

LTE 시스템에서 극 다수 기계간 통신을 위한 무선 자원 사용량 분석

추은미*, 정방철^o

Analysis of Radio Resource Utilization for a Massive M2M Communication in LTE Systems

Eunmi Chu*, Bang Chul Jung^o

요약

본 논문에서는 다수의 머신 노드들이 동시에 LTE 시스템에 액세스 요청하고, 상향 링크 패킷을 전송하는 7단계 전송 과정을 고려한다. 모델링을 통해서 무선 자원 사용량을 분석하고, 부하가 집중되는 리소스를 파악한다. 시뮬레이션 결과를 통해 하향 링크 제어 채널인 PDCCH (physical down link control channel)의 사용률이 머신 노드의 수의 증가에 따라 급속도로 증가함을 보여준다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 하향 링크 공유 채널인 PDSCH (physical downlink shared channel) 자원을 PDCCH에 할당한다. 이를 통해 PDCCH 자원 사용률이 개선 되었음을 보인다.

Key Words : M2M communications, Resource utilization, LTE system

ABSTRACT

In this letter, we consider a 7-step transmission procedure of a large number of machine nodes when they simultaneously request random access to transmit uplink data. We model the radio resource utilization of LTE systems, and analyze the overloaded resources. From the simulation results, we show that the resource of PDCCH becomes

significantly overloaded as the number of machine nodes increases in a cell. To alleviate the overload of PDCCH, we allocate radio resource of PDSCH to PDCCH. The result shows that the resource utilization of PDCCH is improved.

1. 서론

최근 원격 측정, 감시, 제어 등과 지능형 사물을 활용한 극 다수의 머신 노드 통신이 셀룰라 네트워크의 새로운 서비스 모델로 급부상 하고 있다. 따라서 향후 LTE 망에 접속하는 머신 노드의 수가 폭발적으로 증가할 것으로 예상된다. 그러나, LTE 망은 초기에 사용자 중심 서비스를 제공하기 위해 설계되었기 때문에 머신 노드 통신을 효과적으로 제공하는데 한계가 있다. 특히, 다수의 머신 노드들이 동시에 기지국에 다중 접속을 시도할 경우 LTE 망에 극심한 부하를 주는 상황이 발생한다. 또한, LTE 망은 사용자 트래픽의 서비스 품질을 머신 노드 트래픽보다 우선적으로 보장하므로 머신 노드 통신을 위해 할당 되는 무선 자원은 제한적이다.

일반적으로 머신 노드들은 자신이 수집한 데이터를 보고하기 위해 랜덤 액세스 요청을 시작으로 제어 채널과 데이터 채널의 연결 설정을 완료한 후에 상향 데이터 패킷을 전송한다. 이런 일련의 과정은 총 7단계 과정으로 진행된다¹⁾. 기존 M2M 통신에 관한 연구들에서는 동시에 접속 가능한 머신 노드 수를 증가시키기 위하여 총 7단계의 과정 중 주로 1단계~4단계에 관하여 수행되어 왔으나, 무선 자원 사용률 분석 연구는 거의 하지 않았다^{2,3)}.

본 논문에서는 M개의 머신 노드들이 동시에 기지국에 접속할 때의 7단계 전송 과정에서 사용되는 무선 자원의 사용률을 분석한다. 또한, PDCCH와 PDSCH 리소스 할당을 조절했을 때의 리소스 사용률에 대해서도 분석한다. 최근, 5G망인 NB-IoT (Narrow band Internet of Things)에서는 자원을 유동적으로 할당하는 것이 가능하다. 따라서 본 연구에서 사용된 파라미터 설정 변경으로 5G 시스템 성능 평가에도 활용 가능하리라 본다.

* 본 논문은 충남대학교 CNU학술연구비의 지원을 받아 작성 되었습니다.

