receiver_nextSequencenum`）时接收包并向Sender发送ACK(ACK的序列号为该包的`sequence_num`)，否则拒绝包，并向Sender发送ACK(ACK的序列号为`Receiver_nextSequencenum-1`,即重发上一个包的ACK)，在测试过程中，发现使用该协议实现的RDT测试耗时极长（使用`./rdt_sim 1000 0.1 100 0.15 0.15 0.15 0`测试时平均数百个包中才会有一个包被Receiver接受），因此我在Receiver处增加了buffer用于缓存顺序出错的包，这极大提高了传输的效率（但效率仍低于Selective Repeat协议）。

## Sender

Sender处的主要逻辑如下：

在收到上层的message后，Sender首先将包拆解为packet并缓存在packet\_buffer中，之后向Receiver发送一个滑动窗口

```

//移动窗口并发包
void Sender_moveWindow() {
    while (Sender_nextseqnum < send_base + WINDOW_SIZE &&
           Sender_nextseqnum <= total_packet_num) {
        Sender_ToLowerLayer(packet_buffer[Sender_nextseqnum]);
        Sender_nextseqnum++;
    }
}

void Sender_FromUpperLayer(struct message *msg) {
    u_int8_t maxpayload_size = RDT_PKT_SIZE - HEADER_SIZE - CHECKSUM_SIZE;

    int cursor = 0;
    while (msg->size - cursor > maxpayload_size) {
        packet *pkt = new packet;
        u_int16_t sequence_num = total_packet_num + 1; //计算sequencenum
        (pkt->data)[0] = maxpayload_size; //包的第一位为包中data的长度
        *(u_int16_t *) (pkt->data + 1) = sequence_num; //包的第2-3位为sequencenum
        memcpy...
        addChecksum(pkt); //计算crc checksum并填在包的最后三位
        packet_buffer[sequence_num] = pkt; //将包存储在buffer中
        cursor += maxpayload_size;
        total_packet_num++;
    }

    if (msg->size > cursor) {
        //略
    }
    //发送第一个滑动窗口并开启计时器
    Sender_moveWindow();
    Sender_StartTimer(TIMEOUT);
}

```

如果Sender收到ACK则将滑动窗口向前移动，并在buffer中删除ACK的sequence之前的包以节约内存，如果所有packet均发送完成则关闭计时器，否则重置计时器。

```

void Sender_FromLowerLayer(struct packet *pkt) {
    /*检查包是否出错*/
    if (crc::crc8_rohc(pkt->data, 4) || crc::crc4_itu(pkt->data, 3)) return;
    u_int16_t ack_sequence_num = *(u_int16_t *) (pkt->data);
    //移动窗口并删除buffer中ack_sequence_num之前的包
    Sender_ACKPacket(ack_sequence_num);
    Sender_moveWindow();
    //如果所有packet均发送完成则关闭计时器
    if (send_base == Sender_nextseqnum)
        Sender_StopTimer();
    else
        Sender_StartTimer(TIMEOUT); //否则重置计时器
}

```

如果计时器超时则需要重发Sender\_nextseqnum之前没有收到ACK的包（即send\_base之后nextseqnum之前的包），并重置计时器。

```
void Sender_Timeout() {
    Sender_StartTimer(TIMEOUT); //重置计时器
    //重新发包
    for (u_int16_t i = send_base; i <= Sender_nextseqnum - 1; i++)
        Sender_ToLowerLayer(packet_buffer[i]);
}
```

## Receiver

Receiver处的主要逻辑如下：

在Receiver收到包后，首先检查包是否出错，如果出错（如size显著有误或crc不为0）或包已经收到过（sequence\_num < Receiver\_nextseqnum）则发送序列号为Receiver\_nextseqnum - 1的ACK给Sender；如果包没有出错但是sequence\_num > Receiver\_nextseqnum则将包缓存并发送序列号为Receiver\_nextseqnum - 1的ACK给Sender；如果包没有出错且sequence\_num == Receiver\_nextseqnum则将包发给上层并将之后所有缓存中已经存在的包发给上层，直到遇到缓存中没有的sequencenum为止。

```
void Receiver_FromLowerLayer(struct packet *pkt) {
    if (crc校验不通过或size不在1-maxpayload_size范围内) {
        ACK(Receiver_nextseqnum - 1);
        return;
    }

    /* construct a message and deliver to the upper layer */
    struct message *msg = (struct message *)malloc(sizeof(struct message));
    msg->size = (u_int8_t)pkt->data[0];
    u_int16_t sequence_num = *(u_int16_t *) (pkt->data + 1);
    if (sequence_num < Receiver_nextseqnum) {
        ACK(Receiver_nextseqnum - 1);
        return;
    }
    if (sequence_num > Receiver_nextseqnum) {
        ACK(Receiver_nextseqnum - 1);
        将数据从packet拷贝到message的其他操作
        Receiver_packet_buffer[sequence_num] = msg;
        return;
    }

    将数据从packet拷贝到message的其他操作
    Receiver_ToUpperLayer_rewrite(msg);

    ACK(Receiver_nextseqnum);
    Receiver_nextseqnum++;
    //将buffer中后面存在的包发送，直到遇到缓存中没有的sequencenum为止
    while (Receiver_packet_buffer.find(Receiver_nextseqnum) !=
           Receiver_packet_buffer.end()) {
        msg = Receiver_packet_buffer[Receiver_nextseqnum];
```

```
    Receiver_ToUpperLayer_rewrite(msg);  
    ACK(Receiver_nextseqnum);  
    Receiver_nextseqnum++;  
}  
}
```

## 测试结果

`./rdt_sim 1000 0.1 100 0.15 0.15 0.15 0`的测试结果如下：

```
At 0.00s: sender initializing ...  
At 0.00s: receiver initializing ...  
At 2391.19s: sender finalizing ...  
At 2391.19s: receiver finalizing ...  
  
Simulation completed at time 2391.19s with  
    1007524 characters sent  
    1007524 characters delivered  
    60296 packets passed between the sender and the receiver  
Congratulations! This session is error-free, loss-free, and in order.
```

`./rdt_sim 1000 0.1 100 0.3 0.3 0.3 0`的测试结果如下：

```
At 0.00s: sender initializing ...  
At 0.00s: receiver initializing ...  
At 3276.06s: sender finalizing ...  
At 3276.06s: receiver finalizing ...  
  
Simulation completed at time 3276.06s with  
    1002493 characters sent  
    1002493 characters delivered  
    87114 packets passed between the sender and the receiver  
Congratulations! This session is error-free, loss-free, and in order.
```