

LTE 상향링크 공유 채널에서 제어 정보 전송을 위한 다중화 및 채널 인터리빙 기법 연구

정재연, 심이삭*, 정진우*, 윤상범*, 남해운
한양대학교, *LIG 넥스원

{jy1019, hnam}@hanyang.ac.kr, *{isaac.sim, jinwoo.jeong, sangbom.yun}@lignex1.com

A Study on Multiplexing and Channel Interleaving Techniques for Control Information Transmission in the LTE UL-SCH

Jaeyeon Jung, Isaac Sim*, Jinwoo Jeong*, Sangbom Yun*, Haewoon Nam
Hanyang Univ., *LIG Nex1

요 약

본 논문은 3GPP TS 36.212 표준에 정의된 절차를 기반으로, LTE 상향링크 공유 채널(Uplink Shared Channel, UL-SCH)을 통해 데이터와 상향링크 제어 정보(Uplink Control Information, UCI)가 전송되는 환경에서 적용되는 채널 인터리빙(Channel Interleaving) 기법을 분석한다. 또한, 채널 인터리빙의 이전 단계인 데이터 및 제어 다중화(Data and Control multiplexing) 과정에서 데이터와 RI(Rank Indicator)가 다중화 되는 절차를 분석한다.

I. 서 론

상향링크 공유 채널은 사용자 단말(User Equipment, UE)에서 기지국으로 데이터와 제어 정보를 전송하는 주요 경로이며, 데이터와 상향링크 제어 정보가 다중화되어 전송된다[1]. 제어 정보에는 채널 상태 정보(Channel State Information, CSI) 및 데이터 전송의 성공 여부를 알리는 신호가 포함되어 기지국의 자원 할당과 전송 성능 최적화에 중요한 역할을 한다. 그러나 무선 채널의 페이딩, 간섭, 노이즈 등의 영향으로 전송 과정에서 오류가 발생할 수 있으며, 이를 완화하기 위해 채널 인터리빙 기법이 적용되어 데이터와 제어 정보를 재배열함으로써 오류를 분산시키고 전송 신뢰성을 향상시킨다. 수신단에서는 인터리빙된 데이터를 복원하는 역 인터리빙(De-interleaving) 과정이 수행된다. 본 논문은 3GPP TS 36.212 표준을 기반으로, LTE 상향링크 공유 채널에서 데이터 및 상향링크 제어 정보가 동시에 전송되는 구조를 대상으로 하여, 그림 1에 제시된 바와 같이 데이터 및 제어 정보의 다중화와 채널 인터리빙 기법을 분석하고 기술한다[2].

II. 상향링크 제어 정보

상향링크 제어 정보는 물리 상향링크 제어 채널 또는 물리 상향링크 공유 채널을 통해 전송되며, 주로 CQI(Channel Quality Indicator), RI, 그리고 HARQ-ACK(Hybrid Automatic Repeat Request Acknowledgement)로 구성된다. CQI는 단말이 측정된 하향링크 무선 채널의 품질을 기지국에 보고하는 지표로, 기지국은 CQI 정보에 기반하여 변조 및 코딩 방식을 동적으로 선택함으로써 데이터 전송의 효율성을 극대화한다. LTE 시스템

