

# LTE 시스템에서의 자율적 랜덤액세스채널 파라미터 설정 방법

최승현,<sup>\*0</sup> 이원보,<sup>\*</sup> 박경준,<sup>\*</sup> 최성현,<sup>\*</sup> 한기영<sup>§</sup>

<sup>\*</sup>서울대학교 전기공학부, 뉴미디어통신공동연구소

<sup>§</sup>삼성전자, 시스템 연구소, 차세대 시스템 팀

## Automatic Configuration of Random Access Channel Parameters in LTE Systems

Seunghyun Choi,<sup>\*0</sup> Wonbo Lee,<sup>\*</sup> Kyung-Joon Park,<sup>\*</sup> Sunghyun Choi,<sup>\*</sup> Ki-Young Han<sup>§</sup>

<sup>\*</sup>School of EECS and INMC, Seoul National University

<sup>§</sup>System Lab. Next Generation System Team, Samsung Electronics, Korea

{shchoi, wblee}@mwnl.snu.ac.kr, {kjp, schoi}@snu.ac.kr, kiyoung.han@samsung.com

### 요 약

랜덤액세스채널은 콜 발생시의 초기 연결 설정, 재 연결, 핸드오버 등에 사용되는 uplink 채널이다. 기지국은 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 결정함으로써 랜덤액세스에 걸리는 지연 시간을 조절할 수 있으며, 이는 랜덤액세스채널의 트래픽 양에도 영향을 받는다. 본 논문에서는 LTE 시스템에서 변화하는 랜덤액세스채널의 트래픽 양을 추정하고 이를 바탕으로 랜덤액세스채널 파라미터를 자율적으로 설정하는 방법을 제안하고자 한다.

### 1. 서론

급격한 통신 트래픽의 증가와 함께 셀룰라망 또한 유저들의 전송 요구량을 만족시키기 위해 채널 용량을 증대시킬 필요에 처하게 되었다. 특히, 스마트폰 사용의 증가는 데이터 트래픽 양의 증가뿐만 아니라 트래픽 패턴까지 바꾸었다. 대부분의 스마트폰 어플리케이션은 기본적으로 네트워크와 연결되며 유저가 인식 못한 상황에서도 다양한 데이터를 전송한다. 이러한 어플리케이션들은 수시로 네트워크에 접속을 시도하므로 기지국에서 받는 접속 시도 트래픽의 양 또한 매우 높다.

LTE 시스템에서의 랜덤액세스채널은 콜 발생시 초기 연결 설정, 무선 연결 실패 시 재 연결, 핸드오버 등에 사용되는 uplink 채널이다. 랜덤액세스를 시도하는 유저는 임의로 선택한 코드를 사용하여 랜덤액세스채널의 특정 서브프레임에 랜덤액세스 프리앰블을 보내게 되는데, 해당 서브프레임에 같은 코드를 사용하는 유저가 없는 경우 랜덤액세스에 성공하게 된다. 랜덤액세스채널의 최적화를 위해서는 랜덤액세스 성공까지 걸리는 지연 시간을 최소화해야 할 뿐만 아니라 한정된 uplink 자원을 최대한 효율적으로 사용해야 한다. 따라서 랜덤액세스채널 파라미터의 최적화를 위한 이론적 연구와 실질적 알고리즘 개발이 필요하다.

한편, 셀 내 환경은 항상 일정한 것이 아니라 끊임없이 변한다. 이 경우 초기 설정된 파라미터를 그대로 유지한다면 자원 사용의 효율성이 떨어지게 된다. 따라서, 랜덤액세스채널 파라미터의 최적화를 위해서는 이러한 변화를 모니터링하고 적절한

시점에 파라미터를 update 할 수 있어야 한다.

본 연구에서는 LTE 시스템에서의 랜덤액세스채널을 수학적으로 분석하고, 랜덤액세스채널용 서브프레임 개수를 최적화 하는 문제를 제시한다. 또한, 변화하는 트래픽을 추정하여 자율적으로 최적화하는 방법을 제안하며, 시뮬레이션을 통해 성능의 향상을 보여준다.

### 2. 랜덤액세스채널의 효율성 분석

LTE 시스템에서 가장 보편적으로 사용되는 FDD (Frequency Division Duplexing)의 경우 매 프레임 당 사용할 수 있는 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수는  $n \in \{0.5, 1, 2, 3, 5, 10\}$  개로 정의되어 있다. 이 때, 각 랜덤액세스채널용 서브프레임은 시간 축 상에서 거의 균등한 간격으로 떨어져 있기 때문에 이웃한 두 랜덤액세스채널용 서브프레임 간의 시간 간격은 약  $10/n$  ms 가 된다.