• First Author : Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, emchu@cnu.ac.kr, 정희원

o Corresponding Author : Department of Electronics Engineering, Chungnam National University, bcjung@cnu.ac.kr, 종신희원
 논문번호 : KICS2017-01-025, Received January 27, 2017; Revised February 22, 2017; Accepted March 2, 2017

II. 머신 노드의 7단계 전송 과정

본 장에서는 하나의 머신 노드들의 7단계의 전송과정을 간략 하게 소개 하고, M 개의 머신 노드들로 확장하여 모델링 한다.

머신 노드는 그림 1과 같이 7단계의 과정을 수행하며, 각 단계에서 사용되는 채널은 상향 링크에서 PRACH (physical random access channel)와 PUSCH (physical uplink shared channel), 하향 링크에서는 PDCCH와 PDSCH이다. 1단계에서는 R 개의 프리앰블 중 한 개의 랜덤 액세스 (random access; RA) 프리앰블을 선택 후 기지국에 접속을 요청한다. 2단계에서 기지국은 W_{rar} 윈도우 이내에 머신 노드에 RAR (random access response) 메시지를 PDCCH와 PDSCH를 사용하여 전송한다. 3단계에서 머신 노드는 기지국으로 제어 채널 연결 설정을 위해서 RRC (radio resource control) connection 메시지를 PUSCH를 사용하여 요청한다. 기지국은 같은 프리앰블을 전송한 머신 노드들에 대해서 프리앰블 충돌로 판단하고 4단계 응답 메시지를 보내지 않는다. 머신 노드는 T_{cr} 타이머 종료 시까지 4단계 응답 메시지를 받지 못하면 충돌로 인지한다. 충돌을 인지한 머신 노드는 t_{bo} 백오프 타이머를 수행 후 1단계부터 다시 전송을 시작한다. 만약 프리앰블 충돌을 겪지 않은 머신 노드는 4단계에서 PDCCH와 PDSCH를 사용하여 연결 설정 요청 메시지를 받는다. 데이터 연결 설정을 위해 4단계부터 7단계를 과정을 수행하고, 마침내, L_{data} 크기의 상향 데이터 전송이 가능하게 된다.

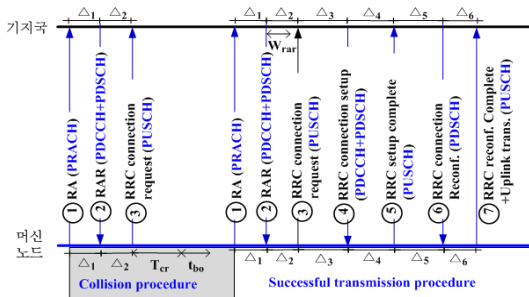


그림 1. 하나의 머신 노드의 7 단계 전송 절차
Fig. 1. A 7-step transmission procedure of a machine node

III. M개의 머신 노드들의 리소스 사용량 분석

하나의 기지국에 동시에 접속하는 M 개의 머신 노

드들 중 k 개가 동일한 프리앰블을 선택할 확률 $P_{k,M}$ 와 프리앰블 충돌이 발생할 확률 $P_c(M)$ 는 아래와 같이 주어진다.

$$P_{k,M} = \binom{M}{k} \left(\frac{1}{R}\right)^k \left(1 - \frac{1}{R}\right)^{M-k} \quad (1)$$

$$P_c(M) = 1 - P_{0,M} - P_{1,M} \quad (2)$$

그림 2에서와 같이 RA 슬롯은 T_{rep} 주기마다 존재하고 i 번째 RA 슬롯에서 1단계를 시도한 머신 노드들의 수를 M_i^s 라고 할 때, 7단계를 모두 성공한 머신 노드들의 수 M_i^s 와 실패한 머신 노드들의 수 M_i^c 는 아래와 같이 표현 된다. M_i^c 개의 머신 노드들은 다시 1 단계부터 RA를 수행하게 된다^[2].

