DBpia

논문 17-42-03-02 The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences '17-03 Vol.42 No.03
https://doi.org/10.7840/kics.2017.42.3.554

사물인터넷 응용을 위한 다중 커버리지 클래스를 지원하는 슬롯화된 알로하 랜덤 접속

김 수 진•, 채 승 엽*, 조 상 진*, 임 민 중°

Slotted ALOHA Random Access with Multiple Coverage Classes for IoT Applications

Sujin Kim•, Seungyeob Chae*, Sangjin Cho*, Minjoong Rim°

요 약

IoT(Internet of Things) 응용 디바이스는 실내, 지하 등의 신호가 도달하기 어려운 환경에 있는 경우가 많을 뿐만 아니라 송신 출력도 낮으므로 기지국이 낮은 수신 감도에서도 수신이 가능하도록 설계되어야 한다. 이를 위해 채널 상태가 좋지 않은 디바이스는 낮은 부호화율이나 반복전송 등을 이용하여 낮은 데이터 전송률로 전송할 수 있다. 채널 상태에 따라 커버리지 클래스를 나누고 채널 상태에 맞는 전송 속도를 사용할 때 커버리지 클래스마다 패킷의 길이가 다를 수 있으며 슬롯 알로하 랜덤 접속의 성능이 떨어질 수 있다. 특히 서로 다른 커버리지 클래스의 디바이스들이 공유된 자원을 사용할 때는 채널 상태가 나쁜 디바이스의 성능이 떨어질 수 있으며, 반대로 커버리지 클래스마다 분리된 자원을 사용할 때는 한 자원 영역에 랜덤 액세스를 하는 디바이스가 많아지는 혼잡이 발생할 수 있다는 문제가 있다. 본 논문에서는 이를 보완할 수 있는 방법들을 제안한다. 이 연구는 MTC 디바이스를 중심으로 연구하였으며, 추후 발전 가능성이 높은 부분이라 생각된다.

Key Words : IoT, Slotted Aloha, MTC, Coverage Class, Random Access

ABSTRACT

IoT (Internet of Things) devices are often located in environments where indoor or underground, signals are difficult to reach. In addition, the transmission power is low, the base station should be designed to be able to receive signals even at low reception sensitivity. For this reason, a device having a poor channel condition can be transmitted at a low data rate using a low coding rate or repetition. When the coverage class is divided according to the channel condition and the data rate, the packet length may vary from one coverage class to another, and the performance of the slotted aloha random access may be degraded. We will focus on two methods of using shared-resource and seperate resources among multiple slotted aloha methods. In particular, when devices with different coverage classes use shared resources, performance of a device with a bad channel condition may deteriorate. Conversely, when using separate resources for each coverage class, there is a problem that congestion may occur which increases the number of devices that perform random access to one resource area. In this paper, we propose some methods to overcome this problem. This study is mainly focused on MTC devices, and is considered to be a high possibility of future development.

※ 본 연구는 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2016R1A2B1008953)
• First Author : Dongguk University Information and Communication Engineering, suavejin@naver.com, 정회원
° Corresponding Author : Dongguk University Information and Communication Engineering, minjoong@dongguk.edu, 종신회원
* Dongguk University Information and Communication Engineering, ment158@paran.com, sangjin3901@gmail.com, 학생회원
논문번호 : KICS2016-11-362, Received November 25, 2016; Revised January 15, 2017; Accepted January 31, 2017

www.dbpia.co.kr

Ⅰ. 서 론

IoT(Internet of Things)는 사람 및 사물 등 생활 속 모든 사물을 유무선 네트워크로 연결하여 정보를 생성하고 공유하며, 이를 통해 다양한 서비스를 제공하는 것을 말한다[1]. IoT 시장은 폭발적인 증가세를 보이며, 전 세계적으로 300억개 이상의 사물이 네트워크에 연결되는 시대가 될 것으로 예상된다. 종래의 이동통신과 다른 5G 이동통신 시스템의 가장 큰 특징 중 하나는 이동통신 인프라를 통해 이러한 초연결 네트워크 환경을 제공하는 것이며, 네트워크에 연결된 다양한 디바이스를 위해 저지연, 고신뢰 통신을 포함한다는 것이다. ITU-R의 5G 요구사항에 의하면 massive IoT는 1㎢당 100만개 이상의 사물 디바이스를 수용할 수 있음을 의미하는데, 이를 위한 기술적인 요구사항으로는 초저가 디바이스, 초저전력, 향상된 커버리지 등이 포함된다[2].

