

Back-off를 고려한 랜덤 액세스 도착률 시뮬레이션

최희상, 문희찬*

한양대학교

sancoi@hanyang.ac.kr, *hcmoon@hanyang.ac.kr

Simulation on composite arrival rate of random access with back-off

Choi Hoesang, Moon Hichan*

Hanyang Univ.

요약

단말기에서 전송한 랜덤 액세스 패킷을 기지국의 수신단이 성공적으로 수신하지 못하면, 단말기는 임의의 back-off 시간 뒤에 다시 랜덤 액세스 패킷을 전송하게 된다. 따라서, 기지국의 수신단에서의 랜덤 액세스 패킷 도착률은 랜덤 액세스 이벤트 발생률과 back-off를 고려하여 결정된다. 본 논문은 시뮬레이션을 통하여 랜덤 액세스의 back-off를 고려한 도착률을 비교하였다.

I. 서론

단말기는 랜덤 액세스 이벤트가 발생하면 랜덤 액세스 패킷을 기지국에 송신한다. 기지국의 수신단에서는 송신된 랜덤 액세스를 검출하여 해당 단말기에 응답메시지를 전송한다. 그러나, 기지국의 수신단에서 충돌이나 간섭에 의하여 랜덤 액세스의 패킷을 검출하지 못하면, 응답메시지를 전송하지 않는다. 랜덤 액세스 패킷을 전송한 단말기는 특정 시간 윈도우 동안 기지국의 응답메시지를 받지 못하면, 기지국의 수신단에서 검출에 실패하였다고 판단하여 임의의 시간 이후에 재전송을 하게된다 [1].

기지국의 수신단에 수신된 랜덤 액세스 패킷들은 단말기에서 트리거 이벤트 발생 후 처음 보내는 패킷이거나 재전송에 의한 패킷이다. 따라서, 랜덤 액세스 패킷의 도착률은 두 가지 경우를 고려하여 결정된다.

무선통신시스템에서 기지국의 수신단에 수신되는 패킷의 도착률을 정확하게 분석하여야, 기지국에서 효율적으로 패킷전송을 제어하여 높은 QoS (Quality of Service)를 제공할 수 있다.

종래의 랜덤 액세스 도착률에 관한 연구에서는 유한한 시스템에서 분석하였기 때문에 [2], 단말기 수가 기하급수적으로 늘어난 현재의 무선통신 시스템에 적용하기에는 한계점이 있다 [3].

따라서, 본 논문에서는 새롭게 모델링을 통하여 랜덤 액세스의 도착률을 시뮬레이션으로 비교하였다.

II. 본론

본 논문에서는 무선통신시스템에 하나의 기지국과 M 개의 단말기가 존재한다고 가정한다. 단말기는 new transmission 모드와 재전송 모드 두 가지 상태에 포함된다. new transmission 모드의 단말기는 초기 랜덤 액세스 트리거 이벤트 발생을 대기하는 상태이며, 재전송 모드는 초기 랜덤 액세스 패킷 전송 후 수신 실패하여 재전송하려는 상태이다.

각 단말기는 new transmission 모드에서 랜덤 액세스 트리거 이벤트가 발생하면 N_{seq} 개의 랜덤 액세스 시퀀스 중 하나를 포함한 랜덤 액세스 패킷을 전송한다. 트리거 이벤트 발생 확률은 p_n 이다. 기지국의 수신단에서

수신된 랜덤 액세스 패킷 $r(t)$ 은 다음과 같다.

$$r(t) = \sum_{k=1}^K h_k \sqrt{P_k} c_k(t) + n(t), \quad (1)$$

K 는 기지국의 수신단에 동시에 수신된 랜덤 액세스 패킷의 수이고, h_k 는 k 번 째 랜덤 액세스 패킷이 겪은 페이딩 채널이고, P_k 는 k 번 째 패킷의 송신파워, $c_k(t)$ 는 k 번 째 패킷의 랜덤 액세스 시퀀스 그리고 $n(t)$ 는 N_0 의 스펙트럼 밀도를 갖는 AWGN이다.

