

이동통신에서 정확한 링크 품질 결정을 위한 개선된 교정인자 도출

이현지*, 김하성*, 박호성°, 엄중선**

Derivation of Refined Tuning Parameters for Determining Accurate Link Quality in Mobile Communications

Hyunjee Lee*, Haseong Kim*,
 Hosung Park°, Jungsun Um**

요약

본 논문에서는 다양한 채널 환경에서 링크 품질의 정확한 판단을 위한 개선된 교정인자 도출 기법을 제안한다. 그리고 3가지 오차함수를 적용시켜 교정인자를 도출한다. 도출된 교정인자는 채널 품질 지시자(channel quality indicator, CQI) 결정에 사용된다. 모의실험을 통하여 제안된 기법의 교정인자가 넓은 범위의 SNR에서 기존 교정인자 대비 더 정확한 링크 품질을 결정함을 보인다.

Key Words : CQI, effective SNR, link quality determination, tuning parameter

ABSTRACT

In this paper, we propose an improved scheme to derived tuning parameters for accurate determination of link quality in various channel environments. Then, three error functions are applied to derive the tuning parameters. The derived tuning parameter is

used to determine the channel quality indicator(CQI). The simulation results demonstrate that the tuning parameters of the proposed method determines the more accurate link quality than the existing tuning parameters in wide range of SNR.

I. 서론

이동통신 시스템이 발전함에 따라 사용자들의 수가 급증하면서 단말들이 겪는 환경은 다양해지고 데이터 트래픽 또한 급속도로 증가하고 있다. 이러한 상황에서 페이딩 채널에 대해 적절하게 판단된 링크 품질은 신뢰성 있는 통신을 유지하고 시스템의 처리량을 증가시킨다.

3GPP LTE 시스템의 수신기는 채널 상태 정보를 바탕으로 현재 채널 조건에 적합한 변조 차수 및 코딩율을 결정하여 채널 품질 지시자(channel quality indicator, CQI)를 추정하고 송신기로 피드백 한다^[1]. 기존의 링크 품질 결정방법^[2]은 이동통신의 다양한 채널 상황을 충분히 반영하지 않은 채로 교정인자를 도출하여 링크 품질을 결정하기 때문에 실제 상황에 대한 최적의 CQI 선택이 될 수 없다.

본 논문에서는 정확한 링크 품질 결정을 위해 다양한 오차함수를 이용한 개선된 교정인자 도출 기법을 제안한다. 이는 다양한 채널 환경을 고려하기 위해 넓은 범위의 SNR을 적용하고 보다 정확한 유효구간을 설정하여 각 교정인자들의 신뢰성을 증가시킨다. 새롭게 도출된 교정인자는 CQI 피드백관점에서 더 높은 정확성을 보인다.

II. 링크 품질 결정 과정

링크 품질 결정 과정은 아래와 같다^[3].

- 1) 채널 상태 정보를 포함한 부반송파들의 SNR로부터 유효 SNR(SNR_{eff})을 계산한다. SNR_{eff} 은 채널 특성에 대한 정보를 압축한 상수 값이며 이에 대한 식은 다음과 같다.

※ 본 연구는 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구이며 (No. 2017-0-00109, 전파자원 선순환을 위한 주파수 분석 기술 개발), 또한 2018년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (No. NRF-2018R1D1A1B07051108).

♦ First Author : Department of LG Smart Hybrid Engineering, Chonnam National University, hglee0306@naver.com, 학생회원

° Corresponding Author : (ORCID:0000-0001-7854-7792)School of Electronics and Computer Engineering, Chonnam National University, hpark1@jnu.ac.kr, 중신회원

* Department of LG Smart Hybrid Engineering, Chonnam National University, nivell@nate.com, 학생회원

** Electronics and Telecommunications Research Institute, korses@etri.re.kr, 정회원

논문번호 : 201810-318-A-LU, Received October 10, 2018; Revised November 1, 2018; Accepted November 13, 2018

$$SNR_{eff} = \beta f^{-1} \left(\frac{1}{P} \sum_{p=1}^P f(SNR_p / \beta) \right) \quad (1)$$

상수 β 는 교정인자(tuning parameters)며, P 는 사용된 부반송파들의 개수이다. $[SNR_1, \dots, SNR_p]$ 은 각 부반송파들의 SNR이다. $f(x)$ 는 압축함수로써 [4]에서 제안된 상호정보량 기반 링크 품질 메트릭 $I_m(x)$ 을 사용하며, m 은 변조차수다. m 에 따라 BICM(bit interleaved coding and modulation) 용량이 결정된다.

