

# TSME 를 통한 LTE 측정 데이터 기반 주파수 효율 분포 추정에 관한 연구

김윤배, 이윤주, 박승근  
한국전자통신연구원

doko9gum; yjlee60233; seungkp@etri.re.kr

## A study on the estimation of probability distribution of the spectral efficiency of LTE based on TSME measurement data

Yunbae Kim, Yoonjoo Lee, Seungkeun Park  
ETRI

### 요 약

본 논문은 Rohde & Schwarz 사의 TSME 장비를 통해 측정된 LTE eNodeB 의 하향링크 제어채널 정보를 바탕으로 LTE 주파수 효율의 확률 분포 추정에 관한 연구이다. 주파수 효율은 송수신 기술 및 셀의 커버리지 면적 등 다양한 요인에 영향을 받으므로, 이러한 요인의 변화를 파악할 수 있도록 지속적인 측정과 분석이 요구된다. 본 연구에서는 측정된 데이터의 분포 특성을 고려하여 Erlang 및 Log-normal 모델 기반의 분포 추정 방법을 제시한다.

### I. 서 론

LTE(Long Term Evolution) 기술은 4 세대 이동통신의 대표적인 표준 기술로 수년간 여러 번의 Release를 통해 기술적인 향상을 거듭해오고 있다. LTE 에서는 1ms / 180 kHz의 시간 / 주파수 자원으로 구성된 RB(Resource Block pair)의 단위로 정보를 송수신하게 되는데, RB 당 전송되는 정보의 양은 채널의 상태를 반영한 변조 기술, 송수신 안테나 기술 등에 의해 결정된다. 여러 번의 Release 를 거치며 이러한 기술의 발전이 이루어지고, 지원되는 단말이 출시되며 RB 당 송수신되는 정보량 또한 달라지게 된다. RB 당 정보량은 주파수 효율로 볼 수 있으며, 이는 주파수 소요량 계산 등 주파수 자원 관리에 핵심적으로 활용이 되므로, 이러한 효율의 변화는 지속적인 모니터링을 통해 분석할 필요가 있다.

Rohde & Schwarz 사의 TSME 장치는 LTE 의 하향링크 정보에 대한 측정이 가능하다. [1] LTE 의 하향링크에서 eNodeB 는 하향링크 제어 채널, 즉, PDCCH(Physical Downlink Control Channel) 를 통해서 단말들에 대한 RB 할당 및 MCS(Modulation and Coding Scheme) 정보를 송신한다. TSME 는 이 PDCCH 신호의 수신 및 처리를 통해 하향링크에 대한 정보를 추출한다. 실제 LTE 에서는 1ms 의 TTI(Transmit Time Interval) 단위로 자원 할당이 이루어지지만, TSME 는 일부의 TTI 만을 측정하여 그 측정된 표본을 기반으로 결과를 제공한다. 또한 이 측정된 데이터는 셀 단위로 MS Excel 파일로 추출할 수 있으며, 추출되는 데이터는 최소 5 초 단위의 정보로, 5 초 구간 내에서 측정된 TTI 들로부터 얻어진 값을 통해 계산된 결과를 보여준다. 본 연구에서 활용되는 데이터는 다음과 같다. 'RB Usage [%]'는 5 초 구간에서 측정된 TTI 에 대해 할당된 RB 비율의

평균이다. 'TP [bits/ms]'는 5 초 구간에서 측정된 TTI 에 대해 송신된 정보량의 평균이다.

본 연구에서는 주파수 효율의 단위를 RB 당 송신되는 bit 수[bits/RB]로 두고, TSME 를 통해 측정된 매 5 초마다의 주파수 효율 값의 분포를 추정한다. 추출된 데이터의 경험분포에서의 관찰을 기반으로 Erlang 및 Log-normal 모델을 적용하며, 모수 추출에 대한 방법론 및 결과를 제시한다.

### II. 본론

본 논문에서는 2017 년 11 월 16 일 오후 6 시부터 1 시간동안 서울 강남역 주변에서 측정된 A 사의 10 Mhz 대역폭의 밴드에서 동작하는 셀에서 측정된 데이터를 기반으로 분석을 수행한다. 10 Mhz 대역폭의 총 RB 의 개수는 50 이므로 측정된 'RB Usage' 값을 2 로 나누어 RB 개수로 환산한 수 'TP' 값을 이 값으로 나누면 매 5 초마다의 주파수 효율 값을 얻어낼 수 있으며, 이 값을 나타내는 확률변수를  $X$ 로 둔다. 즉, 측정된 데이터로부터 얻어진 주파수 효율 값은 확률변수  $X$  에 대한 임의 표본의 값으로 본다.

주파수 효율에 대한 히스토그램은 Fig. 1 의 'Histogram'과 같으며 분포의 양상은 잘 알려진 분포 중 Erlang 분포와 Log-normal 분포와 유사함을 확인할 수 있으므로 이 두 모델을 기반으로  $X$ 에 대한 분포 추정을 수행한다.

Erlang 모델은 다음과 같은 확률밀도함수  $f_E(x)$ 를 기반으로 한다.

$$f_E(x; k, \lambda, c) = \frac{\lambda^k}{(k-1)!} (x-c)^{k-1} e^{-\lambda(x-c)}$$

이며,  $k$ 는 자연수,  $\lambda > 0$ ,  $c$ 는 실수이다. 3GPP LTE 표준

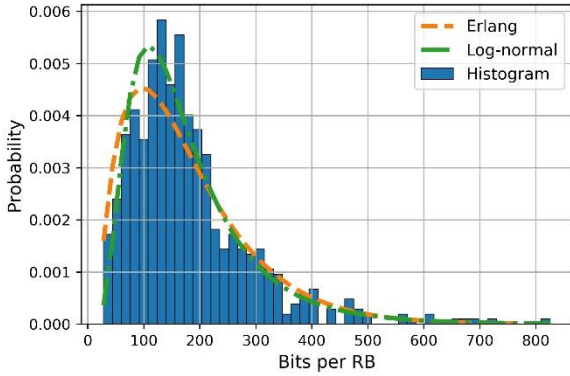


Fig. 1. 주파수 효율의 히스토그램과 적합한 Erlang/Log-normal 분포의 확률밀도함수.

