

생존성 향상을 위해 신뢰성 및 저피탐을 보장하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법

준회원 김 정 훈*, 정회원 정 준 우**, 김 중 빈*, 종신회원 임 재 성**

Reliable Multicast MAC Protocol with Low Probability of Detection for Survivability in Tactical Ad-hoc Networks

Jeonghun Kim* *Associate Member*, Junwoo Jung**, Jungbin Kim* *Regular Members*,
Jaesung Lim** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.11 기반의 군 전술 네트워크에서 신뢰성을 보장하면서 망 생존성 향상을 위해 저피탐 성능을 향상시킬 수 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜을 제안한다. RTS-CTS 기법을 사용하는 IEEE 802.11 기반의 멀티캐스팅 MAC에서는 신뢰성을 보장하기 위해 송신측이 보낸 RTS와 DATA의 수신 확인을 위한 모든 수신 단말의 CTS와 ACK가 보내져야 한다. 제안하는 프로토콜에서는 연속적인 CTS와 ACK 대신 MC-DS/CDMA 기술을 이용하여 병렬적인 CTS와 ACK를 전송함으로써 전송 오버헤드를 낮출 수 있다. 또한 이 기법을 적어 아군의 신호를 탐지하려고 시도하는 전술환경에 적용시 코드를 통해 전송 파워를 제어함으로써 확산 이득을 통해 송신 단말은 다수의 수신 단말로부터 전송된 신호를 받을 수 있지만, 적 검파기에는 탐지 확률이 낮아짐으로 인해 저피탐 성능 역시 얻을 수 있는 장점이 있다. 제안하는 기법은 IEEE 802.11a 기반 시뮬레이션을 통해 기존에 연속적으로 CTS와 ACK를 전송하는 신뢰성 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜보다 시스템 처리량, 메시지 전송 지연 시간, 저피탐 성능에서 신뢰성을 유지하면서 효율성과 생존성을 동시에 높일 수 있음을 보여준다.

Key Words : Multicast MAC, Reliability, LPD, MC-DS/CDMA, Tactical Ad-hoc Networks

ABSTRACT

In this paper, we propose a new reliable multicast MAC protocol over the IEEE 802.11-based tactical ad hoc networks. The major contribution compared to the previous reliable multicast schemes using consecutive CTSs/ACKs is that the proposed scheme can send multiple CTS/ACK messages concurrently assisted by MC-DS/CDMA mechanisms. When multiple receivers receive the RTS/DATA message from a sender, they respond with the CTS/ACK message spread with pre-assigned code in the same time interval. The proposed scheme can reduce the overhead of multiple CTSs/ACKs. It is also possible to alleviate the received signal strength that the enemy detector and thus it improves low probability of detection performance. Through simulations and analysis, the proposed scheme outperforms that of the multiple CTSs/ACKs in terms of the throughput, transmission delay and low probability of detection

※ 이 논문은 2006년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (KRF-2006-311-D00685)

* 아주대학교 일반대학원 NCW공학

** 아주대학교 정보통신전문대학원 정보통신공학 ({kuraterry, junu000, jbkim, jaslim}@ajou.ac.kr)

논문번호 : KICS2010-07-354, 접수일자 : 2010년 7월 30일, 최종논문접수일자 : 2010년 10월 21일

I. 서 론

21세기의 전쟁은 정보화 시대의 패러다임에 맞추어 전쟁의 수단과 방식이 플랫폼 중심에서 최첨단 무기 체계와 COTS (commercial off-the-shelf) 요소가 결합된 네트워크 중심의 수행방식으로 변화하고 있다. 이른바 네트워크 중심전이라는 의미를 가진 NCW (network centric warfare)라고 불리는 방식이다¹⁾. NCW 기반의 전장 환경에서는 전쟁에서 우위를 선점하고자 COTS라는 개념하에 상용에서 역량을 인정받은 기술들을 군 환경에 도입하여 적용하려고 시도하고 있다. 세계 전문가들은 미래전 양상이 COTS기반 첨단 정보통신에 근거한 정보전 및 정밀 유도무기에 의한 정밀·타격전으로 전개될 것이라고 분석하고 있다²⁾.

일반적으로 전장 환경은 인프라 구축이 힘든 전술 네트워크를 가정하고 있으며, ad-hoc 네트워크는 예로부터 이러한 열악한 전술 네트워크를 지원하기 위한 목적으로 개발되었다. 인프라가 부족한 환경에서 일대일 통신을 지원해야 하는 ad-hoc 네트워크에서는 TDMA (time division multiple access) 나 FDMA (frequency division multiple access)와 같은 자원할당 기반의 MAC (medium access control) 프로토콜 방식보다 랜덤 접속 기반의 MAC 프로토콜 방식을 선호한다. 실제, ad-hoc을 지원하기 위해 개발된 다수의 MAC 프로토콜 기술들은 네트워크 환경에 유연하게 대처할 수 있어 IEEE 802.11 WG (working group)에서 채택된 CSMA/CA (carrier sensing multiple access/collision avoidance) 기반으로 개발되었다³⁾.

멀티캐스팅 기술은 인터넷을 기반으로 일대다 혹은 다대다로 동작하는 음성/화상통화 또는 분산 소프트웨어 같은 애플리케이션을 지원하기 위해 개발되었다. 무선 ad-hoc 환경에서 이러한 멀티캐스팅 기술은 동시에 다수에게 전송하는 특징으로 에너지 절약, 효율적인 대역폭 사용 등의 이득으로 인해 많은 연구가 진행되고 있다⁴⁾. IEEE 802.11 표준 또한, 유니캐스팅과 함께 멀티캐스팅을 명시하고 있으나 대부분의 표준은 유니캐스팅 환경에 한정하고 있으며, 멀티캐스팅 기술에 대한 그 동안의 연구 또한 MAC 계층 보다는 상대적으로 상위 계층인 네트워크 계층 혹은 트랜스포트 계층에서 연구되어 왔다^{5,6)}.

멀티캐스팅에 관련된 MAC 프로토콜 연구는 IEEE 802.11 기반의 WLAN (wireless local area

networks) 혹은 무선 ad-hoc 환경에서 주로 연구되고 있다. 현재까지 다양한 멀티캐스팅 MAC 프로토콜들⁷⁻¹⁰⁾이 제안되었다. 제안된 멀티캐스팅 MAC 프로토콜들은 MAC 오버헤드 혹은 신뢰성 측면에서 전술환경에 적용하기에 어려운 점이 있다. 더욱이, 전술 네트워크에서 필수적인 저피탐 (LPD: low probability of detection) 능력을 제공하고 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기술은 현재까지 제안되어 있지 않다. 이러한 저피탐 기술은 신뢰성과 효율성을 유지하는 동시에 전송 신호의 에너지를 낮추어 적으로부터 아군의 신호를 은닉하는 역할을 수행하여야 한다. 실제 상용의 무선통신 기술의 COTS 요소를 적용한 전술 네트워크에서는 이러한 저피탐을 제공하는 waveform에 대한 개발이 부족하다. 예를 들어, 앞서 언급한 IEEE 802.11 기반의 신뢰성을 제공하는 [7-9]에 언급된 RTS/CTS (request-to-send/clear-to-send) 기반의 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기술은 다수의 단말로부터 전송되는 연속된 CTS와 ACK(acknowledgement)의 누적된 전송신호 세기의 합으로 인해 적 검파기 (radiometer)에 쉽게 노출되는 단점이 있다.

