

논문 2011-1-29

광대역 전술 Ad-hoc Network를 위한 DAP-NAD 가용성에 대한 연구

Research on the Feasibility of DAP-NAD for Wideband Tactical Ad-hoc Network

한세원*, 김병서**, 안홍영**

Sewon Han, Byung-Seo Kim, Hong-Young Ahn

요약 본 논문은 차세대 전술 통신을 위한 웨이브폼인 WNW(Wideband Network Waveform)하에서의 매체접근 프로토콜로서의 MIL-STD-188-220 프로토콜의 사용 가능성에 대하여 IEEE 802.11e 기반의 프로토콜과의 비교, 모의실험을 통하여 평가하였다. 본 논문에서는 모의실험 평가를 통하여 MIL-STD-188-220 프로토콜의 특정 환경에서 IEEE 802.11e 기반의 프로토콜보다 나은 성능을 보여 줌으로써 사용 가능성을 보인다.

Abstract This paper evaluates on the feasibility of MIL-STD-188-220 protocol as a medium access protocol over WNW(Wideband Network Waveform) by simulating and comparing with IEEE 802.11e-based protocol. WNW is newly designed waveform for next-generation broadband tactical communication system. This paper shows the feasibility of using the MIL-STD-188-220 protocol that shows better performance than IEEE 802.11e-based protocol on the particular environment.

Key Words : MIL-STD-188-220, DAP-NAD, IEEE 802.11, Medium Access Control, Network Access Delay

1. 서 론

미래 전장은 네트워크 중심전 (NCW : Network Centric Warfare)의 양상으로 발전될 것이라 예측되고 있다. 이러한 NCW를 위한 차세대 전술 무선 망 개발을 위하여 미국은 JTRS (Joint Tactical Radio System) 그리고 한국은 그림 1에서 보이고 있는 TICN (Tactical Information Communication Network) 이라는 전투 망 체계를 확립하여 다양한 통신 장비들의 개발에 박차를 가하고 있다. 이러한 차세대 통신망에서는 다양한 정보의 습득 및 활용이 가능하고 유연하면서도 확장성이 가능한 광대역, Ad-Hoc 네트워크 기반의 형태로 전술 통

신 망을 진화시키고 있다. 이러한 진화의 과정에 새로운 물리계층의 웨이브폼인 WNW (Wideband Network Waveform)가 있다. WNW에 대한 정확한 Specification에 대한 정보는 참고문헌 [1]에서의 L3 Communication에서 제작한 SDR-4000과 참고문헌 [2]에서의 내용을 통하여 OFDM 기반의 웨이브폼 일 것이며 한국형 WNW에서는 2 Mbps가 목표 속도 인 것을 알 수 있다.

한국형 TICN의 구조에서, 전투병들에 의한 최전방에서의 통신은 TMMR (Tactical Multi-band Multi-role Radio)에 의해 이루어진다. TMMR은 기존의 무전기 웨이브폼들(AM, FM)과 WNW을 선택적으로 운용 가능하도록 하고, 추후 개발되는 웨이브폼도 적용 가능하도록 SDR (Software Define Radio)를 기반으로 개발된 것이다. 현재 한국군의 TMMR은 탐색개발을 거쳐 구현에 성공하였으나 매체접근 제어 프로토콜과 라우팅 프로토콜

*준회원, 홍익대학교 전자전산공학과

**정회원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

접수일자: 2010.11.1 수정일자: 2011.1.5

게재확정일자: 2011.2.11

에 대하여는 현재 연구가 진행 중인 것으로 알려져 있다. 따라서 본 논문에서는 전술통신의 대표적인 프로토콜인 MIL-STD-188-220D with change1과 Ad-Hoc 네트워크에서의 대표 프로토콜인 IEEE 802.11e을 비교 분석하고자 한다. 미군의 통신 프로토콜인 MIL-STD-188-220D with Change1 (MIL-STD-188-220D with Change1은 MIL-STD-188-220프로토콜의 최신 버전으로 본 논문에서는 편의상 MIL-STD-188-220D로 사용하고자 한다)은 협대역 기반의 통신 프로토콜로서 다양한 연구^{[3]-[4]}가 있어왔으며, 표준 문서^[5]가 공표되었다. 본 논문에서는 협대역에서 사용되어진 MIL-STD-188-220D를 WNW에서 사용 가능한지의 여부를 IEEE 802.11e와의 비교를 통하여 평가하고자 한다. 이는 MIL-STD-188-220D가 TMMR의 AM/FM에서는 사용되어질 것이기에 WNW를 위한 새로운 프로토콜의 탑재 보다는 하나의 매체 접근 프로토콜로 다양한 웨이브폼을 수행하는 것이 나은 방법이라 판단하기 때문이다.



