RTCP (Realtime Transport Control Protocol)

한화비전 VEDA 1기 B반

김태원

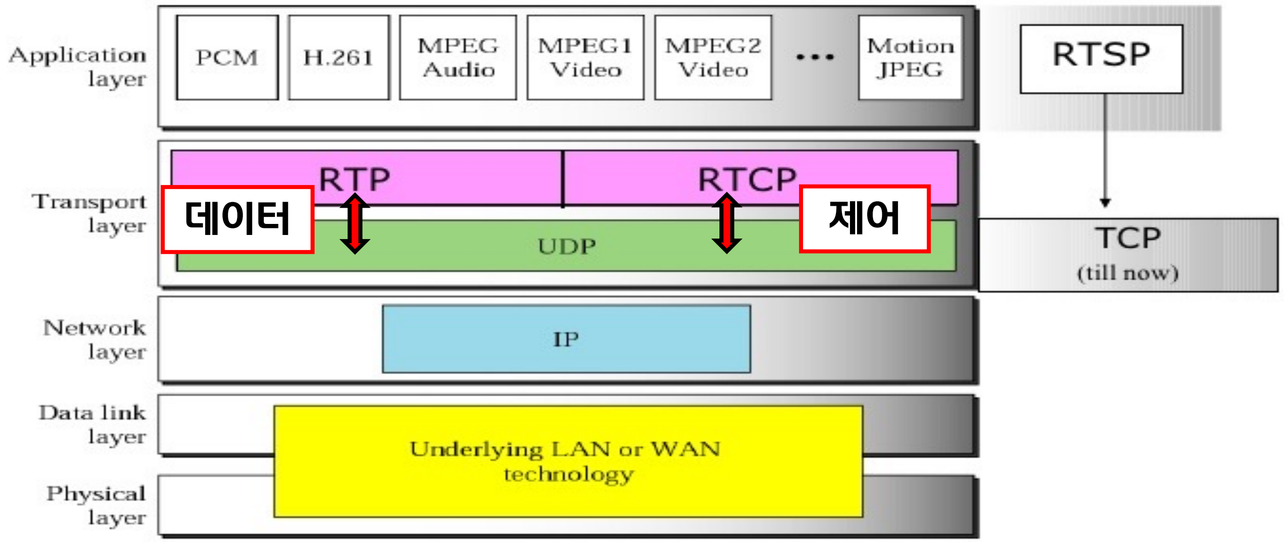
RTP 와 RTCP

RTP (Realtime Transport Protocol)

- 실시간 비디오, 오디오 및 데이터를 전송하는 데 사용하는 프로토콜 (짝수 포트 번호)

RTCP (Realtime Transport Control Protocol)

- RTP 세션의 네트워크 품질 제어를 위한 별도의 제어용 프로토콜 (RTP + 1 포트 번호)



Q. 왜 RTP, RTCP는 주로 UDP를 사용하고 RTSP는 TCP를 사용할까?

- Live Streaming 에서 많이 사용
- RTSP는 RTP의 세션 관리용 프로토콜 → 세션 관리를 위해 패킷 보장 (TCP)

Q. RTP / RTCP는 왜 패킷이 보장되는 TCP를 놔두고 UDP를 사용하는가?

- Live Streaming는 실시간 전송
- 라이브는 시간이 매우 중요, 시간 지연 X

➔ 패킷은 손실하더라도 지연은 용납 못해! UDP 사용

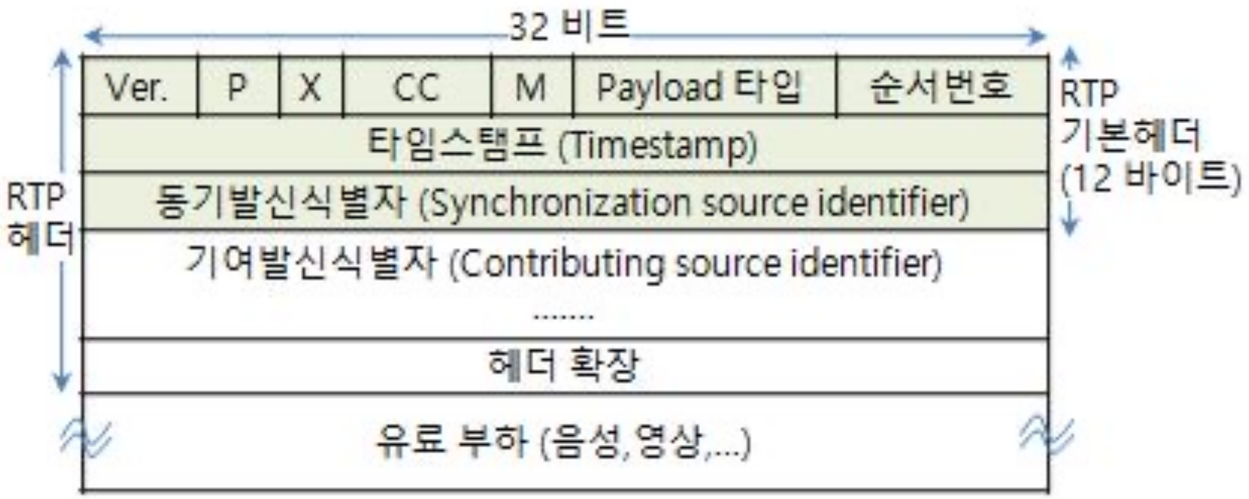
(간혹 RTP over TCP도 사용함)