한편, 같은 랜덤액세스채널용 서브프레임에 두 명 이상의 유저가 같은 코드를 이용하여 랜덤액세스를 시도할 경우 충돌이 발생하게 되는데, 이 때 충돌이 발생한 두 유저는 일정 시간 후에 다시 랜덤액세스를 시도하게 된다. Poisson arrival 을 가정하고, 랜덤액세스 재시도 횟수를 최대  $L$  번까지 할 수 있도록 정의할 경우 new arrival rate  $\lambda_0$  와 aggregated arrival rate  $\lambda_1$  의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다 [1].

$$\lambda_0 = \frac{\lambda_1 e^{-\lambda_1}}{1 - \{1 - e^{-\lambda_1}\}^L}$$

이러한 관계를 바탕으로 랜덤액세스채널의 new arrival rate 이  $\lambda_0$  인 Poisson 분포를 가질 때, 각 랜덤액세스채널용 서브프레임에 도달하는 트래픽의 양, 즉 랜덤액세스 로드의 값은 평균  $10\lambda_1/n$  개가

\* 본 연구는 방송통신위원회의 차세대통신네트워크원천기술개발사업의 연구결과로 수행되었음(KCA-2011-09913-04004)

된다.

랜덤액세스채널용 코드의 개수를  $q$  개라고 가정하고 랜덤액세스 로드를  $G$  라고 할 때, 유저의 랜덤액세스 충돌 확률을  $P_c(G, q)$ , 성공 확률을  $P_s(G, q)$ 라고 하자. 이 때, 랜덤액세스 성공 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s(G, q) = 1 - P_c(G, q)$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \left\{ P(\text{RA success for the UE} \mid \text{A UE is included in the subframe of } n\text{-arrivals}) \cdot P(\text{A UE is included in the subframe of } n\text{-arrivals}) \right\}$$

$$= \sum_{n=1}^{\infty} \left[ \left( \frac{q-1}{q} \right)^{n-1} \cdot \frac{n \cdot e^{-G} \frac{G^n}{n!}}{\sum_{m=1}^{\infty} m \cdot e^{-G} \frac{G^m}{m!}} \right] = \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \left[ \left( \frac{q-1}{q} \right)^{n-1} \cdot \frac{G^{n-1}}{(n-1)!} \right]}{\sum_{m=1}^{\infty} \frac{G^{m-1}}{(m-1)!}} = e^{-G/q}$$

따라서 랜덤액세스 충돌 확률은  $P_c(G, q) = 1 - e^{-G/q}$  이 된다.

한편, 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수와 랜덤액세스 충돌로 인한 지연 시간 사이에는 tradeoff 관계가 있음을 직관적으로 알 수 있다. 즉, 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 증가시키면 랜덤액세스 충돌 확률 감소로 인해 지연 시간이 줄어들지만, uplink 데이터 전송을 위해 사용할 수 있는 서브프레임의 개수가 줄어든다. 따라서 제한된 uplink 자원 사용에 있어 효율성을 높이기 위해서는 원하는 성능을 충족시키는 범위 내에서 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 최소화 할 필요가 있다. 이러한 원칙을 바탕으로 정의한 최적화 문제가 다음과 같다.

$$\min n$$

$$\text{s.t. } n \in \{0.5, 1, 2, 3, 5, 10\}$$

$$\sum_{k=1}^L k \bar{D}_b P_c (1 - P_c) \leq \bar{D}_{\max}$$

여기서  $\bar{D}_b$  는 랜덤액세스 재시도 간에 걸리는 평균 시간,  $\bar{D}_{\max}$  는 평균 지연 시간의 최대 허용 값이다. 결국,  $\lambda_0$  와  $q$  값이 주어질 경우  $P_c$  는  $n$  에 관한 식으로 나타내어지므로 제안한 최적화 문제의 해를 구할 수 있다.

### 3. 환경 변화에 따른 파라미터 설정

앞 장에서 우리는 주어진 arrival rate  $\lambda_0$  를 바탕으로 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 구하는 방법에 대해 알아보았다. 하지만, 셀 환경은 항상 일정한 것이 아니라 끊임없이 변화한다. 예를 들어, 도심의 업무지역은 주로 낮 시간 동안 유저의 수가 증가하고 밤에는 유저의 수가 감소할 것이다. 따라서 유저의 수나 행동 패턴에 따라 랜덤액세스채널의 arrival rate 이 변하게 되고 이에 따라 최적화 문제의 수식 값 자체가 바뀌므로, 그에 맞추어 새롭게 최적화 문제를 풀어 랜덤액세스채널의 개수를 결정할 필요성이 생긴다.