기지국에서 랜덤 액세스 패킷에 대한 SINR이 설정된 임계값 η 보다 크면, 동시에 수신된 다른 패킷의 랜덤 액세스 시퀀스와 충돌이 일어나지 않을 때 성공적으로 수신하였다고 가정한다.

기지국에서 동시에 수신된 랜덤 액세스 패킷의 수가 k 일 때, 한 랜덤 액세스 패킷이 성공적으로 수신될 확률 $P_s(k)$ 은 다음과 같다 [3].

$$P_s(k) = \exp\left(\frac{-\eta N_0}{PT_p}\right) \left(\frac{G}{\eta + G}\right)^{k-1} \left(1 - \frac{1}{N_{seq}}\right)^{k-1}, \quad (2)$$

G 는 수신단에서 랜덤 액세스 패킷의 처리이득이다.

단말기에서 전송한 패킷이 기지국의 수신단에서 성공적으로 수신되지 않으면, 단말기는 q 개의 랜덤 액세스 슬롯 이후에 랜덤 액세스를 전송한다. q 는 p_r 의 발생확률을 갖는 Bernoulli distribution을 따르는 랜덤변수이다. q 의 pdf (probability density function) $f(q)$ 은 다음과 같다.

$$f(q) = p_r^q (1 - p_r)^{1-q}, \quad (3)$$

많은 상용 무선시스템내의 전체 단말기의 수 M 는 동시에 랜덤 액세스를 송신하는 단말기의 수 K 보다 매우 크다 ($M \gg K$). 따라서, 본 논문에서는 재전송 모드에 포함된 단말기의 수가 new transmission 모드의 수에 영향을 주지 않는다고 가정한다. 그림 1은 유한한 시스템에서 랜덤 액세스 프로세스의 도식화이며 그림 2는 본 논문에서 고려한 large 시스템

에서 랜덤엑세스 프로세스 도식화이다.

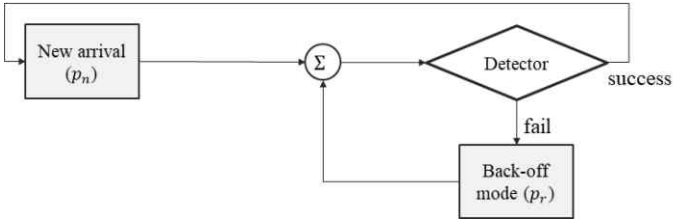


그림 1. 유한한 시스템에서의 랜덤엑세스 프로세스 도식화.

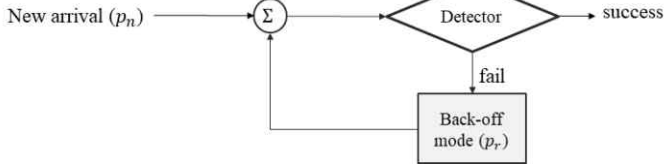


그림 2. Large 시스템에서의 랜덤엑세스 프로세스 도식화.

기지국의 수신단에서 수신된 랜덤엑세스 패킷은 new transmission 모드와 재전송 모드에서 전송된 랜덤엑세스 패킷의 합이다. 따라서 기지국의 수신단에서 랜덤엑세스 패킷 도착률을 분석하기 위해서는 두 모드를 동시에 고려해야한다.

III. 시뮬레이션

본 논문에서는 large 시스템에서 new transmission 모드와 재전송 모드 모두 고려한 랜덤엑세스 패킷 도착률을 시뮬레이션 하였다.

시뮬레이션을 위하여 시스템 전체 단말기 수 M 은 5000, 트리거 이벤트 발생확률 p_n 은 0.001 또는 0.002, 재전송 발생확률 p_r 은 0.2, 처리이득 G 는 128, 수신 E_p/N_0 는 20 dB 그리고 랜덤엑세스 시퀀스 수 N_{seq} 은 128 그리고 랜덤엑세스 수신 임계값은 5 dB으로 설정하였다.

그림 3은 $p_n = 0.01$ 일 때, 랜덤엑세스 패킷의 도착률 pdf를 나타낸 것이다. 실선은 유한한 시스템에서의 도착률 pdf를 나타낸. [2]. 본 논문에서 고려한 large 시스템에서의 도착률 pdf 시뮬레이션 값과 유한한 시스템에서의 도착률은 거의 비슷하다. 그리고, 유한한 시스템에서의 도착률의 평균값은 5.9이고 large system에서의 도착률의 평균값 또한 5.9이다.