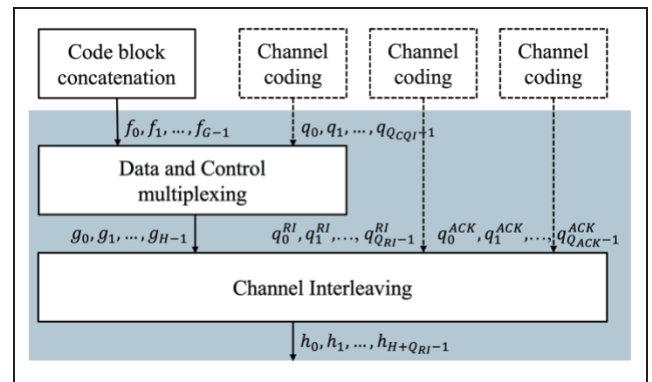


그림 1. 상향링크의 트랜스포트 블록 처리 과정

에서 CQI는 0부터 15까지의 값을 갖는 4비트로 구성되며, 이 값은 채널 상태에 따라 결정된다. 낮은 CQI 값은 보다 강인한 변조 방식과 낮은 코딩률이 필요함을 의미하며, 높은 CQI 값은 고차 변조 및 높은 코딩률이 적용될 수 있는 양호한 채널 상태를 나타낸다. RI는 다중 안테나 시스템(Multiple Input Multiple Output, MIMO) 환경에서 단말이 추정된 랭크를 기지국에 보고하는 정보로, 기지국은 이를 활용하여 적절한 레이어 수를 결정한다. 단말은 채널 조건을 분석하여 RI를 계산하며, 안테나 구성에 따라 전송 비트 수가 달라진다. 예를 들어, 2x2 MIMO 구성에서는 RI 값으로 1 또는 2가 사용되어 1비트로 표현되고, 4x4 MIMO의 경우 1부터 4까지의 RI 값이 2비트로 전송된다. RI 값이 높을수록 안테나 간의 간섭이 적고, MIMO 성능이 우수함을 의미한다. HARQ-ACK는 단말이 수신한 데이터에 대한 전송 성공 여부를 기지국에 알리기 위한 피드백 신호이다. 단말은 수신한 데이터

$$\begin{bmatrix} \underline{y}_0 & \underline{y}_1 & \cdots & \underline{y}_{C_{mux}-1} \\ \underline{y}_{C_{mux}} & \underline{y}_{C_{mux}+1} & \cdots & \underline{y}_{2C_{mux}-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{y}_{(R'_{mux}-1) \times C_{mux}} & \underline{y}_{(R'_{mux}-1) \times C_{mux}+1} & \cdots & \underline{y}_{(R'_{mux}-1) \times C_{mux}+C_{mux}-1} \end{bmatrix}$$

 그림 2. (R'_{mux}, C_{mux}) 형태의 행렬

의 무결성을 확인한 후, 오류가 검출되지 않은 경우 ACK(Acknowledgement) 신호를, 오류가 발생한 경우 NACK(Negative Acknowledgement) 신호를 전송하여 재전송을 요청한다. LTE 시스템에서는 제어 정보의 전송 오버헤드를 줄이기 위해 2 비트로 구성된 ACK/NACK 피드백을 사용한다.

III. 데이터 및 제어 정보 다중화와 채널 인터리빙 과정

채널 인터리빙은 (R'_{mux}, C_{mux}) 형태의 행렬에 RI, 다중화된 CQI 및 데이터, 그리고 HARQ-ACK 를 순차적으로 배치한 후, 열 단위로 읽어 신호를 분산시키는 과정을 포함한다. 여기서 C_{mux} 의 값은 TS 36.212 의 5.2.2.6 절에 따라 상향링크 슬롯당 심볼 수와 SRS(Sounding Reference Signal)의 존재 여부에 의해 12 로 고정되며, R'_{mux} 의 값은 5.2.2.8 절에 정의된 수식 (1)에 의해 결정된다[2],[3].

$$R'_{mux} = (H'_{total}/C_{mux}) = (H' + Q'_{RI})/C_{mux} \quad (1)$$

Q'_{RI} 는 RI 의 길이를 나타내는 Q_{RI} 를 변조 차수 Q_m 으로 나눈 값에 해당하며, H' 은 채널 인터리빙 이전에 데이터와 CQI 간에 적용되는 다중화 과정을 통해 결정된다. 다중화된 비트 스트림은 H' 개의 길이 $(Q_m \cdot N_L)$ 인 열 벡터 $\underline{g}_0, \underline{g}_1, \dots, \underline{g}_{H'-1}$ 로 표현되며, H' 의 값은 TS 36.212 의 5.2.2.7 절에 정의된 수식 (2)에 의해 계산된다[2].

$$H' = H/(N_L \cdot Q_m) = (G + N_L \cdot Q_{CQI})/(N_L \cdot Q_m) \quad (2)$$

위 수식에서, G 는 데이터 길이, Q_{CQI} 는 CQI 의 길이를 각각 나타내며, N_L 은 트랜스포트 블록(transport block)의 송신 레이어 개수를 의미한다. 최종적으로 다중화된 비트 스트림 \underline{g}_i 에는 CQI 가 앞부분에 배치되고, 그 뒤를 데이터가 따른다. 채널 인터리빙 과정에는 그림 1 에 제시된 바와 같이 아래 세 종류의 열 벡터가 입력된다.