$$M_i^s = M_i P_{1,M}, \quad M_i^c = M_i P_c(M_i) \quad (3)$$

M_i 개의 머신 노드들이 7단계 중 단계 s 에서 생성되는 메시지의 개수를 N_s^{msg} 라고 할 때, 1단계부터 3 단계까지는 자신이 선택한 프리앰블 ID를 사용하여 전송 및 응답하기 때문에 $R(1 - P_{0,M_i})$ 개의 메시지가 생성이 되고, 4단계부터는 성공한 노드들에게만 응답을 하므로 RP_{1,M_i} 개의 메시지가 생성 된다. 다음으로 단계 s 에서 생성되는 메시지의 크기 N_s^{req} 는 RE (resource element) 단위로 아래와 같이 계산이 된다.

$$N_s^{req} = \lceil 8L_s^{msg} / (cN_m N_{rbg}) \rceil N_{rbg} \quad (4)$$

여기서, L_s^{msg} 는 단계 s 에서 사용된 메시지 길이, c 는 코딩 비율, N_m 은 변조 차수, N_{rbg} 는 리소스 블록 그룹 내의 RE의 수를 나타낸다. 3GPP TR 37.869의 Table 6.3.1.2.-1에서 PDSCH와 PUSCH에 사용되는 L_2^{msg} 부터 L_7^{msg} 까지 bytes 단위로 7, 7, 38, 22, 61, $12 + L_{data}$ 이다. PDCCH는 72REs 이다. 2단계에서 4

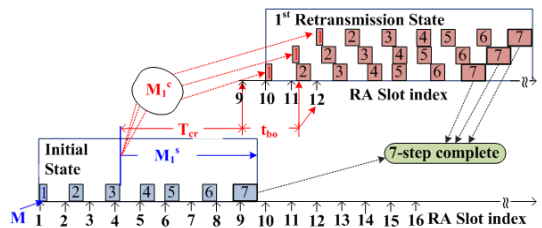


그림 2. 동시 접속 M개 머신 노드들의 7단계 전송 절차
Fig. 2. A 7-step transmission procedure of simultaneously contending M machine nodes

단계까지는 QPSK 전송을 하므로 $N_m=2$ 가 되지만, 5 단계 이후부터는 64QAM으로 전송 가능하므로 $N_m=6$ 이 된다.

PDCCH, PDSCH, PUSCH의 사용 가능한 전체 리소스 크기 $N_{ch}^{tot} \in \{PDCCH, PDSCH, PUSCH\}$ 는 W_{rar} 윈도우 내에서 메시지 전송이 가능하므로 아래 수식 (5)-(7)와 같이 주어진다.

$$N_{PDCCH}^{tot} = N_{rb} N_{sc} n_{PDCCH} W_{rar} \quad (5)$$

$$N_{PDSCH}^{tot} = N_{rb} N_{sc} (N_{sym} - n_{PDCCH}) W_{rar} \quad (6)$$

$$N_{PUSCH}^{tot} = N_{sc} (N_{rb} - n_{PUCCH}) (N_{sym} - n_{DMRS}) W_{rar} \quad (7)$$

여기서, N_{rb} 는 RB (resource block)의 수, N_{sc} 는 RB 내의 subcarrier 개수, n_{PDCCH} 는 서브 프레임 당 PDCCH 심볼의 개수를 의미한다. n_{PUCCH} 와 n_{DMRS} 는 상향 링크 제어와 파일럿 신호 전송에 사용되는 채널이다. 분석의 간략화를 위해서 하향 링크의 PBCH (physical broadcast channel)와 SS (synchronization signal)는 고려하지 않는다.

i 번째 RA 슬롯에서 W_{rar} 이 존재할 확률이 χ_i 이면, 이 때 사용 가능한 PDCCH, PDSCH, PUSCH의 리소스 양은 $\chi_i N_{ch}^{tot}$ 로 주어진다. 따라서, $N_s^{req} \times N_s^{msg}$ 은 단계 s 의 총 필요한 자원의 양이 되며, 자원 사용률은 $\frac{N_s^{req} N_s^{msg}}{\chi_i N_{ch}^{tot}}$ 로 주어진다.