MTC(Machine Type Communication) 디바이스는 이동성이 거의 없고 시간 지연에 민감하지 않은 작은 양의 데이터를 전송하며, 저비용 기술을 사용할 수 있고 디바이스의 배터리 수명을 10년 이상 유지하기 위한 저전력 기술도 지원해야 한다. MTC 디바이스는 실내, 지하 등의 신호가 도달하기 어려운 환경에 있는 경우가 많을 뿐만 아니라 송신 출력도 낮으므로 기지국이 낮은 수신 감도에서도 수신이 가능하도록 설계되어야 한다[3,4]. 도달 거리 확장을 위하여 디바이스는 낮은 채널부호화율을 사용하거나 데이터를 반복하여 전송함으로써 전송 속도를 낮출 수 있다. 이 때 모든 디바이스가 동일한 전송 속도, 즉 가장 낮은 전송 속도로 전송을 한다면 기지국이 지원하는 디바이스의 수가 제한될 수 있으므로 디바이스들은 채널 상태에 따라 적절한 전송 속도를 결정하여 사용하는 것이 바람직할 수 있다[5-7]. 디바이스들을 채널 상태에 따라 몇 개의 커버리지 클래스로 나누고 커버리지 클래스에 따라 전송속도를 달리 한다고 할 때 디바이스들이 같은 양의 데이터를 전송한다고 하더라도 한 패킷의 길이는 채널 환경에 따라 크게 차이가 날 수 있다. 패킷의 길이가 모두 같은 경우에는 슬롯 경계에 맞추어 패킷을 전송하는 슬롯 알로하(Slotted Aloha) 방식을 사용할 수 있지만 패킷의 길이가 디바이스마다 차이가 클 경우에는 슬롯 알로하 방식을 적용하는데 어려움이 있다[8]. 슬롯 알로하에서는 시간을 슬롯으로 분할하여 전송을 슬롯의 경계에서 시작하도록 하는데, 패킷의 길이가 다르게 되면 슬롯의 크기를 어떤 패킷의 길이에 맞춰 전송할 것인지의 문제가 발생한다. 만약 긴 패킷의 길이와 슬롯 크기를 맞춘다면, 자원의 낭비로 인해 성능이 만족스럽지 않을 수 있으며 가장 작은 패킷의 길이에 슬롯 크기를 맞추고 서로 다른 커버리지 클래스들이 공유된 자원을 사용한다면 채널 상태가 좋지 않은, 즉 패킷 길이가 긴 디바이스들은 짧은 패킷의 디바이스들과 충돌 확률이 크므로 성능이 떨어질 수 있다. 반대로 커버리지 클래스에 따라 분리된 자원을 사용한다고 할 때, 각 커버리지 클래스에서 랜덤 액세스를 시도하는 디바이스의 비율을 정확히 알 수 있다면 그에 알맞은 자원 분배를 함으로써 좋은 성능을 얻을 수 있을 것이다. 하지만 랜덤 액세스를 시도하는 디바이스 비율은 시간에 따라 달라질 수 있기 때문에 한 자원 영역으로 디바이스들이 몰리는 경우가 발생할 수 있으며 특정 자원 영역에 혼잡이 발생하여 성능이 떨어지는 문제가 발생할 수 있다[9-12].

확산 코드나 채널 부호 등을 적절히 설계할 경우 동일한 자원에서 여러 디바이스의 신호를 중첩되게 전송하는 비직교 다중 접속(Non-Orthogonal Multiple Access)을 할 수 있으며 기지국에서 간섭 제거 기술을 사용하여 사용자 간의 간섭을 제거하고 수신함으로써 직교 다중 접속(Orthogonal Multiple Access)보다 더 많은 수의 디바이스를 지원할 수 있다[13-17]. 하지만 비직교 다중 접속은 수신 복잡도가 매우 높으므로 본 논문에서는 슬롯 알로하 형태의 직교 다중 접속만을 고려한다. 비직교 다중 접속의 경우에도 여러 사용자가 자원을 공유할 때 채널이 나쁜 사용자의 성능이 떨어질 수 있고 채널 상태에 따라 분리된 자원을 사용할 경우 시간에 따라 특정 자원에 디바이스가 많아지는 경우가 발생할 수 있으며, 따라서 본 논문에서 제안하는 방법과 유사한 방법으로 보완할 수 있다[18-20].

본 논문의 구성은 다음과 같다. Ⅱ장에서는 슬롯 알로하 랜덤 접속에 대한 시스템 모델을 간단히 설명하고, 패킷의 길이가 다를 때 슬롯 알로하를 적용하는 방식에 대해 공유된 자원을 사용할 때와 분리된 자원을 사용할 때의 문제점을 설명한다. 문제점을 극복하기 위한 방법을 Ⅲ장에서 제안하고, 모의 실험을 Ⅳ장에서 수행하며 Ⅴ장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. 슬롯 알로하 랜덤 접속

2.1 커버리지 클래스

본 논문에서 MTC 디바이스들은 일정한 양의 데이터 패킷을 랜덤 액세스 한다고 가정한다. 디바이스들을 채널 상태에 따라 몇 개의 클래스로 나누고 클래스

www.dbpia.co.kr

에 따라 전송속도 및 패킷의 길이를 결정할 수 있다. 디바이스들은 매우 다양한 채널 환경에 있을 수 있기 때문에 채널 상태에 따라 여러 개의 커버리지 클래스로 나눌 수 있다. 채널 상태가 좋은 디바이스의 경우 반복 전송을 하지 않아도 기지국에서 수신하는 데 큰 어려움이 없기 때문에 짧은 패킷 길이를 사용한다. 하지만 채널 상태가 좋지 않을 때는 낮은 채널 부호화율이나 반복 전송을 사용하여 데이터 전송 속도를 낮추는 것이 필요하다. 채널 상태가 좋지 않아 긴 패킷 길이를 사용한다고 표현한 부분은 데이터의 양이 많다는 것이 아니라 패킷 전송 시간이 길다는 의미이다. 따라서 채널 상태에 따라 커버리지 클래스를 나누어 그에 맞는 패킷 길이를 사용하여 전송하도록 하는 것이 필요하다.

