

협대역 사물인터넷 환경에서 단말 증가에 따른 전송지연 및 상향링크 전송 용량 측정

문종민*, 신경섭^o

Measurement of Latency and Uplink Throughput According to Number of NB-IoT Devices

Jongmin Moon*, Kyungseop Shin^o

요약

사물인터넷의 활발한 연구와 더불어 IoT 단말기의 보급이 급격하게 증가하고 있다. 그 중에서도 넓은 지역에 안정적인 서비스를 제공하는 NB-IoT 단말이 널리 사용되고 있다. 그러나 단말기 개수의 급격한 증가는 NB-IoT 서비스의 품질저하 문제를 야기시킬 가능성이 있다. 본 논문에서는 같은 기지국에 연결되는 NB-IoT 단말기의 개수에 따라서 전송지연 및 상향링크 전송 용량의 변화를 측정하였고, NB-IoT 단말기 개수가 늘어날수록 전송지연이 증가하고 상향링크 전송 용량이 감소하는 것을 실증하였다. 실제 단말을 활용하여 실제 환경에서 단말의 증가에 따른 성능 감소가 생기는 것을 증명한 본 논문의 결과를 토대로 향후 밀집된 IoT 환경에 관한 연구에 근거자료로 활용할 수 있을 것으로 기대한다.

Key Words : Internet of Things, Narrow-Band IoT, Latency, Uplink Throughput, Implementation

ABSTRACT

The prevalence of IoT terminals is increasing rapidly, along with the vigorous research of IoT communication technologies. This phenomenon contributes to improving the convenience of people in real life. However, a dramatic increase in IoT terminals, particularly Narrow-Band IoT(NB-IoT), is likely to cause a problem for quality of service for NB-IoT network. In this paper, we measured the change in latency and uplink throughput according to the number of IoT terminals connected to the same base station, and the experimental results showed that the latency increased as the number of IoT terminals increased, and the uplink throughput decreased. The experimental results from this manuscript based on the operation of real IoT devices could be helpful evidence to make a good research for future IoT networks.

I. 서론

최근 사물인터넷은 활발한 연구와 더불어 상용화가 활발히 진행되고 있다. 사물인터넷은 사용자들에게 많은 편의성을 제공하고 있다. 사물에 지능을 부여하고,

거대한 네트워크를 형성시켜 현대인의 생활수준을 향상시키고 있다. 사물인터넷은 다양한 토폴로지의 구현이 가능하고, 비교적 적은 비용으로 구현이 가능하다는 점에서 사용자들이 손쉽게 설치하여 사용할 수 있는 장점을 가진다.

* 본 연구는 2017학년도 세명대학교 교내학술연구비 지원에 의해 수행된 연구임.

• First Author : Semyung University School of Computer Science, answhd74@gmail.com, 학생회원

o Corresponding Author : Semyung University School of Computer Science, ksshin@semyung.ac.kr, 정회원

논문번호 : 201903-018-D-RN, Received March 14, 2019; Revised April 11, 2019; Accepted April 16, 2019

최근 상용화가 완료되어 확산중인 NB-IoT (Narrow Band IoT; 협대역 사물인터넷)은 대표적인 사물인터넷을 위한 통신프로토콜이다. NB-IoT는 기존 이동통신망을 통해 저전력 광역망(Low Power Wide Area Network, LPWAN)을 지원하는 협대역 사물 인터넷의 표준이다^[1]. LTE 네트워크가 사물인터넷용으로 발전된 기술로서 LTE에서 수십MHz의 대역폭을 사용하는데 반해 NB-IoT는 180KHz의 대역폭을 사용한다는 특징이 있다. 전력소모가 매우 낮아 수년간 배터리 교체 없이 사용가능하고, Small scale에 적합하게 만들어졌다^[2]. GSM 또는 LTE망에서 수백 kbps 이하의 데이터 전송 속도와 10 km 이상의 광역 서비스를 지원한다. 사물인터넷을 지원하는 네트워크가 상당수 존재함에도 NB-IoT 라는 새로운 표준이 필요한 이유는 통신사의 망 관리를 받아 더 넓은 지역을 더 안정적으로 커버할 수 있기 때문이다. 실제로 NB-IoT는 기존 네트워크를 활용해 넓은 지역을 커버하고 전력 소비가 적기 때문에 수도 검침, 위치 추적용 기기 등 넓은 지역에 걸쳐 다수의 기기를 설치하는 초저전력 사물인터넷 사업모델에 적합하다.

