

기계 간 통신 서비스에 따라 자원 효율을 최대화하는 LTE 시스템 변수 최적화

추은미*, 정방철^o

LTE Parameter Optimization for Resource Utilization Maximization According to M2M Services

Eunmi Chu*, Bang Chul Jung^o

요약

M2M (machine-to-machine) 통신 서비스는 스마트 미터링, 원격 감시, 트래킹 서비스 등과 같은 다양한 분야에서 사용되고 있다. 스마트 미터링 서비스는 다수의 노드들이 짧은 패킷을 보내는 서비스이다. 이에 반해, 원격 감시 서비스는 적은 수의 노드들이 긴 패킷을 보내는 서비스이다. 본 논문에서는 M2M 서비스에 한정된 자원이 할당이 되었을 때, 자원 효율에 영향을 주는 시스템 파라미터를 파악하고 자원 효율을 최대화하는 시스템 파라미터 최적화를 수행하면 머신 노드들의 전송 성공 확률이 증가됨을 보여 준다.

Key Words : M2M communications, Resource utilization, Parameter Optimization

ABSTRACT

M2M communications are applied to various use cases such as smart-metering, remote-surveillance, tracking service, etc. For example, the smart metering service involves a large number of nodes with short packets, while the remote-surveillance service involves a small number of nodes with long packets. In this letter, we optimize system parameters for increasing resource utilization when a limited resource is allocated to M2M communication services. Simulation

results show that transmission success probability becomes increased with the optimized system parameters.

1. 서론

최근 머신 통신 서비스의 수요가 급격하게 증가하고 있다. 머신 노드의 대표적인 서비스로는 그림 1의 Case A와 같은 스마트 미터링 서비스와 Case B와 같은 원격 감시 서비스가 있다. 전자는 많은 수의 머신 노드들이 동시에 짧은 패킷을 전송하는데 비해, 후자는 머신 노드의 수는 많지 않지만 긴 패킷을 전송한다.

머신 노드들은 자신의 상향 데이터 패킷을 머신 서버로 전송하기 위해 랜덤 액세스 절차 시도한 후에 제어와 데이터 채널 설정을 요청한다. 채널 설정이 완료된 후, 머신 노드들은 기지국으로부터 할당 받은 리소스에 상향 데이터를 전송한다. 이런 일련의 과정을 7 단계 전송 과정^[1]을 수행해야 상향 데이터를 전송할 수 있다. 7 단계의 접속 절차를 수행할 때 리소스 PRACH (physical random access channel), PDCCH (physical downlink control channel), PDSCH (physical downlink shared channel), PUSCH (physical uplink shared channel)가 사용된다.

동시 접속 노드 수 M 혹은 상향 전송 패킷의 길이 L_{data} 이 커지면 급격한 리소스 부하가 발생하게 된다. 이로 인해, 머신 통신 서비스뿐 만 아니라 사용자 중심의 서비스에도 품질 저하가 발생한다. 사용자 서비스 품질을 보장하면서 머신 통신 서비스를 제공하게 되어

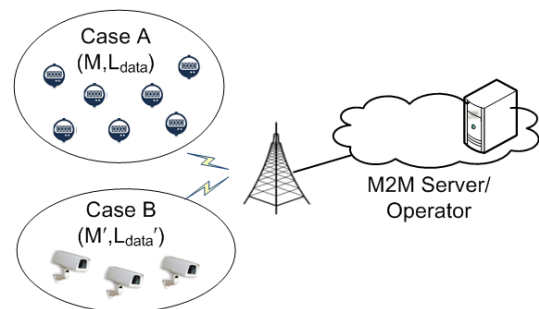


그림 1. 머신 통신 서비스의 예: 유형 A와 유형 B
 Fig. 1. Examples of M2M communication services: Case A and Case B

* 이 논문은 2016년도 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2016R1A2B4014834)
 • 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, 중신희원
 논문번호 : KICS2017-03-068, Received March 8, 2017; Revised May 31, 2017; Accepted May 31, 2017

야 한다. 그래서 망 운용자는 동시 접속 머신 노드의 수를 제한하거나, 머신 통신에게 제한된 리소스만을 할당하여 사용하게 하고 있다.

