

# IEEE 802.11ah WLAN환경에서 모의실험을 통한 RAW 성능 분석

## A Simulation Study on the Performance of the RAW in IEEE 802.11ah WLANs

진 성 근<sup>1)</sup>\*  
(Sunggeun Jin)

**요 약** IEEE 802.11ah 무선랜 환경에서 Restricted Access Window는 단말간 충돌을 완화시켜 수면 동작의 효율성을 높이기 위하여 도입되었다. 모의실험을 통해 Restricted Access Window (RAW)의 길이에 영향을 주는 무선랜 단말의 동작 방식을 관찰하고 적절한 RAW의 값을 설정하기 위해 무선랜 단말의 동작을 어떻게 제어하는 것이 필요한지 알아본다.

**핵심주제어** : 무선랜, 충돌회피 다중접속 방식, 접근 제한 방식

**Abstract** Restricted Access Window (RAW) has been designed to improve power saving efficiency by reducing collisions of contending stations in the IEEE 802.11ah Wireless Local Area Networks (WLANs). We conduct simulations in order to observe the stations' operations influencing the lengths of the Restricted Access Window (RAW). From the observation, we consider how to adjust the stations' operations for proper RAW managements.

**Key Words** : IEEE 802.11ah WLANs, Restricted Access Window, CSMA/CA

### 1. 서 론

IEEE 802.11 무선랜 기술은 상업적으로 가장 성공한 무선 네트워크 기술들 중 하나이다. 또한 매우 빠르게 발전하고 있는 기술이다. 최근 몇 년 동안, IEEE 802.11 기술 표준은 Multiple Input Multiple

Output (MIMO), Multi-User MIMO (MU-MIMO), Carrier Aggregation (CA), beam-forming 등 기술 개발 당시 최첨단 기술을 매우 빠르게 공격적으로 수용함으로써 데이터 전송 속도 면에서 괄목할만한 기술적 발전을 이룩하였다. Fig. 1에서 표시한 바와 같이 2007년 다중안테나를 활용하는 MIMO 기술과 두 개의 대역을 묶어서 데이터 전송을 지원하는 CA 기술을 적용하여 최대 600 Mbps를 제공하는 802.11n 기술 표준이 완성되었으며 현재는 이미 보편적으로 활용되고 있다. 2012년에는 하나의 Radio Frequency (RF)를 이용하여 최대 8개의 채널을 묶는 CA 기술을 적용하여 최대 3.6 Gbps의 전송속도를 지원하는

\* Corresponding Author

이 논문은 2014년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (사서번호 NRF-2014R1A1A2058490)

Manuscript received January 16, 2015 / Revised February 16, 2015 / Accepted February 26, 2015

1) 대구대학교 정보통신연구소/컴퓨터IT공학부, 교신저자 (sgjin@daegu.ac.kr)

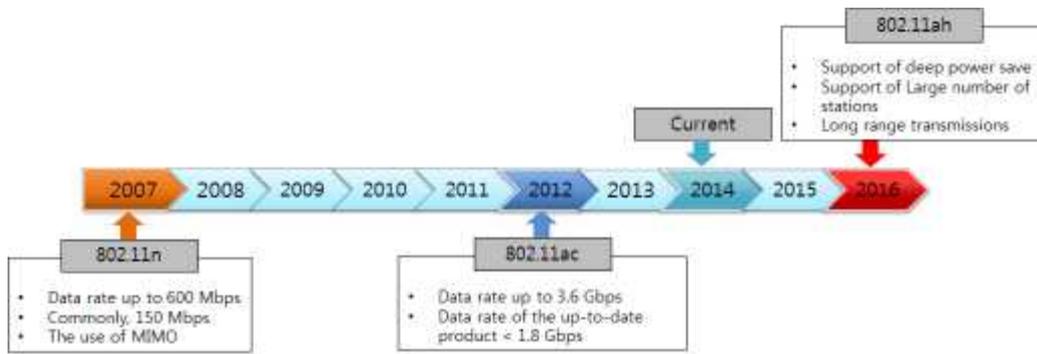


Fig. 1 IEEE 802.11 standard development roadmap.