앞으로 급격한 NB-IoT 단말기기의 증가와 함께 통신 부하는 비례해서 증가할 것이다^[3]. 기지국에 연결되는 NB-IoT 단말기가 많아질수록 기지국이 서비스해야하는 단말의 수가 증가하여 기지국의 부하가 증가해 단말의 서비스 품질이 저하될 우려가 있다^[4]. 이를 위해 기존에는 비직교 다중 접속 방식^[5], Mobile edge computing^[6] 등을 이용한 성능 향상에 관한 연구가 진행되어왔다. 하지만, 기존 연구에서는 접속 방식의 다양성을 기반으로 한 전송 효율 측면에서의 시뮬레이션 결과가 주를 이루었다. NB-IoT의 구현 철학이 전송지연이 10초가 되어도 초다중 접속이 가능한 IoT 단말을 만드는 것이기 때문에 실제 구현의 측면에서 다중 접속 시에 생기는 실질적인 문제에 대한 연구가 부족한 실정이다.

본 논문에서는 이렇게 단말의 개수가 점점 증가함에 따라 통신품질이 어떻게 변화하는지 실제 NB-IoT 단말을 가지고 서버를 구현하여, 같은 기지국에 연결되어있는 NB-IoT 단말기의 Session 개수가 늘어남에 따른 전송지연과 상향링크 전송 용량의 변화를 살펴 보도록 한다.

II. 본 론

같은 기지국에 연결되어있는 NB-IoT 단말기의 Session 개수에 따른 전송지연(Latency)와 상향링크

전송용량(Uplink Throughput) 측정을 위해 다음과 같은 환경을 구성하였다. 서버는 .NET Framework 4.6.1 기반의 C# 7.0 이상의 최신버전으로 개발되었고, 다중 클라이언트 접속을 핸들링하기 위해서 TAP(Task-based Asynchronous Pattern) 방식을 사용하였다. Latency 측정 간에 서버와 클라이언트의 Transport Layer Protocol은 TCP Protocol로 구현하였고, Uplink Throughput 측정은 UDP Protocol로 구현하였다. 그림 1에서 보이는 4개의 클라이언트 (NB-IoT Evaluation Kit Board)는 SERCOMM사의 TPB22-3 NB-IoT Module이 탑재되어 있는 Evaluation kit을 실험에 사용했다.

TPB22-3은 NB-IoT 프로토콜이 구현된 모뎀을 포함한 모듈로써, 3GPP release 13 을 기반으로 release 14와 호환되며 주파수로 Band 3를 지원한다. 실험은 그림 2에서 보는 바와 같이 자체 제작한 Terminal Application을 사용하여 클라이언트와 클라이언트 제어 PC의 Serial USB연결을 통해서 SERCOMM사에서 제공하는 AT Command를 클라이언트에 전송 하는 방식으로 서버와 클라이언트의 통신이 이루어진다. 측정 데이터의 신뢰성을 위해 동일한 시간대에 측정을 했고, Terminal Application에서는 ms단위의 제어를 통해 오차를 최대한 억제하였다. 또한 Latency 측정은 시간차에 의한 측정방식이므로, 서버와 클라이언트 제어PC는 같은 서버의 시간을 동기화하여 측정을 하였다.



그림 1. TPB22-3 모듈이 포함된 개발보드
Fig. 1. TPB22-3 NB-IoT Module mounted EVK Board

2.1 Latency 측정

클라이언트 Session의 개수에 따른 Latency값의 증가를 직접 확인하기 위해 실험을 진행하였다. Latency의 측정은 단말이 전송을 수행하는 과정에서 데이터

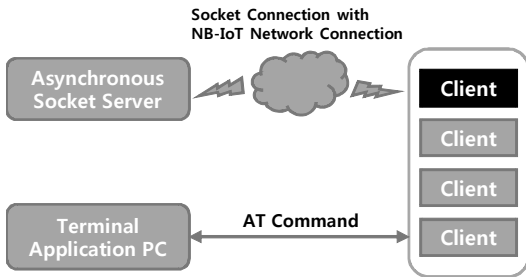


그림 2. 측정 대상 시스템 구성도
Fig. 2. Configuration of Target System

가 단말을 떠나 서버에 도달하는데 걸리는 시간을 측정하였다. 단말이 NB-IoT 망에 접속한 상태에서 데이터 전송을 위해 Random Access를 수행하면서부터 데이터 전송이 완료될 때까지의 시간을 측정하였다. 앞 절에서 서술한 것과 동일하게 서버환경을 구축했다. 실험은 1개의 클라이언트 Session의 Latency 측정부터 시작하여 4개의 클라이언트 Session의 Latency를 측정하였다. GMT+9 시간 기준으로 1AM에 시작하여 2AM 종료까지 까지 약 1시간 가량 실험을 통해 Latency값을 측정하였다.