- 2) AWGN-BLER look-up table(LUT)을 이용하여 SNR_{eff} 에 대응하는 유효 BLER($BLER_{eff}$)을 추정한다.
- 3) $BLER_{eff}$ 이 목표 BLER을 유지하며 처리율을 최대한으로 하는 CQI를 결정한 후 그 결과 값을 송신기로 피드백 한다.

SNR_{eff} 계산에 사용되는 교정인자를 최적 값으로 사용하면 정확한 링크 품질을 결정 할 수 있다. [5]에서 제안한 기법은 교정인자 최적 값을 찾기 위해 BLER 0.95~0.01에 해당하는 제한된 SNR에 대해 잡음을 발생시켜서 교정인자를 도출한다. 이는 링크 레벨 시뮬레이션으로부터 얻어지는 모든 데이터를 반영할 수 없으므로 관심영역의 SNR에서 발생한 데이터만을 고려한다. 그렇기 때문에, 한정된 채널 환경만을 고려하였다는 한계가 있다.

III. 개선된 교정인자 도출 기법

개선된 교정인자 도출 기법의 목적은 넓은 SNR 범위로부터 좀 더 유효한 채널들을 이용하여 정확한 링크 품질 결정을 위한 최적의 교정인자를 도출하는 것이다. 교정인자를 도출하기에 앞서 교정인자의 정확성 및 신뢰성을 위해 유효구간을 정의한다. CQI 피드백 값이 목표 BLER 0.1을 기준으로 결정되기 때문에 BLER 0.1의 SNR을 중심으로 유효한 채널을 충분히 포함할 수 있는 구간인 각 CQI i 의 BLER 0.9 및 0.001의 SNR($\gamma_{0.9}^i, \gamma_{0.001}^i$)을 SNR_{eff} 의 유효구간으로 정의한다. 최적의 교정인자 도출을 위한 과정은 다음과 같다.

```

for n=1 to  $N_s$  (for all SNRs over 5% distribution) do
    k=1
    while  $k \leq N_c$  (for all channel realizations) do
        Generate channel  $H_n$ 
    
```

```

if  $\gamma_{0.9}^i \leq SNR_{eff}(H_n, \sigma_k^2, \beta_G) < \gamma_{0.001}^i$  do
    for j =1 to  $N_w$  do
        Generate additive noise  $w_j$ 
        Count block error  $err_{cnt}$ 
    end for
     $BLER_{real}(H_n, \sigma_k^2) = \frac{err_{cnt}}{N_w} = \frac{1}{N_w} \sum_{j=1}^{N_w} BLER(H_n, w_j)$ 
     $BLER_{eff}(\sigma_k^2, \beta_G) = BLER_{LUT}(SNR_{eff}(H_n, \sigma_k^2, \beta_G))$ 
    k=k+1
end if
end while
end for
    
```

H_n 은 채널 매트릭스, w_j 와 σ_k^2 는 AWGN의 잡음과 분산, N_w 는 잡음 발생 횟수이며 β_G 는 교정인자 후보군이다. 넓은 SNR 구간에 적합한 교정인자를 도출하기 위해 N_s 는 사전 모의실험을 통해 구한 SNR_{eff} 이 유효구간에 5%이상 포함된 SNR들의 개수로 설정한다. N_c 는 총 채널 발생 횟수로 전체 채널의 특성을 가급적 정확히 보여줄 수 있도록 충분히 크게 설정한다. BLER은 전송블록 오류율로 여기서 전송블록은 LTE 표준의 서브프레임을 의미한다. $BLER_{real}$ 은 주어진 채널 및 잡음에 대한 물리계층에서의 실제 BLER이다. $BLER_{LUT}$ 은 교정인자 후보군을 통해 계산된 SNR_{eff} 를 AWGN-BLER LUT를 이용하여 추정한 BLER이다. 본 논문에서는 $BLER_{LUT}$ 를 $BLER_{eff}$ 로 정의한다. 최적의 교정인자를 찾는 방법은 다음과 같다.

$$\beta_{opt}^{imp} = \underset{\beta_G}{\operatorname{argmin}} \sum_{k=1}^{N_s} \{(\text{distribution of } SNR_{eff}) \times \sum_{n=1}^{N_c} \epsilon(BLER_{real}(H_n, \sigma_k^2), BLER_{eff}(\sigma_k^2, \beta_G))\} \quad (2)$$

$BLER_{real}$ 과 $BLER_{eff}$ 으로 오차를 계산하고 유효구간에 포함되는 SNR_{eff} 의 분포율을 가중치로 곱하여 최적의 교정인자를 도출한다. 제안된 기법에 사용한 3가지 오차함수는 다음과 같다.

- 1) 일반적인 오차함수

$BLER_{real}$ 과 $BLER_{eff}$ 에 동등한 가중치를 부여하여 오차를 계산한다.

