

# LTE-Advanced 시스템에서 M2M 통신의 최대 지연시간을 고려한 호 수락 방법

전 경 구\*

## Maximum Delay-Aware Admission Control for Machine-to-Machine Communications in LTE-Advanced Systems

Kyungkoo Jun\*

요 약

에너지 소비의 효율화를 위한 그린 기술로서 스마트 그리드와 지능형 교통 시스템 등이 주목받고 있다. 이러한 기술의 구현에는 다수의 센서, 액추에이터 (actuator), 그리고 컨트롤러들이 필요하다. 이러한 구성요소들 간의 machine-to-machine (M2M)통신의 중요성은 높아지고 있다. M2M 통신의 특징은 다수의 machine-type-communication (MTC) 디바이스들이 참여하고, 통신 트래픽 패턴과 QoS 요구조건이 다양하다는 것이다. 이러한 M2M 통신을 효율적으로 지원하기 위한 호 수락 방법들에서는 동일한 시간관련 QoS 조건을 갖는 MTC 디바이스들을 클러스터 단위로 그룹핑하고, QoS 조건 만족여부에 따라 호 수락을 결정하는 방법을 제안하였다. 하지만 이 방법은 데이터 전송주기와 최대 전송지연 시간이 같을 경우에만 적용 가능하다. 본 논문에서는 이러한 제한 없이 사용할 수 있는 방법을 제안한다. 또한 전송 주기와 최대 전송지연 시간이 특별한 관계에 있을 때 최적화할 수 있는 호 수락 제어방법을 제안한다. 제안방법의 QoS 만족 적합성에 대한 증명을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해 실제 동작 가능하고, 기존 방법들보다 호 수락 확률에서 우수함을 보였다.

**Key Words** : M2M communications, call admission control, MTC device, delay constraint, LTE-Advanced

ABSTRACT

Smart grid and intelligent transportation system draw significant interest since they are considered as one of the green technologies. These systems require a large number of sensors, actuators, and controllers. Also, machine-to-machine (M2M) communications is important because of the automatic control. The LTE-Advanced networks is preparing a set of functions that facilitate the M2M communications, and particularly the development of an efficient call admission control mechanism is critical. A method that groups MTC devices according to QoS constraints and determines the admission depending on the QoS satisfaction is limitedly applied only if the data transmission period and the maximum delay are identical. This paper proposed a call admission control that is free from such limitation and also optimizes the admission process under the certain condition of the transmission period and maximum delay. The theorems regarding the proposed method are presented with the proofs. The simulations confirms its validity and shows it is better in call admission probability than existing works.

I. 서 론

에너지의 효율적 소비를 위한 그린(green) 기술

※ 본 연구는 2012년도 인천대학교 자체연구비 지원으로 수행되었습니다.

\* 주저자 : 인천대학교 임베디드시스템공학과, kjun@incheon.ac.kr, 정회원

논문번호 : KICS2012-08-396, 접수일자 : 2012년 8월 31일, 최종논문접수일자 : 2012년 11월 26일

들 중 스마트 그리드 (smart grid)<sup>[1]</sup>와 지능적 교통 시스템 (intelligent transportation system, ITS)<sup>[2]</sup>이 관심을 받고 있다. 이러한 기술들의 구현에는 다수의 센서로부터 정보를 모아 결정을 내리고, 결정에 따라 다수의 액츄에이터 (actuator)를 제어하는 과정이 포함된다. 특히, 사용되는 센서와 액츄에이터의 개수가 많기 때문에 사람의 손으로 관리하는 것은 불가능하다. 따라서 자동화된 제어방법이 이러한 기술의 성공적 구현에 필수적이다. 이를 위해서는 구성요소 간의 machine-to-machine (M2M) 통신을 효율적으로 지원하는 것이 중요하다.

응용 시스템에 따라 다르지만, M2M 통신은 다음과 같은 공통적인 특징들을 가지고 있다. 첫 번째로 통신에 참여하는 센서와 액츄에이터 같은 machine type communications (MTC) 디바이스의 개수가 매우 많다. 두 번째로 대부분의 통신이 MTC 디바이스들과 이들을 제어하는 MTC 컨트롤러 간에 발생하는데 데이터 전송 주기 같은 트래픽 패턴이 매우 다양하다. 주기의 경우, 짧게는 10 msec.부터, 길게는 수분에 이르기도 한다. 세 번째로 응용 분야에 따라 매우 다양한 QoS 요구사항들을 가진다.

