초다수 기기 환경에서 자원 효율 향상을 위한 LTE-A 랜덤 액세스 절차 개선

이성형, 김재현°

아주대학교 전자공학과

Enhancement of Random Access Procedure of LTE-A to Reduce Resource Usage in Massive Device Environments

Sung-Hyung Lee, Jae-Hyun Kim

Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou University

xaviersr@ajou.ac.kr, jkim@ajou.ac.kr

요 약

LTE-A 네트워크의 랜덤 액세스 절차에서는 세번째 메시지를 eNodeB 가 수신해야 충돌 검출이 가능하므로 이를 고려하지 않으면 불필요한 자원 사용이 발생한다. 본 논문에서는 이를 반영하여 시간-주파수 자원 사용량을 줄일 수 있는 랜덤 액세스 절차를 제안하고 평가한다.

1. 서론

Long term evolution-advanced (LTE-A) 네트워크에서 다수 단말이 작은 데이터를 송신하는 서비스를 지원하기 위해 machine type communication (MTC)이나 narrow band Internet of things (NB-IoT) 기술이 연구되고 있다. 이러한 서비스에서 단말은 idle 상태에서 데이터를 전송해야 할 가능성이 높으므로 랜덤 액세스(random access, RA)를 이용한 데이터 전송을 해야 한다. 표준 LTE-A RA 절차는 radio resource control (RRC) connection 을 위한 절차가 포함되어 있어 복잡하다. 그래서 MTC 나 NB-IoT 서비스에 적합하게 RRC connection 절차를 간소화가 가능하거나 정보를 미리 교환하였다는 전제 하에 데이터를 효율적으로 전송하고자 하는 연구가 진행되었다 [1]-[2]. 그러나 기존 연구는 시간-주파수 자원인 resource block (RB) 사용량을 줄이기 보다는 메시지 개수를 줄이는데 초점을 두고 있다. 본 논문에서는 상향 링크에서 RB 사용량을 줄이기 위한 랜덤 액세스 절차를 제안하고 평가한다.

2. LTE-A 표준 RA 및 기존 연구의 절차

LTE-A 의 표준 RA 절차와 기존 개선 연구에서 상향 링크(UL)과 하향 링크(DL)로 전송하는 메시지는 표 1 과 같다. 각 메시지 전송은 RB 를 소모하여 이루어진다. LTE 표준에서는 단말들이 step 1 에서 6 개의 할당된 RB (random access channel, RACH)에 54 개의 프리앰블 중에 하나를 선택해 전송한다. eNodeB 가 어떤 프리앰블을 디코딩 하면 step 2 에서 그 프리앰블에 해당하는 RA response 를 보낸다. Step 3 에서는 단말들이 RRC connection request (MSG3)을 보낸다. Step 1 에서 한 단말만 그 프리앰블을 보냈다면 eNodeB 가 그 단말이 보낸 MSG3 을 복호할 수 있다. 이 경우 step 4 에서 congestion resolution 메시지 및 RRC connection setup (MSG4)를 보내 MSG3 의 수신여부를 알린다. 단말은 step 5 에서 RRC connection setup complete (MSG5)를 보내고 step 6 에서 데이터를 전송한다.

랜덤 액세스 절차 향상을 위한 기존 연구로는 프리앰블 대신 데이터를 전송하는 data in MSG1 [1], MSG3 대신 MSG3 과 데이터를 같이 전송하는 data in MSG3 [2]이 있다. Data in MSG1 에서는 frame slotted ALOHA, multichannel ALOHA 와 같이 데이터를 보낼 수 있을 만큼의 RB 를 eNodeB 가 할당하여 데이터를 보내고 eNodeB 가 데이터 수신시 step 2 에서 acknowledgment (ACK)를 보내고 종료한다. Data in MSG3 에서는 MSG3 전송 단계에서 데이터를 같이 보낸 후 수신 성공시 ACK 를 보내고 종료한다. 표 1 에서 세가지 랜덤 액세스 기법들이 상향 링크 전송 단계에서 보내는 메시지를 확인할 수 있다.