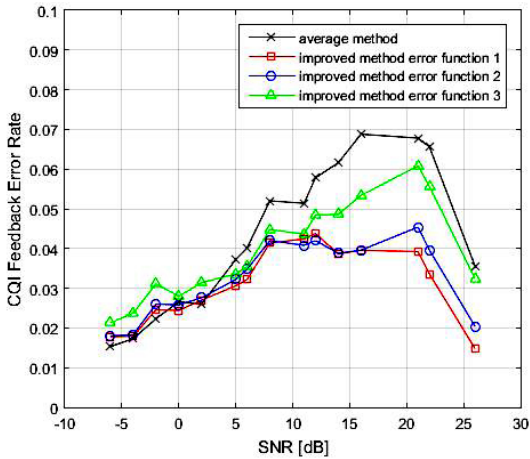


그림 1. 링크 품질 결정을 위한 교정인자 별 CQI 피드백 오류율
 Fig. 1. CQI Feedback Error rate by tuning parameters for link quality determination

$$\epsilon(x, y) = |\log_{10}(\text{BLER}_{\text{real}}) - \log_{10}(\text{BLER}_{\text{eff}})|^2 \quad (3)$$

2) BLER_{eff} 기준 가중치 오차함수
 $\text{BLER}_{\text{eff}} = 0.1$ 에 가중치를 준 오차함수이다.

$$\epsilon(x, y) = |\log_{10}(\text{BLER}_{\text{real}}) - \log_{10}(\text{BLER}_{\text{eff}})|^2 \times \left\{ 1 - \left| \frac{1}{4} \times (\log_{10}(\text{BLER}_{\text{eff}}) + 1) \right| \right\} \quad (4)$$

3) On-off error check 오차함수
 $\text{BLER}_{\text{real}}$ 과 BLER_{eff} 이 모두 0.1보다 같거나 클 때, 혹은 모두 작을 때 오류가 발생하지 않고, 이 외의 경우에는 오류가 발생했다고 판단하여 오류 누적횟수를 1개 증가시킨다. 복잡한 오차 계산 없이 누적 오류횟수로부터 최적의 교정인자를 찾는다.

두 번째 및 세 번째 오차함수에서 $\text{BLER}_{\text{eff}}=0.1$ 과 $\text{BLER}_{\text{real}}=0.1$ 을 고려한 이유는 링크 품질은 목표 BLER 0.1을 기준으로 결정되기 때문이다. 위의 3가지 오차함수를 적용시키기 위해서 $\text{BLER}_{\text{real}}=0$ 인 경우, $\text{BLER}_{\text{real}}=10^{-5}$ 로 대체하여 계산한다.

IV. 도출된 교정 인자를 이용한 검증

본 장에서는 제안한 기법의 교정인자와 기존 기법의 교정인자의 성능을 모의실험을 통해 비교한다.

4.1 검증 알고리즘

각 CQI의 SNR_{eff} 분포율이 5%이상인 구간의 중간

SNR 에서 모의실험을 진행한다. 하나의 채널을 발생시킨 후 15개의 CQI에 해당하는 변조치수와 코드율에 따라 정보비트를 부호화시켜 발생된 채널에 통과시킨다. 잡음이 더해진 데이터를 복호화하여 15개의 $\text{BLER}_{\text{real}}$ 을 계산하고 $\text{BLER}_{\text{real}} \leq 0.1$ 의 조건을 만족하는 마지막 CQI를 피드백 한다. 이와 동시에 현재 채널에 해당하는 SNR_{eff} 를 계산한 후 유효 CQI를 결정한다. $\text{BLER}_{\text{real}}$ 및 SNR_{eff} 로부터 결정된 CQI가 동일하면 정확한 링크 품질 결정이 된 것으로 판단하고 다음 채널에 대해 검증을 진행하며, 그렇지 않은 경우는 오류횟수를 1개 증가시킨 후 검증을 진행한다.

4.2 제안한 기법의 교정인자 성능평가

모의실험은 단일 사용자 SISO 환경에서 이루어졌으며, MIMO 환경에서도 수신기의 복호과정을 거친 채널 특성은 SISO와 동일하기 때문에 제안한 기법을 적용할 수 있다. 채널대역폭은 1.4MHz, VehA 채널, 단말의 속도는 30km/h, 수신기는 zero forcing(ZF)을 사용하였으며, 검증의 신뢰성 확립을 위하여 채널의 수는 각 SNR 에서 피드백 오류횟수가 최소 100개 이상이 되도록 5000~10000개로 설정하고 잡음은 서브 프레임 전송실패 누적횟수가 100번이 되거나 최대 2000번 발생시켰다.