본 논문에서는 전장 환경에서 망 생존성 향상을 위해 신뢰성 및 저피탐을 제공하는 MC-DS/CDMA (multi-carrier direct sequence/code division multiple access) 기반 멀티캐스팅 MAC 프로토콜을 제안한다. 멀티캐스팅 그룹에 속해있는 다수의 단말들이 RTS/DATA 메시지를 수신한 경우, 각 단말들은 MC-DS/CDMA 기반의 코드를 이용하여 확산한 CTS/ACK 메시지를 동시에 송신 단말로 응답한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 그룹에 속한 단말들의 CTS/ACK 메시지들을 한 번에 전송함으로써 MAC 전송 시간을 단축시켜 오버헤드를 줄이는 장점을 갖는다. 또한 확산을 통해 전송된 메시지는 확산 이득만큼 전송 신호의 세기 감소로 인해 적 검파기로부터의 피탐 확률을 낮출 수 있는 장점을 갖는다. 제안하는 기법은 모의실험 및 성능분석을 통해 검증하였다. 결과 언급한 MAC 오버헤드를 상당히 감소시킬 수 있었고, 송신 파워를 감소시킴으로써 저피탐 성능을 확보하고 전장 환경에서 망 생존성을 향상시킬 수 있었다.

제 2절에서는 제안하는 기법과 관련된 기존에 제안된 멀티캐스팅 MAC 프로토콜들을 분석하고, 제 3절에서는 본 논문에서 제안하는 기법을 상세히 설명한다. 제 4 절과 제 5 절에서는 제안하는 기법의 성능분석과 그 결과를 모의실험한 결과를 비교, 분

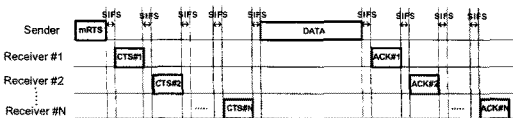
석한다. 제 6 절에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

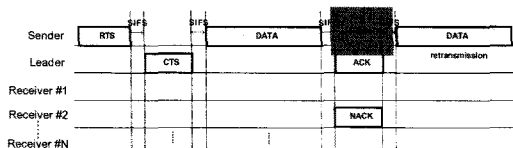
2.1 IEEE 802.11기반 멀티캐스팅 MAC 프로토콜

신뢰성 보장을 위한 멀티캐스팅 MAC 프로토콜으로 MACA (multiple access collision avoidance) 기법^[7]과 MMP (multicast-aware MAC protocol) 기법^[8]이 제안되었다. 이들 기법들은 전송 메시지의 신뢰성 보장을 위해 그림 1(a)와 같이 멀티캐스팅 메시지 수신단말 개수만큼 CTS와 ACK를 전송한다. 이와 같이 기존에 제안되었던 [7],[8]와 같은 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법들은 전송의 신뢰성은 얻을 수 있으나, 수신 단말 개수에 비례하여 CTS와 ACK를 전송하기 위해 대기해야 하는 유휴 시간이 증가하는 단점이 있다.

LBP (leader-based protocol) 기법^[9]은 이러한 다수의 CTS와 ACK에 비례하여 증가하는 오버헤드를 줄이기 위해 제안되었다. LBP 기법은 멀티캐스팅 메시지 송신 단말이 전송 시, 다수의 수신 단말들 중 대표 단말을 선택하여 오직 대표 단말만이 RTS/DATA에 대한 응답으로 CTS/ACK를 전송할 수 있도록 제한한다. 만약 멀티캐스팅 메시지 수신 단말들 중 수신에러가 발생한다면, 단말은 NACK 메시지를 송신단말로 전송한다. 이렇게 전송된 NACK 메시지는 송신단말 측에서 대표 단말의 ACK 메시지와 충돌이 발생하게 된다. LBP 기법은 DATA 메시지 전송 후, 송신 단말에서 충돌이 발생하는 경우, 송신 단말은 적어도 하나 이상의 단말이 수신에 실패하였음을 인지하고 재전송을 시도한다.



(a) 다수 CTS/ACK 메시지를 통한 신뢰성 보장을 위한 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법



(b) 대표 수신 단말을 이용한 효율적인 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법

그림 1. 기 제안된 대표 멀티캐스팅 MAC 프로토콜

따라서 그림 1(b)와 같이 LBP 기법은 전송 후 유휴시간에 대한 오버헤드를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 멀티캐스팅 그룹에 속한 한 단말이 RTS 혹은 DATA 메시지의 에너지 감지에 실패하여 NACK 패킷을 전송하지 못한 경우에는, 메시지 전송 실패를 인지할 수 없게 된다. 이러한 경우에는 송신 단말에서 NACK로 인한 충돌이 발생하지 않아, 전송된 멀티캐스팅 메시지에 대해 신뢰성을 보장할 수 없게 된다. 그러므로 LBP 기법은 전송이 실패한 단말에 대해 신뢰성을 보장할 수 없는 프로토콜이다.

OFDM (orthogonal frequency division multiplexing) 기반 시스템에서 MAC 오버헤드를 줄이는 동시에 신뢰성을 보장할 수 있는 OMACK (OFDM based multicast ACK) 기법^[10] 또한 제안되었다. 이 기법은 멀티캐스팅 메시지 수신 단말의 ACK 메시지들을 위해 하나의 OFDM 심볼을 사용하여 그룹 내 모든 수신 단말의 ACK 메시지들을 전송한다. 각 수신 단말은 자신의 메시지 수신 상태를 OFDM의 부반송파 (subcarrier)들을 사용하여 나타낼 수 있다. 여러 시간에 걸쳐 ACK 메시지를 전송하지 않을 뿐만 아니라 한 심볼 시간 동안에 모든 ACK 메시지가 전송되기 때문에 오버헤드를 급격히 줄일 수 있다. 그러나 부반송파와 같은 작은 비트 단위를 ACK 메시지 전송에 사용함으로써 hidden terminal 문제를 해결하기 위한 RTS/CTS와 같은 handshake 기법에 적용은 힘든 단점이 있다. 또한 OMACK 기법은 저피탐 문제를 해결하기 위한 기술적 접근이 부족하다.