기존 M2M 통신 연구에서는 총 7단계의 과정 중 주로 1단계~4단계에 관하여 수행^{2,3)}되었으며, M 에 따른 PDCCH, PDSCH, PUSCH 리소스별 미치는 부하의 영향 연구¹⁾만 진행이 되었다.

본 논문에서는 한정된 리소스가 머신 통신 서비스 용도로 할당 되었을 때 리소스 효율을 극대화하는 최적의 시스템 파라미터를 제시하고, 이를 통해 머신 통신 서비스의 전송 성공 확률이 개선됨을 보여 주고 있다.

II. M2M 서비스의 자원 사용 효율 최적화

이 장에서는 머신 노드들의 자원 사용률과 할당된 리소스에 대한 자원 사용 효율을 계산하고, 시스템 파라미터의 최적화 문제를 도출한다.

7 단계 전송 과정 중 단계 $s \in \{1, \dots, 7\}$ 에서 리소스 $x \in \{\text{PDCCH}, \text{PDSCH}, \text{PUSCH}\}$ 를 요청하는 노드의 수는 $N_{s,x}^{req}$ 이고, 이 때 노드 당 필요한 리소스의 크기는 $N_{s,x}^{msg}$ 라고 한다. 따라서 단계 s 에서 리소스 x 를 요구하는 머신 노드들의 필요한 전체 리소스 크기는 $N_{s,x}^{req} N_{s,x}^{msg}$ 가 된다.

단위 서브프레임 내에서 채널 x 의 리소스 크기는 N_x^{tot} , 단계 s 가 랜덤 액세스 슬롯 k 에 존재할 확률 $\chi_{k,s}$, RAR (random access response) window 크기 W_{rar} 로 둔다. 각 단계에 해당 되는 메시지는 W_{rar} 기간 내에서만 할당이 되므로, 랜덤 액세스 슬롯 k 에서 채널 x 의 가용 가능한 크기는 $\chi_{k,s} N_x^{tot} W_{rar}$ 로 표현이 된다. 따라서 랜덤 액세스 슬롯 k 에서 모든 단계에 해당되는 채널 x 의 자원 사용률 아래 수식과 같이 $R(x,k)$ 로 표현이 된다.

$$R(x,k) = \sum_{s=2}^7 \frac{N_{s,x}^{req} N_{s,x}^{msg}}{\chi_{k,s} N_x^{tot} W_{rar}} \quad (1)$$

주어진 가용 리소스의 양이 작을 경우에 W_{rar} 을 증가시키면 모든 채널의 리소스가 동시에 증가하게 된다. 그러나 상향 데이터 크기 L_{data} 이 커지면 상향 데이터 전송을 위한 PUSCH의 자원만을 증가를 시켜야 한다. 본 논문에서는 상향 패킷 전송을 위해 추가적인 전송 지연시간 T_{add} 을 파라미터를 도입하여 PUSCH 가용 자원을 늘린다. 그리하여, 시스템 파라미터의 집합인

(W_{rar}, T_{add}) 의 조절을 통해서 가용 리소스를 조절이 가능하게 된다. 파라미터 집합을 고려하면 수식 (1)은 수식 (2)로 표현된다.

$$R(x,k) = R(x,k, W_{rar}, T_{add}) \quad (2)$$

머신 통신 서비스에 할당된 리소스가 $R_{constraint}$ 일 때 자원 사용 효율 $U(x,k)$ 은 아래 수식과 같이 표현 된다.

$$U(x,k) = \frac{R(x,k, W_{rar}, T_{add})}{R_{constraint}} \quad (3)$$

모든 리소스를 머신 노드에게 할당하면 $R_{constraint}$ 는 1이 된다. 주어진 $R_{constraint}$ 에서 $U(x,k)$ 를 최대화하기 위해서는 $R(x,k, W_{rar}, T_{add})$ 이 최대가 되어야 한다. 즉, 최적의 파라미터의 집합 (W_{rar}^*, T_{add}^*) 을 구하는 최적화 문제를 아래와 같이 나타낸다.