NB-IoT 단말기 개수에 따라, Latency 측정은 총 4가지의 상황을 가정하였다. 클라이언트 개별 Latency 측정을 서로의 접속시간이 겹치지 않게 측정하는 단일 단말 환경이 첫번째이다. 그리고, 2개, 3개, 4개의 클라이언트를 동시에 접속시켜 Latency 측정을 진행하였다. Latency 측정방법은 모든 상황에서 그림 3(a)에서 보이는 측정 순서도에 의거한 동일한 측정방법

을 사용하였다. 클라이언트 제어 PC의 Terminal Application에서 AT Command를 이용하여 클라이언트를 TCP 소켓을 이용해 서버와 연결을 시켰다. 연결이 성공하면, 서버로 2byte의 특정 문자열을 100개 송신시켜서 출발시간과 클라이언트로부터 도착한 문자열의 도착시간을 기록한 후, 차이의 평균을 계산하는 방법으로 측정하였다. 이 때, 각 데이터 전송 간 간섭을 최소화시키고, Idle 상태에서 시작할 수 있도록 송신 간에 10초의 간격을 두고 측정을 수행하였다.

2.2 Uplink Throughput 측정

IoT 단말기에 연결된 각종 Sensor의 데이터, 혹은 현재 단말기 상태를 서버에 전송하는 것은 IoT서비스의 핵심적인 기능이다. 본 논문에서는 클라이언트 Session의 개수에 따른 Uplink Throughput 감소 현상을 직접 확인하기 위해 실험을 진행하였다. 본문에서 서술한 것과 동일하게 서버환경을 구축했다. 실험은 1개의 클라이언트 Session의 Uplink Throughput 측정부터 시작해서 최대 4개의 클라이언트 Session이 동시에 접속한 경우의 Uplink Throughput를 측정하였다. GMT+9 시간 기준으로 1AM에 시작하여 2AM 종료까지 까지 약 1시간 가량 실험을 통해 Uplink Throughput값을 측정하였다.

NB-IoT 단말기 개수에 따라, Uplink Throughput 측정은 총 4가지로 나누어지며 모든 측정에서 그림 3(b)와 같은 동일한 측정방법을 사용한다. 클라이언트 제어 PC에서 Terminal Application에서 AT Command를 이용하여 클라이언트를 UDP 소켓을 이용하여 서버와 연결을 시킨다. 연결이 성공하면, 서버로 70byte의 특정 데이터를 100 ms단위로 시작시간 기준 1분 동안 계속하여 서버로 전송시킨다. 서버측에서는 성공적으로 수신된 데이터의 개수를 이용해 Uplink Throughput을 측정하였다.

III. 실험

Latency 와 Uplink throughput을 측정하기 위한 실험은 Band 3 (1.8MHz)에서 동작하도록 설정되었으며, 단말의 Tx power는 20dBm, 단말이 동작하는 대역폭은 180kHz이다. 실험이 이루어지는 동안 측정된 링크 환경은 평균 RSRP가 -89.8 dBm, 평균 RSSI는 -82.0 dBm, 그리고 평균 SNR은 20.6 dB이다.

3.1 Latency 측정 결과 및 분석

그림 4는 단말 개수의 증가에 따른 Latency의 변화

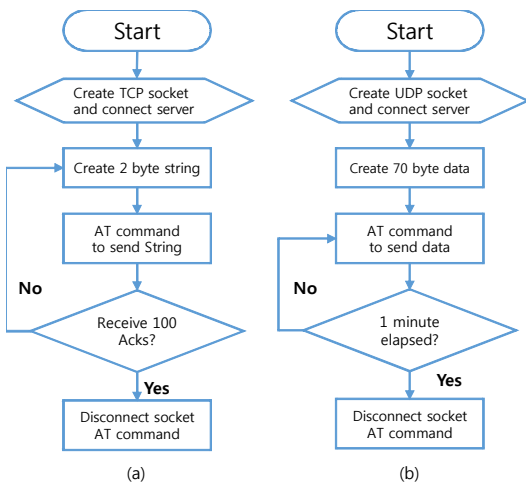


그림 3. Latency 및 Uplink Throughput 측정 순서도
Fig. 3. Flowchart for Latency and Uplink Throughput Measurements

