셀룰라 네트워크에서 저지연 M2M 통신을 위한 Grant-Free 다중접속기술

김태훈 [1], 정방철 [2], 성단근 [1]
[1] 한국과학기술원 전기및전자공학부, [2] 충남대학교 전자공학과
thkim@kaist.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr, dksung@kaist.ac.kr

1. 서론

셀룰라 네트워크에서 저지연 M2M 통신을 지원하기 위해 임의 접속(Random access)의 지연 시간을 감소시키는 연구가 있었으나 [1], 시그날링(Signaling)으로 발생하는 지연 시간을 제거하기에는 한계가 있다. 그로 인해, 경합기반 Grant-Free 데이터 전송 기법에 대한 연구들이 각광을 받고 있으나 [2-3], 충돌 완화에 대한 해결책이 미비한 상태이다. [3]에서는 다중 패킷 수신(Multi-packet reception; MPR) 기술을 이용하여 성능을 개선하였으나, 부분적으로 스케줄링에 의존하여 완전한 Grant-Free 다중접속기술이라고 일컫기에는 한계점이 있다. 본 논문에서는 Grant-Free 다중접속기술의 지연 시간을 분석한다.

2. Grant-Free 다중접속기술의 지연 시간

기지국은 다중 패킷 수신을 할 수 있으며 [4], N_M개의 패킷을 동시에 수신할 수 있다. N_U개의 사물 단말은 패킷발생률 λ 에 따라 패킷을 생성해내며, T_P주기로 반복되는 상향링크 자원에 p_t의 확률로 경합기반으로 데이터를 전송할 수 있다. 지연 시간 분석을 위해 Markov Chain 을 이용하며, 각 상태(state)는 각 단말의 대기 행렬(queue)의 크기를 나타낸다. $\pi_i(n)$은 시간 n 에 대기 행렬 크기가 i 일 확률을 나타내며, π_i는 그에 해당하는 정상 상태(steady-state) 확률이다. 각 단말이 데이터 전송을 시도할 때마다 상태 천이가 일어나며, 상태 j 에서 상태 k 로 천이될 확률은 $p_{j,k}$이다. 정상 상태 확률은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\pi_0 = \pi_0 \cdot \boldsymbol{p}_{0,0} + \pi_1 \cdot \boldsymbol{p}_{1,0} \quad (1)$$

$$\pi_i = \sum_{j=0}^{i+1} \pi_j \cdot \boldsymbol{p}_{j,i}, \boldsymbol{i} \in [1, \boldsymbol{I}-1] \quad (2)$$

$$\pi_{\boldsymbol{I}} = \sum_{j=0}^{\boldsymbol{I}-1} \pi_j \cdot \boldsymbol{p}_{j,\boldsymbol{I}} + \pi_{\boldsymbol{I}} \cdot \left(1 - \boldsymbol{p}_{\boldsymbol{I}-1,\boldsymbol{I}}\right). \quad (3)$$

각 단말이 데이터 전송을 시도할 확률 τ는 $1-\pi_0$로 나타낼 수 있으며, 그 때의 성공 확률 p_s은

$$\boldsymbol{p}_s = \sum_{k=0}^{N_M-1} \binom{\boldsymbol{N}_U - 1}{\boldsymbol{k}} \left(\frac{\tau \cdot \boldsymbol{p}_t}{\boldsymbol{N}_C}\right)^{\boldsymbol{k}} \left(1 - \frac{\tau \cdot \boldsymbol{p}_t}{\boldsymbol{N}_C}\right)^{N_U - 1 - k} \quad (4)$$

이며, N_C는 상향링크 자원의 양이다.

지연 시간 D 는 D = D_Q+D_T와 같이 나타낼 수 있으며, D_T는 패킷 전송 시간(Transmission time), D_Q는 대기 행렬 지연 시간(Queuing delay)를 나타낸다. D_Q는 $\boldsymbol{D}_Q = \sum_{i=0}^{I} \pi_i \cdot \boldsymbol{D}_{Q,i}$ 와 같이 나타낼 수 있으며, $D_{Q,i}$는 대기 행렬 크기가 i 일 때 소요되는 지연 시간이다. D_T는 $\boldsymbol{D}_T = \mathrm{E}_X[(\boldsymbol{X}-1)\boldsymbol{T}_p + \boldsymbol{T}_{ack}]$ 와 같이 나타낼 수 있으며, X 는 데이터 전송이 성공할 때까지의 전송 시도 횟수이며, $p_t \cdot p_s$를 변수로 하는 기하분포를 따른다. 또한, T_{ack}는 기지국으로부터 ACK 를 수신 후 디코딩하는데 소요되는 시간이다.

3. 시뮬레이션 결과 및 결론

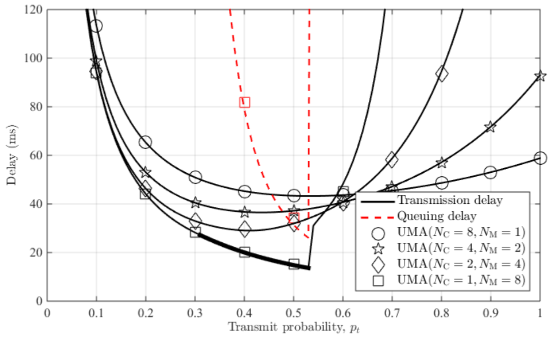

그림 1. Grant-Free 다중접속기술의 지연 시간

그림 1 은 $N_U = 15$, λ =0.3, $T_p = 10ms$, $T_{ack} = 4ms$일 때, Grant-Free 다중접속기술의 지연 시간을 보여주고 있다. p_t를 적절히 조절하는 것이 지연 시간을 줄이는데 필요하다는 것을 확인할 수 있었으며, 같은 양의 자원을 이용하더라도 다중 패킷 수신 성능을 적극적으로 이용하는 것이 저지연 서비스 제공에 효과적인 것을 확인하였다.

4. ACKNOWLEDGEMENT

This work was supported by the IITP grant funded by the Korea government (MSIP) (No. B0126-16-1064, Research on Near-Zero Latency Network for 5G Immersive Service).

5. 참고 문헌

[1] T. Kim, H. S. Jang, and D. K. Sung, "An enhanced random access scheme with spatial group based reusable preamble allocation in cellular M2M networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 19, no. 10, pp. 1714–1717, Oct. 2015.

[2] S. Andreev, A. Larmo, M. Gerasimenko, V. Petrov, O. Galinina, T. Tirronen, J. Torsner, and Y. Koucheryavy, "Efficient small data access for machine-type communications in LTE," *in Proc. IEEE ICC*, pp. 3569–3574, June 2013.

[3] K. Zhou, N. Nikaein, R. Knopp, and C. Bonnet, "Contention based access for machine-type communications over LTE," *in Proc. IEEE VTC*, pp. 1–5, May 2012.

[4] H. Jin, B. C. Jung, and D. K. Sung, "A tradeoff between single-user and multi-user MIMO schemes in multi-rate uplink WLANs," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 10, no. 10, pp. 3332–3342, Oct. 2011.