$$\begin{aligned} (W_{rar}^*, T_{add}^*) &= \arg \max \{ U(x,k) \} \\ \text{subject to } R(x,k, W_{rar}, T_{add}) &\leq R_{constraint} \end{aligned} \quad (4)$$

다음 장에서 수식 (4)를 만족하는 자원 사용 효율을 최대화하는 최적의 파라미터 집합을 구하여 성능 평가 결과를 보여 준다.

III. 시뮬레이션 결과

Case A는 노드의 수 M 은 20이고 상향 패킷의 길이 L_{data} 는 100bytes이고, Case B는 노드의 수 M 은 5이고 상향 패킷의 길이 L_{data} 는 500bytes로 설정한다.

그림 2는 Case A와 Case B에 대한 PDCCH, PDSCH, PUSCH의 자원 사용률을 나타낸다. Case A은 M 이 크기 때문에 PDCCH와 PDSCH의 사용량이 크고, Case B는 L_{data} 이 크기 때문에 PUSCH의 사용량이 크다는 것을 알 수 있다. 즉, PDCCH와 PDSCH는 M 에 영향을, PUSCH는 L_{data} 에 영향을 받는다. 하나의 리소스라도 부족하면 머신 노드들은 7 단계 전송 과정을 수행할 수 없게 된다.

표 1은 $R_{constraint}$ 이 0.1~0.4까지 주어졌을 때, 자원 사용 효율을 최대화 하는 최적의 파라미터 집합들을 (W_{rar}^*, T_{add}^*) 을 나타낸다. $R_{constraint}$ 이 0.1~0.2로 주어지면 Case A는 M 에 의해 PDCCH와 PDSCH의 리소스가 부족하고, Case B는 L_{data} 에 의해 PUSCH의 리소

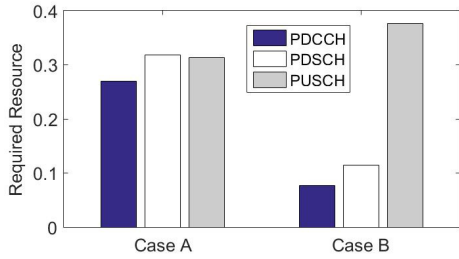


그림 2. 유형 A와 유형 B의 자원 사용률
Fig. 2. Resource usage rate of case A and case B

스가 부족하다. 따라서 Case A의 경우는 W_{rar} 가 큰 값에서, Case B의 경우는 T_{add} 가 큰 값에서 최적의 파라미터가 구해진다. $R_{constraint}$ 이 0.4에서는 모든 가용 리소스가 충분하기 때문에 기본 설정 값에서 최적의 시스템 파라미터가 구해진다.

그림 3은 표 1에서 나타낸 최적의 시스템 파라미터의 값을 LTE 시스템에 적용하였고, 할당된 리소스 $R_{constraint}$ 이 0.1~0.4일 때 단말의 전송 성공 확률을 보여준다. 시스템 파라미터 최적화를 수행했을 때, Case A는 $R_{constraint}=0.1$ 의 경우를 제외하고, 나머지는 성공 확률이 1에 도달함을 보여주고 있다. Case A에서 $R_{constraint}=0.1$ 의 경우는 단말 수에 비해서 리소스가 너무 작게 할당이 되어 단말들의 0.4정도만 성공함을 보여 준다. 이런 경우는 할당된 리소스를 0.2로 늘린 후

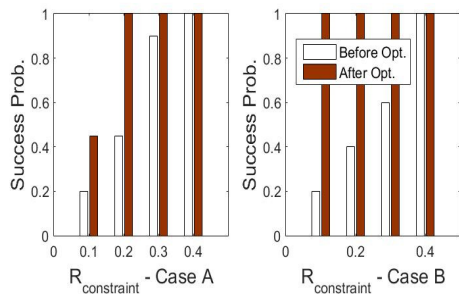


그림 3. 유형 A와 유형 B의 최적화 전과 후의 전송 성공 확률
Fig. 3. Transmission success probabilities of case A and case B before and after optimization