를 보여준다. 본문에서 소개한 측정방법을 사용하여 서론에서 같은 기지국에 연결되어있는 NB-IoT 단말기의 Session 개수가 늘어날수록 Latency값이 증가함을 확인하였다. 단말 한 개가 있을 때 클라이언트 개별 연결 Latency 측정 결과 값과 단말 두 개를 사용하여 Latency를 측정한 값을 살펴보면 작은 차이지만 분명한 Latency 증가가 확인되었다. 하지만 단말 개수가 많지 않을 때는 큰 증가폭을 보이지 않았다. 3개의 클라이언트를 사용해 Latency를 측정한 결과를 비교해보면 한 개일 때와 비교하여 두 개일 때의 증가율은 5%에서 12%까지 증가하였고, 세 개일 때와 비교했을 때는 4번 단말을 제외하고 21%에서 50%까지 증가하였다.

단일 단말인 경우와 4개의 단말이 접속했을 때를 비교했을 때는 증가율이 뚜렷하게 나타난다. 1번 단말은 86.9%, 2번 단말은 152% 증가, 3번 단말은 13.6% 증가, 4번 단말은 131.9%가 증가하였다. 단일 단말일 경우와 4개 단말 동시 접속을 비교해보면 가장 적게 증가한 클라이언트는 최소 94 ms 에서부터 가장 크게 증가한 클라이언트의 Latency는 1088 ms 까지 매우 큰 폭으로 증가한 것을 확인할 수 있었다. Latency 측정에서는 데이터 전송으로 인한 데이터 전송채널(NPUSCH: Narrowband Physical Uplink Shared Chnnel)의 공유로 인한 성능열화를 최소화하기 위하여 최소의 데이터 크기를 적용하여 전송했기 때문에, Latency의 증가는 단말이 random access를 수행하는 동안 발생하는 경쟁채널(NPRACH: Narrowband Physical Radom Access Channel)에서 제어메시지의 overhead로 인하여 주로 발생한 것으로 판단된다. 접속하는 단말의 수가 늘어날수록 경쟁이 심해져

Latency 증가폭 또한 커지는 것을 확인하였다.

3.2 Uplink Throughput 측정 결과 및 분석

그림 5는 단말 개수에 따른 Uplink Throughput의 변화를 보여준다. 단말별 측정 환경은 Latency측정과 동일하게 단일 단말들이 접속했을 경우를 살펴보고 동시접속 단말의 수를 증가시키면서 측정했다. 단일 단말인 경우와 비교하여 단말이 두 개가 동시에 접속했을 때 Uplink Throughput의 감소율을 보면 1번 단말은 50.6%, 2번 단말은 12.16%가 감소하였다. 동시 접속 단말인 세 개인 경우는 단일 단말인 경우와 비교하여 최소 35.13%에서 최대 54%까지 Uplink Throughput이 감소하였다. 단말 네 개가 동시에 접속했을 때는 모든 클라이언트가 감소하였으며, 특히 단일 단말인 경우와 비교하여 1번 단말은 67.3%가 감소하였다.

Throughput 측정의 경우는 전송 프로토콜의 제어 오버헤드로 인한 영향을 최소화하기 위해 데이터의 크기를 키웠기 때문에 전송 블록(TB: Transport Block) 크기가 커지고 이를 통해 한번의 전송에 다수의 TB가 사용될 수 있다. 또한, 제어망의 정책에 따라 반복 회수 또한 달라질 수 있는데, 이는 여러 실험 케이스에 대하여 단일 단말에는 동일하지만 전송하는 TB의 개수를 늘린다. 이렇게 늘어난 TB의 개수는 NPUSCH 자원을 다수의 단말과 공유해서 사용할 때, Uplink throughput의 감소를 초래하게 된 것이다. 실험을 통해 동시에 접속하는 단말의 개수가 증가함에 따라 Uplink Throughput이 매우 감소함을 확인할 수 있었는데, 이는 동시에 접속하는 단말의 수가 많을수록 감소폭이 더 커질 수 있다는 것을 보여준다.