2.2 공유된 자원의 사용

복수 개의 커버리지 클래스가 있는 환경에서 슬롯 알로하를 적용하기 위해 다음과 같은 방법을 고려한다. 방법 1은 그림 1(a)와 같이 슬롯의 크기를 가장 큰 패킷의 길이에 맞추어 정한 후 슬롯 경계에 맞추어 전송한다. 이 방법은 자원의 낭비가 발생할 수 있다. 방법 2는 그림 1(b)와 같이 슬롯의 크기를 가장 작은 패킷의 길이에 맞추어 정하는 것이다. 방법 3은 그림 1(c)에서 볼 수 있는 것과 같이 방법 2의 변형으로 같은 그룹 내에서는 슬롯 알로하가 될 수 있도록 그룹에 따라 특정한 슬롯에서만 전송을 시작할 수 있도록 한다. 방법 2 및 방법 3에서는 패킷 길이가 긴 디바이스는 패킷 길이가 짧은 디바이스와의 충돌 확률이 커짐으로 인해 성능이 떨어질 수 있다. 채널 상태가 좋지 않은 디바이스는 최대 송신 전력으로 긴 시간 동안 전송하므로 배터리로 동작할 경우 생존 시간에 문제가 발생할 수 있으며 따라서 채널 상태가 좋지 않은 디바이스의 성능 저하를 보상할 수 있는 성능 개선 방법이 필요하다.

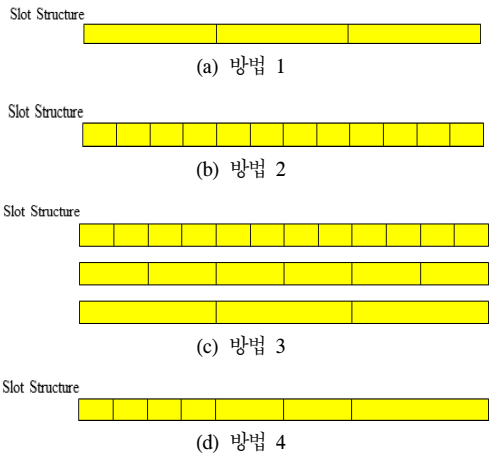

그림 1. 복수 개의 커버리지 클래스가 있을 때의 슬롯 알로하
Fig. 1. Slotted Aloha when there are multiple coverage classes

2.3 분리된 자원의 사용

방법 4는 그림 1(d)와 같이 그룹에 따라 자원의 영역을 분리하는 것이다. 그룹에 속한 사용자의 수에 따라 적절하게 자원을 분배할 수 있다면 우수한 성능을 얻을 수 있을 것이다. 그러나 랜덤 접속을 하는 사용자는 시간에 따라 변하므로 한 순간에 특정 자원 영역에 많은 디바이스가 랜덤 접속을 할 수 있다. 한 자원 영역이 혼잡하면 충돌 확률이 높아져서 전체적인 성능이 떨어질 수 있다.

Ⅲ. 제안하는 슬롯 알로하 랜덤 접속

3.1 공유된 자원의 사용

방법 2와 3은 공통적으로 패킷 길이가 긴 디바이스는 작은 크기의 패킷과 충돌을 할 확률이 크므로 성능이 떨어지는 문제점이 발생한다. 이를 해결하기 위해 채널 상태가 나쁜 디바이스, 즉 패킷 길이가 긴 디바이스의 충돌 확률을 개선하는 방법을 제안한다. 그림 2(a)는 3개의 커버리지 클래스를 가질 때의 랜덤 액세스의 예를 보여준다. 디바이스 1과 3은 채널 상태가 좋아서 1개의 슬롯을 사용하는 커버리지 클래스 1에 속하고, 디바이스 2는 채널 상태가 좋지 않아서 2개의 슬롯을 사용하는 커버리지 클래스 2에서 속하며, 디바이스 3은 채널 상태가 더 나빠서 4개의 슬롯을 사용하