결론 : Live 관점에서는 RTP와 RTCP는

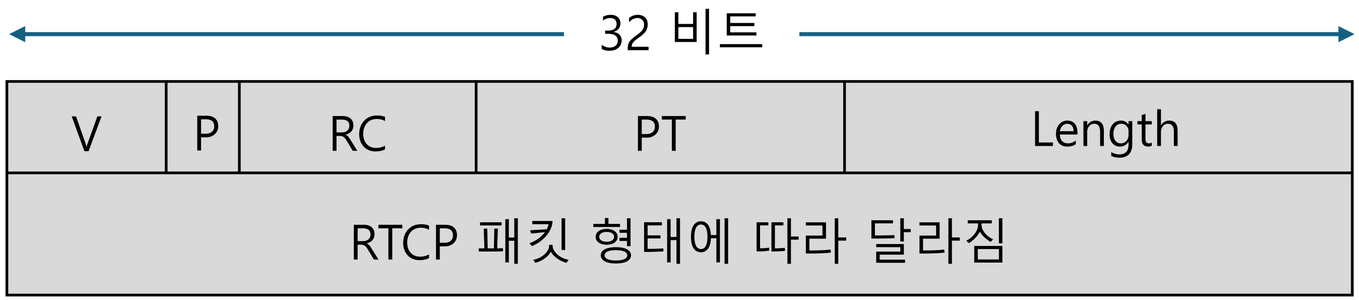
목적에 맞게 주로 UDP를 사용

RTP 와 RTCP 헤더 구조 비교

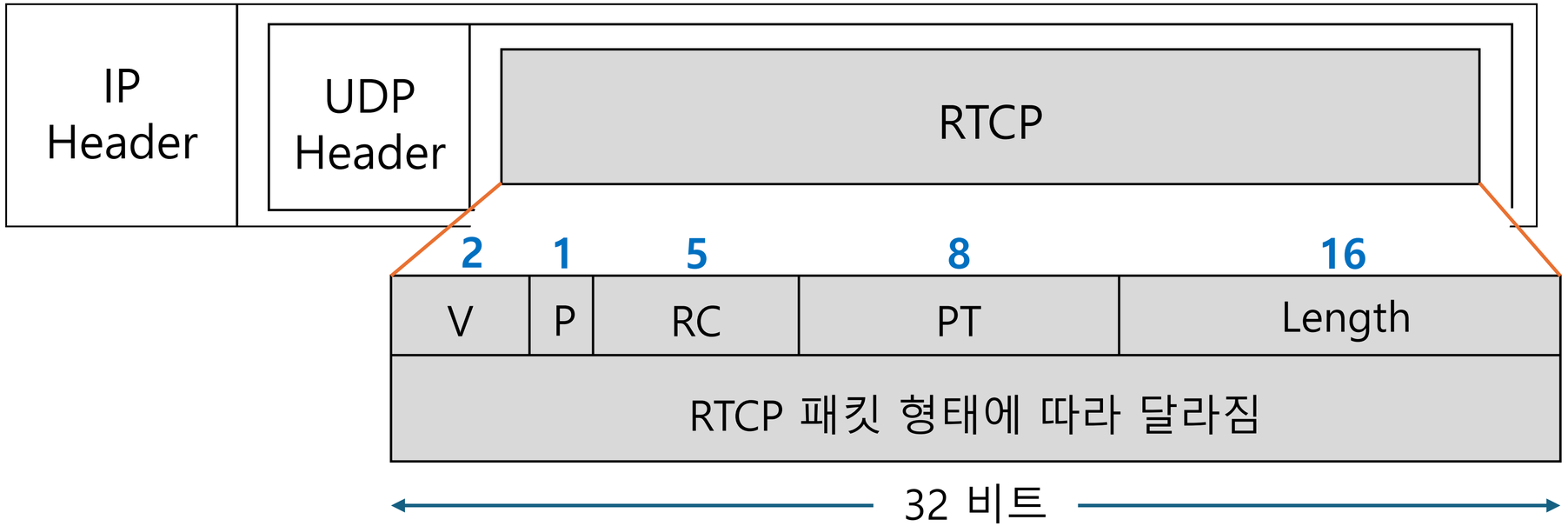
RTP



RTCP



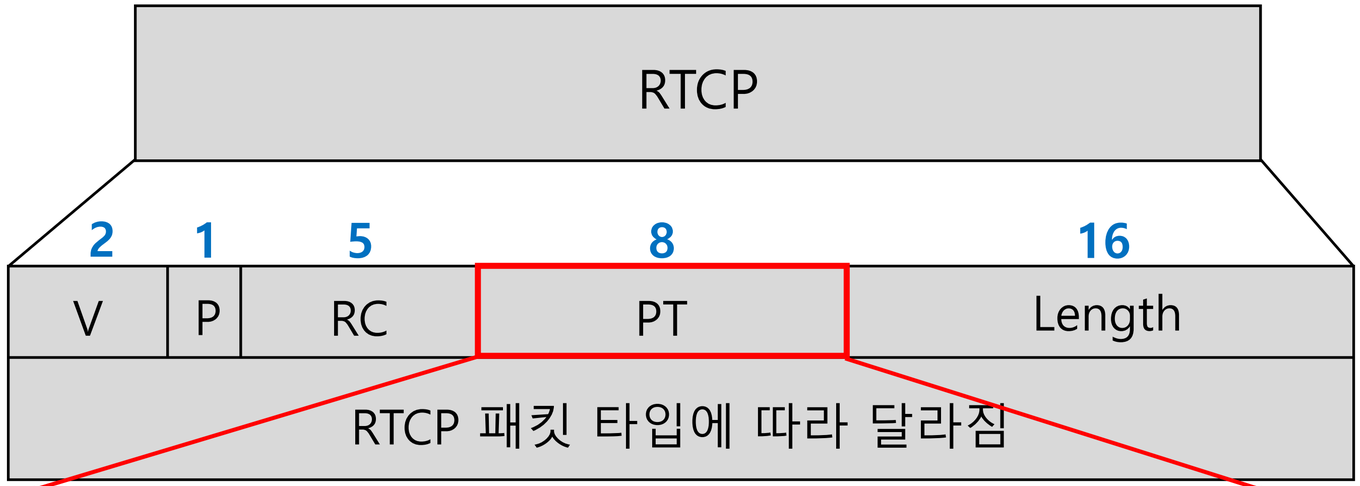
RTCP 패킷 구조



- **V(Version):** RTP의 버전(일반적으로 2로 설정)
- **P(Padding):** 패킷의 끝에 패딩이 있는지 여부를 표시, P=1이면 패딩 존재.
- **RC(Reception Report Count):** 패킷에 포함된 수신 보고서 블록 수
- **PT(Packet Type):** RTCP 패킷 타입
- **Length:** 패킷의 길이