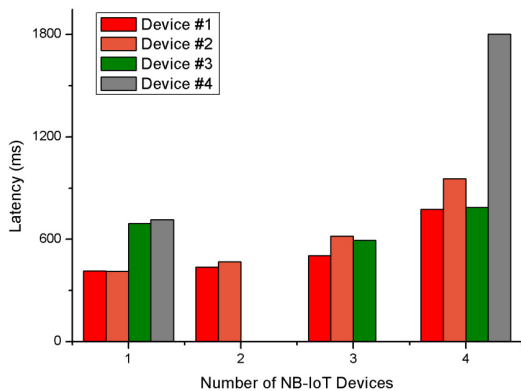


그림 4. NB-IoT 단말개수에 따른 Latency 변화
Fig. 4. Uplink Latency according to Number of NB-IoT Terminals

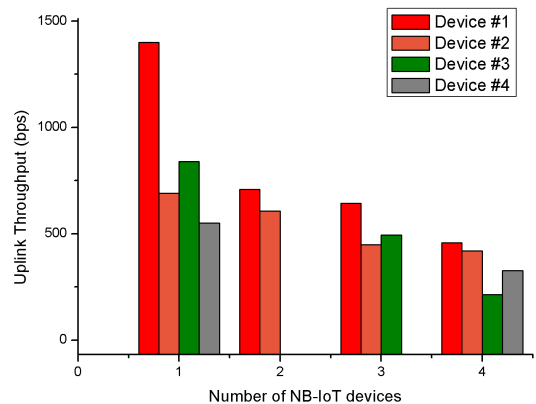


그림 5. NB-IoT 단말개수에 따른 Uplink Throughput 변화
Fig. 5. Uplink Throughput according to Number of NB-IoT Terminals

IV. 결 론

사물인터넷의 지속적인 발달과 보급화로 인하여 네트워크 트래픽은 급격하게 증가할 것이다. 본 논문에서는 NB-IoT 단말을 이용한 실험을 통하여 같은 기지국에 연결되어 있는 NB-IoT 단말기 개수에 따른 Latency와 Uplink Throughput의 변화를 실험을 통해 보여주었다. 총 4개의 단말기로 실험을 진행하였음에도 불구하고, Latency와 Uplink Throughput의 수치의 변화가 가지적으로 확인되었다. 단일단말 접속 시와 4개의 단말이 동시 접속했을 때를 비교했을 때, Latency는 최소 13.6%에서 최대 152%까지 증가했고, Uplink Throughput은 최대 67.3%가 감소하였다. NB-IoT 단말기의 급격한 증가는 품질 저하를 일으킬 수 있음을 실험을 통해 확인하였다. 실제 단말기를 이용한 실제 환경에서의 실험 결과는 향후 IoT가 밀집된 환경에서의 성능향상을 위한 연구의 근거자료로서 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. D. Beyene, R. Jantti, K. Ruttik, and S. Iraji, "On the performance of narrow-band Internet of Things (NB-IoT)," *2017 IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf.*, pp. 1-6, San Francisco, USA, Mar. 2017.
- [2] R. Ratasuk, B. Vejlgaard, N. Mangalvedhe, and A. Ghosh, "NB-IoT system for M2M communication," *2016 IEEE Wireless Commun. and Netw. Conf.*, pp. 1-5, Doha, Qatar, Apr. 2016.
- [3] S. Seo, E. Shin, and G. Jo, "Trends of NB-IoT," *Electron. and Telecommun. Trends*, vol. 31, no. 5, pp. 11-16, Oct. 2016.
- [4] J. Lee, K. Lee, H. Noh, and J. Choi, "A delay analysis of NB-IoT," in *Proc. Symp. KICS*, pp. 978-979, June 2017.
- [5] A. E. Mostafa, Y. Zhou, and V. W. S. Wong, "Connectivity maximization for narrowband IoT systems with NOMA," *2017 IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 1-6, July 2017.
- [6] H. Guo, J. Liu, J. Zhang, W. Sun, and N. Kato, "Mobile-edge computation offloading for ultradense IoT networks," *IEEE Internet of*

Things J., vol. 5, no. 6, pp. 4977-4988, Dec. 2018.

문 종 민 (Jongmin Moon)



2014년 3월~현재 : 세명대학교
컴퓨터학부 학사과정
<관심분야> 정보공학, 통신공학, 임베디드 시스템
[ORCID:0000-0002-0534-1045]

신 경 섭 (Kyungseop Shin)



2011년 1월 : KAIST 전기 및 전자공학과 석사
2015년 1월 : KAIST 전기 및 전자공학과 박사
2015년 2월~2017년 8월 : KT 융합기술원 인프라연구소 5G TF 선임연구원

2017년 9월~현재 : 세명대학교 컴퓨터학부 조교수
<관심분야> 차세대 이동통신, IoT 네트워크, 무선전력전송

[ORCID:0000-0002-3867-1921]