현재까지 제안된 멀티캐스팅 MAC 프로토콜에 관련된 연구들은 OMACK 기법^[10]을 제외하면 크게 송신 오버헤드를 줄이기 위한 기법과 신뢰성을 보장할 수 있는 기법들로 양분화 된다. 이러한 기법들 간에는 일부 trade-off 관계가 발생한다.

2.2 멀티캐스팅 환경에서의 저피탐 기술

Ad-hoc 기반의 전송 네트워크의 생존성을 향상시킬 수 있는 저피탐 능력은 필수적이다. 다양한 기술들이 단말의 저피탐 능력을 향상시키기 위해 개발되었으며, 대표로 waveform 확산 변환, 지향성 안테나 (directional antenna), 전송파워 감소 같은 기법들이 개발되었다. 전통적으로 군 전송 환경에서는 DSSS (direct sequence spread spectrum) 혹은 FHSS (frequency hopping spread spectrum) 와 같은 확산기법들이 전송 단말의 저피탐과 항재밍 (anti

jamming) 능력 향상을 위해 많이 사용되어 왔다.

기존 상용 환경에서는 저피탐 능력 향상에 관련된 연구가 많이 진행되지는 않았다. 그 이유는 상용의 COTS 기반 무선 통신 기술들은 전송 속도 향상 및 채널 효율성 향상을 목표로 하여 개발되었기 때문에 전송 속도 및 채널 효율성을 떨어뜨리는 저피탐 성능 분석에 소홀하였다. 그러나 군 관련 연구 및 프로젝트에서는 적 재밍 및 간섭이 존재하는 전장/전술 환경에서 송신 단말 저피탐 능력에 대한 분석 및 기술이 연구되었다. Glenn^[11]은 저피탐 인자들이 저피탐 능력에 끼치는 영향 및 저피탐 능력을 분석하였다. 또한 재밍의 유무 환경에 따라 송신 신호가 저피탐 인자들에 따라 검파기에 검출되지 않을 임계치를 계산하여 도출하였다. Prescott은 [12]에서 저피탐 통신 시스템을 위해 전송 파워 이득과 손실에 의한 저피탐 성능 요인을 분석하였고, [13], [14]에서 다수 송신기가 존재하는 네트워크에서 저피탐을 위한 에너지 수신 가능한 영역과 검파기에 의해 탐지 가능한 영역을 제시하였다. Dillard^[15]는 검파기에서 전송신호 기반으로 탐지가 가능한 저피탐 측정기준 (metric)을 송신 단말과 검파기 간 거리를 기반으로 제시하였다. Week^[16]은 통신 이론을 기반으로 상용 COTS 기반 시스템의 저피탐 성능을 측정하는 방법을 제안하였으며, Liao^[17]은 보안 시스템의 항재밍 및 저피탐 성능을 측정하는 측정기준을 정의하였다.

앞서 [7]과 [8]에서 제안한 신뢰성을 보장할 수 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법들을 이용한 시스템에서 각 수신 단말들은 연속적으로 CTS와 ACK 메시지들을 전송하게 된다. 이러한 연속적인 메시지 전송은 검파기에 누적된 신호로써 탐지됨으로써, 적으로부터 이군 신호 탐지확률을 높이는 결과를 가져온다. 따라서 높은 신호 세기로 전송하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜의 연속적인 CTS와 ACK 메시지들은 유니캐스팅 MAC 프로토콜의 메시지들 보다 검파기에서 더욱 쉽게 노출되는 경향이 있다. 그림 2와 같이 송신 단말 S와 멀티캐스팅 그룹에 속한 6개의 수신 단말 R1 - R6는 동일한 송신 파워로 RTS/CTS handshake를 통해 채널을 예약한다. 이와 같은 환경에서 [7] 또는 [8] 논문에서 제안한 멀티캐스팅 MAC 프로토콜을 이용하여 다수 수신 단말들이 CTS와 ACK 메시지를 송신 단말에게 전송하는 경우, 수신 단말에서 전송된 연속적인 메시지 신호는 누적되어 적 검파기에 의해 쉽게 노출되는 문제가 발생할 수 있다.

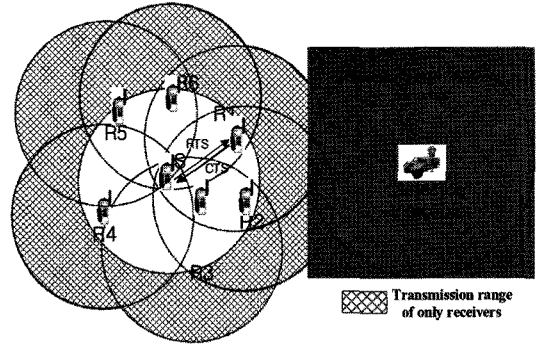


그림 2. 멀티캐스팅 전송범위에 따른 송신과 탐지영역

III. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜

본 논문에서는 IEEE 802.11 기반의 전술 네트워크 생존성을 높이기 위해 앞서 언급한 저피탐 성능 문제를 해결하는 동시에 전송 메시지의 신뢰성을 보장할 수 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜은 상대적으로 긴 심볼 전송시간을 가져, 신호의 다중경로로 발생할 수 있는 심볼 간 간섭 문제를 해결하여 전송속도를 높일 수 있는 OFDM 기반의 시스템을 고려한다. OFDM 기반 시스템에서 제안하는 기법은 전송 심볼을 시간/주파수 축으로 확산하여 확산 이득을 얻을 수 있는 MC-DS/CDMA 기술^[18]을 MAC 프로토콜에 응용한다. 제안하는 MAC 프로토콜이 동작하는 시스템은 하나의 송신 단말로부터 다수의 수신 단말이 멀티캐스팅 메시지에 응답하는 구조이다. 따라서 한 송신 단말이 멀티캐스팅 그룹 내 다수 수신 단말로 전송하는 환경은 하향링크에, 다수의 수신 단말이 한 송신 단말로 전송하는 환경은 상향링크와 유사하다. MC-DS/CDMA 기술은 MC-CDMA (multi-carrier CDMA) 기술보다 OFDM 기반 코드를 사용하는 상향링크에서 단말 간 코드 칩(chip) 간 간섭을 제거하기 위한 채널동기를 설정하는데 있어 효율적이다^[19]. 다시 말해, MC-DS/CDMA 기술은 동기가 완벽하게 맞지 않는 상향링크 시스템에도 MC-CDMA 보다 효과적으로 동작한다.

제안하는 기법은 동시에 전송하는 각 단말의 할당된 코드 간 칩 동기는 성공적으로 CTS와 ACK 메시지를 수신할 수 있을 정도로 맞춰져 있다고 가정한다. 또한 각 멀티캐스팅 메시지 수신 단말은 코드 길이에 비례하여 송신 파워 제어가 가능하다고

가정한다. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜의 동작 원리는 다음과 같다.

