

전투 네트워크를 위한 MSAP NAT Relay Cell

정회원 최 기 윤*, 종신회원 최 영 준**

MSAP NAT Relay Cell for Combat Networks

Ki-Woon Choi* *Regular Member*, Young-June Choi** *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 NCW의 기반이 될 차기 군 통신망인 TICN체계의 MSAP-TMFT에 대해 연구하였다. MSAP-TMFT는 와이브로 기술에 기반을 두고 있는데 전투 환경을 고려하여 relay의 기능과 더불어 기지국의 자원관리 기능이 포함된 독립적 네트워크를 구성할 수 있는 NRC라고 하는 장비의 도입을 제안한다. NRC는 시스템에서 필요한 전송거리 연장, 전송 속도 증가, 부족한 무선자원의 효율적 관리, 전투 통신망의 생존성을 보장할 수 있다. 이런 고려 요소를 포함한 모의실험을 통해 기존의 시스템에서 전투원으로 제공되는 무선 자원이 보다 효과적으로 관리되고 시스템이 지원하는 수율도 증가함을 보일 수 있었다.

Key Words : Wibro, OFDM(A), Relay Station, MSAP, TMFT, NRC

ABSTRACT

In this paper, we investigate MSAP-TMFT in TICN systems that will be future NCW-based tactical networks. Although MSAP-TMFT implements the WiBro technology, we propose to design a NRC(NAT Relay Cell) that functions as a relay station and at the same time as a base station in combat environments. NRCs support extension of communication distance, increased data rate, efficient radio resource management, and survivability of combat networks. From simulation results, we show that NRCs improve the efficacy of radio resource management and system throughput compared to the legacy systems.

I. 서 론

이동통신에서 기존의 3G에서 4G로 이동을 하고 있는 추세에 발맞추어 새로운 기술을 군 환경에 적용하여 효과적인 전투를 수행할 수 있기 위한 연구가 진행되고 있다. 특히 초강대국 미국을 비롯한 선진국은 NCW(Network Centric Warfare, 네트워크 중심전)를 목표로 하여 민간의 검증된 통신기술을 적용하기 위한 노력을 아끼지 않는다. 이에 한국도 앞으로의 전시작전권 환수와 맞물려 자주국방을 위한 한국형 NCW를 구축하기 위해 노력 중이다. 한

국은 와이브로(WiMAX, IEEE 802.16)라는 통신표준을 상용화함으로써 이동통신의 역사에 획을 그었는데 군에서도 와이브로 기술을 기반으로 개인 휴대용 전투 이동 통신망을 구축하고자 연구를 추진하고 있다. 와이브로 기술의 야전 적용과 효과성 증명 여부는 NCW 기반의 미래 군 통신의 선두주자로서 주도권을 확보할 수 있는 중요한 기회이다.

현재 군은 TICN(Tactical Information Communication Network) 체계 개발을 통해 미래형 통신 구조를 구축하고 있다. 또한 이 체계에서 새롭게 등장하는 MSAP-TMFT(Mobile Subscriber Access Point-

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-(C1090-1221-0011))

* 이주대학교 NCW학과 무선네트워크 연구실 (blue9479@hanmail.net, choiyj@ajou.ac.kr), (°:교신저자)

논문번호 : KICS2011-11-522, 접수일자 : 2011년 11월 14일, 최종논문접수일자 : 2012년 2월 14일

Tactical Multi Function Terminal) 체계는 전투원의 입장에서 사용이 용이하고 높은 데이터 전송률을 지원한다. 이 데이터 전송률의 증대는 와이브로에서 다중 접속 기술인 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)이 채택되어 있기 때문이다. 하지만 와이브로에서 OFDMA는 무선 구간에서 전투 환경의 특수성으로 인해 그 요구 조건을 충족 시키기에 제약사항이 많다. 여기서 MSAP은 Wibro 기술을 사용하는 기지국이며, TMFT는 MSAP이 지원하는 단말기이다.

