

극 다수의 머신 노드 통신을 지원하는 LTE 시스템의 성능 분석

추은미, 정방철
 충남대학교 전자공학과

emchu@cnu.ac.kr, bcjung@cnu.ac.kr

Performance Analysis of LTE System for Accommodating Massive Number of Machine Nodes

Chu Eunmi, Jung Bang Chul
 Det. of Electronics Engineering, Chungnam National Univ.

요 약

LTE 시스템에서 머신 노드들은 랜덤 액세스 접속 절차를 거쳐서 제어 채널과 데이터 채널의 리소스를 할당 받은 후에 데이터를 전송하는 일련의 과정을 수행한다. 본 논문에서는 머신 노드들이 데이터를 전송 할 때의 7 단계를 설명하고, 극 다수의 머신 노드들이 동시에 전송을 시도할 때 현재 LTE 시스템에서 사용되는 상향링크 PUSCH (Physical Uplink Shared Channel)와 하향의 PDCCH (Physical Downlink Control Channel), PDSCH (Physical Downlink Shared Channel) 채널의 사용률을 분석하였다. 성능 평가 결과를 통해서 PDCCH 채널의 부하가 매우 크다는 것을 알 수 있었으며 시스템 파라미터들을 통해서 채널의 부하를 조절할 수 있음을 보여주었다.

I. 서론

머신 노드 (MN; Machine Node)들은 대부분의 시간을 Idle 상태에서 머물다가 간헐적으로 자신이 수집한 데이터를 보고 한다. MN 은 랜덤 액세스 접속 요청을 시작으로 제어 채널과 데이터 채널의 연결 설정을 완료한 후에 데이터 전송을 할 수 있다. 이런 일련의 과정을 7 단계로 설명할 수 있다[1]. 극 다수개의 머신 노드들이 동시에 요청을 하기 때문에 LTE 시스템에서는 부하가 많이 걸릴 것으로 예상된다.

하지만, 머신 통신 분야에서 대부분의 연구들은 1 단계에서 사용되는 PRACH (Physical Random Access Channel) 채널에 집중하고 있다[2][3]. 그래서, 나머지 단계에서 사용되는 PUSCH, PDCCH, PDSCH 채널에 대한 분석은 미비하다. 이러한 이유로 본 논문에서는 MN 의 7 단계 수행 과정을 설명하고, MN 들이 동시에 접속할 때 사용되는 채널 사용량을 분석한다.

II. 본론

본론에서는 MN 의 7 단계 데이터 전송 과정을 설명하고, 동시 접속하는 극 다수개의 노드들의 리소스 사용량을 분석한 후, 각 채널 별 사용량을 보여준다.

A. 머신 노드의 7 단계 데이터 전송 과정

MN 은 그림 1 과 같이 7 단계의 데이터 전송 과정을 수행을 한다. 각 단계에서 사용되는 채널은 괄호내에 표시된 것과 같이 상향은 PRACH 와 PUSCH 채널이고, 하향은 PDCCH 와 PDSCH 채널이다.

MN 은 RA (Random Access) 슬롯에서 1 단계를 시작하며, 이 단계에서 R 개의 프리앰블 중 한 개의 랜덤 프리앰블을 선택 후 기지국 (eNB)에 RA 를 요청을 한다. 2 단계에서 eNB 는 RAR (RA Response) 윈도우 (W_{rar}) 내에서 MN 에게 RAR 을 응답을 한다. 3 단계에서 단말은 RRC (Radio Resource Control) Connection 을 요청을 한다. 3 단계에서 eNB 는 프리앰블 충돌 여부를 파악하게 되고, 충돌된 MN 들은 Contention resolution 타이머 (T_{cr} ; 48ms) 와 백오프 타이머 (T_{bo} ; 21ms)를 후 다시 1 단계부터 수행을 하게 된다. 3 단계에서 성공된 MN 은 4 단계와 6 단계를 거쳐서 데이터 전송을 위한 연결 설정이 완료가 된다. 최종 7 단계에서 MN 은 업링크 데이터를 전송하게 된다. 본 연구에서는 전송 후 연결 해제 과정을 생략을 하기로 한다.