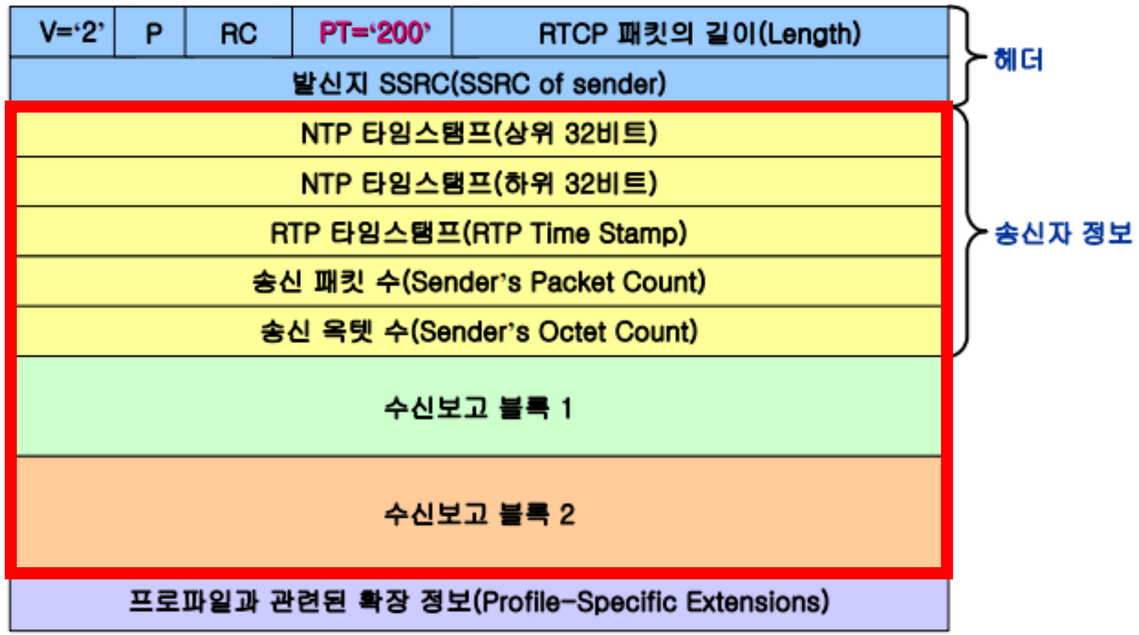
RTCP 패킷 타입(메세지) 종류

PT = 200 : SR
PT = 201 : RR
PT = 202 : SDES
PT = 203 : BYE
PT = 204 : APP

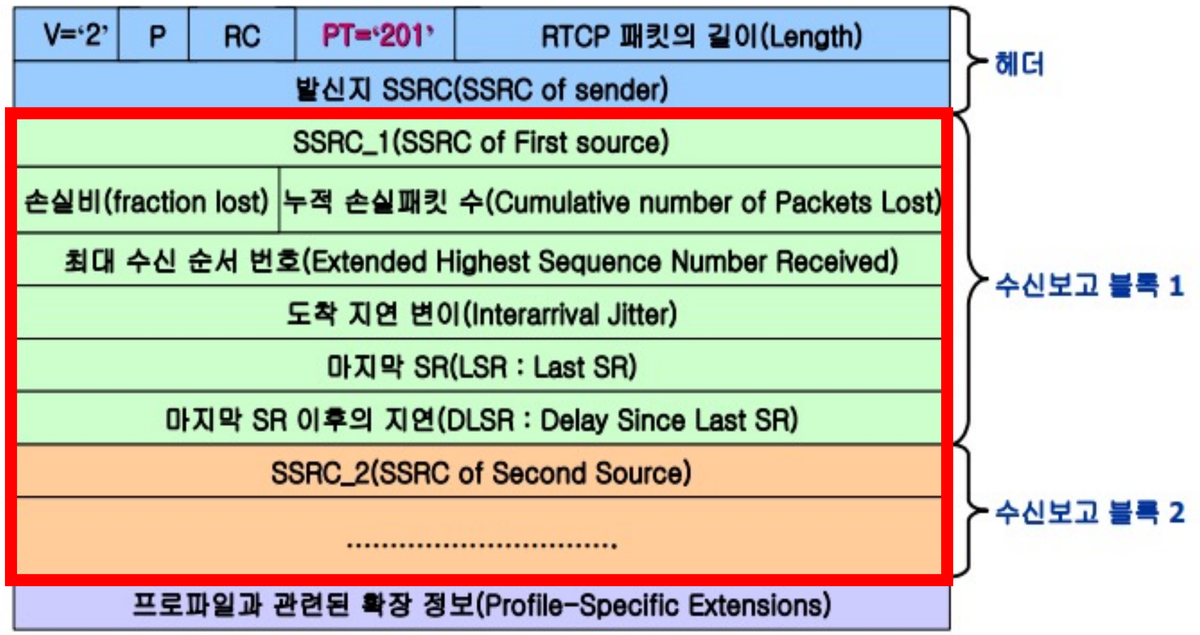


- **SR (Sender Report):** 송신자가 보내는 품질정보 통계 데이터(ex. 송신 패킷 수 등)
- **RR (Receiver Report)**: 수신자가 보내는 품질정보 통계 데이터(ex. 패킷 손실률 등)
- **SDES (Source Description)**: 소스 정보(사용자 이름, 이메일 등) 제공.
- **BYE**: 세션에서의 종료를 알림
- **APP**: 특정 어플리케이션에 맞게 사용자 맞춤형 데이터를 전송

패킷 타입(PT)에 따라 형식이 다르다?