M2M 통신환경은 크게 두 가지로 멀티 홉 환경과 셀룰러 이동통신망의 경우로 나눌 수 있다. 멀티 홉 환경에서는 통신 신뢰성에 영향을 미치는 MTC 간 간섭문제가 중요한 이슈이다. 이와 관련하여 간섭 최소화 목적을 둔 다중 경로 라우팅 프로토콜에 관한 연구가 활발하다.<sup>[9]</sup> 셀룰러 이동통신 시스템 측면에서 중요한 이슈들은 다음과 같다. 우선 매우 많은 수의 MTC 디바이스들이 동시다발적으로 기지국에 호 수락을 요구했을 때 이를 효율적으로 관리할 수 있는 방법이 필요하다. 또한 다양한 QoS 요구사항을 만족시키기 위해서는 무선자원 관리가 한층 더 복잡해진다. 특히, 시간과 관련된 QoS 요구사항의 만족 여부는 중요하다. 예를 들어, 주변 환경이나 시스템 상태와 관련된 모니터링 데이터 전송에서는 최대허용 지연시간 준수여부가 시스템 전체의 안정성과도 밀접한 관계가 있다. 이와 관련하여 기존 2세대 이동통신망은 물론 3세대 망에서도 M2M을 효과적으로 지원하기 위한 자원관리 방법들을 제공하고 있지 못하다. 이는 망 자체가 가진 설계 능력상의 한계이기도 하며, M2M 트래픽의 고유 특성에 대해 아직까지 충분한 이해와 연구가 이뤄지지 않았기 때문이다.<sup>[8]</sup>

3GPP 진영의 LTE-Advanced<sup>[3]</sup> 네트워크에서는

M2M통신을 사용하는 응용 시스템들을 효율적으로 지원하기 위해 여러 가지 기능들을 제시하고 있다.<sup>[4,5]</sup> 본 논문과 연관된 세 가지 기능을 설명하면 다음과 같다. 첫 번째는 MTC 디바이스에게 소수의 physical resource block (PRB)을 할당할 수 있도록 한다. 이를 통해 작은 크기의 데이터 전송도 효율적으로 처리된다. 두 번째 기능은 MTC 디바이스들이 무선자원을 이용할 수 있는 시간에 제한을 둔다. MTC 디바이스들은 미리 정해진 granted time interval (GTI) 동안에만 데이터를 송수신 할 수 있다. 임의의 시간에 무선자원 사용을 허용한다면, 많은 수의 MTC 디바이스들을 관리하는 데 어려움이 많기 때문이다. 세 번째 기능은 그룹단위로 관리하는 것이다. 다양한 QoS 요구사항을 가진 많은 수의 MTC 디바이스들을 개별적으로 관리하는 것은 불가능하다. 따라서 QoS 요구사항을 기준으로 MTC 디바이스들을 그룹핑하여 자원 할당을 관리한다.

이러한 세 가지 기능에 기반을 둔 호 수락제어 방법<sup>[6,7]</sup>이 제안되었다. 주기적으로 데이터를 전송하는 MTC 디바이스들에 대해 최대 허용 jitter를 고려하여 호 수락 여부를 결정한다. 이 방법은 신규 호 요청에 대해, 이미 서비스를 받고 있는 MTC 디바이스들의 jitter 조건을 충족시키면서 신규 호의 jitter도 만족시킬 수 있는지 판단하는 방법을 제안하고 있다.

하지만 이 방법은 두 가지 보완해야 할 점들이 있다. 첫 번째는 MTC 디바이스의 데이터 전송 주기와 허용되는 최대 전송지연 시간이 동일하다는 가정을 사용하고 있는데, 실제로는 그렇지 않은 경우가 많다. 따라서 주기와 최대 전송지연 시간이 다른 경우에도 적용 가능하도록 개선해야 한다. 두 번째는 QoS 요구 조건으로 jitter를 고려하기 때문에 최대 지연시간을 고려하는 경우보다 지나치게 성능을 제한하여 불필요한 자원 낭비를 가져올 수 있다. 실제로 대부분 M2M 응용 시스템에서는 지연시간 만족만으로 충분하다.