그림 4 $p_n = 0.02$ 일 때, 랜덤엑세스 패킷의 도착률 pdf를 나타낸 것이다. 이 결과 또한 유한한 시스템과 large 시스템에서의 랜덤엑세스 패킷 도착률 pdf가 비슷하다는 것을 확인할 수 있다. 그리고, 도착률의 평균값은 두 시스템 모두 약 14.7이다. $p_n = 0.01$ 인 경우보다, $p_n = 0.02$ 인 경우가 기지국의 수신기에서 재전송에 의한 랜덤엑세스 패킷이 많다는 것을 알 수 있다.

III. 결론

본 논문에서는 재전송을 고려한 랜덤엑세스 패킷 도착률을 시뮬레이션 하여 비교하였다. 랜덤엑세스 트리거 이벤트가 발생하는 단말기의 수가 전체 단말기의 수에 비해 매우 작기 때문에, large 시스템으로 간단하게 모델링하여 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여, large 시스템에서의 랜덤엑세스 패킷 도착률 pdf가 유한한 시스템에서의 도착률 pdf와 비슷하다는 것을 보였다. 또한, 트리거링 이벤트 발생확률이 높을수록 재전송 모드의 단말기의 수가 증가하는 것을 알 수 있다.

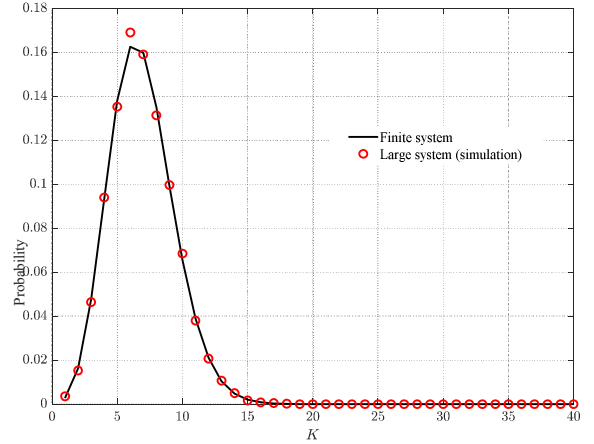


그림 3. 랜덤엑세스 패킷 도착률 pdf ($p_n = 0.01$)

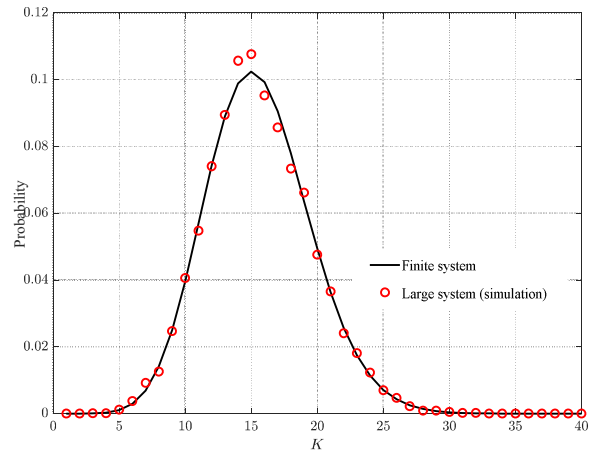


그림 4. 랜덤엑세스 패킷 도착률 pdf ($p_n = 0.02$)

ACKNOWLEDGMENT

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITP-2020-2017-0-01637*)

참 고 문 헌

- [1] Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Medium Access Control (MAC) protocol specification (Rel. 15), Third-Generation Partnership Project TS36.321, June 2019.
- [2] D. Raychaudhuri, "Performance Analysis of Random Access Packet-Switched Code Division Multiple Access Systems," *IEEE Transactions on Communications*, vol. 29, no. 6, pp. 895-901, June 1981, doi: 10.1109/TCOM.1981.1095064.
- [3] H. Choi and H. Moon, "Throughput of CDM-based Random Access With SINR Capture," *IEEE Transaction on Vehicular Technology*, in major revision.