그림 1. TICN의 구조
Fig. 1. Architecture of TICN

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 MIL-STD-188-220D with change1의 매체 접근 기법을 간략히 살펴보고, 3장에서는 IEEE 802.11 표준에서의 매체 접근 기법에 대하여 알아본다. 4장에서는 비교 평가를 위한 모의실험의 환경에 대하여 기술한 뒤, 5장에서 평가에 대한 결과에 대하여 논의하고, 마지막으로 결론을 맺음으로서 논문을 마친다.

II. MIL-STD-188-220D with Change1

1. Network Access Control

MIL-STD-188-220D는 다수의 단말들이 다중으로 매체에 접근하여 통신을 하는 네트워크상에 활동 중인 전

송이 있는지 발견하고, 전송 시 충돌 없이 데이터를 전송을 실행하기 위하여 Network Access Control (NAC)을 정의한다.

NAC는 4가지 기능들을 기반 한다. 기능들은 Net-Busy Sensing, Response Hold Delay, Timeout Period, Net Access Delay (NAD)로 구성되어 있다. Net-Busy Sensing은 채널상의 시그널의 유무를 결정한다. Response Hold Delay는 단말에 Acknowledgement (ACK)가 되돌아오기 전까지의 Delay를 정의한다. Timeout Period는 모든 단말들이 NAD를 스케줄하기 전에 반드시 대기하여야 하는 시간을 정의하며, NAD는 전송하려는 프레임이 있는 단말이 현재 다른 단말에 의하여 진행 중인 전송이 완료된 후에 자신의 프레임을 전송하기 위하여 대기해야 하는 타임 슬롯의 개수를 계산한다. 본 논문에서는 위에서 언급한 4가지의 기능들 중 Medium Access Control (MAC) 프로토콜과 같이 매체 접근 방식을 기술하고 있는 NAD에 초점을 두었다.

NAD는 IEEE 802.11 표준^[6]에 정의되어 있는 Back-off 알고리즘과 매우 흡사하며, 전송 시 발생할 수 있는 충돌의 횟수를 최소화하기 위하여 디자인 되어 있다. [6]에서 정의하고 있는 Carrier Sense Multiple Access (CSMA)와 같이 전송해야할 프레임이 있는 단말은 먼저 채널의 상태를 검사한 후, 채널 상에 전송 중인 프레임이 없다면 전송하도록 하는 것이다. 이러한 채널상의 전송 프레임의 유무를 감지하기 이전에, 전송할 프레임이 있는 단말은 우선, NAD에 의해 정의된 타임 슬롯의 수만큼 대기한 후에 채널을 감지하고 전송 중인 프레임이 없는 경우에 전송을 실행한다.

NAC에서, NAD는 다시 총 6가지 기법을 정의하고 있다. 각 기법에 따라 NAD 슬롯의 개수는 다르게 계산되며, 6가지 기법에는 Random Net Access Delay (R-NAD), Prioritized NAD (P-NAD), Hybrid NAD (H-NAD), Deterministic Adaptable Priority NAD (DAP-NAD), Data and Voice NAD (DAV-NAD), Radio Embedded NAD (RE-NAD)가 있다.

본 논문은 6가지 기법들 중 가장 효율성이 좋고 신뢰할 수 있는 네트워크 접근 기법으로 알려져 있으며, 대부분의 Combat Net Radio (CNR)에서 사용되는 DAP-NAD에 대해 논하였다.