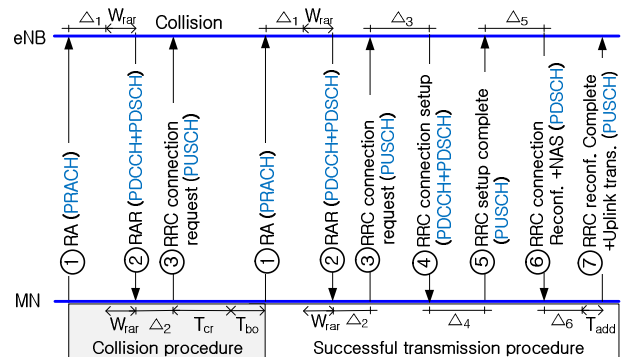


그림 1 머신 노드의 데이터 전송 과정

B. 극 다수개의 머신 노드들의 리소스 사용량 분석

동시 접속하는 M 개의 MN 들 중 k 개의 MN 들이 같은 프리엠블을 선택할 확률은 $P_{k,M}$ 이며, 이 때 충돌이 발생할 확률은 $P_c(M)$ 일 때, 아래와 같이 표현 된다.

$$P_{k,M} = M C_k (1/R)^k (1-1/R)^{M-k}, P_c(M) = 1 - P_{0,M} - P_{1,M}$$

또한, k 번째 RA 슬롯에서 RA 을 시도한 MN 의 수가 M_k 라고 할 때, 이 슬롯에서 성공한 MN 의 수 (M_k^{succ})와 실패한 MN 의 수 (M_k^{coll})는 아래와 같이 나타난다.

$$M_k^{succ} = M_k P_{1,M_k}, M_k^{coll} = M_k P_c(M_k)$$

실패한 M_k^{coll} 개의 MN 들은 다시 1 단계부터 RA 를 수행을 하게 된다. 표 1 은 단계별 채널별 한 메시지에서 사용된 RE (Resource Element)의 수 (A)와 총 사용된 메시지 수 (B)를 나타낸다. N_{QPSK} 와 N_{64QAM} 은 QPSK 와 64QAM 변조에서의 전송 비트 수로 2 와 6 을 의미한다. 각 단계별 사용된 RE 의 총 개수는 A 와 B 의 곱으로 계산이 된다.

표 1. 단계별 채널별 사용된 RE 와 메시지 수

단계	채널	한 메시지에서 사용된 RE 의 개수 (A)	사용된 메시지 수 (B)
2	PDCCH	72	$R(1-P_{0,m})$
	PDSCH	$\lceil 64 / N_{QPSK} \rceil$	$R(1-P_{0,m})$
3	PUSCH	$\lceil 56 / N_{QPSK} \rceil$	$R(1-P_{0,m})$
4	PDCCH	72	$RP_{1,m}$
	PDSCH	$\lceil 304 / N_{QPSK} \rceil$	$RP_{1,m}$
5	PUSCH	$\lceil 176 / N_{64QAM} \rceil$	$RP_{1,m}$
6	PDSCH	$\lceil 944 / N_{64QAM} \rceil$	$RP_{1,m}$
7	PUSCH	$\lceil (184 + 8N_{Data}) / N_{64QAM} \rceil$	$RP_{1,m}$