1. $\underline{g}_0, \underline{g}_1, \dots, \underline{g}_{H'-1}$
2. $\underline{q}_0^{RI}, \underline{q}_1^{RI}, \dots, \underline{q}_{Q'_{RI}-1}^{RI}$
3. $\underline{q}_0^{ACK}, \underline{q}_1^{ACK}, \dots, \underline{q}_{Q'_{ACK}-1}^{ACK}$

\underline{q}_i^{ACK} 는 HARQ-ACK 의 길이를 나타내는 Q_{ACK} 를 Q_m 으로 나눈 값에 해당하는 Q'_{ACK} 개의 열 벡터로 구성되며, \underline{q}_i^{RI} 는 Q'_{RI} 개의 열 벡터로 구성된다. (R'_{mux}, C_{mux}) 형태의 행렬은 그림 2에 제시된 바와 같이 $\underline{y}_0, \underline{y}_1, \dots, \underline{y}_{(R'_{mux}-1) \times C_{mux}-1}$ 로 구성되며, 우선적으로 RI의 \underline{q}_i^{RI} 가 그림 3의 코드에 따라 \underline{y}_k 에 배치한다. RI 매핑 후에는, CQI와 데이터가 다중화된 \underline{g}_i 가 (R'_{mux}, C_{mux}) 형태의 행렬에 행 단위로 배치되며, 이어서 HARQ-ACK의 \underline{q}_i^{ACK} 가 그림 3의 코드에 따라 순차적으로 매핑된다.

```

i, j ← 0
r ← R'_{mux} - 1
if type == "RI":
    ColSet ← [1, 4, 7, 10]
    Q' ← Q'_{RI}
    vec ← q_i^{RI}
else if type == "ACK":
    ColSet ← [2, 3, 8, 9]
    Q' ← Q'_{ACK}
    vec ← q_i^{ACK}
while i < Q':
    col ← ColSet(j)
    y_{r \times 12 + col} ← vec
    i ← i + 1
    r ← R'_{mux} - 1 - [i/4]
    j ← (j + 3) % 4
end while
    
```

그림 3. 채널 인터리빙 절차의 RI, HARQ-ACK 배치 과정

HARQ-ACK는 이전에 배치된 데이터 비트를 덮는 방식으로 매핑된다. RI, CQI, 데이터, 그리고 HARQ-ACK가 모두 매핑된 행렬을 열 단위로 읽어 생성된 최종 비트 스트림은 $h_0, h_1, \dots, h_{H+Q_{RI}-1}$ 로 표현된다.

IV. 결론

본 논문에서는 LTE 표준을 기반으로 상향링크 공유 채널에서 데이터 및 제어 정보의 다중화 과정과 채널 인터리빙 기법을 분석하였다. 채널 인터리빙 절차는 비트를 분산시킴으로써 연속되는 오류를 완화하고 전송 데이터의 신뢰성을 향상시키는 것으로 확인되었다. 향후 연구에서는 실제 네트워크 환경에서의 성능 평가를 통해 채널 인터리빙 기법의 실효성을 검증할 것이며, 5G NR(New Radio)을 포함한 차세대 통신 시스템에서의 채널 인터리빙 및 역 인터리빙 기법에 대한 연구를 진행할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 방위사업청의 재원으로 국방기술진흥연구소의 지원을 받아 수행된 연구임(KRIT-CT-22-074).

참 고 문 헌

- [1] Ghosh, Arunabha, et al. Fundamentals of LTE. Pearson Education, 2010.
- [2] 3GPP, LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Multiplexing and Channel Coding(3GPP TS 36.212 V10.0.0), Jan. 2011.
(https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136212/10.00.00_60/ts_136212v100000p.pdf)
- [3] 3GPP, LTE; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical Channels and Modulation(3GPP TS 36.211 V10.7.0), Apr. 2013.
(https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/136200_136299/136211/10.07.00_60/ts_136211v100700p.pdf)