IEEE 802.11ac 기술 표준이 완성되었다. 주로 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에서 상업적인 성공을 이룬 무선랜 기술은 마침내, IEEE 802.11ah 무선 기술 표준을 통해 Sub-1 GHz 비면허 대역을 활용하여 전송 거리가 1 km에 이르는 장거리 무선 통신 기술을 개발하고 있다 [1]. IEEE 802.11ah 기술 표준은 2016년 완성을 목표로 표준화 작업이 계속 진행되고 있다.

Sub-1 GHz 대역은 비면허 대역이면서도 전파의 감쇠가 비교적 적은 영역이므로 현재 무선랜이 사용하는 대역인 2.4 GHz 대역과 5 GHz 대역에 비해 훨씬 넓은 지역에서 신뢰성 있는 데이터 서비스를 제공할 수 있다. 하지만 채널 대역폭이 제한적인 점이 단점이다. 이러한 이유로, IEEE 802.11ah 무선랜에서 제공되는 서비스는 기존의 무선랜을 통해서 제공되는 서비스들과 차이가 있다. Sub-1 GHz 대역에서 나라별로 허용되는 주파수 영역은 Fig. 2에 나타나있다.

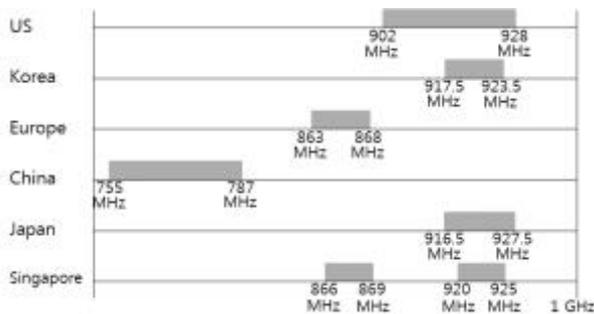


Fig. 2 Sub-1 GHz frequency bands.

이 그림에서 보는 바와 같이 Sub-1 GHz 대역은 나라별로 다르게 분포하고 주로 750 MHz ~ 950 MHz 사이에서 산재해 있다. 채널의 폭은 IEEE

802.11n과 IEEE 802.11ac에서 정의된 채널 폭을 그대로 10배씩 down-clocking하여 정의한다. 그러므로 20, 40, 80 및 160 MHz 대역폭을 그대로 down-clocking하여 2, 4, 8 및 16 MHz의 대역폭을 정의하고 추가적으로 1 MHz 대역폭을 정의하였다.

IEEE 802.11ah 무선랜 기술은 8192개에 이르는 많은 수의 단말을 관리한다. 또한 802.11ah 무선랜 기술은 Internet-of-Things (IoT) 단말 및 센서네트워크를 이루는 단말을 위한 효과적인 전력절약 기법을 지원하기 위해서 기존의 무선랜 기술과는 매우 다른 방법으로 단말을 관리한다.

무선통신에서 전력절약 방식과 단말을 관리하는 관리방식은 항상 중요한 연구 대상으로 관심을 받고 있다 [3, 4, 5]. 우리는 그 중에서 IEEE 802.11ah에서 제공하는 전력 절감을 위한 방식중 하나인 Restricted Access Window (RAW)에 대해서 관심을 가진다.

RAW 동작은 관리하는 모든 단말이 채널에 접근하기 위해서 경쟁하는 기존의 방식과는 달리 선택된 다수의 단말들을 특정 영역에서 경쟁하도록 함으로써 단말간 경쟁으로 인한 충돌을 완화하여 충돌로 인한 불필요한 채널 접근 시간을 줄이도록 하여 궁극적으로는 불필요한 단말의 소비전력을 절약하는 방식이다. 적절한 RAW 동작을 위해서 설정 값을 올바르게 관리하고 경쟁 단말을 분류해야한다. 이를 위해 올바른 동작 특성에 대한 이해가 필요하다. 이를 위해 우리는 모의실험을 수행한다. 모의실험을 통해 RAW 동작의 특성을 관찰함으로써 앞으로 계속해서 진행될 RAW 동작을 위한 단말관리방식 연구와 RAW 동작에 관한 수학적 분석을 위한 실험적인 결과를 먼저 보여준다.