한편, 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 결정하기 위해 우리가 반영해야 할 arrival rate  $\lambda_0$  는 현재의 arrival rate 이 아닌 가까운 미래의 arrival rate

이 되어야 한다. 그림 1 에서와 같이 주기적인 최적화 수행을 가정할 때, 최적화 수행의 결과 결정된 파라미터는 바로 다음 최적화 수행 때까지 나타날 arrival rate 에 영향을 받기 때문이다. 그림에서 두 번째 나타나는 최적화 순간에 정의할 최적화 문제는 물음표로 표시된 부분, 즉 가까운 미래에 예상되는 arrival rate 을 반영해야 한다.

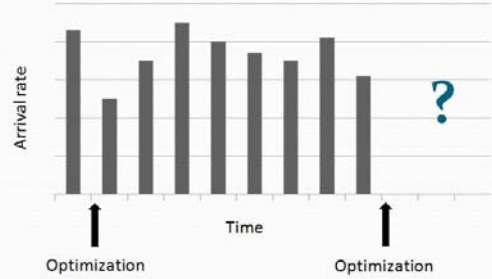


그림 1. 최적화 순간에 반영되어야 할 arrival rate.

바로 다음 순간 나타날 arrival rate 정보를 추정하기 위해 우리는 moving average 기법을 적용하고자 한다. Moving average 는 finite impulse filter 의 한 종류로서 시간에 따라 연속적으로 averaging 함으로써 시간에 따른 data point 들 집합을 분석하는데 사용될 수 있으며, 이러한 moving average 기법을 통해 우리는 랜덤액세스채널의 arrival rate 이 현재까지 어떠한 값을 가졌는지 알 수 있다. 특히, 특정 시간에서 멀리 떨어진 과거의 값일수록 현재 값과의 correlation 이 낮아진다는 가정하에 exponential moving average 를 사용한다 [2]. Exponential moving average 는 다음의 식으로 나타낼 수 있다.

$$E(t) = \sigma y(t) + (1 - \sigma)E(t-1)$$

여기서  $E(t)$  는 시간  $t+1$  에 나타날 값을 시간  $t$  에 추정한 것이다. 앞서 설명한 바와 같이, 랜덤액세스채널의 파라미터를 최적화하기 위해서는 바로 다음 순간 나타날 arrival rate 을 추정해야 하므로  $t$  시간에  $t+1$  시간의 값을 추정한다.  $y(t)$  는 시간  $t$  순간에 실제 측정된 arrival rate 이다.  $\sigma$  는 exponential moving average 의 coefficient 로서 현재 시간  $t$  에 측정된 arrival rate 값에 주는 weighting factor 에 해당한다. 따라서,  $\sigma$  값이 증가할수록 추정 값은 현재 측정된 값을 더 반영하게 되고,  $\sigma$  값이 감소할수록 추정 값은 과거 측정된 값에 많은 비중을 두게 된다.

### 4. 시뮬레이션 결과

이번 장에서는 제안한 랜덤액세스채널 파라미터 설정 방법을 시간에 따라 변화하는 트래픽에 적용해 보고, 이 때 나타나는 성능을 분석해 보고자 한다. 시뮬레이션에는 Crowdad 에서 제공하는 Wi-Fi 세션을 측정한 실제 트래픽을 사용하였다 [3]. 현재까지 랜덤액세스채널 트래픽을 측정한 자료가 공개된 것이 없기 때문이다. Crowdad 에서 제공한 Wi-Fi session 트래픽은 Montreal 시내에 설치된 다수의 Wi-Fi AP 에 접속하는 유저들의 세션 정보를 측정한

것으로서, 여러 사람의 활동을 기반으로 한 통신 트래픽이라는 점에서 의미가 있어 본 시뮬레이션에 사용하였다. 랜덤액세스채널에 사용되는 코드의 개수는 32 개이며, 랜덤액세스 충돌이 발생할 경우 재시도 전에 기다려야 하는 back-off 시간의 최대값은 80 ms 으로 한다. 평균 지연 시간의 최대 허용 값은 0.4 ms 로 설정하였다. Arrival rate 의 추정 오차를 고려하여 평균 지연 시간에 0.1 ms 의 margin 을 설정하였다.

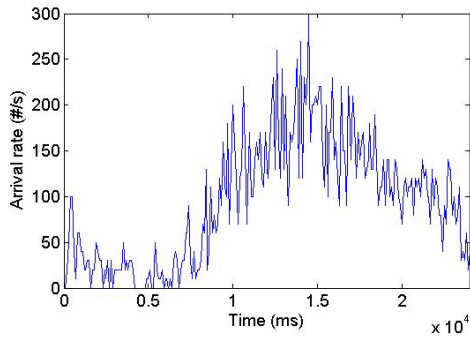


그림 2. 사용된 트래픽의 arrival rate.