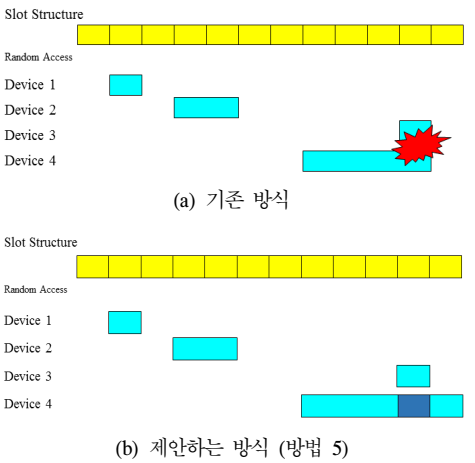

그림 2. 기존 방식과 제안하는 방식 비교
Fig. 2. Comparison of conventional and proposed methods

www.dbpia.co.kr

는 커버리지 클래스 3에 속한다고 하자. 그림에서 디바이스 3과 4는 충돌이 발생하였다. 긴 길이의 패킷은 여러 슬롯을 이용하여 전송하므로 짧은 길이의 패킷에 비해 충돌 확률이 크며, 평균적인 충돌 확률이 크지 않은 상황에서도 채널 상태가 나쁜 사용자의 충돌 확률은 클 수 있다. 이 때 채널 상태가 나쁜 사용자는 재전송으로 인한 딜레이가 증가할 수 있으며 또한 길이가 긴 패킷의 재전송이 증가하면 전체적인 성능도 나빠질 가능성이 있다.

채널 상태가 나쁜 디바이스의 충돌 확률을 줄이기 위하여 채널 상태가 나쁜 디바이스의 데이터 전송률을 떨어뜨리는 것을 고려하며 이를 본 논문에서는 방법 5라고 한다. 그림 2(b)는 커버리지 클래스 3의 패킷 길이를 4슬롯에서 5슬롯으로 증가시킨 것을 보여주고 있으며 5개의 슬롯 중 4개 이상의 슬롯에서 충돌이 없다면 복호가 가능하다고 가정한다. 4개의 슬롯을 가진 패킷을 전송할 때 5개의 슬롯으로 증대시키는 것은 채널 부호화를 이용할 수 있다. 복호가 가능하다고 가정한 것은, 예를 들어 길이가 4인 패킷의 심벌을 exclusive OR(XOR) 해서 패리티(parity) 패킷을 만들면 5개의 패킷 중 하나가 손실되더라도 나머지 4개의 패킷을 XOR 연산 하여 손실된 패킷을 복원 가능하다는 것을 이용한다. 그림 2를 보면 디바이스 3과 4의 충돌이 발생하였으며 디바이스 3은 수신이 가능하지 않지만 디바이스 4는 5개의 슬롯 중 4개의 슬롯에서는 충돌이 발생하지 않았으므로 수신이 가능할 수 있다. 충돌이 나지 않은 슬롯들을 이용해 수신하며, 충돌이 없는 슬롯의 수가 원래 전송하려던 슬롯 수 이상이라면 수신이 가능하다고 가정한다. 슬롯의 충돌 여부는 패킷 파일럿의 수신 품질을 확인해서 파악할 수 있다. 채널 상태가 나쁜 디바이스의 반복 횟수를 더 증가시키면 약간의 충돌을 감내할 수 있으므로 충돌 확률이 감소할 수 있다. 그러나 채널 상태가 좋은 디바이스, 즉 패킷 길이가 짧은 디바이스의 경우 충돌 확률이 증가할 수 있다.

3.2 분리된 자원의 사용

2.3에서 그룹에 따라 자원의 영역을 분리하여 슬롯 알로하 방식을 적용하는 방법에 대해 설명하였다. 이 방법은 랜덤 액세스 하는 자원의 비율을 정확히 맞춘 경우 성능이 우수하지만 그렇지 못한 경우 성능이 떨어질 수 있다. 각 디바이스는 채널 상태 측정을 통해 커버리지 클래스가 정해지고 그에 해당하는 자원 영역으로 패킷을 전송한다. 충돌 없이 랜덤 액세스가 이루어졌다고 가정하였을 때 로드(load)를 식 (1)과 같이 정의한다.

$$\frac{(\text{실제 사용된 슬롯의 수})}{(\text{각 자원 영역이 지원하는 슬롯의 수})} = \text{로드}(load) \quad (1)$$