전투 환경의 특수성에서 가장 큰 문제 중 하나는 기지국의 배치이다. 상용 이동통신에서의 기지국은 사용자 접속비율, 인접 기지국과의 간섭, 전원 공급 등을 고려하여 설치할 수 있다. 그러나 전투 환경에서는 작전에 유리한 임의 지형에 배치되는 전투원들을 위해 통신 서비스를 지원해야 하므로 최적의 서비스를 위해 기지국이 설치되지는 않는다. 또 다른 문제는 상용 이동통신에서 서비스 품질을 높이기 위한 수단으로 사용되는 relay station이나 매크로셀의 로드를 줄일 수 있는 펌토셀의 설치가 전투 환경에서는 용이하지 않다는 점이다. Relay station을 위한 장비추가가 전투원의 전투 하중에 추가되며 이를 운용하기 위한 인원이 추가되어야 하기 때문이다. 또한 네트워크 기반시설이 충분한 상용 이동통신과 달리 전투 환경은 기반시설 이용이 거의 불가능하여 펌토셀에 의한 데이터 속도의 증가는 불가능하다. 특히, 이러한 제약 사항들은 상위 그룹보다 하위 그룹으로 갈수록 더욱 심해지게 된다.

따라서 본 논문에서는 와이브로의 OFDMA 기술을 채택하는 MSAP-TMFT에서 NRC(NAT Relay-Cell) 장비를 제안함으로써 해결책을 제시하고자 한다. NRC는 전투 그룹 구조, 전투통신 장비 구성 특징, 전투 데이터 흐름의 특성을 반영한다. IP 필터링을 통해 전투 데이터 흐름을 구분하여 데이터 통화를 내·외부망으로 구분함으로써 통신망의 효율성을 보장하고 데이터 트래픽의 macro BS로의 집중을 분산한다. 그리고 상용에서의 relay station 기능과 같이 전투에서 필요한 신호증폭으로 인한 전송거리를 연장하고 수율을 증가시킨다. 또한 macro BS로부터 할당받은 독립적인 자원을 기지국과 같이 NRC가 관리함으로써 기지국의 파괴시 독립적인 내부망을 구성하여 생존성을 보장한다.

본 논문의 구성은 아래와 같다. II장에서는 전투 네트워크의 특징을 통해 제안하고자 하는 방법의 배경을 설명한다. III장에서는 제안하는 NRC에 대

해 설명하고 IV장에서는 모의실험에 대한 결과분석을 제시한다. V장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대해 설명한다.

II. Combat Network의 특징

서론에서 설명된 바와 같이 전투 환경을 고려할 때 상용과는 다른 서비스 구조를 갖는 Combat Network(전투망)을 구현할 수 있다. 그 설명은 다음과 같다.

2.1. 전투 그룹의 특성

일반적인 전투 그룹의 계층구조는 그림 1과 같다. 이러한 계층구조는 전투시 통제를 강화함과 동시에 자율적 지휘를 보장하기 위함이다. 또한 이런 구조의 지휘자는 통제를 쉽게 하기 위한 조치로 통신 장비가 휴대용과 차량용에 동시에 지원된다. 지원을 받는 계급은 각 그룹의 특성마다 차이가 있겠지만 대략 대대나 중대급 이상의 지휘권한을 갖는 사용자이다.^[1] 따라서 이러한 장비를 갖는 전투원은 보다 장거리 통신을 할 수 있는 여건을 갖게 된다.

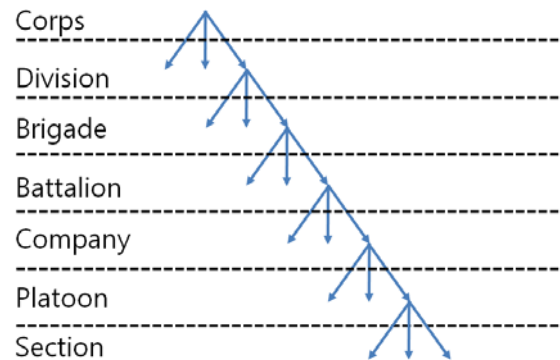


그림 1. 전투 그룹 구조 및 계층도^[1]
Fig 1. The combat group structure and class^[1]

2.2. 전투 환경의 통신장비 특징

상용 통신장비는 사용자별로 갖는 장비의 특징이 기기의 모양, 화면의 해상도, 내부에 설치된 소프트웨어, 소프트웨어를 구동하는 속도, 기타 추가적 기능(카메라 화소, Bluetooth, WiFi 지원) 등의 차이가 있을 뿐이지 서비스하는 기지국으로부터 받는 신호를 더 수신할 수 있는 기능이나 자신의 전송신호를 더 높여 좋은 서비스를 받을 수 있게 하는 기능은 없다. 게다가 더 좋은 서비스를 남에게 제공할 수 있다 하더라도 자신의 자원을 소모하면서 타인의 네트워크 연결을 지원하기를 원하지 않는다.