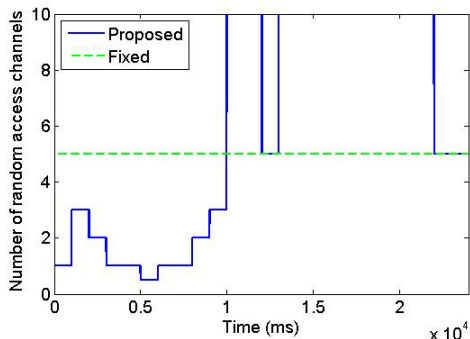


그림 3. 사용한 랜덤액세스채널용 서브프레임 개수.

그림 3 은 주어진 트래픽에서 사용한 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 시간에 따라 나타낸 그래프이다. Moving average 기법을 사용하여 arrival rate 을 추정하고 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 최적화한 경우 arrival rate 그래프의 형태를 잘 따르고 있음을 알 수 있다. Fixed 는 자율적 파라미터 설정 없이 고정된 개수의 랜덤액세스채널용 서브프레임을 사용한 경우이다. 그래프에서는 프레임 당 5 개의 서브프레임을 랜덤액세스채널로 사용한 경우를 나타냈는데, 이 경우 arrival rate 이 낮은 구간에서는 필요 이상의 자원이 낭비되고 arrival rate 이 높은 구간에서는 랜덤액세스 충돌 확률 증가로 평균 지연 시간이 최대 허용 값을 넘게 될 것을 예측할 수 있다.

다양한 조건에서 사용한 랜덤액세스채널용 서브프레임의 평균 개수와 랜덤액세스 충돌로 인한 평균 지연 시간을 표 1 에 정리하였다. 표의 fixed 부분에서 볼 수 있듯이 랜덤액세스채널용 서브프레임 개수와 랜덤액세스 충돌로 인한 지연 시간 사이에는 tradeoff 가 존재한다. 따라서 fixed 기법을 사용할

경우 평균 지연 시간의 최대 허용 값 0.4 ms 을 만족하기 위해서는 프레임 당 10 개의 서브프레임을 랜덤액세스채널로 할당하여야 한다. 반면, moving average 기법을 이용하여 arrival rate 을 추정하고 최적화 문제를 풀 경우 0.4 ms 이하의 평균 지연 시간을 가지면서도 평균 5.85 개의 서브프레임을 랜덤액세스채널로 할당하게 된다. 따라서 제안한 방법으로 자율적 랜덤액세스채널 파라미터 설정 시 랜덤액세스채널 자원을 보다 더 효율적으로 사용할 수 있다.

표 1. 랜덤액세스채널용 서브프레임 평균 개수와 평균 지연 시간 비교.

	Number of random access channels (subframes/frame)	Average delay (ms)
Proposed	5.85	0.39
Fixed	0.5	8.82
	1	3.87
	2	1.34
	3	0.79
	5	0.53
	10	0.26

## 5. 결론

본 연구에서는 LTE 시스템에서의 랜덤액세스채널 사용의 효율성을 높이기 위한 파라미터 설정 방법을 제시하였다. 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수에 따른 랜덤액세스 충돌 확률을 수식으로 정리하였고, 이를 바탕으로 평균 지연 시간을 적정 수준 이하로 만족시키며 랜덤액세스채널용 서브프레임의 개수를 최소화하는 최적화 문제를 정의하였다. 한편, 시간에 따라 변화하는 트래픽의 양을 고려할 때 랜덤액세스채널의 arrival rate 을 주기적으로 추정해야 할 필요성이 대두된다. 이를 위해 moving average 기법을 기반으로 한 추정 방법이 제시되었고, 추정한 arrival rate 을 바탕으로 주기적으로 랜덤액세스채널용 서브프레임 개수를 최적화하였다. 끝으로, 실제 트래픽 데이터를 이용한 시뮬레이션을 통해 제안한 방법이 arrival rate 에 맞추어 적절한 개수의 랜덤액세스채널용 서브프레임을 사용하는 것을 확인할 수 있었다.

## 6. 참고 문헌

- [1] J. H. Sarkar and S. J. Halme, "Optimizing the Use of Random Access Channels in GSM-GPRS," *Wireless Personal Communications*, Vol. 22, Issue 3, 2002.
- [2] L. Sun, Y. Gao, H. Tian, H. Xu, and P. Zhang, "An Adaptive Random Access Protocol for OFDMA System," in *Proc. IEEE VTC-2007 Fall*, 2007.
- [3] M. Lenczner, B. Gregoire, and F. Proulx. (2007, Aug.). *Dataset of User Session Traces Collected from Wi-Fi Hotspots for Three Years*. Crawdad, NH. [Online]. Available: <http://www.crawdad.org/data.php>