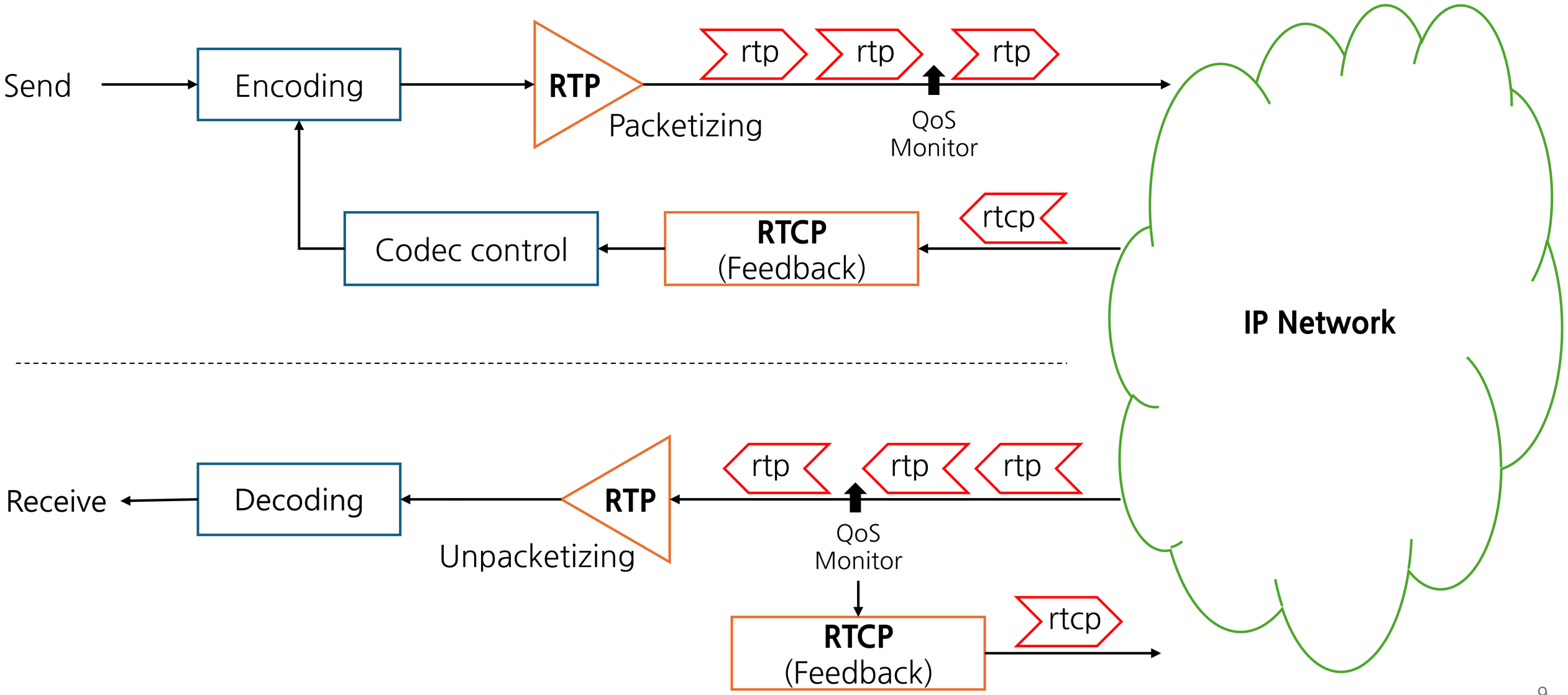


Sender Report(SR)

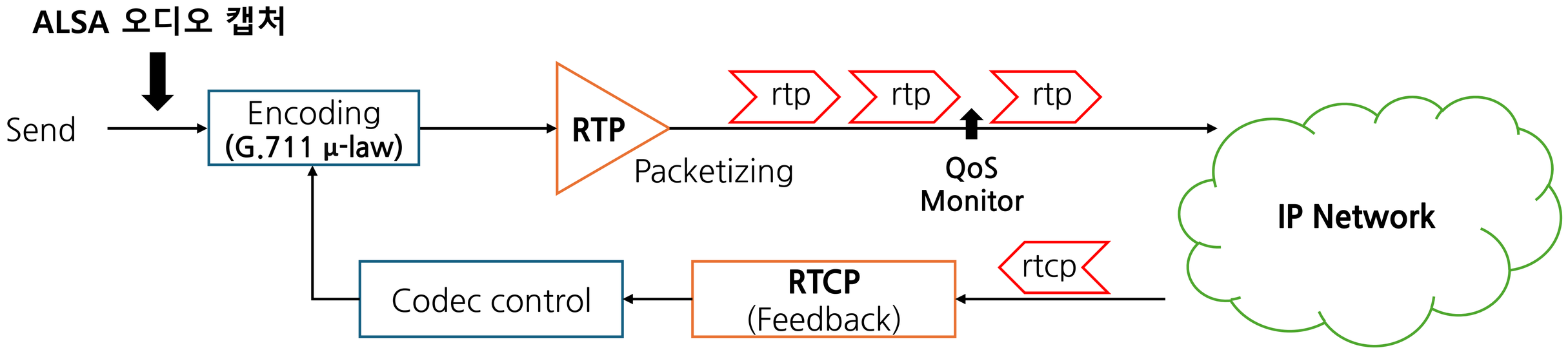


Receive Report(RR)