이 논문의 나머지 부분은 다음과 같이 구성된다. 2장에서 RAW 동작에 대해서 설명하고 3장에서 RAW의 모의실험 구현과 시나리오에 대해서 간략히 설명한다. 그리고 모의실험을 통해서 얻은 결과가 의미하는 바에 대해서 자세히 알아볼 것이다. 마지막으로, 4장에서 결론을 맺는다.

## 2. Restricted Access Window (RAW) 동작

RAW는 여러 가지 동작 방식이 정의되어 있다. 그 중에서 우리는 Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)를 위한 RAW동작에 관심을 가진다. 무선 채널에서 backoff동작을 수행하는 단말은 RAW 구간이 시작될 때 현재 backoff와 관련된 인수를 저장하고 backoff와 관련한 모든 인수를 초기화한 후 RAW구간의 시작 지점부터 단말간 경쟁을 시작한다. 그리고 RAW 구간이 끝나면 이전에 저장된 인수를 다시 복원하여 사용한다.

RAW 구간은 여러 개의 RAW slot으로 구성되는 시간 범위이다. 그러나 RAW 구간동안 채널 접근을 위한 경쟁에 참여하는 단말의 수는 다음과 같은 이유에 의해서 제한적이다. IEEE 802.11ah 무선랜은 최대 8192개의 단말을 관리할 수 있기 때문에 관리 가능한 모든 단말에게 채널 접근을 허용하게 되면 경쟁 단말들은 극심한 경쟁을 경험하게 되고 채널 경쟁으로 인하여 채널 접근에 성공하기 오랜 시간 깨어서 지속적으로 채널 경쟁에 참여해야한다. 그러므로 채널 경쟁에 참여하여 깨어 있는 시간동안 계속해서 불필요한 에너지를 소비하게 된다. 채널 경쟁으로 인해 불필요하게 깨어있고 이로 인해 소비되는 전력을 절약하기 위해서 지정된 특정 구간 (RAW slot)에는 선택된 단말들에게만 채널 경쟁을 위한 접근을 허용한다. RAW는 이러한 배경 하에서 설계되었다.

IEEE 802.11ah Access Point (AP)는 단말의 집단을 선택하고 선택된 단말만이 패킷을 전송하거나 혹은 수신할 수 있는 RAW 구간을 지정한다. 즉 RAW를 통해 지정된 구간에서는 선택되지 않은 단말은 패킷의 송수신에 참여할 수 없다. RAW 구간을 AP로부터 할당받은 단말은 지정된 구간 동안 패킷을 전송하거나 Power Saving (PS)-Poll을 전송함으로써

패킷을 수신하는 동작을 수행할 수 있다.

RAW 구간의 할당은 RAW Parameter Set (RPS) Information Element (IE)에 관련된 값들을 지정함으로써 가능하다. 즉 RAW 시작 시간, RAW의 길이 그리고 할당되는 RAW와 관련된 단말의 Association ID (AID)를 지정한다. RPS IE는 비컨을 통해 전송될 수 있고 각 단말은 RPS를 통해 지정된 RAW 구간을 확인 한다.

전송할 패킷이 있거나 혹은 AP로부터 수신할 패킷이 있는 단말에게 RAW를 할당하는 것은 어쩌면 당연하다. 이를 위해서 Resource Allocation (RA) 프레임이 제안되었다. RA 프레임은 개별적인 단말의 스케줄링 정보를 가지고 있다. IEEE 802.11ah에서는 PS-Poll 프레임을 위해 Uplink Data Indication (UDI) 필드를 추가했는데 UDI는 단말이 AP로 보낼 패킷이 있는지를 나타내는 필드이다. AP로 전송할 패킷이 있으면 PS-poll 프레임을 전송할 때 UDI를 1로 설정해서 보내게 되는데 그러면 AP는 단말들이 전송하는 요구들을 수용하여 AP로 전송할 효과적인 시간 구간을 설정하고 이 값을 RAW에 반영하여 단말들의 uplink 전송 구간을 정할 수 있다 [1, 2].

RAW 구간에서 경쟁에 참여하는 단말이 전송 혹은 수신에 성공하면 더 이상 경쟁에 참여하지 않게 되므로 단말이 시간이 지남에 따라 경쟁에 참여하는 단말의 숫자는 줄어들게 된다. 중국에는 마지막 단말이 경쟁 없이 전송 혹은 송/수신에 성공하여 RAW의 구간이 끝나게 되는데 우리는 단말의 경쟁이 시작되는 시간부터 마지막 단말이 송/수신 동작이 완료되는 시간까지의 시간 길이를 이상적인 RAW 구간의 길이로 가정하고 이를 관찰하기 위한 실험을 실시한다.