[2]에 의하면 RB 당 전송 가능한 최소 bit 수는 16 이므로  $c = 16$ 으로 둔다. 모수 추정에는 cross-entropy 를 활용한다. 우선 수집된 주파수 효율 데이터를 1[bit/RB] 단위로 이산화한다.  $x \geq 16$ 인 정수  $x$ 에 대해,  $p(x)$ 는 주파수 효율의 반올림이  $x$ 와 같은 표본의 비율로 두면,  $\{p(x)\}_{x \geq 16}$ 은  $X$ 에 대한 경험분포를 표현하는 확률질량함수가 된다. 여기에서  $S_M = \max\{x: p(x) > 0\}$ 로 정의하여, 확률분포는  $16 \leq x \leq S_M$ 에서 고려한다. Erlang 모델 기반의 확률질량함수  $\{q(x; k, \lambda)\}_{16 \leq x \leq S_M}$ 는 다음과 같이 정의한다.  $\int_{x-0.5}^{x+0.5} f_E(t; k, \lambda, 16) dt \approx f_E(x; k, \lambda, 16) \cdot 1$ 의 근사를 활용하여,

$$q(x; k, \lambda) = \frac{f_E(x; k, \lambda, 16)}{\sum_{t=16}^{S_M} f_E(t; k, \lambda, 16)}$$

그러면 cross-entropy  $J(k, \lambda)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$J(k, \lambda) = -E_p[\log q] = - \sum_{s=16}^{S_M} p(x) \log q(x; k, \lambda)$$

이제  $J(k, \lambda)$ 를 최소화하는 모수를 찾으려면 측정된 데이터를 적합하는 Erlang 분포를 추정할 수 있다. 모수  $k$ 가 주어졌을 때,  $-\log q(x; k, \lambda)$ 는  $\lambda$ 에 대한 볼록함수이므로 [3],  $J(k, \lambda)$ 를 최소화하는  $\lambda_k$ 를 유일하게 구할 수 있다. 따라서 자연수  $k$ 를 변화시키면서 각각의 경우  $\lambda_k$ 를 구하고,  $J(k, \lambda_k)$ 가 최소가 되는 조합  $(k, \lambda_k)$ 를 찾으면 우리가 원하는 모수를 추정할 수 있다.

Log-normal 모델은 주파수 효율에 로그를 취한 값이 정규분포  $N(\mu, \sigma^2)$ 을 따른다는 가정에서 출발한다. 측정된 주파수 효율의 log-normality 판단을 위해 주파수 효율 값에 로그를 취한 후 normality test를 수행한다. 측정된 표본의 개수가 500 개를 넘기 때문에 Kolmogorov-Sminorv test를 수행한다. [4] 수행 결과  $p$ -값은 0.201로 유의수준 5%에서 충분히 정규성을 따르는 귀무가설을 채택할 수 있다. 모수는 로그를 취한 주파수 효율 값의 표본 평균 및 표본 분산으로 추정할 수 있다.

위에서 소개된 모수 추정 방법을 측정된 데이터에 적용을 하면, Erlang 모델의 경우 모수는  $(k, \lambda_k) = (2.0, 0.12)$ , Log-normal 모델의 경우 모수는  $(\mu, \sigma^2) = (5.025, 0.337)$ 로 추정이 된다. 추정된 모수를 바탕으로 확률밀도함수를 그래프로 표현하면 Fig. 1과 같이 두 모델 모두 히스토그램과 잘 적합되는 결과를 확인할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 Rohde & Schwarz TSME 장치로 측정된 LTE 하향링크의 RB 당 bit 수의 주파수 효율에 대한 확률 분포를 추정하였다. 측정 데이터로부터 얻어진 경험분포의 히스토그램에서 발견된 특성을 기반으로 잘 알려진 Erlang 과 Log-normal 모델을 이용한 분포 추정 방법론을 제시하였다. 또한 제시된 방법론을 적용한 결과 두 모델 모두 측정된 데이터의 분포를 잘 적합한다는 것을 확인할 수 있었다. 이러한 분포 추정은 잘 알려진 확률밀도함수로 실측된 주파수 효율을 표현함으로써 주파수 소요량에 대한 확률적 분석에 활용되고, 지속적인 측정을 통한 모수의 변화 분석 등을 통해 시간의 흐름에 따른 주파수 효율의 변화 예측에도 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2018년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00109, 전과자원 선순환을 위한 주파수 분석 기술 개발)

### 참고 문헌

- [1] J. Schilbach, "R&S@TSMW, TSME, TSMA LTE Downlink Allocation Analysis", Application Note Rohde & Schwarz, 2016.
- [2] Technical Specification Group Radio Access Network, "Evolved universal terrestrial radio access (E-UTRA); physical layer procedures (Release 14)," 3GPP, Valbonne, France, Tech. Rep. TS 36.213, 2017.
- [3] Boyd, S. and Vandenberghe, L., "Convex Optimization," Cambridge university press, 2004.
- [4] Haslwanter, T., "An Introduction to Statistics with Python: With Applications in the Life Sciences," Springer, 2016.