RTP 와 RTCP의 동작 과정



코드 실습



구성 요소

1. **ALSA(Advanced Linux Sound Architecture)**: 리눅스에서 오디오 캡처를 담당하는 라이브러리
2. **G.711 μ-law 인코딩**: 오디오 데이터를 압축하는 코덱
3. **RTP/RTCP**: RTP를 통해 오디오 데이터를 전송하고 RTCP로 SR(Sender Report) 전송

RTP 헤더 (단일 바이트 vs 구조체 비트 필드)

```c
// RTP 헤더 생성 함수
void create_rtp_header(unsigned char *rtp_header, unsigned short seq_num, unsigned int timestamp, unsigned int ssrc) {
    rtp_header[0] = 0x80;  // Version 2, no padding, no extension, no CSRC

    rtp_header[1] = 0x00;  // Payload type 0 (G.711=PCMU), Marker bit 0

    rtp_header[2] = seq_num >> 8;  // Sequence number (16 bits)
    rtp_header[3] = seq_num & 0xFF;

    rtp_header[4] = (timestamp >> 24) & 0xFF;  // Timestamp (32 bits)
    rtp_header[5] = (timestamp >> 16) & 0xFF;
    rtp_header[6] = (timestamp >> 8) & 0xFF;
    rtp_header[7] = (timestamp >> 0) & 0xFF;

    rtp_header[8] = (ssrc >> 24) & 0xFF;  // SSRC (32 bits)
    rtp_header[9] = (ssrc >> 16) & 0xFF;
    rtp_header[10] =(ssrc >> 8) & 0xFF;
    rtp_header[11] =(ssrc >> 0) & 0xFF;
}
```

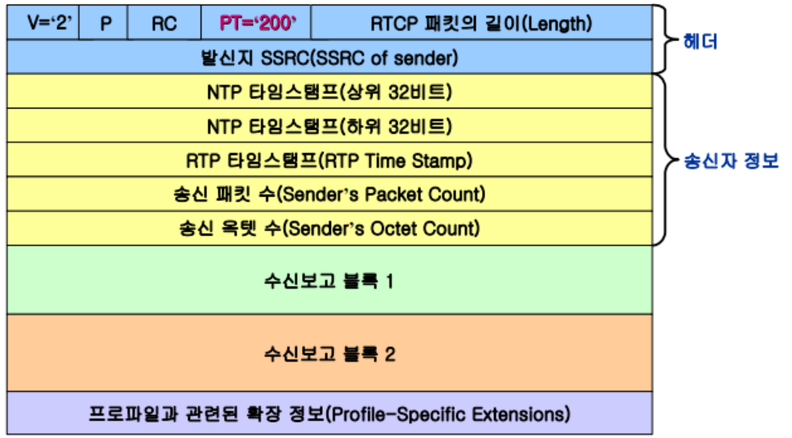
```c
// RTP 헤더 구조체 (비트 필드 사용)
struct rtp_header {
    uint16_t cc:4;      // CSRC count (4 bits)
    uint16_t x:1;       // Extension (1 bit)
    uint16_t p:1;       // Padding (1 bit)
    uint16_t version:2; // Version (2 bits)
    uint16_t pt:7;      // Payload type (7 bits)
    uint16_t m:1;       // Marker (1 bit)
    uint16_t seq_num;   // Sequence number (16 bits)
    uint32_t timestamp; // Timestamp (32 bits)
    uint32_t ssrc;      // SSRC (32 bits)
};
```

```c
// RTP 헤더 생성 함수
void create_rtp_header(struct rtp_header *header, unsigned short seq_num, unsigned int timestamp, unsigned int ssrc) {
    header->version = 2;
    header->p = 0;
    header->x = 0;
    header->cc = 0;
    header->m = 0;
    header->pt = 0;  // 0 for PCMU (G.711 μ-law)
    header->seq_num = htons(seq_num);
    header->timestamp = htonl(timestamp);
    header->ssrc = htonl(ssrc);
}
```

RTCP SR 패킷 구조 코드


```c
#define DEST_IP "127.0.0.1"  // 라즈베리파이의 IP 주소
#define RTP_PORT 5004 //
#define RTCP_PORT 5005
#define PAYLOAD_SIZE 160  // 20ms of G.711 audio at 8kHz

// RTCP SR (Sender Report) 구조
struct rtcp_sr {
#if __BYTE_ORDER == __LITTLE_ENDIAN
    uint8_t rc:5;
    uint8_t p:1;
    uint8_t version:2;
#elif __BYTE_ORDER == __BIG_ENDIAN
    uint8_t version:2;
    uint8_t p:1;
    uint8_t rc:5;
#else
#error "Please fix <bits/endian.h>"
#endif
    uint8_t pt;
    uint16_t length;
    uint32_t ssrc;
    uint32_t ntp_timestamp_msw;
    uint32_t ntp_timestamp_lsw;
    uint32_t rtp_timestamp;
    uint32_t sender_packet_count;
    uint32_t sender_octet_count;
} __attribute__((packed));
```