가. Deterministic Adaptable Priority NAD

DAP-NAD에서는 R-NAD, P-NAD, H-NAD와 같이

CSMA 방식을 사용하기 보다는, 미리 결정된 순서에 의해 단말들은 네트워크에 접근을 하며, 그 순서는 정해진 규칙에 의해 하나의 전송 주기 이후 재정의 된다. 각 단말들은 채널에 접근하기 위하여 순서를 정하는 명령을 위한 First Station Number (FSN)를 갖는데, FSN 1을 가진 단말이 먼저 채널에 접근하고, 그 다음 순차적으로 2, 3, ... 순으로 채널에 접근을 하며, FSN이 다시 1부터 시작하는 것을 하나의 주기로 본다. DAP-NAD에서는 Urgent, Priority, Routine 순으로 세 가지 네트워크 우선순위를 정의한다. 첫 번째 주기 동안, 네트워크 우선순위는 Urgent로 설정되어 이 주기 동안에는 오직 Urgent 프레임만 전송될 수 있다. 만약 첫 번째 주기 동안 아무런 Urgent 프레임 전송이 없다면, FSN 1을 가진 단말에서부터 새 주기가 시작되며, 네트워크 우선순위는 Priority로 감소한다. 이 주기 동안에는 Urgent와 Priority 프레임이 전송이 될 수 있다. 네트워크 우선순위가 Priority 주기에서도 아무런 전송이 없다면 네트워크 우선순위는 Routine으로 감소하며, 새로운 주기로 네트워크 접근을 시도한다. Priority 우선순위와 마찬가지로 네트워크 우선순위가 Routine일 경우 각 단말들은 Urgent, Priority, Routine 프레임을 전송 할 수 있다. 이러한 주기의 네트워크 우선순위는 가장 최근에 전송되는 프레임의 우선순위에 맞추어 재설정되고, 전송 후 FSN은 규칙에 의해 업데이트 된다.

DAP-NAD에서는 Bump 슬롯을 정의한다. Bump 슬롯은 네트워크 우선순위가 Urgent가 아닌 경우, 때 전송 후에 삽입 될 수 있으며, 이 슬롯 동안에는 Urgent 프레임을 가진 어떤 단말이든 채널에 접근 하여 프레임을 전송할 수 있다. 따라서 Bump 슬롯에서는 유일하게 충돌이 일어날 수도 있다.

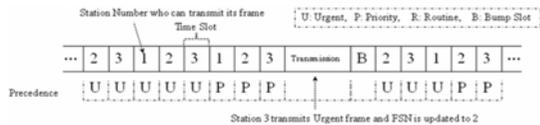


그림 2. DAP-NAD 접근 기법의 예
Fig. 2. The example of DAP-NAD access method

III. IEEE 802.11-based Standard

IEEE 802.11 표준^[6]에서 정의하고 있는 MAC 계층의

구조는 DCF (Distribution Coordination Function)와 PCF (Point Coordination Function)가 있다. 기본적으로 비동기 데이터 전송 서비스를 제공하지만, 선택적으로 시간 제약적 서비스를 제공하기도 한다. 전자의 경우 무선 단말들이 오직 Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance (CSMA/CA) 기법에 의해 자유 경쟁만으로 무선 매체를 사용할 기회를 얻는 방식이고, 후자의 경우 폴링 기법을 이용하여 Access Point(AP)가 무선 단말들에게 순서를 정해주고 이에 따라 무선 매체를 사용할 기회를 얻는 방식이다. 이중, DCF는 IEEE 802.11 MAC에서 사용되는 기본적인 매체 접근 방식이며 이 방식은 경쟁기반의 서비스를 제공하는 접근 방법으로 Random Back-off 알고리즘과 Inter-Frame Space(IFS)를 사용한다. 그림 3은 [6]에서 정의하고 있는 기본적인 매체 접근 기법을 나타내고 있다.

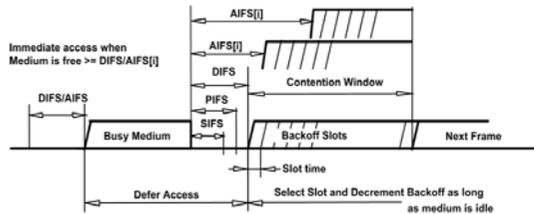


그림 3. IEEE 802.11에서의 기본 접근 기법
Fig. 3. Basic access method in IEEE 802.11

전송할 프레임을 가진 각 단말들은 매체의 사용 유무를 체크 한 뒤, 최소 매체 유희시간인 IFS 동안 대기하고 매체 접근에 있어서 분산의 효과를 갖기 위해 Back-off에 들어간다. IEEE 802.11 표준의 1999년 초판에는 프레임에 대한 우선순위가 존재하지 않았으며 모든 프레임에 대하여 동일한 Back-Off 알고리즘이 적용되었다. 반면, 초판을 발전시킨 표준 문서^[6]는 프레임의 우선순위를 반영하였고, 이에 따라 다르게 정의된 IFS와 Contention Window(CW)를 사용한다. 높은 우선순위의 프레임은 짧은 IFS와 좁은 범위의 고정된 CW에서 Back-off를 실행한다. 반면 상대적으로 낮은 우선순위의 프레임은 긴 IFS와 Exponential로 증가하는 CW에서 Back-off를 실행한다. 매체에 접근함에 있어 프레임은 우선순위에 따라 서로 다른 대기 시간을 갖지만, 전송을 위해서는 결국 우선순위는 상관없이 매체에 접근하려는 다른 단말들과 동등하게 경쟁에 참여해야하므로 충돌에는 항상 노출이 되어 있다.