자원 영역의 비율을 나누는 간단한 방법으로 각 자원 영역이 유사한 로드를 가지도록 할 수 있다. 동일한 로드를 가진다는 것이 동일한 충돌 확률을 가진다는 것을 의미하지는 않지만 자원 할당 방법을 단순화 시킬 수 있다. 각 커버리지 클래스에 독립적인 자원을 할당하는 방법은 클래스마다 몇 개의 디바이스가 랜덤 액세스를 할지 정확하게 예측할 수 있다면 우수한 성능을 얻을 수 있겠지만 디바이스의 수를 정확히 예측하는 것은 쉽지 않다. 또한 랜덤 액세스의 특성상 시간에 따라 특정 자원 영역에 많은 수의 디바이스가 랜덤 액세스를 시도할 수 있다. 특정 자원 영역에 혼잡이 발생하는 문제를 해결하기 위해서 혼잡이 발생하였을 경우 일부 디바이스를 다른 자원 영역으로 넘기는 방법을 제안하며 본 논문에서 방법 6이라 부른다. 예를 들어 3개의 커버리지 클래스의 패킷의 길이가 1, 2, 4 슬롯이고 디바이스 비율이 4/7, 2/7, 1/7을 가정하여 3개의 자원 영역에 동일한 양의 자원을 할당하였을 때, 어떤 순간에 실제 랜덤 접속하는 디바이스 비율이 1/3, 1/3, 1/3 이라고 하자. 이 때 로드는 1:2:4의 비율을 가지며 자원 영역 3, 즉 커버리지 클래스 3에 혼잡이 발생한다. 이 때 커버리지 클래스 3의 디바이스 중 1/3은 자원 영역 1로 1/12는 자원 영역 2로 전송하도록 하면 동일한 로드를 가지게 되고 성능 향상이 될 수 있을 것으로 예상된다. 한 순간의 랜덤 접속하는 디바이스의 비율은 기지국이 메시지로 전송할 수도 있고 각 디바이스들이 충돌 확률을 통해서 예측할 수도 있다.

Ⅳ. 모의 실험

4.1 슬롯 알로하 방식의 성능 비교

본 절에서는 Ⅱ에서 언급한 방법 1부터 방법 4까지의 성능 비교를 간단히 진행하는데, 디바이스의 개수를 10개씩 70까지 증가시키며 실험하였다. 방법 1은 모든 디바이스가 4개 단위의 슬롯 경계에 맞추어 전송하며 방법 2는 1개 단위의 슬롯 경계에 맞추어 전송한다. 방법 3에서는 그룹 1은 1개 슬롯, 그룹 2는 2개 슬롯, 그룹 3은 4개 슬롯 단위의 슬롯 경계에 맞추어 전송한다. 방법 4는 자원 비율을 적절히 결정한 경우와 그렇지 않은 경우의 두 가지 경우를 고려하였으며

www.dbpia.co.kr

방법 4(a)는 자원 비율을 1/3, 1/3, 1/3로, 방법 4(b)는 자원 비율을1/6, 1/6, 4/6로 잡았다.

그림 3은 4가지 방법에 대한 평균 충돌 확률을 보여주고 있다. 방법 1의 경우 자원의 낭비로 인해 성능이 만족스럽지 않으며 방법 2는 이에 비해 성능 개선이 있다. 방법 3은 동일한 그룹 내의 충돌을 줄임으로써 방법 2보다 약간 더 우수한 성능을 가진다. 방법 4는 랜덤 액세스하는 자원의 비율을 정확히 맞춘 4(a)의 경우 성능이 우수하지만 그렇지 못한 4(b)의 경우 성능이 떨어질 수 있다.

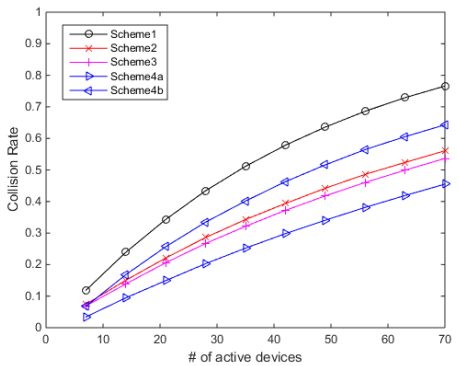

그림 3. 평균 충돌 확률
Fig. 3. Average collision rate

4.2 공유된 자원의 사용

본 절의 모의 실험은 공유된 자원을 사용할 때 채널 상태가 좋지 않은 디바이스의 성능을 보완하기 위해 제안된 방법에 대한 것이다. 긴 길이의 패킷은 짧은 길이의 패킷에 비해 충돌 확률이 클 수 있다는 문제점이 있으며 이를 해결하기 위해 데이터 전송률을 떨어뜨리고 슬롯의 길이를 늘리는 방법을 제안하였다. 본 실험에서는 동시에 랜덤 액세스를 시도하는 디바이스의 수에 따라 충돌 확률을 측정하였다. 랜덤 액세스를 위한 슬롯의 수는 192개이고 디바이스는 채널 상태에 따라 3개의 커버리지 클래스로 나뉘며 각 클래스의 패킷 길이는 1, 2, 4 슬롯이고 각 클래스의 디바이스의 비율은 4/7, 2/7, 1/7이다. 제안하는 방법 5(a)와 5(b)는 패킷 길이가 4인 디바이스에서 데이터 전송률을 떨어뜨려 패킷 길이를 5와 6으로 전송하였으며 이 중 4개 이상에서 충돌이 발생하지 않으면 복호가 가능한 것으로 가정하였다. 그림 4는 방법 2와 제안하는 방법 5(a), 5(b)에 대한 충돌 확률을 보여주고 있다. 제안하는 방법은 평균 충돌 확률 측면은 크게 차이가 없다. 이는 원래 긴 패킷의 길이가 더 길어져서 짧은 패킷의 충돌이 오히려 증가하기 때문인데