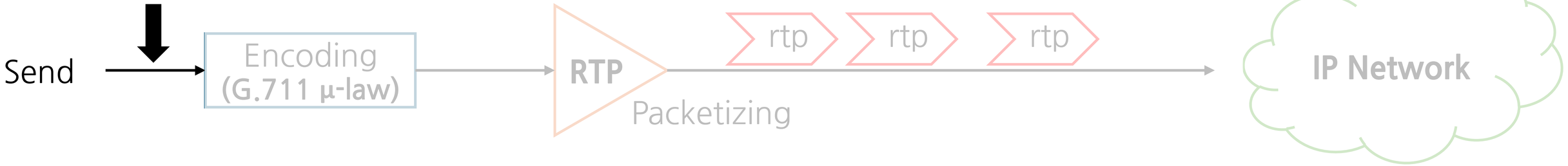

```c
// RTCP SR(Sender Report) 생성 함수
void create_rtcp_sr(struct rtcp_sr *sr, uint32_t ssrc, uint32_t rtp_timestamp, uint32_t packet_count, uint32_t octet_count) {
    memset(sr, 0, sizeof(*sr));
    sr->version = 2;
    sr->p = 0;
    sr->rc = 0;
    sr->pt = 200;  // 200 for Sender Report
    sr->length = htons(6);  // 6 32-bit words
    sr->ssrc = htonl(ssrc);

    struct timespec now;
    clock_gettime(CLOCK_REALTIME, &now);
    uint64_t ntp_time = ((uint64_t)(now.tv_sec + 2208988800ULL) << 32) |
                        ((uint64_t)now.tv_nsec * 0x100000000ULL / 1000000000ULL);

    sr->ntp_timestamp_msw = htonl((uint32_t)(ntp_time >> 32));
    sr->ntp_timestamp_lsw = htonl((uint32_t)(ntp_time & 0xFFFFFFFF));
    sr->rtp_timestamp = htonl(rtp_timestamp);
    sr->sender_packet_count = htonl(packet_count);
    sr->sender_octet_count = htonl(octet_count);
}
```

ALSA audio capture

ALSA 오디오 캡처




```c
// ALSA 초기화
snd_pcm_t *pcm_handle;
snd_pcm_hw_params_t *params;
int dir;
unsigned int sample_rate = 8000;  // G.711의 샘플링 레이트
int rc; // ALSA 오디오 파라미터 적용

// ALSA PCM 디바이스 열기
rc = snd_pcm_open(&pcm_handle, "default", SND_PCM_STREAM_CAPTURE, 0);
if (rc < 0) {
    fprintf(stderr, "Unable to open PCM device: %s\n", snd_strerror(rc));
    exit(1);
}

// ALSA PCM 하드웨어 파라미터 설정
snd_pcm_hw_params_alloca(&params); // 오디오 디바이스의 매개변수 설정을 위한 공간 확보
snd_pcm_hw_params_any(pcm_handle, params); // 기본값으로 초기화
snd_pcm_hw_params_set_access(pcm_handle, params, SND_PCM_ACCESS_RW_INTERLEAVED); // 인터리브드 모드로 설정
snd_pcm_hw_params_set_format(pcm_handle, params, SND_PCM_FORMAT_S16_LE); // 오디오 포맷 16비트로 설정
snd_pcm_hw_params_set_channels(pcm_handle, params, 1);  // 모노로 설정
snd_pcm_hw_params_set_rate_near(pcm_handle, params, &sample_rate, &dir); // 샘플링 레이트 설정
rc = snd_pcm_hw_params(pcm_handle, params);
if (rc < 0) {
    fprintf(stderr, "Unable to set HW parameters: %s\n", snd_strerror(rc));
    exit(1);
}
```

```c
// RTP 패킷 전송 루프
while (1) {
    // ALSA라이브러리를 통해 오디오 데이터 캡처
    rc = snd_pcm_readi(pcm_handle, buffer, frames);
    if (rc == -EPIPE) { // 오버런일 경우 처리
        fprintf(stderr, "Overrun occurred\n");
        snd_pcm_prepare(pcm_handle);
        continue;
    } else if (rc < 0) { // 에러가 발생했을 때의 처리
        fprintf(stderr, "Error from read: %s\n", snd_strerror(rc));
        continue;
    } else if (rc != frames) { // 요청한 것보다 적은 프레임을 읽었을 때
        fprintf(stderr, "Short read, read %d frames\n", rc);
    }
```

G.711 Codec

- **G.711은, PSTN 망(전화망)에 적용되는 가장 기초적인 방식**
- PCM (Pulse Code Modulation, 펄스 부호 변조) 방식이라고도 함

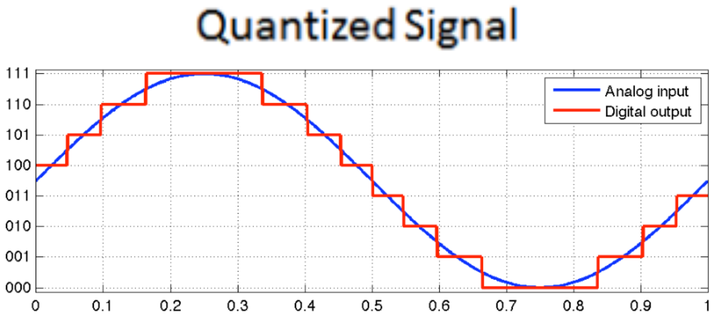
주요 특징

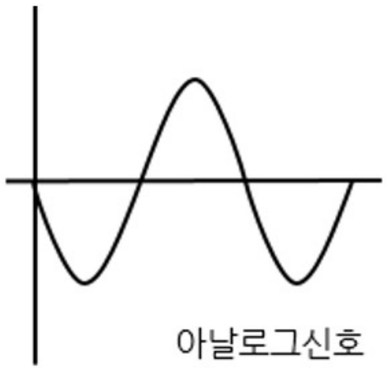
- **대역폭 :** 300Hz ~ 3400Hz 대역의 음성 대역 신호
- **샘플링 주파수 :** 8kHz

  → 이유 : 주로 **전화 통화**에서 사용 (사람 목소리는 **300~3400Hz**에서 재현하기에 충분)
- **양자화 비트 수 :** 각 표본을 8bit로 부호화
- **양자화 방식 :** 비선형 양자화 ➔ μ(mu)-law, A-law
- **전송 비트율** : 8000(sample/s) x 8(bit) = 64 kbps

PCM(Pulse Code Modulation)

- 아날로그 신호 → 디지털 신호





음성 신호

Sampling
(표본화)

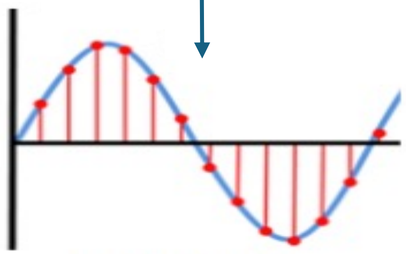
Quantizing
(양자화)