## 3. 성능 평가

RAW 구간의 길이는 경쟁하는 단말의 수에 의해서 결정된다. 우리는 단말들이 경쟁을 경험할 때 패킷 전송이 모두 끝날 때까지의 길이를 모의실험을 통해서 관찰한다. 하나의 RAW slot 구간에서 단말의 경쟁으로 인한 효과를 관찰하기 위해 RAW slot의 길이와 RAW의 길이를 동일하게 두었다. 시뮬레이터는 Python 2.7 언어를 이용하여 직접 개발되었다. 효율적인 시뮬레이션을 위하여 우리는 단말이 uplink

전송을 위해서 무선 채널을 획득하기 위해 경쟁하는 조건을 고려하였으며 비이컨 메시지 전송등 부가적인 동작과 신호의 전송지연은 고려하지 않는다. 단말은 전송에 성공하면 ACK 프레임을 보내지만 충돌로 인하여 전송에 실패하면 ACK를 보내지 않는 것으로 가정한다. 우리는 단말이 전송시 충돌이 발생해도 계속 재전송을 시도하는 시나리오와 7번 재전송을 시도하면 전송을 포기하는 두 가지 시나리오로 모의실험을 수행하였다. 모의실험을 통해 얻은 RAW 구간 값은 주어진 개수의 단말이 경쟁을 시작하여 모든 단말이 경쟁에 성공할때 까지 걸리는 시간을 구한 값이다.

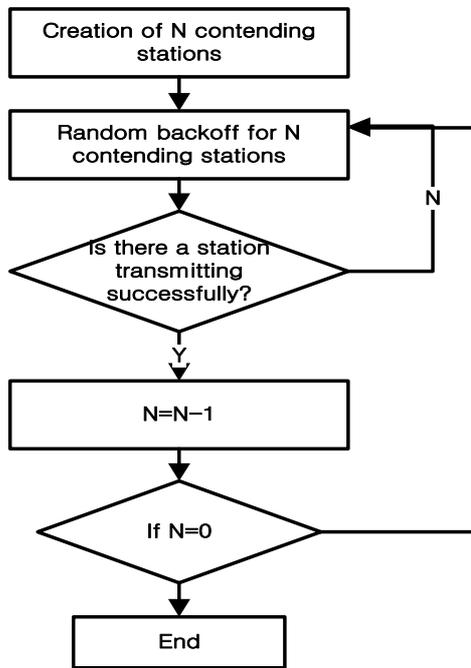


Fig. 3 Flow chart for the simulation.

Fig. 3은 구현된 시뮬레이터 동작의 순서도를 나타낸다. 먼저 N개의 단말을 설정하고 전송에 성공하는 단말이 존재할 때 까지 계속 채널 경쟁 동작을 수행한다. 만약 전송에 성공하는 단말이 존재하면 단말의 수를 하나 줄이고 다시 경쟁동작을 수행한다. 이러한 동작은 경쟁하는 단말이 없을 때 까지 계속 반복한다. 규격에서 정의한 대로 모의실험에서 사용된 최소 윈도우 값은 16이며 최대 윈도우의 값은 별다른 표시가 없는 한 1024이다. Table 1은 시뮬레이터 개발에 사용된 각종 인수 값을 나타낸다.

Table 1 Parameters for the simulations

Parameters	values	parameters	values
Data size	100 bytes	SIFS time	80 $\mu$ s
Transmission rate	600 kbps	DIFS time	212 $\mu$ s
PHY overhead	280 $\mu$ s	Slot time	52 $\mu$ s

모의실험을 통해 얻은 실험 결과는 Fig. 4-7을 통해서 나타내었다. Fig. 4는 최대 재전송 횟수가 7회로 주어질 때 경쟁하는 단말의 수가 100 이하인 경우 RAW 구간의 길이를 나타낸다. Fig. 4과 5는 각각 단말간 경쟁에 의해서 충돌이 발생할 경우 재전송을 최대 7회까지 허용할 때 RAW의 구간 길이와 단말이 전송에 실패할 확률을 나타내고 있다. Fig. 7는 단말의 재전송 횟수에 제한이 없는 경우에 대한 실험 결과를 보여준다.