- 멀티캐스팅 그룹에 속하는 다수 수신 단말이 하나의 송신 단말로부터 RTS 또는 DATA 메시지를 받은 경우, 각 수신 단말은 자신에게 할당된 코드를 이용하여 MC-DS/CDMA 기술을 사용하여 CTS 또는 ACK 메시지를 확산한다. 각 수신 단말에게 할당된 코드는 RTS 메시지 전송 시 포함되어 전송된다.
- 하나의 송신 단말로부터 RTS 또는 DATA 메시지가 전송되고 SIFS 시간을 대기한 후, 각 메시지를 성공적으로 수신한 단말들은 자신에게 할당된 코드로 확산된 CTS 또는 ACK 메시지를 송신 단말로 동시에 전송한다.

제안하는 기법은 그림 3(a)에서 제시된 바와 같이 동작한다. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법은 다수 수신 단말에서 전송되는 CTS와 ACK 메시지를 동시에 병렬적으로 전송함으로써 그림 3(a)와 같이 오버헤드를 줄일 수 있다. 그러나 확산이득만큼 시간 축으로 확산이 되어 한 CTS/ACK 전송시간은 확산하기 전보다 더 길어진다. 그러나 각 수신 단말이 연속적으로 전송하는 CTS/ACK의

시간과 이들 사이에 필요한 SIFS 에 의한 전송 오버헤드는 줄어들게 됨으로써 이득이 발생한다. 시간 오버헤드 관련이득은 다음 절에서 분석하도록 한다. 또한 동시에 병렬적으로 CTS와 ACK 메시지를 전송할 수 있는 수신 단말의 수는 확산하는 코드 길이에 따라 제한된다. Orthogonal 한 코드 개수를 넘는 단말이 동시에 전송하는 경우 코드간 간섭문제가 발생하기 때문에 한 전송시간 동안 전송할 수 있는 단말의 수는 코드 길이만큼 제한되고, 나머지 단말들의 경우 SIFS 시간을 대기한 후, 다시 할당 받은 코드로 확산하여 전송한다.

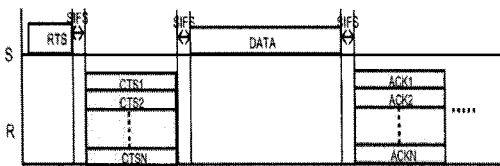
송신 파워 제어가 코드의 길이에 비례하여 제어 가능한 경우, 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜은 확산이득만큼 감소된 파워로 전송하기 때문에, 다수의 수신 단말에서 전송되는 신호의 누적 합은 확산이득에 비례하여 감소하게 된다. Orthogonal 한 코드로 확산하여 송신 파워가 감소한 신호는 하나의 송신 단말에서는 역확산을 통해 각 수신 단말의 신호를 획득 가능하다. 그러나 감소된 수신 단말들의 누적 송신 파워는 적 검파기에 탐지할 확률을 낮추는 장점을 얻을 수 있다. 그림 2와 비교했을 때, 그림 3(b)에서 다수 수신 단말인 R1 - R6가 전송한 감소된 송신파워의 합으로 인해 적 검파기가 탐지할 범위가 줄어든 것을 비교하여 볼 수 있다.

제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜은 전송 환경에서의 성능향상을 위해 1) 신뢰성을 보장하는 동시에 멀티캐스팅 메시지 전송 시 발생하는 MAC 오버헤드를 줄일 수 있는 장점과 2) 다수의 수신 단말로부터 전송되는 연속적인 메시지 누적 신호 세기가 줄어드는 장점으로 생존성이 향상되는 기법이다. 다음 절에서는 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법의 성능을 측정하기 위해 시스템 처리량, 메시지 전송 지연시간, 수신 신호세기를 통한 저피탐 성능을 분석한다.

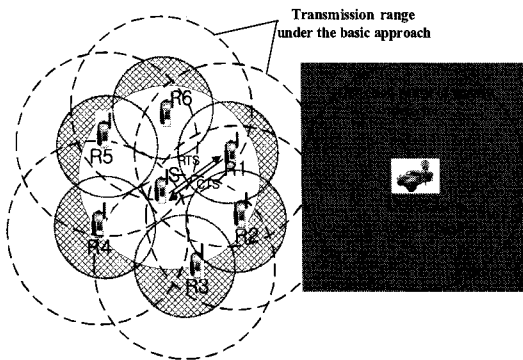
IV. 성능 분석

4.1 시스템 처리량 분석

제안하는 시스템의 처리량을 분석하기 위해 본 논문에서는 시스템은 포화 (saturation) 상태라고 가정한다. 즉, 각 단말은 전송할 패킷이 항상 존재하는 이다²⁰⁾. 이 모델에서 MAC 상태는 성공 (success), 충돌 (collision), 유향 (idle) 상태만 존재한다. 각 상태가 발생할 수 있는 시간을 ‘슬롯(slot)’이라 정의하고, 슬롯에서 발생할 수 있는 이벤트에 대한 확



(a) 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법



(b) 송신 파워 감소로 인한 탐지 영역 감소

그림 3. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 설명 및 저피탐 이득 설명

를 정의한다. [20]에서 사용되고 있는 모델을 이용하여 두 개의 기본적인 가정을 한다. 첫째, 유휴 슬롯이 지나고 나면, 각 단말은 독립적이고 일정한 확률 τ 를 이용하여 메시지 전송을 시도한다. 둘째, 지나간 충돌의 개수에는 상관없이, 전송은 독립적이고 일정한 확률 p 를 가지고 발생한다고 가정한다. 충돌 후 발생하는 backoff 동작은 이차원 Markov chain 모델을 이용하여 모델링하며, 이 모델링을 통해 얻은 τ 와 p 는 다음과 같다.

$$\tau = \frac{2(1-2p)}{(1-2p)(W+1) + pW(1-(2p)^m)} \quad (1)$$

$$p = 1 - (1-\tau)^{N-1} \quad (2)$$

여기서 N 은 전송을 위해 경합하는 단말의 수를 의미하고, $W = CW_{min}$. m 을 최대 backoff stage로 정의하고, 그 값은 $CW_{max} = 2^m W$ 와 같다. 또한 $W_i = 2^i W$, 여기서 $i \in (0, m)$ 는 현재 backoff stage로 정의한다. 식 (1)과 (2)를 풀기 위해 반복 기법을 사용하여 이미 알고 있는 W, m, N 의 값을 이용하여 τ 와 p 의 값을 구할 수 있다.