IV. 시뮬레이션 결과

3GPP TR 37.868의 Table 6.2.2.1.1를 참고하여 $R=54$, $T_{rep}=10$ ms, $W_{rar}=5$ ms, $T_{cr}=48$ ms, $t_{bo}=21$ ms로 설정을 한다^[3]. 상하향 각각 5MHz 대역의 LTE 망을 고려하여, $N_{sym}=14$, $n_{PDCCH}=2$, $n_{PUSCH}=4$, $n_{DMRS}=2$ 로 설정 한다. 먼저 $L_{data}=200$ bytes, $M=50$ 로 설정 했을 때, 그림 3은 RA 슬롯 경과 시간에 따른 채널별 자원 사용률을 보여준다. PDCCH 자원 사용률은 초기 접속 시 0.8이고 PDSCH 자원 사용률은 0.4미만이다. 상향의 PUSCH는 상향 데이터 패킷의 길이에 의해서 사용률이 결정된다. 패킷이 200bytes 전송의 경우 0.8까지 자원 사용률이 도달함을 알 수 있다. 이 분석 결과를 통해 RA 경과에 따른 리소스별

사용률을 예측 할 수가 있다.

그림 4의 왼쪽 그래프는 M 에 따라 PDCCH와 PUSCH의 사용률 급격하게 증가함을 알 수 있다. PDCCH의 부하를 줄이기 위해서 3가지로 제한된 n_{PDCCH} 의 값을 4부터 8까지 증가시키면 오른쪽 그래프와 같이 PDCCH가 감소를 알 수 있다. 즉, n_{PDCCH} 가 4로 증가되면 PDSCH의 사용률은 0.55로 약간 증가하나 PDCCH의 사용률은 0.4로 급격히 감소함을 보여준다.

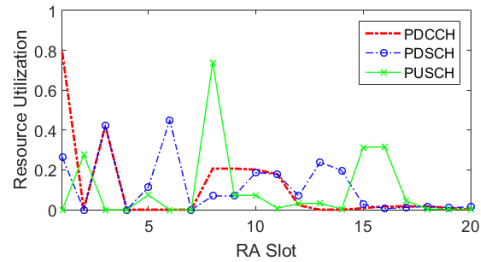


그림 3. RA 슬롯 경과에 따른 자원 사용률
Fig. 3. Resource utilization according to RA slot

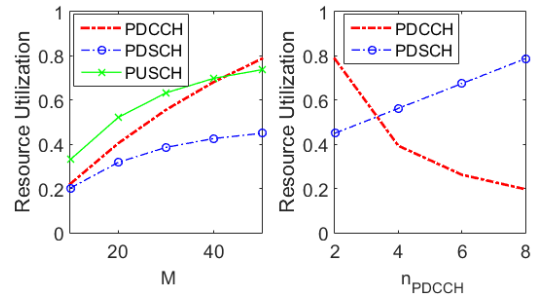


그림 4. M과 nPDCCH의 변화에 따른 자원 사용률
Fig. 4. Resource utilization for varying M and nPDCCH

V. 결론

본 논문에서는 LTE 망에서 M개의 머신 노드들이 동시 접속 시 사용한 리소스를 모델링하고 분석하였다. 이 분석 결과를 통해, PDCCH 리소스에 부하가 집중됨을 보였다. 이를 해결하기 위해 PDSCH 리소스 일부를 PDCCH에 할당하여 PDCCH의 부하가 급격히 완화시킬 수 있음을 확인하였다.

References

[1] 3GPP, *Evolved Universal Terrestrial Radio Access (E-UTRA); Physical channels and*

modulation, 3GPP TS 36.211 V12.8.0, Dec. 2015.

- [2] O. Arouk and A. Ksentini, "General model for RACH procedure performance analysis," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 2, pp. 372-375, Feb. 2015.
- [3] S. S. Yoo, S. H. Lee, J. Shin, S. M. Oh, and J. H. Kim, "Performance evaluation of LTE-A random access procedure for IoT service," *J. KICS*, vol. 41, no. 08, pp. 965-972, 2016.