3. 제안 기법

eNodeB 는 MSG3 를 수신해야 충돌 여부를 확인 가능하다. 따라서 MSG1 이나 MSG3 에 데이터를 같이 전송하면 데이터의 충돌로 손실되는 자원이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 자원 낭비를 줄이기 위한 RA 절차를 제안한다. 제안 기법에서는 단말이 작은 데이터 전송을 필요로 하는 경우 기존 MSG3 에 MTC data flag 를 설정하여 보낸다. 이를 받은 eNodeB 는 MSG4 에 데이터 전송을 위한 자원 할당 정보를 보낸다. MSG4 를 수신한 단말은 해당 자원을 이용하여 데이터를 전송한다. 해당 데이터의 수신 여부 확인은 hybrid automatic repeat request

(HARQ) ACK 로 대체한다. 각 단계별 송수신하는 메시지는 표 1 에 정리하였다.

표 1. 랜덤 액세스 기법 및 단계별 송수신 메시지

단계	랜덤 액세스 기법			
	LTE-A 표준	**Data in MSG1 [1]**	**Data in MSG3 [2]**	**제안 기법**
1(UL)	프리앰블	데이터	프리앰블	프리앰블
2(DL)	MSG2	ACK	MSG2	MSG2
3(UL)	MSG3	-	MSG3 +데이터	MSG3 +MTC data flag
4(DL)	MSG4	-	ACK	ACK
5(UL)	MSG5	-	-	데이터
6(UL)	데이터	-	-	-

4. 성능 평가

표준 LTE-A 에서 eNodeB 가 할당할 프리앰블 개수를 R, step 3 부터 사용되는 HARQ 에 대한 HARQ 실패확률을 p, HARQ 최대 전송 시도 횟수를 N 으로 가정한다. MSG3 은 L_3, MSG5 는 L_5, 데이터는 L_D bits 의 크기를 각각 갖고, 상향 링크에서 1 RB 를 이용하여 C bits 를 전송할 수 있다고 가정한다. 한 메시지를 HARQ 를 이용한 재전송을 한다면 해당 메시지는 평균적으로 N_H 번 전송 된다. N_H 는 (1)과 같다.

$$N_H = Np^N + \sum_{i=1}^{N} i(1-p)p^{i-1} \quad (1)$$

한 RACH 에 M 개의 단말이 경쟁한다고 가정할 경우 한 프리앰블에 x 개의 단말이 경쟁할 확률 $P(x)$ 는 다음과 같다.

$$P(x) = \binom{M}{x}\left(\frac{1}{R}\right)^x\left(1-\frac{1}{R}\right)^{M-x} \quad (2)$$

따라서 성공한(1 개 단말만 보낸) 평균 프리앰블 수 $\boldsymbol{E}[S]=RP(0)$, 충돌이 발생한(2 개 단말 이상이 보낸) 평균 프리앰블 수 $\boldsymbol{E}[F]=R\{1-P(0)-P(1)\}$와 같다.

Data in MSG1 의 경우에는 프리앰블 1 개 대신 데이터 전송을 위한 RB 들을 할당한다. 그러므로 RACH 할당 주기 (RACH period) 당 $R(\lceil L_D/C \rceil)$개의 RB 가 필요하다. Data in MSG3 의 경우에는 RACH 주기 마다 54 개 프리앰블 전송을 위한 RACH (6 RBs)가 필요하고 각 프리앰블 성공 또는 충돌에 대해 MSG3 와 데이터를 함께 보낼 수 있을 자원이 필요하므로 RACH 주기당 평균적으로 $\{6+(\boldsymbol{E}[S]+\boldsymbol{E}[F])N_H\lceil (L_3+L_D)/C \rceil\}$개의 RB 가 필요하다. 제안 기법의 경우에는 step 1 에 RACH 를 위한 6 RB, step 3 에서는 성공 및 충돌한 프리앰블에 대해 자원이 필요하므로 $\{(6+(\boldsymbol{E}[S]+\boldsymbol{E}[F])N_H\lceil (1+L_3)/C \rceil\}$개의 RB, step 5 에서는 성공한 프리앰블에 대한 자원인 $\boldsymbol{E}[S](p^5)^2N_H\lceil L_D/C \rceil$개의 RB 가 필요하다.