표 1. 최적의 시스템 파라미터 집합 (W_{rar}^*, T_{add}^*)
Table 1. The optimal system parameters set (W_{rar}^*, T_{add}^*)

Types of Service	$R_{constraint}$			
	0.1	0.2	0.3	0.4
Case A	(9,1)	(7,2)	(7,0)	(5,0)
Case B	(8,2)	(6,1)	(5,1)	(5,0)

시스템 파라미터 최적화를 수행하면 모든 단말이 전송 성공하게 된다. Case B의 경우 PUSCH의 리소스 부족으로 인해 성공 확률이 떨어지기 때문에 PUSCH 가용 리소스 증가시킨다. 그리하여, 0.2이던 전송 성공 확률이 1로 급격하게 증가를 한다.

그림 4는 성공한 노드들만 고려하여 할당된 리소스 $R_{constraint}$ 이 0.1~0.4일 때, 이 노드들의 평균 지연을 보여준다. 그림 3의 결과에서 최적화 수행을 하면 성공 노드의 수가 더 증가함을 알 수 있다. 그래서 성공한 머신 노드들이 증가하기 때문에 평균 지연 시간이 최적화 전에 비해서 약간씩 늘어남을 알 수 있다. 또한, W_{rar} 와 T_{add} 의 영향이 지연에 반영이 되므로 $R_{constraint}$ 이 작을 때는 표 1에서와 같이 W_{rar} 와 T_{add} 의 값이 커져서 지연이 늘어나게 된다. 즉, 최적화 수행하면 $R_{constraint}$ 이 증가하면 지연이 감소하게 된다. 많은 리소스를 할당하면 성공 확률과 지연 시간을 동시에 개선됨을 보여준다.

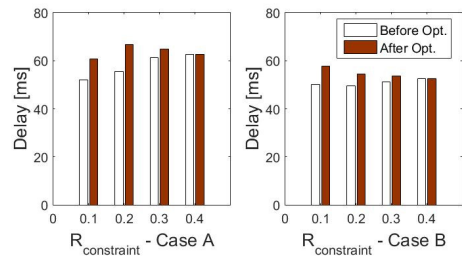


그림 4. 유형 A와 유형 B의 최적화 전과 후의 평균 지연
Fig. 4. Average delay of case A and case B before and after optimization

IV. 결 론

본 논문에서는 두 가지 경우의 머신 통신 서비스의 살펴보았다. 하나는 많은 수의 노드들이 짧은 패킷을 동시에 전송하는 스마트 미터링 서비스이고, 또 다른 하나는 동시 접속하는 노드의 수는 크지 않지만 긴 패킷을 전송하는 원격 감시 서비스이다. 두 서비스를 LTE 시스템에서 수용했을 때의 접속 노드의 수 M 와 상향 전송 패킷의 길이 L_{data} 에 따라 PDCCH, PDSCH, PUSCH 리소스 부하에 영향이 있음을 살펴 보았다. 시스템 파라미터 W_{rar} 을 통해서 PDCCH, PDSCH, PUSCH 가용 리소스를 증가 시켰으며, 긴 패킷 전송을 위한 제한한 파라미터 T_{add} 을 통해서 PUSCH 가용 리소스를 증가 시켰다. 이 두 개의 시스템 파라미터 최적

화를 수행하여, 단말의 전송 성공 확률을 증가됨을 확인하였다.

References

- [1] E. Chu and B. C. Jung, "Analysis of radio resource utilization of a massive M2M communication in LTE systems," *J. KICS*, vol. 42, no. 03, pp. 562-565, Mar. 2017.
- [2] J. Chen, Y. Lin, and R. Cheng, "A delayed random access speed-up scheme for group paging in machine-type communications," in *Proc. IEEE ICC*, pp. 623-627, 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, Aug. 2016.