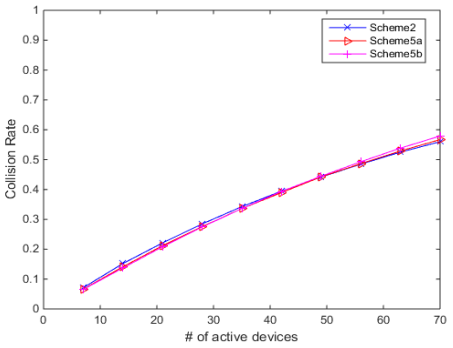

그림 4. 공유된 자원을 사용할 때의 평균 충돌 확률
Fig. 4. Average collision rate when using shared resources

짧은 패킷의 충돌은 재전송을 하여도 슬롯을 적게 사용하기 때문에 긴 패킷의 재전송보다 성능상 이득이 있을 것이라 추정할 수 있다.

그림 5는 채널 환경이 좋지 않아 패킷 길이가 긴 클래스의 전력 소모를 비교한 그래프 이다. 긴 패킷의 충돌 확률이 감소하여 MTC 장치가 많아질수록 기존 방식 대비 전력 소모량이 개선된 결과를 보여준다. 전력 소모량은 식 (2)과 같이 계산하였다.

$$\frac{1}{1-FER}\times PacketLength \tag{2}$$

그림 6은 커버리지 클래스 별 충돌 확률을 보여준다. 패킷이 길수록 다른 패킷과 충돌이 증가하여 채널 환경이 나쁜 사용자들의 성능이 하락한 기존 방법과는 달리 긴 패킷의 충돌 확률을 개선하기 위해 패킷길이를 연장하고 반복전송 함으로써 채널환경이 나쁜 사용자들의 충돌 확률이 개선되었다. 패킷 길이를 더욱 늘린 방법 5(b)에서 환경이 좋지 않은 디바이스의 성능은 더욱 개선이 되지만 짧은 패킷의 충돌 확률은

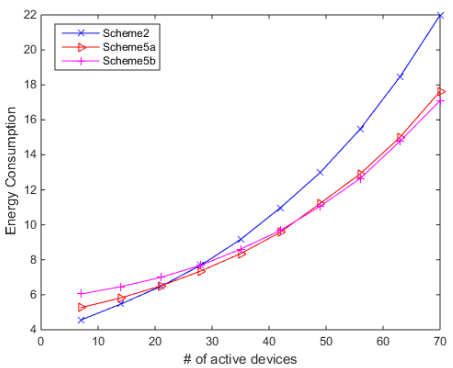

그림 5. 채널 환경이 좋지 않은 클래스 전력 소모
Fig. 5. Power consumption of bad channel condition class

www.dbpia.co.kr

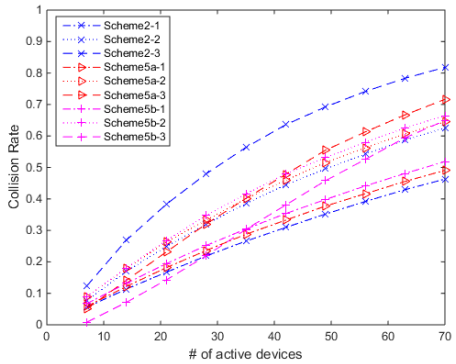

그림 6. 커버리지 클래스에 따른 충돌 확률
Fig. 6. Collision rate according to coverage class

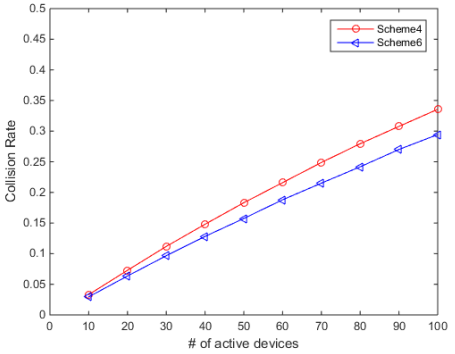

그림 7. 클래스 2와 클래스 3의 로드가 균등할 경우
Fig. 7. If Class2 and Class3 have equal loads

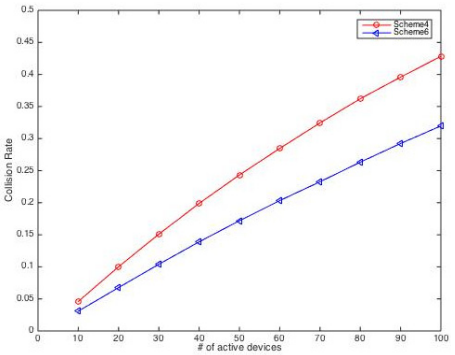

그림 8. 세 클래스의 로드가 모두 다를 경우
Fig. 8. If 3 classes have different loads

긴 패킷의 길이가 더욱 길어졌기 때문에 갈수록 증가하게 된다.