표 1. 모의실험 파라미터

Table 1. Simulation Parameters

Parameter	Value
MAC header	272 bit
PHY header	46 bit + Padding Bits
Preamble	16 μ s
ACK packet time	44 μ s
Channel bit rate	6 Mbps
Slot time = NAD slot time	9 μ s
SIFS, DIFS	16 μ s, 34 μ s
Urgent AIFS, Routine AIFS	34 μ s, 79 μ s
Urgent type frame	(CW _{min} +1)/4+1,
CW _{min} , CW _{max}	(CW _{max} +1)/2+1

IV. 성능 비교평가를 위한 모의실험 환경

MIL-STD-188-220D 표준^[5]에서 정의하고 있는 채널 접근 기법들은 모두 협대역 시스템에서의 사용을 위하여 디자인 되었다. 그러나 앞서 언급했듯이, 본 논문은 광대역 채널 상에서도 이 프로토콜의 동작 여부와 기존의 IEEE 802.11 기반의 프로토콜과의 성능 비교하는 것이 초점이다. 본 비교 연구를 위해 기존의 IEEE 802.11 표준^[6]에 정의된 일반적인 접근 기법과, Quality of Service(QoS)를 지원하는 IEEE 802.11e의 접근 기법을 비교 대상으로 사용하였다. 또한, MIL-STD-188-220D에서의 DAP-NAD 기법에서 프레임의 우선순위에 따라 다른 전송 기회를 갖는 특성을 갖기 때문이다. 표 1에서 보이는, 성능 비교를 위한 모의실험에서 사용되어진 대부분의 파라미터들은 IEEE 802.11 표준^[6]에 근거하였다. 본 논문의 초점은 매체 접근 방식, 자체의 성능 평가기에 동등한 비교를 위하여 MIL-STD-188-220D 표준에서의 프레임을 IEEE 802.11 표준에서의 프레임과 유사하다고 가정하였고, 따라서 표 1의 파라미터들을 MIL-STD-188-220D에서의 프레임에 적용하였다.

MIL-STD-188-220D에는 IEEE 802.11 기반의 프로토콜과는 달리, 프레임의 우선순위에 따라 ACK의 사용 유무가 다르고, 그에 따라 제공되는 서비스의 차이가 있기 때문에 IEEE 802.11에서와 마찬가지로 표준^[5]에서 정의하고 있는 ACK를 사용하는 Coupled Acknowledgement Service를 적용하였다. 또한 MIL-STD-188-220D에는 3가지(Urgent, Priority, Routine) 타입의 프레임을 제시하고 있다. 그러나, 본 모의 실험에서는 Urgent와 Routine 두 종류의 프레임 타

입에 대하여 성능을 비교 분석하였다.

비교 연구를 위해 본 논문에서의 사용 된 모의실험은 참고문헌 [7]에서 사용된 event-driven 방식의 C 프로그램이 사용되었다. 본 모의실험에서는 우선순위가 반영된 데이터들에 대한 전송의 효율성에 대하여 분석하는데 초점이 맞추어져 있으므로, 채널로 인한 오류는 고려하지 않았으며, 모든 단말들은 1 hop 통신이 가능하도록 구성하였다.

V. 비교 결과

그림 4는 단말의 수가 늘어남에 따라, 모든 단말에서 생성된 우선순위별 프레임들의 전송 비율을 나타내고 있다. IEEE 802.11의 기본 매체 접근 방법은 프레임의 서로 다른 우선순위에도 불구하고, 이를 위한 차별된 매체 접근 기법이 없기 때문에 비슷한 비율의 전송률을 보인다. 반면, 우선순위에 따라 각기 다른 매체 접근 기법이 존재하는 IEEE 802.11e와 DAP-NAD 기법은 프레임의 우선순위에 따라 다른 양상의 전송률을 보이고 있다. 비록, QoS를 보장한다는 IEEE 802.11e 기반의 프로토콜이 프레임의 타입에 따라 우선순위를 달리 주기 위해 각각 다른 CW의 크기로 인한 Back-off 알고리즘이 적용되었지만, DAP-NAD 기법이 전체적으로 보다 나은 성능을 보여주었다. 이는 DAP-NAD에 존재하는 Bump 슬롯에 의한 효과로, 이 슬롯에서 전송되는 Urgent 프레임은 네트워크 우선순위를 다시 Urgent로 리셋하기 때문에, 생성되는 대부분의 Urgent 프레임은 보다 많은 전송 기회를 갖게 되고, 전송이 되기 때문이다. 심지어 이것은 Routine 프레임의 전송 기회에도 영향을 미치게 되어 IEEE 802.11e 기반의 매체 접근 기법 보다 나은 성능을 보여줄 수 있는 것이다.