P_T 를 최소 한 명 이상 단말이 현재 슬롯 시간동안 전송할 확률이라고 정의한다. 현재 채널에 존재하는 단말의 수가 R 이고 각 단말이 전송할 확률이 라고 할 때, P_T 는 다음과 같다.

$$P_T = 1 - (1-\tau)^N \quad (3)$$

P_S 를 채널에서 전송 성공 확률이라고 했을 때, 주어진 확률은 정확히 한 채널에 한 명의 사용자가 전송을 시도했을 확률과 일치한다. 따라서 적어도 한 명 이상의 사용자가 채널에 전송했을 때, 전송 성공 확률, P_S 는 다음과 같다.

$$P_S = \frac{R\tau(1-\tau)^{N-1}}{P_T} = \frac{R\tau(1-\tau)^{N-1}}{1-(1-\tau)^N} \quad (4)$$

이제, 전체 시스템의 처리량, S 를 구하면

$$S = \frac{E[\text{payload information transmitted in a slot time}]}{E[\text{slot}]} \quad (5)$$

이고, $E[\text{slot}]$ 은 평균 슬롯 시간 길이를 의미한다. $E[P]$ 는 평균 메시지의 payload 크기이고, 메시지의 payload 정보를 성공적으로 전송하는데 걸리는 슬롯 시간은 $P_T P_S E[P]$ 와 같다. 이는 한 슬롯에서 메시지가 성공적으로 전송할 확률은 $P_T P_S$ 이기 때문이다. $E[\text{slot}]$ 은 슬롯이 유휴 상태일 확률이 $1 - P_T$ 이고, 성공적으로 전송하고 있는 상태일 확률이 $P_T P_S$ 이고, 충돌이 날 확률이 $P_T (1 - P_S)$ 이기 때문에, 이 세 가지 종류의 확률과 그 상태에 머무는 시간을 이용하여 식 (5)를 정리하면 다음과 같다.

$$S = \frac{P_T P_S E[P]}{(1-P_T)\sigma + P_T P_S T_S + P_T (1-P_S)T_C} \quad (6)$$

여기서 T_S 는 채널이 성공하여 전송한 평균 시간 이고, T_C 는 채널 내 충돌이 발생한 평균 시간의 미한다. σ 는 평균적으로 시간이 비어 있는 슬롯시간을 의미하며, 유휴 슬롯시간은 한 개의 슬롯의 길이와 일치한다.

제안하는 기법과 비교하는 신뢰성을 보장할 수 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법을 제안한 [7],[8]에서의 평균 성공 및 충돌 대기 시간을 구하면,

$$T_S^{bas} = RTS + R(SIFS + \delta + CTS) + SIFS + \delta + H + E[P] + R(SIFS + \delta + ACK) + DIFS + \delta \quad (7)$$

$$T_C^{bas} = RTS + DIFS + \delta$$

여기서, $RTS, CTS, E[P], ACK$ 는 각 RTS, CTS, DATA, ACK 타입의 메시지를 전송에 걸리는 평균 시간이며, R 은 멀티캐스팅 메시지를 수신할 단말의 수(네트워크 전체의 단말개수 N 중 멀티캐스팅 메시지를 받을 단말의 숫자)라고 하고, δ 은 최대 전송 지연 (propagation delay) 시간이다. H 는 $H = PHY_{hdr} + MAC_{hdr}$ 로 정의하며, 각각 물리계층과 MAC계층 헤더 파일을 전송에 걸리는 시간을 의미한다. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법의 평균 성공 및 충돌 대기 시간을 구하면,

$$T_S^{mc} = RTS + SIFS + \delta + CTS_{mc} + SIFS + \delta + H + E[P] + SIFS + \delta + ACK_{mc} + DIFS + \delta \quad (8)$$

$$T_C^{mc} = RTS + DIFS + \delta$$

여기서, CTS_{mc} 및 ACK_{mc} 는 제안하는 기법에서 CTS와 ACK 메시지 전송에 걸리는 평균 시간이며, 이는 시간축 확산을 하기 때문에, 기존의 [7],[8]에서 전송한 시간보다 상대적으로 긴 시간이 필요하다. 이때 R 이 전체 확산 코드 개수, L_C 보다 많다면, CTS와 ACK 메시지는 한 번 이상 전송해야 한다. $L_C < R$ 인 경우, 평균 성공 대기 시간을 다시 구하면 다음과 같다.

$$T_S^{mc} = RTS + \left[\frac{R}{L_C} \right] (SIFS + \delta + CTS_{mc}) + SIFS + \delta + H + E[P] + \left[\frac{R}{L_C} \right] (SIFS + \delta + ACK_{mc}) + DIFS + \delta \quad (9)$$

4.2 메시지 전송 지연시간 분석

메시지 전송 지연시간은 [21]에서 분석한 성공적으로 메시지를 전송하는데 필요한 지연시간을 응용한 모델을 사용하여 구할 수 있다. 메시지 전송 성공에 필요한 평균 지연시간은 메시지가 큐(queue)에서 전송을 시작할 때부터, 그 메시지에 대한 ACK 메시지가 도착할 때까지 시간으로 정의한다. 만약 전송 메시지가 도중 재전송 횟수 초과로 인해 timeout으로 버려지는 경우, 이 전송 지연시간은 포함되지 않는 것으로 정의한다. 따라서 평균 메시지 지연시간은

$$E[D] = E[X]E[slot] \quad (10)$$

이고, 여기서 $E[slot]$ 은 평균 슬롯 시간 길이를 의미하며, 식 (6), (7)에서 얻은 결과값과 동일하다. $E[X]$ 는 메시지 전송 성공에 필요한 평균 슬롯 개수로써 다음과 같고,

$$\begin{aligned} E[X] &= \sum_{i=0}^m \left(\frac{W_i+1}{2} \right) \cdot \sum_{k=0}^{W_i-1} b_{i,k} = \sum_{i=0}^m \left(\frac{W_i+1}{2} \right) \cdot b_{i,0} \sum_{k=0}^{W_i-1} \left(\frac{W_i-k}{W_i} \right) \\ &= \sum_{i=0}^m \left(\frac{W_i+1}{2} \right) \cdot b_{i,0} \left(\frac{W_i+1}{2} \right) = \sum_{i=0}^m \left(\frac{W_i+1}{2} \right)^2 \cdot b_{i,0} \\ &= \sum_{i=0}^m \left\{ \left(\frac{W_i+1}{2} \right)^2 \cdot p_i \cdot b_{0,0} \right\} + \frac{b_{0,0}}{1-p} \cdot p^m \cdot \left(\frac{W \cdot 2^m + 1}{2} \right)^2 \quad (11) \\ &= \sum_{i=0}^{m-1} \left[\tau \cdot (1-p)^i \cdot \left(\frac{W_i+1}{2} \right)^2 \right] + \tau \cdot p^m \cdot \left(\frac{W_m+1}{2} \right)^2 \\ &= \tau \left[\sum_{i=0}^{m-1} \left\{ (1-p)^i \cdot \left(\frac{W_i+1}{2} \right)^2 \right\} + p^m \cdot \left(\frac{W_m+1}{2} \right)^2 \right] \end{aligned}$$

여기서, $b_{i,k}$ 의 값은 이차원 Markov chain의 시간 t 에서의 back off timer와 backoff stage $b(t)$, $s(t)$ 의 극한값을 의미한다.