비교를 위해 p 는 0.1, N 은 5, R 은 54 로 설정하였다 [3]. PUSCH 의 1 RB 는 144 symbols 로 구성되므로 BPSK 사용을 가정 시 C=144 bits 이다. 데이터의 크기는 응용 계층 payload 가 20 bytes, CoAP, DTLS, UDP, IP, MAC header 의 크기가 각각 4, 13, 8, 4, 3 bytes 라는 가정 하에 L_D=52 bytes 로 가정한다 (IP 헤더는 IP header compression 적용) [4]. MTC data flag 의 크기는 1 bits 로 가정하였다. L_3, L_5 는 10, 26 bytes 로 가정하였다[5].

이러한 가정 하에 M 개의 단말이 경쟁하였을 때 각 랜덤 액세스 절차가 RACH 주기 당 필요로 하는 상향 링크 평균 RB 사용량을 구하면 그림 1 과 같다. Data in MSG1 의 경우에는 고정 개수의 RB 가 할당되어야 하므로 가장 많은 자원을 사용한다. Data in MSG1 의 경우 매 RACH 주기 마다 데이터 크기와 최대 동시 접속 수(R) 의 곱만큼 자원이 필요하여 경쟁 단말 수와 관계 없는 자원 사용량을 보인다. LTE-A 표준의 경우 MSG5 의 크기 때문에 높은 자원 사용량을 보이는 경향이 있다. Data in MSG3 의 경우 낮은 트래픽 부하에서는 성능이 좋으나 트래픽 부하가 높아지면 MSG3 의 충돌이 증가하여 이로 인한 자원 할당량이 높아진다. 제안 기법은 MSG3 과 크기 차이가 거의 없는 메시지로 충돌을 판별하고 충돌이 없을 경우에만 데이터 전송을 위한 자원을 할당하였기 때문에 낮은 트래픽 부하에서는 data in MSG3 과 비슷하고 높은 트래픽 부하에서 data in MSG3 보다 낮은 자원 사용량을 보인다.

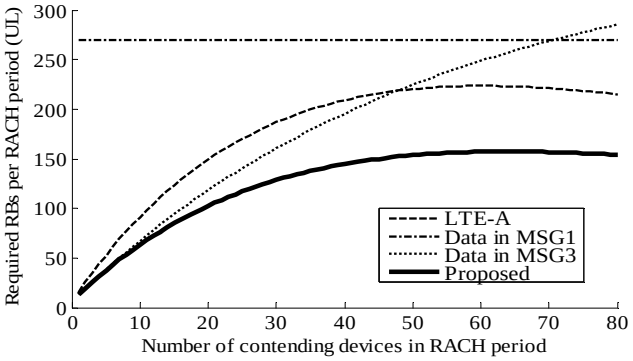

그림 1. RACH period 에 경쟁한 단말 수(M) 별 평균 상향 링크 RB 사용량.

5. 참고 문헌

[1] Y. Chen, et. al, "Machine-to-machine communication in LTE-A," in *Proc. VTC 2010-Fall*, Sep. 2010.

[2] S. M. Oh and J. Shin, "An Efficient Small Data Transmission Scheme in the 3GPP NB-IoT System," *IEEE Comm. Letters*, vol. 21, no. 3, pp. 660-663, March 2017.

[3] O. Arouk and A. Ksentini, "General Model for RACH Procedure Performance Analysis," *IEEE Comm. Letters*, vol. 20, no. 2, pp. 372-375, Feb. 2016.

[4] 3GPP 45.820, Dec. 21, 2015.

[5] Qualcomm, "Updating Encryption Keys For MBMS", Sep. 2003.

6. 기타

이 논문은 2014 년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2014R1A2A2A01002321)