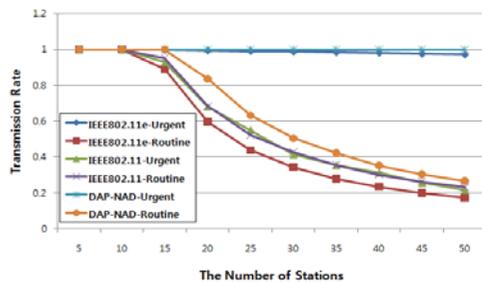


그림 4. 단말의 증가에 따른 평균 전송 비율

Fig. 4. Average Ratio of Transmitted Frames over Generated Frames over all Stations

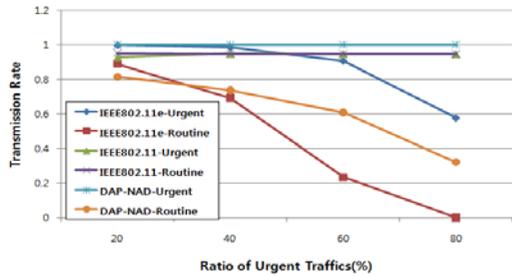


그림 5. Urgent 트래픽의 증가에 따른 평균 전송 비율
Fig. 5. Average Ratio of Transmitted as a Function of Ratio of Urgent Traffic

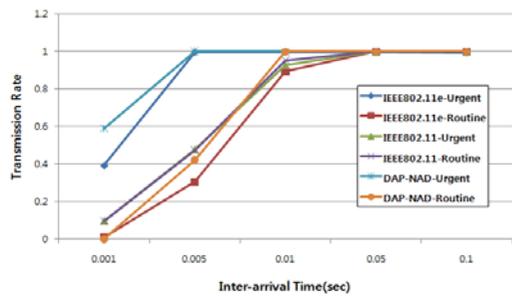


그림 6. 트래픽의 변화량에 따른 평균 전송 비율
Fig. 6. Average Ratio of Transmitted as a Function of Inter-Arrival Time

그림 5와 그림 6은, 전송 환경에서 최소 그룹 단위의 인원을 고려하였고, 비교를 위해 전체 단말 수를 15개로 고정을 시켜놓은 상태의 결과이다.

그림 5는 전체 단말에서 Urgent 프레임의 전송하는 단말의 비율에 따라, 모든 단말에서 생성된 우선순위에 따른 프레임들의 전송 비율을 나타내고 있다.

IEEE 802.11은 앞서 언급했던 바와 마찬가지로 발생하는 프레임의 우선순위를 위한 별도의 기법이 존재하지 않기 때문에 비슷한 비율의 전송률을 보이고 있다. 그러나 프레임의 우선순위를 매체 접근하는데 반영한 다른 두 기법들은 Urgent 우선순위를 전송하는 단말의 수가 많아질수록 전송률이 감소하는 양상을 보이고 있다. 주목할 만 한 점은 IEEE 802.11e 기법을 사용하는 Routine 우선순위의 프레임은 네트워크 내에 Urgent 프레임이 80% 이상이 되면 거의 0에 가까운 전송률을 보이고 있는 것이다.

그림 6은 각 단말에서 생성되는 프레임들의 Inter-arrival Time에 따라, 즉 발생하는 트래픽의 양에 따른,

모든 단말에서 생성된 우선순위에 따른 프레임들의 전송 비율을 나타내고 있다.

세 가지 기법 모두, 프레임 타입에 상관없이 프레임의 생성 주기가 짧아질수록, 즉, 네트워크 내 트래픽이 증가할수록 낮은 전송률을 보이고 있다. 그러나 네트워크 내에 Urgent 프레임의 수가 많아지거나 전체적으로 트래픽이 많아짐에도 불구하고, DAP-NAD 기법은 가장 나은 성능을 보여주고 있다. 이는 IEEE 802.11e 기반의 프로토콜과 DAP-NAD 기법이 우선순위에 따른 각각의 프레임을 처리하는 방식이 다른데서 오는 결과로 해석할 수 있다.