4.3 수신 신호 세기를 통한 저피탐 성능 분석

저피탐 성능은 수신 단말로부터 송신된 누적된 수신 신호 세기(received signal strength)를 통해 얻을 수 있다. 따라서 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜 기법과 기존의 [7],[8]에서 제안된 기법에서 전송된 CTS와 ACK 메시지의 누적된 수신 신호 세기와 비교하여 분석한다. 누적된 수신 신호 세기가 적 검파기에서 높게 수신되면 이에 비례하여 탐지 확률이 증가하게 된다. 따라서 누적 수신 신호 세기가 작은 시스템이 저피탐 성능이 높은 시스템이라고 할 수 있다.^{[11],[17]} 논문들에서 제안한 SNR(signal-to-noise ratio) 값에 기반하여 누적 신호 세기를 분석하였다. 만약 백색 간섭 성분이 모두 동일한 환경이라면 누적된 신호 세기만이 저피탐 성능에 영향을 주는 유일한 요소가 된다. 따라서 two-ray ground 모델을 사용하여 다중경로를 모델링하면

$$P_i = P_t G_t G_r \frac{H_t H_r}{d_{ir}^4} \quad (12)$$

와 같은 식을 얻을 수 있고, 여기서 P_t 와 P_r 는 각각 검파기에서 수신되는 신호와 각 수신 단말에서 송신하는 신호의 파워를 의미하며, G_t 와 G_r 는 각각 송신 및 수신 안테나 이득을 의미한다. H_t 와 H_r 는 각각 송신 및 수신 안테나의 지상으로부터의 높이를 의미하며, d_{ir} 은 검파기와 r 번째 수신 단말과의 거리를 의미한다. 식 (12)에서의 수신된 신호의 세기는 적 검파기에서 탐지하는 아군 신호의 세기로 인식된다.

제안하는 기법에서 각 멀티캐스팅 메시지 수신 단말이 송신하는 신호의 세기는 확산 코드의 길이, L_C 에 비례해서 감소하며, 전송 파워는 MC-DS/CDMA의 확산이득 L_C 로 나눈 P_t / L_C 의 값을 가진다. 따라서 제안하는 기법과 기존 [7],[8] 기법에서 송신한 신호를 적 검파기에서 수신했을 때, 수신된 두 기법의 파워 크기 차를 dB로 표시하면 다음과 같다.

$$P_{i(dBm)}^{mc} = P_{i(dBm)}^{bas} - 10 \log L_C \quad (13)$$

하나의 멀티캐스팅 메시지를 받아 다수의 수신 단말이 동시에 응답 메시지를 전송하는 멀티캐스팅 환경에서, 전송된 신호의 세기는 검파기가 있는 위치에서 누적되어 수신되며, 응답하는 수신 단말의 개수가 R 인 경우, 누적 수신 신호 세기의 크기를 실측 값과 dB값으로 표현하면 다음과 같다.

$$P_{i_sum} = \sum_{r=1}^n P_i \quad (14)$$

$$P_{i(dBm)_sum} = 10 \log P_{i_sum} \quad (15)$$

V. 모의실험 결과

본 절에서는 앞 절에서 분석한 결과를 모의실험을 통해 제안하는 기법을 검증하였다. 모의실험은 MATLAB을 이용하여 검증하였고, 검증에 사용된 모의실험 인자들은 표 1에 정리되어 있다. 표 1에 나열된 인자들은 IEEE 802.11a 표준^[22]을 기초로 하였다.

모의실험 환경은 하나의 송신 단말을 중앙에 두고 주위 전송 반경 100m 내 멀티캐스팅 메시지 수신 단말들을 랜덤하게 분포시켰다. 적의 악의적인 검파기는 송신 단말로부터 450m부터 위치시켜 수

표 1. 모의실험 파라미터

Parameters	Values
CWmin	15
CWmax	1023
RTS time	52μsec
SIFS time	16μsec
DIFS time	34μsec
Slot time	9μsec
δ	1μsec
MAC header, MAC _{hdr}	272bits
PHY header, PHY _{hdr}	46bits
Preamble	16μsec
CTS/ACK time	44μsec
DATA rate	6Mbps
Packet payload, E[P]	8192bits
Transmit power, P_T	15dBm
Receiver sensitivity	-91dBm

신 단말과 송신 단말 사이에 위치하지 않도록 가정하였다. 송신 파워 제어는 확산 코드 길이에 비례하여 감소하며, 확산 코드 길이는 8에서 32까지 변수로 두어 적용하였다. 제안하는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜과 비교하는 기법으로는 [7],[8] 논문의 방법으로 다수의 수신 단말이 한번씩 CTS/ACK를 연속적으로 전송하는 기법과 비교하였으며, 그림에서는 *bas*로 표기하였다. 본 논문에서 제안하는 기법을 연속적인 CTS/ACK를 수신해야 하는 [7],[8]의 논문과만 비교한 이유는 2절 관련연구에서 언급한 MAC프로토콜 중 RTS/CTS를 교환하면서 신뢰성을 가진 프로토콜만이 비교대상이기 때문이다.

그림 4는 제안하는 MAC 기법과 기존 MAC 기법의 멀티캐스팅 수신 단말 개수 R 에 따른 시스템 처리량을 비교 분석한 그래프이다. 제안하는 기법의 확산 코드 길이는 8, 16, 32로 설정하였고 멀티캐스팅 단말의 수는 5에서 50까지 변화시키며 비교하였다. 제안하는 기법과 기존 기법 모두 멀티캐스팅 수신 단말의 수가 증가함에 따라, 그에 비례하여 시스템 처리량이 계속 감소하는 모습을 보여주고 있다. 이는 수신 단말이 늘어남에 따라 발생하는 CTS/ACK가 증가함으로 인해 오버헤드가 증가하여 시스템 처리량이 떨어지는 것이다. 제안하는 기법 그래프의 경우 일정하게 유지되다 수신 단말이 확산 코드의 길이에 비례한 포인트에서 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이는 CTS와 ACK 메시지를 송신하는 수신 단말의 수가 확산 코드가 넘어가는 경우에는 한 슬롯 내 보내지 못하고 2개 이상의 다수 슬롯과 오버헤드인 SIFS 시간을 대기하고 보내기 때문에 전체 시스템 처리량이 감소한다. 또한 멀티캐