본 논문에서는 LTE-Advanced 네트워크에서 지연시간 조건을 갖는 MTC 디바이스들의 호 수락제어 방법을 제안한다. 이 방법의 특징은 데이터 전송 주기와 최대 전송지연 시간이 일치하지 않는 경우에도 적용 가능하다는 것이다. 또한 두 값이 특별한 관계에 있을 경우, 호 수락제어 절차를 최적화할 수 있다. 이를 통해 호 수락 요구 처리에 소요되는 오버헤드를 감소시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안

방식을 설명하고, QoS 만족 조건에 관련한 정리를 증명과 함께 설명한다. 3장은 시뮬레이션을 통해 제안방식이 동작하는 한 예를 보이고, QoS관련한 성능 측정값을 제시한다. 4장에서는 논문을 결론짓는다.

## II. 지연시간을 고려한 호 수락제어 방법

제안하는 호 수락제어 방법을 설명하기 전에 다음과 같은 사항들을 가정한다. LTE-Advanced 네트워크 내의 MTC 디바이스들은 주기적으로 모니터링 정보를 생성하여 외부 네트워크에 연결된 MTC 컨트롤러로 전송한다. 이를 위해 MTC 디바이스는 eNodeB에 접속하여 호 수락요청을 하고, 수락되면 eNodeB가 할당하는 무선자원을 이용하여 데이터를 전송한다. 여기서는 MTC 디바이스들이 실시간 특성을 가진 모니터링 기능을 수행한다고 가정한다. 이는 MTC 디바이스들이 정보를 생성하는 시점부터 eNodeB로 전송을 완료할 때까지 소요되는 시간이 지정된 최대 시간을 넘어서는 안 된다는 것을 의미한다. 따라서 각 MTC 디바이스의 QoS 요구사항은  $(p, d)$ 로 표시할 수 있다.  $p$ 는 MTC 디바이스가 MTC 컨트롤러에게 정보를 전송하는 시점간의 간격이다.  $d$ 는 MTC 디바이스가 정보전송을 시도하는 시점부터 eNodeB로 전송 완료할 때까지 최대로 허용되는 시간이다.

효율적인 자원할당 관리를 위해 동일한 QoS 요구사항을 가진 MTC 디바이스들을 그룹핑하여 클러스터로 지정하며, 각 클러스터는  $i = 1, \dots, M$ 로 번호 매길 수 있다. 각 클러스터  $i$ 의 QoS 요구사항은  $(p_i, d_i)$ 로 표시되고,  $n_i$ 는 클러스터에 속한 MTC 디바이스의 개수이다. eNodeB의 무선자원할당은 클러스터 단위로 이루어져, 각각의 클러스터에게 GTI를 할당하여 무선자원을 사용하게 한다. GTI는 시간과 주파수 요소를 가진 무선자원 할당단위인 PRB들로 구성되며, 그 시간 길이는  $\tau$ 이다. 하나의 GTI 동안 최대  $L$ 개의 MTC 디바이스들이 전송할 수 있다. 따라서,  $n_i \leq L, \forall i = 1, \dots, M$ , 여야 한다. MTC 디바이스가 한 번에 전송할 수 있는 패킷크기는 할당받는 PRB개수에 의해 제한되기 때문에, eNodeB는 최소 패킷크기를 고려하여 PRB 개수를 설정해야 한다. 논문에서는 MTC 디바이스들은 GTI 시작시점에 전송시점을 동기화시킬 수 있다고 가정한다. 이는 MTC 디바이스가 요구하는 주기 자체를 바꾸

는 것은 아니고, 최초 시작시점만 동기화하는 것입니다. 이로 인해 최초 전송에서는 MTC 디바이스에서 정보가 발생하여 전송하려는 시점과 GTI의 시작시점 간에 차이가 존재하여 지연시간이 길어질 수 있다. 하지만 그 이후 전송부터는 이러한 차이가 동기화로 인해 소멸된다.