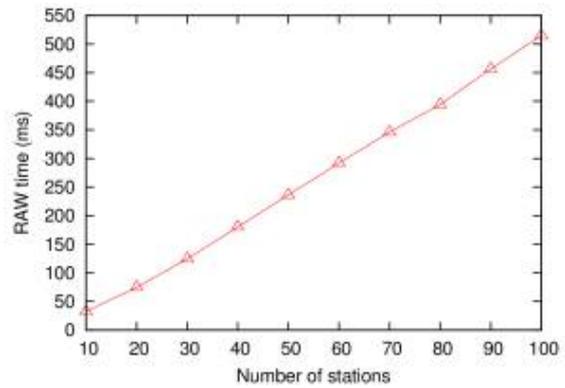


Fig. 4 The size of RAW period when maximum retransmission limit is 7 and the number of contending stations is smaller than 100.

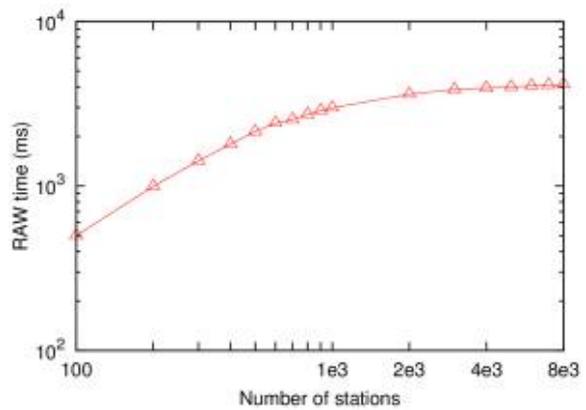


Fig. 5 The size of RAW period when maximum retransmission limit is 7 and the number of contending stations is greater than 100.

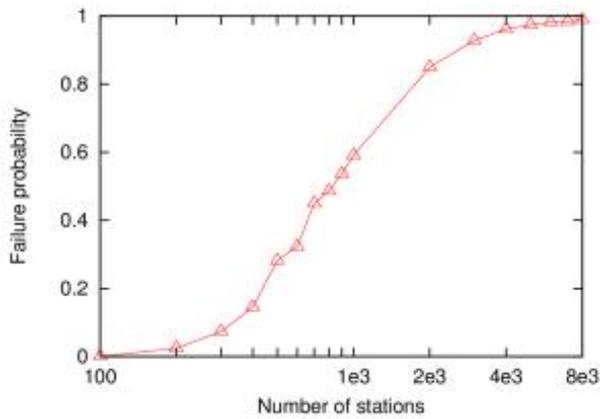


Fig. 6 Transmission failure probability when retransmission limit is 7.

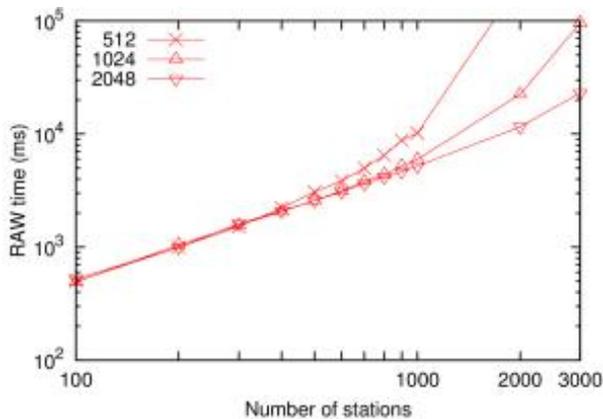


Fig. 7 The case when there is none of retransmission limit.

Fig. 4에서 X축은 경쟁하는 단말의 수를 Y축은 경쟁 상황이 끝날 때 까지 RAW 구간의 길이를 나타낸다. 그리고 X축의 의미는 나머지 성능 그래프에서 동일하게 적용된다. 그림에서 보는바와 같이 RAW의 길이는 경쟁하는 단말의 수에 따라서 일정하게 증가한다. 그리고 이때 단말이 전송에 실패할 확률 값은 단말의 수가 100 보다 작은 경우 0이며 단말의 수가 100인 경우 0.0015정도로 매우 낮다.