모의실험 결과, 전송하려는 프레임에 우선순위를 반영한 매체 접근 기법들에서 공통의 문제점이 발견되었다. 그것은 상대적으로 높은 우선순위 프레임의 전송이 많아지거나, 망 전체의 트래픽이 증가할 경우, 상대적으로 낮은 우선순위의 프레임들은 전송 기회를 적게 갖거나, 혹은 프레임의 Life Time 때문에 기회조차 얻지 못하고 프레임의 Drop이 발생하는 것이다. 결과적으로 상대적으로 낮은 우선순위 때문에 전송해야 할 프레임의 Starvation 효과가 나타나게 되는 것이다. 이를 해결하기 위하여 추가적인 연구가 필요할 것이다.

VI. 결론

한·미 양국의 차세대 전송 통신망에서는 OFDM에 기반한 WNW의 사용을 고려하고 있다. 이에 본 논문에서는 WNW의 물리계층하에서 매체접근방식 프로토콜로서 기존의 대표적인 전송 통신 프로토콜인 MIL-STD-188-220D 프로토콜과 상용 WLAN의 대표인 IEEE 802.11e 프로토콜들을 후보로 두고 이들의 프로토콜을 비교, 분석하였다. 모의실험을 통하여 특정 환경하에서 MIL-STD-188-220D 에 정의된 DAP-NAD 기법이 IEEE 802.11e의 기법보다 나은 성능을 보여주었다. 그러나 좀 더 일반화된 상황에서의 성능 우위를 비교하기 위해서는 구체적이며 실질적인 전송 환경 파라미터를 이용한 연구가 진행되어야 할 필요가 있다.

참고 문헌

[1] http://www.spectrumsignal.com/products/pdf/wnw_starter_kit.pdf

- [2] 손혜정, 권태욱, "TICN 체계하 MANET 프로토콜 분석," 한국군사과학기술학회지, 제12권, 제4호, pp. 469-475, 2009년 8월.
- [3] D. J. Thunte, "Improving Quality of service for MIL-STD-188-220C," Proc. of Military Communications Conference, pp. 383-844, Oct. 28-31, 2001.
- [4] J. Yang and Y. Liu, "An Improved Implicit Token Passing Algorithm for DAP-NAD Proc. of , pp. 1-4, Sept. 22-24, 2006.
- [5] MIL-STD-188-220D with Change1 "Digital message transfer device subsystems," June. 23 2008.
- [6] Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications, IEEE Std 802.11, June. 12, 2007.
- [7] B. S. Kim, S. W. Kim, and R. L. Ekl, "OFDMA-based Reliable Multicasting MAC Protocol for WLANs," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 57, no. 5, pp. 3136-3145, Sept. 2008.

※ 본 연구는 이 논문은 2009년도와 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (20100028002)(20100002483).

저자 소개

한 세 원(준회원)



·2010년 홍익대학교 컴퓨터정보통신 공학과 공학사
 ·2010년 ~ 현재 홍익대학교 전자전산 공학과 석사과정
 <주관심분야 : Wireless Network, Wireless Routing Protocol, Mobile Ad-hoc Network, Military Communication Network>

김 병 서(정회원)



·1998년 인하대학교 전기공학과 공학사
 ·2001년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering M.S.
 ·2004년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering Ph.D.
 ·1997년 12월 ~ 1999년 5월 한국 모토로라, CIM Engineer.
 ·2005년 1월 ~ 2007년 8월 Motorola Inc. Sr. Engineer.
 ·2007년 9월 ~ 현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 조교수
 <주관심분야 : Wireless Networks, Protocol Design, Resource Allocation, Wireless Multicasting, Wireless Security>

안 홍 영(정회원)



·1975년 서울대학교 전자공학과, 공학사
 ·1986년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering M.S.
 ·1991년 University of Florida, Dept. Electrical and Computer Engineering Ph.D.
 ·1975년 ~ 1984년 국방과학연구소 선임연구원
 ·1984년 ~ 1991년 University of Florida, Research Assistant
 ·1991년 ~ 현재 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 교수
 <주관심분야 : Wireless Networks, Ad-hoc Networks, Sensor Networks, Wireless Internet, VOIP, 4G Mobile Communication>