GTI를 할당할 때 짧은  $d_i$ 를 갖는 클러스터들이 우선순위를 갖도록 하여 QoS 요구를 최대한 만족시킬 수 있도록 한다. 그리고 두 개 이상의 클러스터가 동일한  $d_i$ 를 갖는 경우, 큰  $p_i$ 를 갖는 클러스터에게 높은 우선순위를 부여한다. 짧은 주기는 긴 주기 안에 여러 번 나타날 수 있기 때문에, 이로 인해 긴 주기를 갖는 클러스터의 전송이 짧은 주기를 갖는 클러스터의 전송에 의해 여러 번 지연되는 것을 막기 위해서이다. 클러스터 번호  $i = 1, \dots, M$ 가 우선순위를 표시한다고 가정하고, 번호가 낮을수록 높은 우선순위이다.

eNodeB는 각 클러스터가 요구하는 시간 간격  $p_i$ 마다 GTI를 할당한다. 만약 두 개 이상의 클러스터들 간에 할당시점이 겹치면 우선순위가 낮은 클러스터의 GTI할당은 바로 다음 가능한 시점으로 연기된다. 이러한 할당 결정은 physical downlink control channel (PDCCH)를 통해 클러스터에 속한 MTC 디바이스들에게 알려진다. 이 할당정보에는 GTI내에서 각 MTC 디바이스가 사용해야 할 슬롯 위치가 포함된다. GTI로 지정되지 않은 서브프레임(subframe)들과 GTI 내에서 MTC 디바이스에게 할당되지 않은 슬롯들은 사용자 단말(UE)에 할당된다. 이 정보 역시 PDCCH를 통해 해당 UE로 전달된다. PDCCH를 통한 할당정보 전달의 구체적인 구현은 본 논문의 범위가 아니므로 여기서는 자세히 다루지 않는다. 다만 논문에서는 이러한 전달 방식이 존재한다고 가정한다.

호를 종료하는 MTC 디바이스는 eNodeB에 종료통지를 하고, eNodeB는 더 이상 사용하지 않게 된 슬롯을 다음 할당에서는 UE에게 할당하거나, 신규호 요청을 하는 MTC 디바이스에게 할당한다. MTC 디바이스는 갑작스런 동작중지 등의 이유로 통보없이 호를 종료할 수도 있다. 이 때 eNodeB는 physical uplink control channel (PUCCH)를 통해 전달되는 정보에서 미사용 슬롯을 파악할 수 있고, 통보없이  $n$ 회 이상 슬롯이 사용되지 않을 경우에는 호 종료로 간주하여 처리한다. 클러스터에 속한 모든 MTC 디바이스들이 호 종료를 하면 클러스터가

해제되고 GTI할당은 종료된다.

이러한 클러스터 기반 M2M 통신환경과 QoS 조건  $(p, d)$ 를 갖는 MTC 디바이스들을 고려하여 다음과 같은 호 수락 제어 알고리즘을 제안한다. 먼저 MTC 디바이스는 QoS요구조건  $(p_i, d_i)$ 를 포함한 호 수락 요청을 random access channel (RACH)를 통해 eNodeB에게 전달한다.  $(p_i, d_i)$ 를 만족하는 클러스터가 이미 존재하고 해당 GTI에 사용가능한 슬롯이 있을 경우 호 요청은 수락된다. 그렇지 않을 경우에는 신규 클러스터 생성이 필요한데, 이 때 기존 클러스터들의 최대지연시간 만족에 영향을 끼치는지 분석한다. 이 분석과정에 대해서는 뒤에서 자세히 설명한다. 분석결과 영향이 없다면 호 요청은 수락되고, 그렇지 않으면 거절된다. 만약  $(p_i, d_i)$ 에 해당하는 클러스터가 이미 존재하지만 사용가능 슬롯이 없었을 경우, 동일한  $(p_i, d_i)$ 조건을 갖는 클러스터를 신규생성하고, 기존 것보다 낮은 우선순위를 할당한다.