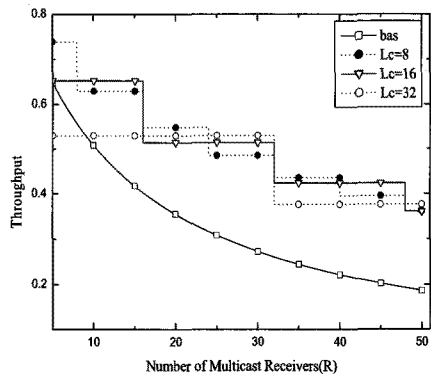


그림 4. 제안하는 MAC 기법과 기존 MAC 기법의 멀티캐스팅 수신 단말 수에 따른 시스템 처리량 비교

스팅 수신 단말의 수가 작을 때에는 확산 코드의 길이가 짧은 시스템이 처리량이 더 좋았지만 32명 에 가까워질수록 확산 코드 길이 32인 시스템이 처리량이 더 좋아지는 것을 볼 수 있다. 따라서 시스템 평균 멀티캐스팅 수신 단말의 수에 적응적으로 확산 코드 길이를 선택하는 메커니즘을 적용하면 처리량을 높일 수 있는 가능성이 보인다. 전체적으로 제안하는 기법이 기존 기법보다 훨씬 좋은 성능을 보이고 있는데 이는 발생하는 오버헤드의 양을 확산 코드에 비례하여 줄일 수 있기 때문에 얻을 수 있는 이득이다.

그림 5는 제안하는 MAC 기법과 기존 MAC 기법의 멀티캐스팅 수신 단말 개수 R 에 따른 메시지 전송 지연시간을 비교한 그래프이다. 제안하는 기법과 기존 기법 모두 멀티캐스팅 수신 단말의 수가 증가함에 따라, 그에 비례하여 메시지 전송 시간이 계속 증가하는 모습을 보여주고 있다. 이는 전송 성공에 필요한 시간 T_S 가 수신 단말이 증가할수록 증가하기 때문이다. 또한 제안하는 기법은 그림 4에서와 같은 이유로 확산 코드 길이와 수신 단말의 수가 같아지는 지점에서 단계적으로 증가하는 모습을 볼 수 있다. 전체적인 메시지 전송 지연시간 역시 제안하는 기법이 비교하는 기존 기법보다 좋은 성능을 보이는 것을 확인할 수 있는데, 이는 평균 전송 슬롯 길이가 제안하는 기법이 적은 오버헤드로 인해 짧은 슬롯 길이를 획득하기 때문이다.

그림 6은 적어 아군의 신호를 탐지하려는 전술환경에서 멀티캐스팅 환경이 유니캐스트보다 얼마나 취약한지를 보여주는 그림으로, 적 검파기 위치를 송신단말로부터 450m에 고정시키고 멀티캐스팅 수신단말의 수를 1에서 50까지 늘려가면서 검파기에

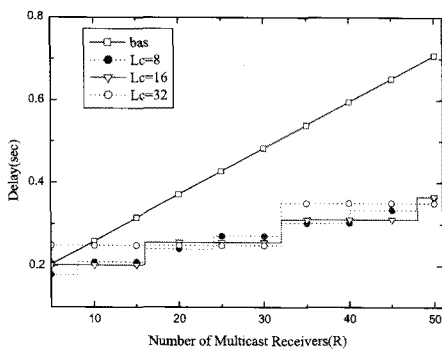


그림 5. 제안하는 MAC 기법과 기존 MAC 기법의 멀티캐스팅 수신 단말 수에 따른 전송 지연시간 비교

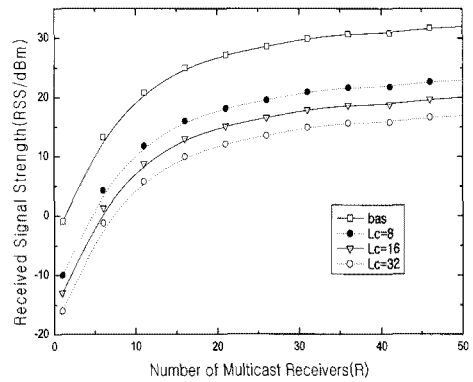


그림 6. 멀티캐스팅 수신 단말 수 증가에 따른 신호 세기 변화 비교

감지되는 신호레벨을 표시한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 멀티캐스팅 수신단말의 수가 증가하면 증가할수록 적 위치에서 수신되는 아군의 신호세기가 커짐으로 인해 적에 의해 아군의 신호가 탐지될 확률은 높아진다. 이 그림에서 제안하는 기법은 기존의 전통적인 멀티캐스팅 기법에서 보다 검파기에 노출되는 신호의 세기를 낮춤으로써 LPD특성을 향상시킨다.

그림 7은 제안하는 MAC 기법과 기존 MAC 기법의 검파기 위치를 송신 단말로부터 450m 부터 800m까지 늘려가며 탐지 신호세기를 비교한 그래프이다. 이 결과는 수신 단말의 개수 R 은 50으로 고정했을 때 결과이다. 검파기의 위치가 송신 단말로 멀어질수록 탐지 신호세기는 그에 비례하여 감소한다. 또한 확산 코드의 길이가 증가할수록 검파기의 탐지 신호세기가 감소하는 것을 볼 수 있다.