4.3 분리된 자원의 사용

다음 모의 실험에서는 자원 영역에 랜덤 액세스를 시도하는 디바이스에 따라 특정 자원 영역에 혼잡이 발생할 수 있다는 문제점을 보완하기 위해 혼잡이 발생한 자원 영역의 디바이스를 다른 자원 영역으로 넘겨주는 방법을 고려하였다. 실험에서는 Ⅱ.3에서 언급한 방법 4와 제안하는 방법의 평균 충돌 확률을 비교하였다. 랜덤 액세스를 위한 슬롯은 768개 이고 3개의 커버리지 클래스를 위하여 자원을 3등분으로 나누었다. 각 디바이스들은 채널의 상태에 따라 3개의 커버리지 클래스 중 하나에 속하며 각 클래스의 패킷의 길이는 채널 상태에 따라 1, 2, 4 슬롯이고 그룹의 디바이스 비율은 1/10, 6/10, 3/10이다. 이 때의 로드는 1*1/10 : 2*6/10 : 4*3/10 = 1 : 6 : 6 으로 균등하지 못하다. 실험에서는 클래스 2와 클래스 3에서 각각 30%의 디바이스를 클래스 1로 넘겨줄 때 성능 개선이 있는지 확인하였다. 혼잡이 있는 커버리지 클래스의 디바이스들 중 일부를 다른 영역으로 넘기게 되면 로드는 1*1/10 + 2*6/10*3/10 + 4*3/10*3/10 : 2*6/10*7/10 : 4*3/10*7/10 = 41 : 42: 42 로 거의 균등한 로드를 가지게 된다. 그림 7을 통해 확인할 수 있다.

그림 8은 위와 같은 환경에서 디바이스의 비율이 0, 1/2, 1/2일 때의 평균 충돌 확률이다. 이 때의 로드는 각각 1*0 :2*1/2 : 4*1/2 = 0 : 1 : 2 이다. 클래스 3에서 클래스 1에 50%의 디바이스를 넘겨주면 로드는 4*1/2*1/2 : 2*1/2 : 4*1/2*1/2 = 1 : 1 : 1 이 되어 충돌 확률이 개선됨을 알 수 있다.

Ⅴ. 결 론

자원 영역을 공유하여 사용할 때 긴 길이의 패킷은 여러 슬롯을 이용하여 전송하므로 짧은 길이의 패킷에 비해 충돌 확률이 크며 평균적인 충돌 확률이 크지 않은 상황에서도 채널 상태가 나쁜 사용자의 충돌 확률은 클 수 있다. 첫 번째 제안 방법의 실험 결과 채널 환경이 좋지 않은 클래스의 패킷이 더 길어질수록 짧은 패킷의 디바이스는 충돌이 증가하기 때문에 성능이 약간 감소함을 볼 수 있다. 하지만 채널 환경이 좋지 않은 클래스는 패킷의 반복 전송으로 충돌이 난 부분을 제외하고도 복원이 가능하여 반복 전송을 할수록 성능이 개선되었다. 채널 환경이 좋지 않은 장치의 충돌이 적어지면 긴 패킷의 재전송 횟수가 줄어들어 전송 딜레이가 줄고 MTC 장치의 커버리지가 확장되며 많은 MTC 장치가 존재하는 환경에서는 전력 소모량이 감소되는 결과를 보여 대규모 MTC 시스템에서는 성능과 커버리지가 개선 될 것으로 기대된다. 자원 영역이 나누어져 있는 경우에는 서로 다른 패킷 길이로 랜덤 액세스를 할 때 디바이스의 수를 정확히 예측

www.dbpia.co.kr

하여 자원 영역을 할당하는 것이 어렵기 때문에 랜덤 액세스를 시도하는 디바이스가 하나의 자원 영역에 몰려 성능이 떨어질 수 있다. 두 번째 제안 방법은 일부 디바이스를 다른 자원 영역으로 넘겨주는 방식을 통해 충돌 확률 감소와 성능 향상을 볼 수 있었다. 본 논문에서는 충돌 후 재전송을 고려하지 않았고, 어떻게 혼잡 정도를 예측하고 어떤 디바이스를 다른 자원 영역으로 보낼지에 대한 방법을 제시하지 못하였으므로 이에 대한 추가 연구가 더 필요할 것이다. 모의 실험 결과와 그에 대한 성능 비교를 향후 해석적 방법을 통해 분석할 계획이 있다.

References

[1] O. Park, H. Hwang, C. Lee, and J. Shin, "Trends of 5G Massive IoT," *Electron. and Telecommun. Trends.,* vol. 31, no. 1, pp. 68-77, Feb. 2016.

[2] S. Seo, E. Shin, and K. Jo, "Trends of NB-IoT," *Electron. and Telecommun. Trends.*, vol. 31, no. 5, pp. 11-20, Oct. 2016.