그림 1은 개선된 교정인자 도출 기법에 III장에서 언급한 3가지 오차함수를 적용시켜 도출한 교정인자와 기존 기법⁵⁾의 교정인자에 대하여 링크 품질 결정 성능으로써 CQI feedback error rate을 제시한다. CQI feedback error rate은 4.1절의 검증 알고리즘을 통해 물리계층에서 계산된 $\text{BLER}_{\text{real}}$ 로부터 결정된 CQI와 SNR_{eff} 로 결정된 CQI가 동일하지 않는 경우의 총 횟수를 전체 채널 발생 횟수로 나누어 계산하였다. Improved method error function1은 제안한 기법에 일반적인 오차함수를 사용하였고, error function2는 BLER_{eff} 기준 가중치 오차함수, error function3은 On-off error check 오차함수를 적용시켜 도출한 교정인자들의 CQI feedback error rate을 나타낸다.

$\text{SNR}=-2[\text{dB}]$ 일 때, 기존 기법으로부터 도출한 교정인자의 오류율이 제안한 기법의 교정인자 대비 오류가 최대 28.3% 감소하였으며, $\text{SNR}=8[\text{dB}]$ 및 $\text{SNR}=21[\text{dB}]$ 에서는 제안한 기법의 교정인자가 기존 기법의 교정인자보다 최대 20.38%, 42.18% 오류가 감소함을 보였다. $\text{SNR} \leq 4[\text{dB}]$ 인 구간에서는 제안한 기법으로부터 도출된 교정인자의 오류율이 기존 기법의 교정인자와 비슷하거나 약간 좋지 않다. 이는 낮은 SNR 구간에서 자주 발생하는 작은 값의 CQI에 대해

서 AWGN 채널의 BLER 곡선이 비교적 완만하여 유효구간 설정 없이도 교정인자 계산에 유효한 채널들이 충분히 포함되기 때문이다. 하지만 큰 값의 CQI에 대해서는 AWGN 채널의 BLER 곡선이 가파르기 때문에 기존 방법이 유효한 채널을 잘 포함시키지 못하는 반면, 제안된 기법은 유효구간 설정방법이 잘 동작하여 기존의 기법보다 넓은 SNR 구간에서 좋은 성능을 보인다. 대부분의 SNR 구간에서는 제안한 기법의 오류율이 더 낮은 것으로 보아 올바른 링크 품질을 결정했다고 판단할 수 있다. 그리고 오차함수 별 오류율을 비교하였을 때 $BLER_{real}$ 과 $BLER_{eff}$ 에 동등한 가중치를 부여한 일반적인 오차함수의 성능이 다른 오차함수의 비해 일부 SNR 구간을 제외하면 CQI 피드백 값이 더 정확하다.

V. 결 론

본 논문에서는 다양한 채널 환경에서 이동통신의 정확한 링크 품질 결정을 위한 개선된 교정인자 도출 기법을 제안하였다. 그리고 개선된 기법에 여러 오차함수를 적용시켜 교정인자를 도출하고 그 성능을 평가하였다. 개선된 기법을 통해 도출된 교정인자가 기존 절차의 교정인자보다 $SNR > 4[\text{dB}]$ 범위에서 CQI 피드백 오류 발생률을 최대 48.8% 감소시킴으로써 링크 품질 결정 성능이 개선됨을 보였다. 이는 넓은 SNR 범위 내에서 새롭게 도출한 교정인자가 기존 교정인자보다 CQI 예측 정확성이 높다는 것을 나타낸다. 더불어 일반적인 오차함수가 다른 두 가지 오차함수에 비하여 교정인자를 도출하는 데 더 적합함을 확인하였다.

References

- [1] J. Baek, J. Park, and E. Hong, "An adaptive modulation and coding scheme selection algorithm using hybrid ARQ acknowledgements in LTE-TDD systems," *J. KICS*, vol. 42, no. 6, pp. 1153-1156, Jun. 2017.
- [2] K. Brueninghaus, D. Astely, T. Salzer, S. Visuri, A. Alexiou, S. Karger, and G. Seraji, "Link performance models for system level simulations of broadband radio access systems," in *Proc. IEEE PIMRC*, pp. 2306-2311, Berlin, Germany, Sep. 2005.
- [3] J. Fan, Q. Yin, G. Li, B. Peng, and X. Zhu, "MCS selection for throughput improvement in downlink LTE systems," in *Proc. ICCCN*, pp. 1-5, Maui, HI, USA, Jul. 2011.
- [4] Z. Hanzaz and H. D. Schotten, "Analysis of effective SINR mapping models for MIMO OFDM in LTE System," in *Proc. IWCMC*, pp. 1509-1515, Sardinia, Italy, Jul. 2013.
- [5] A. M. Cipriano, R. Visoz, and T. Salzer, "Calibration issues of PHY layer abstractions for wireless broadband systems," in *Proc. IEEE VTC Fall*, pp. 1-5, Calgary, Canada, Sep. 2008.