최대 지연시간 만족에 여부에 관한 분석에서는 신규 생성 예정인 클러스터를 포함한 모든 클러스터들이 최대 허용 지연시간을 만족시킬 수 있는지를 검사한다. 우선 클러스터  $i$ 의 전송에 소요되는 최대시간  $w(i)$ 는 다음과 같다.

$$w(i) = \sum_{k=1}^i \tau \left\lceil \frac{p_i}{p_k} \right\rceil \quad (1)$$

이는 클러스터  $i$ 보다 우선순위가 높은 클러스터  $k=1, \dots, i-1$ 들이 전송하는 시간과 자신의 전송시간  $\tau$ 을 모두 합한 값이 된다. 왜냐하면 상위 우선순위의 클러스터의 GTI와 하위 우선순위 클러스터의 GTI가 겹칠 경우, 하위 클러스터는 GTI 지속시간인  $\tau$ 만큼 뒤로 연기되기 때문이다. 이것은 하위 클러스터는 모든 상위 클러스터들이 전송을 마칠 때까지 기다려야 한다는 것을 의미한다.  $L(i) = \frac{w(i)}{d_i}$ 라 할 때, 다음과 같은 정리를 세울 수 있다.

**정리 1.** 모든 클러스터  $i, (i=1, \dots, N)$ 에 대해서 최대 지연시간을 만족시키는 충분조건은

$$L(i) \leq 1, \forall i = 1, \dots, N \quad (2)$$

**증명.** 클러스터  $i$ 에 속한 MTC 디바이스들이 시간 0에서 데이터를 생성했다고 가정하자.  $i$ 보다 상위 우선순위 클러스터들이 모두 전송을 마치고 클러스터  $i$ 의 MTC 디바이스들도 전송을 마친 시간을  $t$ 라고 하면,  $t \leq d_i$ 일 경우 클러스터  $i$ 는 최대 지연시간을 만족시킬 수 있다. 클러스터  $i$ 의 최대 지연시간이 (1)에 의해  $w(i)$ 이므로  $t \leq w(i)$ 이고, 따라서  $w(i) \leq d_i$ 일 경우 최대 지연시간을 만족시킬 수 있다. 양변을  $d_i$ 로 나누면  $L(i) \leq 1$ 가 되고, 이것은 클러스터  $i$ 가 최대 지연시간을 만족시키는 충분조건임을 보여준다. 이것으로부터 모든 클러스터들이 최대지연시간을 만족시키기 위해서는  $L(i) \leq 1, \forall i = 1, \dots, N$ 여야 한다. 따라서 (2)는 모든 클러스터들이 최대 지연시간을 만족시키는 충분조건이 된다.

따라서 제안하는 호 수락 제어 알고리즘에서는 생성 예정인 클러스터를 포함하여 모든 클러스터를 대상으로 정리 1이 만족되는지 확인하여 호 수락 여부를 결정한다.

특히  $p_i$ 와  $d_i$ 가 특별한 관계에 있을 때는 (2)를 보다 최적화할 수 있다. 이것은 다음 두 조건 (3)과 (4)를 만족할 때 가능하다.

$$p_i = d_i, \forall i = 1, \dots, N \quad (3)$$

$$p_i = n \times p_k \text{ if } p_i > p_k \quad (4)$$

여기에서  $n$ 은 1보다 큰 정수이다. 이 때 정리 1은 아래 정리 2와 같이 최적화가 가능하다.

**정리 2.** (3)과 (4)가 만족되면, 모든 클러스터  $i, (i=1, \dots, n)$ 에 대해서 최대 지연시간을 만족시키는 충분조건은

$$\sum_{k=1}^N \frac{1}{p_k} \leq \frac{1}{\tau} \quad (5)$$

**증명.** (2)를 전개하면  $\sum_{k=1}^i \tau \left\lceil \frac{p_i}{p_k} \right\rceil \leq d_i$ 이고, 조

건 (3)을 적용하면  $\sum_{k=1}^i \tau \left\lceil \frac{p_i}{p_k} \right\rceil \leq p_i$ 가 된다. 이 때,

(4)로부터  $\left\lceil \frac{p_i}{p_k} \right\rceil = \frac{p_i}{p_k}$ 이므로  $\sum_{k=1}^i \tau \frac{p_i}{p_k} \leq p_i$ 가 된

다. 양변을  $\tau$ 와  $p_i$ 로 나누면  $\sum_{k=1}^i \frac{1}{p_k} \leq \frac{1}{\tau}$ 이다.

$\sum \frac{1}{p_k}$ 는 monotonically 증가하므로 클러스터  $n$ 에 대해서만 위의 조건 만족여부를 검사하면 모든  $i$ 에 대해서도 만족된다. 따라서  $i$ 를  $N$ 으로 대체하면 (5)를 얻을 수 있다.