[3] K. Zheng, S. Ou, J. Alonso-Zarate, M. Dohler, F. Liu, and H. Zhu, "Challenges of massive access in highly dense LTE-Advanced networks with machine-to-machine communications," *IEEE Wirel. Commun.*, vol. 21, no. 3, pp. 12-18, Jun. 2014.

[4] M. Hasan, E. Hossain, and D. Niyato, "Random access for machine-to-machine communication in LTE-Advanced networks: Issues and approaches," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 51, no. 6, pp. 86-93, Jun. 2013.

[5] M. T. Islam, A. M. Haha, and S. Akl, "A survey of access management techniques in machine type communications," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 52, no. 4, pp. 74-81, Mar. 2014.

[6] A. Laya, L. Alonso, and J. Alonso-Zarate, "Is the random access channel of LTE and LTE-A suitable for M2M communications? A survey of alternatives," *IEEE Commun. Surveys & Tuts.*, vol. 16, no. 1, pp. 4-16, First Quarter 2014.

[7] R. Ratasuk, A. Prasad, Z. Li, A. Ghosh, and M. Uusitalo, "Recent advancements in M2M communications in 4G networks and evolution towards 5G," *ICIN*, pp. 52-57, 2015.

[8] S. Chae, S. Cho, S. Kim, M. Rim, and C. Kang, "Slotted aloha for massive connectivity in IoT," in *Proc. KICS ICC 2015*, pp. 535-536, Seoul, Korea, Nov. 2015.

[9] S. Kim, S. Kim, H. Han, M. Rim, and C. Kang, "Handling congestion in cellular IoT systems for massive conncectivity," in *Proc. KICS ICC 2016*, pp. 85-86, Jeongseon, Korea, Jan. 2016.

[10] S. Cho, S. Chae, S. Kim, M. Rim, and C. Kang, "Collision reduction of cell-edge devices in cellular IoT systems," in *Proc. KICS ICC 2016*, pp. 261-262, Jeongseon, Korea, Jan. 2016.

[11] S. Chae, S. Kim, S. Cho, M. Rim, and C. Kang, "Orthogonal data repetition patterns for massive connectivity," *ICTC*, Oct. 2016.

[12] S. Chae, S. Cho, S. Kim, and M. Rim, "Coded random access with multiple coverage classes for massive machine type communication," *ICTC*, Oct. 2016.

[13] L. Dai, B. Wang, Y. Yuan, S. Han, C. I, and Z. Wang, "Non-orthogonal multiple access for 5G: Solutions, challenges, opportunities, and future research trends," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 53, no. 9, pp. 74-81, Sept. 2015.

[14] N. Zhang, J. Wang, G. Kang, and Y. Liu, "Uplink nonorthogonal multiple access in 5G systems," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 20, no. 3, pp. 458-461, Mar. 2016.

[15] R1-163510: Qualcomm Incorporated, *Candidate NR Multiple Access Schemes*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #84bis, Apr. 2016.

[16] R1-162385: Intel Corporation, *Multiple Access Schemes for New Radio Interface*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #84bis, Apr. 2016.

[17] R1-162517: LG Electronics, *Considerations on DL/UL Multiple Access for NR*, 3GPP TSG RAN WG1 Meeting #84bis, Apr. 2016.

[18] S. Chae, S. Cho, S. Kim, M. Rim, and C. Kang, "Orthogonal channelization in non-orthogonal multiple access for massive connectivity," in *Proc. KICS ICC 2016*, pp.

www.dbpia.co.kr

146-147, Seoul, Korea, Nov. 2016.
[19] S. Cho, S. Chae, S. Kim, S. Kim, and M. Rim, “Inter-cell interference control in uplink non-orthogonal multiple access,” in *Proc. KICS ICC 2016*, pp. 138-139, Seoul, Korea, Nov. 2016.
[20] S. Kim, S. Kim, S. Cho, S. Chae, and M. Rim, “On the channel estimation in uplink non-orthogonal multiple access,” in *Proc. KICS ICC 2016*, pp. 394-395, Seoul, Korea, Nov. 2016.

조 상 진 (Sangjin Cho)

2015년 : 동국대학교 정보통신공학과 학사
2016년~현재 : 동국대학교 정보통신공학과 석사과정
<관심분야>이동통신, 무선통신

김 수 진 (Sujin Kim)

2016년 : 동국대학교 정보통신공학과 학사
2016년 3월~현재 : 동국대학교 정보통신공학과 석사과정
<관심분야>이동통신, 무선통신

임 민 중 (Minjoong Rim)

1987년 : 서울대학교 전자공학과 학사
1993년 : University of Wisconsin-Madison, ECE, 공학 박사
1993년~2000년 : 삼성전자 선임연구원
2000년~현재 : 동국대학교 교수
<관심분야>이동통신, 무선통신

채 승 엽 (Seungyeob Chae)

2011년 : 동국대학교 정보통신공학과 학사
2013년 : 동국대학교 정보통신공학과 공학석사
2013년 3월~현재 : 동국대학교 정보통신공학과 박사과정
<관심분야>이동통신, 무선통신

www.dbpia.co.kr