Fig. 5에서 보는 바와 같이 RAW 구간의 길이는 경쟁하는 단말의 개수가 8천개까지 증가하더라도 최대 약 4.2초 미만의 값으로 한계가 주어지지만 이 경우 Fig. 6에서 보는 바와 같이 거의 대부분의 단말이 7회의 충돌을 경험하고 전송을 포기하게 됨으로써 동작의 실효성이 없다. 그러므로 우리는 전송 실패 확

률의 허용 범위를 고려해야할 필요가 있다. 만약 전송 실패확률의 허용 범위를 최대 0.2로 선정한다면 Fig. 4에서 경쟁 단말의 수가 400개이고 최대 경쟁 윈도우의 크기가 1024일 때 전송실패 확률이 0.145가 되는데 이때 RAW 구간의 길이는 약 1.7초 정도가 된다.

Fig. 7에서 범례에 주어진 512, 1024 및 2048은 경쟁 윈도우의 최대 크기를 의미한다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 초기 주어진 단말의 수가 3천개 이상이 되면 RAW 구간의 길이는 10초 이상이 되므로 실용적인 측면에서 무의미하다. 그러므로 우리는 초기 단말의 수가 100개에서 3천개인 구간에서 실험을 실시하였다.

실험 결과를 통해 RAW 구간의 길이는 단말의 수가 천개 이하일 때 지수적인 크기로 일정하게 증가하는 것을 볼 수 있지만 천개보다 큰 경우에 증가 폭이 매우 커지는 것을 볼 수 있다. 또한 단말의 수가 천개 이하인 경우 경쟁윈도우의 최대값과 상관없이 RAW 구간 값은 큰 차이를 보이지 않지만 천개보다 큰 경우에는 경쟁윈도우의 최대값이 작으면 RAW 구간 값이 크게 증가하는 것을 볼 수 있는데 이것은 단말의 충돌에 의한 지연효과가 크게 나타나기 때문이다.

#### 4. 결론

우리는 모의실험을 통해 IEEE 802.11ah 기술 표준에서 제시한 RAW 구간 길이가 경쟁 단말의 수와 어떤 관계가 있는지 관찰하였다. 모의 실험 결과를 토대로 계속해서 RAW 구간 길이에 관한 수학적 분석 모델을 세우는 연구를 진행할 것이다. 수학적 분석 모델을 통해서 RAW와 관련한 다양한 인수에 대한 동작 특성을 좀 더 세밀하게 분석할 수 있게 될 것이다. 또한 모의 실험을 통해 단말의 수가 매우 많은 경우 전송을 포기함으로써 전송 성능에 많은 감쇄가 있음을 확인하였다. 이러한 특징은 향후 경쟁 단말의 수를 정하고 적절한 RAW의 관리 및 활용방안을 연구하는데 도움이 될 것이다.

## References

- [1] IEEE std. IEEE 802.11ah/D2.0 Part 11: wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: Amendment 6: Sub 1 GHz License Exempt Operation, June 2014.
- [2] W. Sun, M. Choi, and S. Choi, "IEEE 802.11 ah: A Long Range 802.11 WLAN at Sub 1 GHz," *Journal of ICT Standardization*, Vol. 1, May 2013.
- [3] H.-C. Cha, "A design of an energy-efficient application protocol for the sensor networks," *J. of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 19, No. 2, Apr. 2014.
- [4] J. T. Ryu, W. K. Hong, B. Ho Kang, and K. K. Kim, "A new interfacing circuit for low power asynchronous design in sensor systems," *J. of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 19, No. 1, Feb. 2014.
- [5] K. Choi and H. Kim, "A caching scheme to support session locality in hierarchical SIP networks," *J. of the Korea Industrial Information Systems Research*, Vol. 18, No. 1, Feb. 2013.



진 성 근 (Sunggeun Jin)

- 정회원
  - 경북대학교 전자공학과 학사
  - 경북대학교 전자공학과 석사
  - 서울대학교 전기·정보공학부 박사
  - 대구대학교 컴퓨터·IT공학부 조교수
- 관심분야 : 무선랜, 전력절감방식, 이동통신