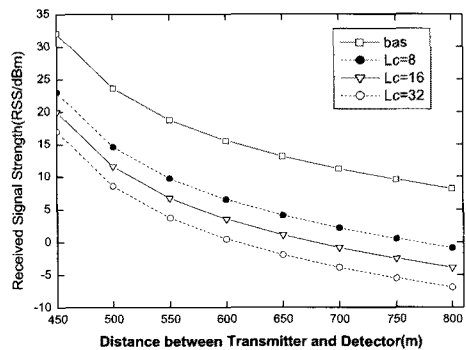


그림 7. 제안하는 MAC 기법과 기존 MAC 기법의 검파기 위치에 따른 탐지 신호세기 비교

이는 코드 확산 길이가 길면 전체 대역으로 파워가 분산되어 전송되므로 수신 확률을 낮추는 효과가 있다. 이 그래프에서 제안하는 기법은 기존 기법보다 탐지 신호세기가 약한 것을 볼 수 있는데, 이를 통해 제안하는 기법의 저피탐 성능이 기존 기법보다 상대적으로 높다는 것을 확인할 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 전술 네트워크에서 망 생존성 향상을 위해 신뢰성을 보장하고 저피탐 성능을 향상시킬 수 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 기법은 IEEE 802.11 기반의 전술 네트워크에서 적용할 수 있다. 제안하는 기법의 장점은 신뢰성 보장을 위한 멀티캐스팅 MAC 프로토콜에서 송신측의 RTS와 DATA의 수신 확인을 위해 모든 수신 단말이 CTS와 ACK를 보낼 때, 연속적으로 보내는 CTS와 ACK 대신에 MC-DS/CDMA 기술을 이용하여 동시에 병렬적으로 CTS와 ACK를 전송함으로써 전송 오버헤드를 낮추는 동시에, 확산 코드를 이용 전송 파워를 제어함으로써 확산 이득을 통해 송신 단말은 다수의 수신 단말로부터 전송된 신호를 받을 수 있지만, 적 검파기는 탐지 확률이 낮아지는 저피탐 성능 역시 얻을 수 있는 장점이 있다. 제안하는 기법은 IEEE 802.11a 기반 시뮬레이션을 통해 기존에 연속적으로 CTS와 ACK를 전송하는 신뢰성 있는 멀티캐스팅 MAC 프로토콜보다 시스템 처리량, 메시지 전송 지연시간, 저피탐 성능에서 보다 우월한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] 한국국방연구원, “국내외 Network Centric Warfare 추진 전략”, 국방 정보보호컨퍼런스, 2006.
- [2] 박형원, 노홍준, 임재성, “한국형 합동전술데이터 링크 구축을 위한 Link-16 PHY/MAC 기술 분석”, 한국통신학회지, Vol.26, No.3, pp.60-68, Feb., 2009.
- [3] I. Chlamtac, M. Conti, and J. Liu, “Mobile ad hoc networking: imperatives and challenges,” Ad Hoc Networks J., Vol.1, No.1, Jan.-Mar., 2003.
- [4] M.C.C. De, H. Gossain and D.P. Agrawal, “Multicast over wireless mobile ad-hoc

networks: present and future directions,” IEEE Network (2003).

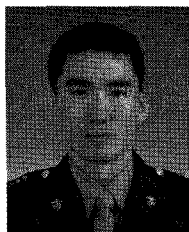
- [5] K. Obraczka, “Multicast transport protocols: A survey and taxonomy,” IEEE Commun. Mag., Vol.36, No.1, pp.94-102, Jan., 1998.
- [6] A. El-Sayed, V. Roca, and L. Mathy, “A survey of proposals for an alternative group communication service,” IEEE Netw., Vol.17, No.1, pp.46-51, Jan./Feb., 2003.
- [7] M. T. Sum, L. Huang, A. Arora, and T. H. Lai, “Reliable MAC layer multicast in IEEE 802.11 wireless networks,” Wireless Commun. Mob. Comput., Vol.3, No.4, pp.439-453, Jun., 2003.
- [8] Ki-Ho Lee and Dong-Ho Cho. “A Multiple access collision avoidance protocol for multicast service in mobile ad hoc networks.” Vehicular Technology Conference, 2003. VTC 2003-Spring., The 57th.
- [9] J. Kuri and S. K. Kaser, “Reliable multicast in multi-access wireless LANs,” Wireless Netw., Vol.7, No.4, pp.359-369, Jul., 2001.
- [10] B. Kim, S. W. Kim, and R. L. Ekl, “OFDMA-based reliable multicasting MAC protocol for WLANs,” IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.57, No.5, pp.3136-3145, September, 2008.
- [11] A. B. Glenn, “Low Probability of Intercept”, IEEE Communications Magazine, Vol.21, pp.26-33, 1983.
- [12] L. L. Gutman and G. E. Prescott, “System quality factors for LPI communications”, IEEE AES Magazine, Vol.4, pp.25-28, Dec., 1989.
- [13] G. M. Dillard and R. A. Dillard, “A metric for defining low probability of detection based on gain differences”, IEEE Thirty-Fifth Asilomar Conference on Signals, Systems and Computers, Vol.2, pp.1098-1102, Nov., 2001.
- [14] G. D. Weeks, J. K. Townsend, and J. A. Freebersyser, “A method and metric for quantitative defining low probability of detection”, IEEE Military Communications Conference, Vol.3, pp.821-826, 1998.
- [15] R. F. Mills and G. E. Prescott, “Waveform design and analysis of frequency hopping LPI networks”, IEEE Trans. AES, Vol.36, pp.848-

858, July, 2000.

- [16] R. F. Mills and G. E. Prescott, "Detectability models for multiple access low probability of intercept networks", IEEE Trans. AES, Vol.36, No.3, July, 2000.
- [17] CH Liao, MK Tsay, ZS Lee "Secure communications system through concurrent AJ and LPD evaluation", Wireless Pers Commun, Vol.49, No.1, April, 2009.
- [18] S. Kondo and L. B. Milstein, "Performance of multicarrier DS CDMA," IEEE Commun., Vol.44, No.2, pp.238-246, Feb., 1996.
- [19] S. Hara and R. Prasad, "Overview of multicarrier CDMA", IEEE Commun. Mag., Vol.35, No.12, pp.126-133, 1997.
- [20] G. Bianchi, "performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," IEEE J. Select. Areas Commun., Vol.18, pp.535-547, Mar., 2000.
- [21] P. Chatzimisios, A.C. Boucouvalas, and V. Vitsas, "IEEE 802.11 packet delay - a finite retry limit analysis," Proc. IEEE Globecom, San Francisco, USA, Dec., 2003.
- [22] Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications: higher-speed physical layer in the 5 GHz band, IEEE Std. 802.11a-1999.

김 정 훈 (Jeonghun Kim)

준회원



2000년 2월 해군사관학교 국제
관계학 학사
2008년 3월~현재 아주대학교
NCW공학과 석박사통합과정
<관심분야> 국방전술통신, MAC
프로토콜

정 준 우 (Junwoo Jung)

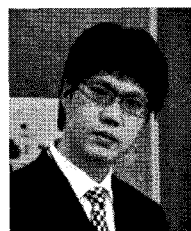
정회원



2005년 2월 아주대학교 정보및
컴퓨터공학부 학사
2007년 2월 아주대학교 정보통
신전문대학원 석사
2007년 3월~현재 아주대학교 정
보통신전문대학원 박사과정
<관심분야> OFDMA, 자원할당,
MAC 프로토콜, 국방전술통신

김 중 빈 (Jungbin Kim)

정회원



2004년 2월 한양대학교 전자컴
퓨터공학부 학사
2006년 2월 한양대학교 전자전
기제어계측공학과 석사
2010년 2월 한양대학교 전자전
기제어계측공학과 박사
2010년 3월~현재 아주대학교 장

위국방연구소 연구교수

<관심분야> 협력형 릴레이, 무선인지, 다중 사용자
다중 안테나 시스템

임 재 성 (Jaesung Lim)

종신회원



1983년 2월 아주대학교 전자공
학과 학사
1985년 2월 KAIST 영상통신
석사
1994년 8월 KAIST 디지털통신
박사

1998년 3월~현재 아주대학교 정
보통신전문대학원 교수

2006년 8월~현재 아주대학교 국방전술네트워크 연
구센터장

<관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신