C. 성능 분석 결과

본 논문에서 시스템 파라미터는 대역폭은 5MHz, 한 subframe 내의 PDCCH 의 symbols 의 수 (N_{pdccch})는 3ms, $W_{rar}=5ms$, $N_{data}=100$ Bytes 로 설정한다. M 개의 MN 들이 R 개의 프리엠블이 주어졌을 때 동시에 접속하여 성공할 때까지 사용된 채널들을 분석하였다. RA 슬롯 단위로 최대 사용량을 정규화 단위로 계산하여 사용량을 보여 준다. 그림 2 에서는 R 과 M 에 따른 채널별 사용률을 보여 준다. M 이 10 개일 경우, 모든 채널의 최대 사용률은 10% 내외가 되며 성공 확률도 0.9 이상이 된다. 그러나, M 이 50 개일 경우, PDCCH 채널은 50%, PUSCH 채널과 PDSCH 채널은 30%~40%로 늘어나며 성공 확률은 0.7 로 작아짐을 알 수 있다. M 값이 커질수록 PDCCH 채널의 부하가 심각해 짐을 알 수 있다. 따라서, N_{pdccch} 값과 W_{rar} 값을 증가시켜 PDCCH 채널 리소스 양을 증가시킬 수가 있다. 그림 3 은 N_{pdccch} 와 W_{rar} 의 변화에 따른 채널 사용률을 보여준다. $N_{pdccch} + N_{pdsch} = 14$ symbol time 이기 때문에, PDCCH 채널 리소스 양이 늘어나면 PDSCH 채널 리소스 양이 줄어 든다. 하지만, PDCCH 채널 사용률은 급격하게 양이 줄어 드는 반면에 PDSCH 채널 사용률은 천천히 늘어남을 알 수 있다.

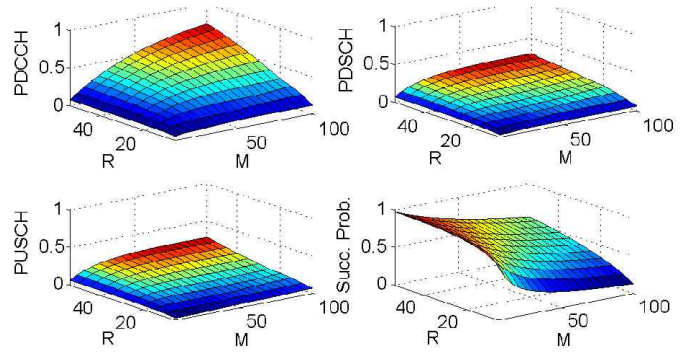


그림 2. R 와 M 의 변화에 따른 채널 사용률

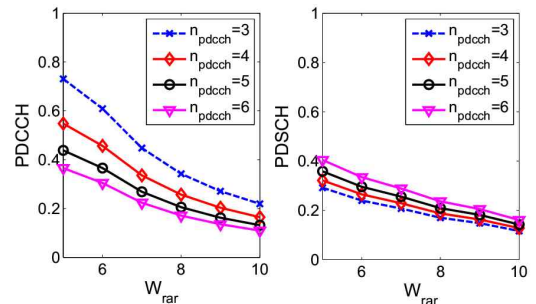


그림 3. N_{pdccch} 와 W_{rar} 에 변화에 따른 채널 사용률 (M=100, R=54 의 경우)

III. 결론

본 논문에서는 MN 의 7 단계 수행 과정을 설명 하였으며, MN 들이 동시에 접속 시 7 단계 과정을 수행에 사용되는 상향의 PUSCH 채널과 하향의 PDCCH 채널과 PDSCH 채널의 사용률을 분석하였다. 성능 분석 결과를 통해서 PDCCH 채널의 사용률이 크다는 것을 알 수 있으며 이를 줄이기 위해서 N_{pdccch} 와 W_{rar} 의 조절을 통해서 PDCCH 와 PDSCH 채널의 리소스 사용량을 조절 할 수 있음을 보여주었다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 미래창조과학부 및 (재)기가코리아사업단의 '범부처 Giga KOREA 사업'의 지원을 받아서 수행하였음. [GK 16S0400, 개방형 5G 표준 모델 개발]

참 고 문 헌

[1] 3GPP Technical Specification Group Radio Access Network; Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and modulation, 3GPP TS 36.211 V12.8.0, Dec. 2015.

[2] J. Chen, Y. Lin, and R. Cheng, "A Delayed Random Access Speed-Up Scheme for Group Paging in Machine-Type Communications," IEEE International Conference on Communications (ICC), 2015.

[3] T. Andrade, C. Astudillo, and N. Fonseca, "Impact of M2M Traffic on Human-Type Communication Users on the LTE Uplink Channel," IEEE Latin-America Conference on Communications, 2015.