정리 2는 정리 1에 비해서 조건 만족 검사와 관련된 오버헤드를 감소시킬 수 있어, 다수의 MTC 디바이스들의 호 수락 요청을 처리하는 데 효율적이다. 한편 최적화를 위한 조건 (3)과 (4)는 달성하기 어려운 조건들이 아니다. 특히 (4)의 경우, 지리적으로 밀집해 있는 MTC 디바이스들의 경우 동일한 MTC 컨트롤러에 의해 관리되는 경우가 많기 때문에 클러스터 간의  $p_i$ 는 (4)를 충족시키도록 조정할 수 있다.

### III. 시뮬레이션을 이용한 성능평가

본 장에서는 제안한 호 수락 제어방식의 동작 및 성능평가를 시뮬레이션을 통해서 살펴보고자 한다. 시뮬레이션에서 다루는 하나의 예를 통해 모든 경우에 대해 동작한다고 주장할 수는 없다. 하지만 이미 정리 1과 2을 통해 제안 방식의 적합성을 증명하였기에 여기서는 실제 적용 관련하여 개선의 여지를 찾아내는 데 중점을 둔다.

시뮬레이션에서 LTE-Advanced 네트워크의 대역폭은 20 MHz로 하였고, GTI는 100개의 PRB로 구성되고 지속시간  $\tau$ 는 1 msec.로 한다. 그리고 하나의 GTI동안 최대 20개의 MTC 디바이스들이 전송할 수 있다고 가정하여 각 MTC 디바이스들은 5개의 PRB를 할당받는다.

MTC 디바이스들은 랜덤하게 생성되는 데, 다음과 같은 선택 가능한  $(p_i, d_i)$  쌍 중 임의로 하나를 택하고, (500, 2), (500, 4), (250, 5), (200, 5), (100, 6), (100, 10), (40, 10), (20, 10), (10, 10), (20, 15), 클러스터 번호는 앞의 것부터 1이고, 마지막 클러스터는 10이 된다. MTC 디바이스들의 생성 시점간의 간격은 평균 1초의 지수분포를 따르며, 호 요청이 수락 될 경우 호의 지속시간은 평균 15초의 지수분포를 갖는다. 호 지속시간동안 업링크 데이터 전송만 있다고 가정한다. 그리고 주기적으로 할당받는 GTI시간동안 전송되는 데이터양은 할당받은 5개의 PRB를 이용해서 전송가능한 양으로 한정한다.

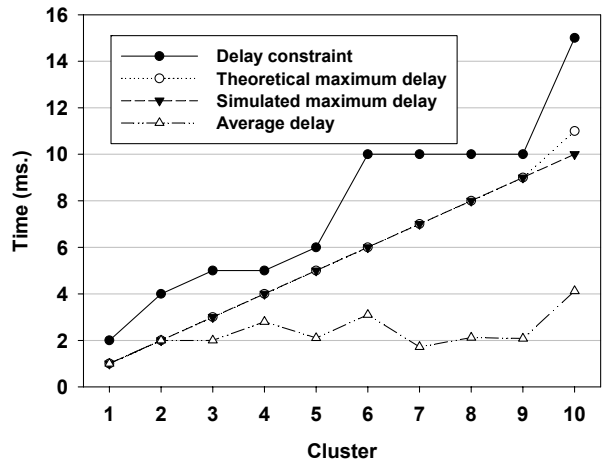


그림 1. 클러스터별 지연시간 조건과 시뮬레이션 측정값  
Fig. 1. Delay constraints of clusters and simulation results

호가 종료되면 MTC 디바이스들은 더 이상 호 요청을 하지 않는다. 모든 MTC 디바이스들은 eNodeB로부터 동일 거리만큼 떨어져 있으며, 이동하지 않는다고 가정한다. 시뮬레이션은 총 1000초 동안 진행하였으며, 여러 번 반복하여 그 평균값을 결과로 취하였다.

그림 1은 클러스터별로 4가지 지연시간을 보여준다. Delay constraint는 최대 허용 지연시간이고, theoretical maximum delay는 호 수락 알고리즘의 (1)에 의해 계산된 값이고, simulated maximum delay와 average delay는 시뮬레이션에 의해 측정된 최대 지연시간과 평균시간이다. X축은 클러스터 번호를 표시하고 있으며, Y축은 millisecond단위의 지연시간이다.