Encoding
(부호화)

PCM(Pulse Code Modulation)

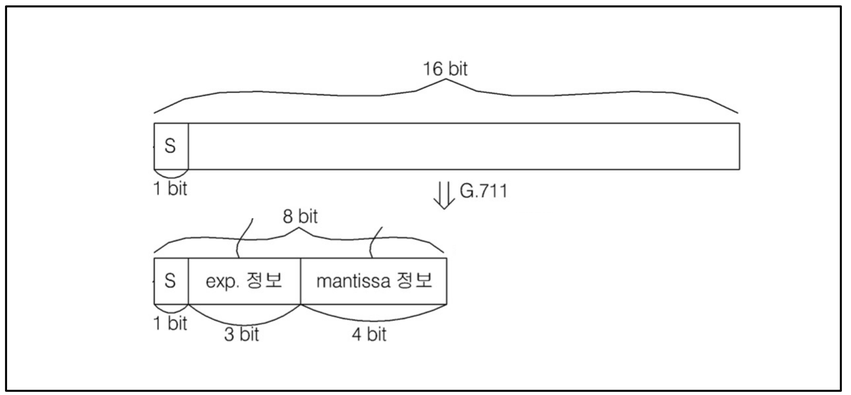
0000 1001 1101 1111 …

디지털 데이터



G.711 (μ-law) Encoding

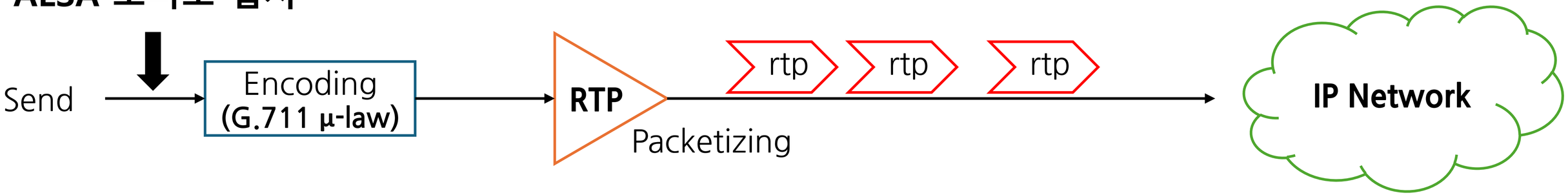

```c
// G.711 μ-law 인코딩 함수
unsigned char g711_ulaw(int sample) {
    const int MAX = 32767; // PCM 오디오 샘플의 최대 값
    const int BIAS = 0x84; // 인코딩에서 사용하는 바이어스 값, 압축시 왜곡을 줄이기 위해 사용
    int sign = (sample >> 8) & 0x80; // 샘플의 상위 8비트 추출 (부호 확인)
    if (sign != 0) sample = -sample; // 음수일 경우 양수로 변환
    if (sample > MAX) sample = MAX; // 최대값 제한
    sample += BIAS; // 바이어스 추가: 작은 신호 왜곡을 줄이기 위함
    int exponent = 7;  // 지수(exponent) 계산
    int mask;
    for (; exponent > 0; exponent--) {
        mask = 1 << (exponent + 3);
        if (sample >= mask) break;
    }
    int mantissa = (sample >> (exponent + 3)) & 0x0F; // 가수 계산 (하위 4비트)
    return ~(sign | (exponent << 4) | mantissa);  // 부호, 지수, 가수를 결합하여 최종 인코딩 값 생성
}
```



16비트 신호를 → 8비트로 압축

RTP Packetizing

ALSA 오디오 캡처



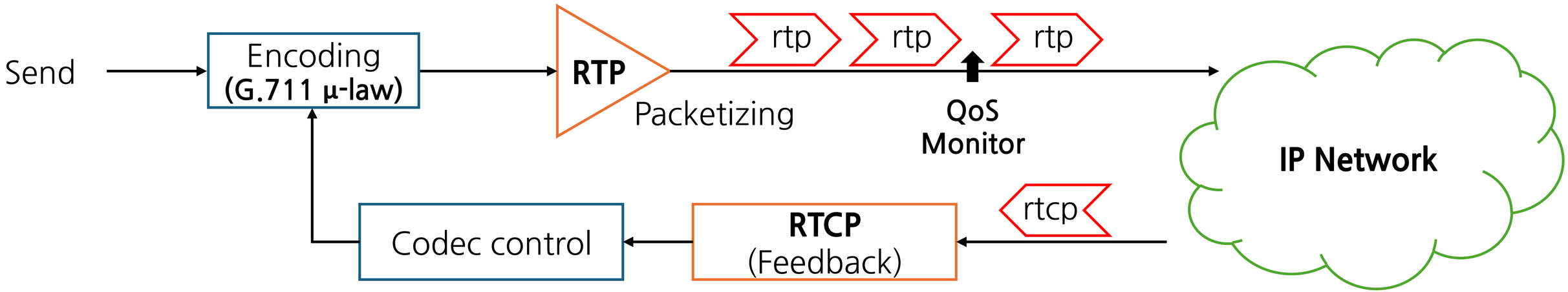

```
// 캡처한 데이터를 G.711 μ-law으로 인코딩
for (int i = 0; i < PAYLOAD_SIZE; i++) {
    payload[i] = g711_ulaw(buffer[i]);
}

// RTP 헤더 생성
create_rtp_header(&rtp_hdr, seq_num, timestamp, ssrc);

// RTP 패킷화(Packetizing)
memcpy(rtp_packet, &rtp_hdr, sizeof(struct rtp_header));
memcpy(rtp_packet + sizeof(struct rtp_header), payload, PAYLOAD_SIZE);

// RTP 패킷 전송
if (sendto(rtp_sockfd, rtp_packet, sizeof(rtp_packet), 0, (struct sockaddr *)&rtp_dest_addr, sizeof(rtp_dest_addr)) < 0) {
    perror("RTP sendto() error");
    exit(1);
}
printf("RTP packet %d sent\n", ntohs(rtp_hdr.seq_num));
```