그림 1에서 보듯 제안방법을 사용하면 모든 클러스터들의 simulated maximum delay는 delay constraint보다 작아서 QoS 요구조건을 만족시킬 수 있음을 알 수 있다. 반면 [6]과 [7]에서 제안되었던 호 수락제어 방법은 이 경우에 사용할 수 없다. 왜냐하면 클러스터 9를 제외하고는  $p_i$ 와  $d_i$ 가 서로 다르기 때문이다. 적용하더라도 클러스터 1의 경우, 클러스터 2를 제외한 다른 클러스터들보다 우선순위가 낮기 때문에 최대 지연시간은 요구조건  $d_i = 2 msec.$ 보다 큰 10 msec.이 된다.

또한 각 클러스터들의 theoretical maximum delay와 simulated maximum delay가 클러스터 10을 제외하고는 일치한다. 클러스터 10의 경우에도 1 msec. 차이밖에 나지 않는다. 따라서 (1)에 의한 최대 지연 시간 추정이 정확함을 알 수 있다.

그리고 클러스터의 우선순위가 낮을수록 maximum delay와 average delay간에는 큰 차이가 있다. 상위 우선순위를 가지는 클러스터 1,2,3의 measured maximum delay와 average delay간의 평균 차이는 0.33 msec.인 반면, 하위 우선순위인 클러스터 8,9,10은 6.22 msec.이다. 이것은 상위 우선순위 클러스터들의 전송에 의한 하위 우선순위 클러스터들의 전송 매우 간헐적으로 지연된다는 것을 의미한다. 따라서 하위 우선순위 클러스터들의 경우, 최대지연시간 조건에 유연성이 허락될 경우 호 수락 제어 조건을 완화하여 호 수락 확률을 향상시킬 수 있는 여지가 있다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 LTE-Advanced 네트워크에서 효율적인 M2M 통신지원을 위한 호 수락 제어 방법을 제안하였다. 기존에 제안되었던 방법의 경우 데이터전송 주기와 최대 전송지연 시간이 같을 경우에만 적용할 수 있는 한계가 있었던 반면, 제안 방법은 그러한 제한이 없고, 특히 클러스터들의 데이터 전송주기와 최대 지연시간이 특별한 관계에 있을 경우, 최적화하는 방안도 제시하였다. 제안 방법의 QoS 만족 적합성에 대한 증명을 제시하였고, 시뮬레이션을 통해 실제 적용 가능성을 확인하였다.

#### 참 고 문 헌

[1] C. Gellings, *The Smart Grid: Enabling Energy Efficiency and Demand Response*, CRC Press, 2009.

[2] M. Chowdhury and A. Sadek, *Fundamentals of Intelligent Transportation Systems Planning*, Artech House, 2003.

[3] <http://www.3gpp.org>

[4] 3GPP TS 22.368 V11.1.0, *Service Requirements for Machine Type Communications*, Mar. 2011.

[5] 3GPP TS 23.888 V1.1.1, *System Improvements for Machine Type Communications*, Apr. 2011.

[6] S. Lien and K. Chen, "Massive access management for QoS guarantees in 3GPP machine-to-machine communications", *IEEE Comm. Lett.*, vol. 15, no. 3, pp. 311-313, Mar.

2011.

[7] S. Lien, K. Chen and Y. Lin, "Toward ubiquitous massive accesses in 3GPP machine to machine communications", *IEEE Comm. Mag.*, vol. 49, no. 4, pp. 66-74, Apr. 2011.

[8] A. Gotsis, A. Lioumpas and A. Alexiou, "M2M scheduling over LTE", *IEEE Veh. Technol. Mag.*, vol. 7, no. 3, pp. 34-39, Sept. 2012.

[9] H. M. Huh, J. H. Hwang, and M. S. Yoo, "Interference-free multipath routing protocol for M2M wireless network to enhance packet delay performance", *J. KICS* vol. 35 no. 12. pp. 1859-1866, Dec. 2010.

전 경 구 (Kyungkoo Jun)

한국통신학회 논문지 제34권 제6호 참조

현재 인천대학교 임베디드시스템공학과 부교수