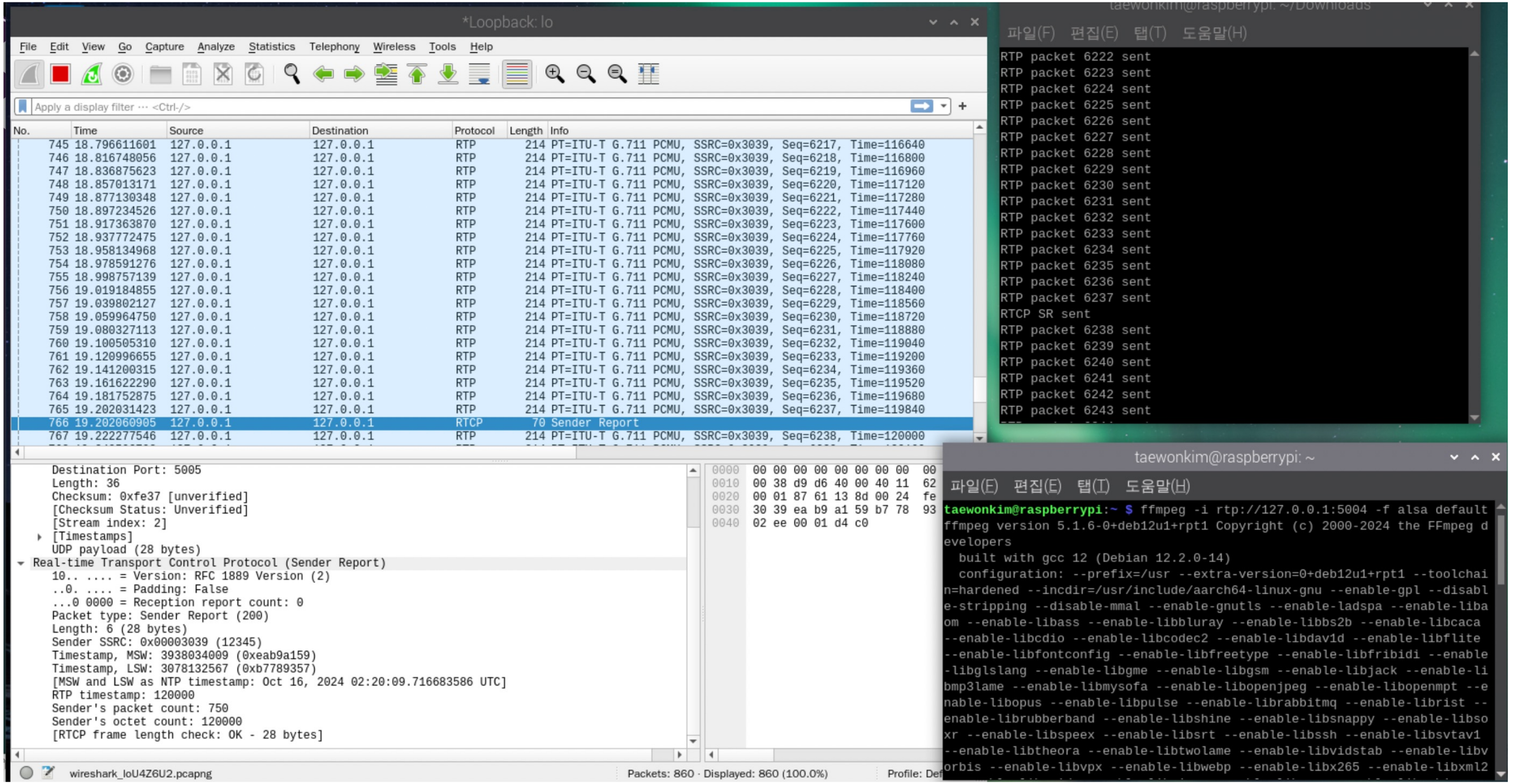
RTCP SR(Sender Report) Feedback




```
    // 50패킷(1초)마다 RTCP SR 전송
    if (packet_count % 50 == 0) {
        create_rtcp_sr(&rtcp_sr, ssrc, timestamp, packet_count, octet_count);
        if (sendto(rtcp_sockfd, &rtcp_sr, sizeof(rtcp_sr), 0, (struct sockaddr *)&rtcp_dest_addr, sizeof(rtcp_dest_addr)) < 0) {
            perror("RTCP SR sendto() error");
            exit(1);
        }
        printf("RTCP SR sent\n");
    }

    usleep(20000);  // 20ms 지연 (50 패킷/초)
}
```

결과 (with Wireshark)



노이즈가 많이 끼는 이유?

1. **좋지 않은 마이크 ?**
2. **패킷 손실 ?**
3. **send에 맞는 receive ? Jitter buffer 처리**

- 지터(Jitter) 현상: 데이터 패킷이 도착하는 시간이 불규칙해지는 현상

  (목소리가 끊기거나 **영상 통화** 중에 화면이 멈춤)

- 해결 방법: 일정 시간동안 도착한 음성 패킷을 "**인코딩 시간 순서대로 정렬** " 하여 버퍼에 저장한 후 재생

- **패킷 손실과 지연 문제**를 완화하기 위해 일시적으로 데이터를 저장

결론

1. **RTP :** 실시간 비디오, 오디오 데이터를 전송하는 프로토콜, UDP 사용

2. **RTCP :** RTP의 품질을 제어하며, UDP 사용 (RTP와 한 쌍)

3. **RTCP의 패킷 구조와 패킷 타입**

4. **PCM :** 표본화 → 양자화 → 부호화