그러나 전투 환경의 통신장비는 앞의 2.1에서 설명된 전투 그룹 구조에서 전투를 효과적으로 수행하기 위해 자신의 자원 공유를 허락한다. 이를 위해 전투원이 사용하는 장비는 크기와 무게와 비례하여 물리적 제약을 받고 자원 공유를 위해 장비와 예비전원이 더 추가된다. 예를 들어 Back/Man Pack 형태의 구형 무전기에서는 한 전투원이 책임을 갖고 통신임무를 수행하기 때문에 제한이 크지 않을 수 있다. 그러나 향후 개발되는 시스템에서의 단말기는 스마트폰과 유사한 크기·무게로 만들어져 각 전투원에게 분배될 것으로 기대된다. 따라서 추가되는 자원 공유 기능은 전투원의 전투 하중과 전원 소모의 증가로 전투력 발휘와 통신 장비의 사용 시간의 단축을 갖고 오게 된다. 이는 추가 지원이 없는 전투 환경에서 얼마나 전투원이 연속적으로 임무를 수행할 수 있는가를 판단하는 전투지속시간과도 직결된다.

한편 macro BS만을 운용하여 멀리 떨어진 전투원과 통신하기 위해서는 높은 전력으로 전송하여 전투원이 신호를 수신하게 하는 방법이 있다. 하지만 반대로 원거리 전투원은 다시 macro BS로 신호를 송신할 때 그만큼 센 신호로 전송해야 하는 문제가 발생한다. 구형 무전기에서는 이러한 문제를 극복하고자 전투 그룹의 일정 직책에 대해서 휴대용과 차량용(신호 증폭과 안테나 감도향상 기능 추가)을 동시에 사용할 수 있는 장비를 구성하여 해당 직책이 효과적으로 통신 서비스를 지원받고 통신 범위를 연장할 수 있게 하였다. 이러한 방법은 구형 무전기 시스템 뿐 아니라 TICN의 MSAP에도 적용할 필요가 있다. 그림 2는 현재 MSAP-TMFT의 기본구조이다.

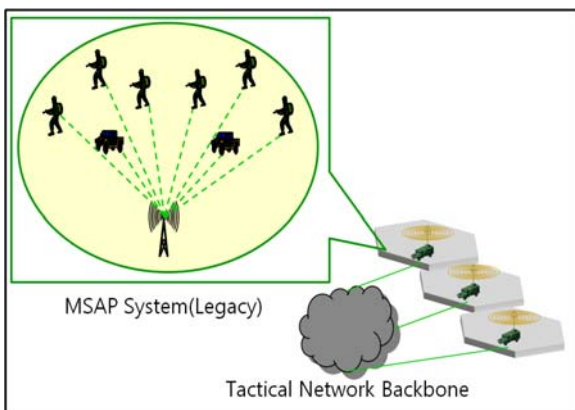


그림 2. 현재의 MSAP 구조(예)
Fig 2. An example of current MSAP structure

2.3. 전투 데이터 흐름 특성

본 장에서는 전투 구조에서의 데이터 흐름 특성을 통해 기존 MSAP-TMFT 구조의 개선될 점을 설명한다. 전투 데이터 흐름은 대부분이 하나의 단위 그룹에서 주로 데이터 전달이 이루어지는 특성을 보인다. 이를 그림 3을 통해 설명한다. Group 2는 중대장과 소대장으로 구성된다. 이때 데이터는 중대장과 소대장, 소대장과 소대장 사이에서 많이 전달된다. 즉, group 2의 소대장이 group 1의 타 중대장과 데이터를 송·수신하는 경우는 매우 드물다.

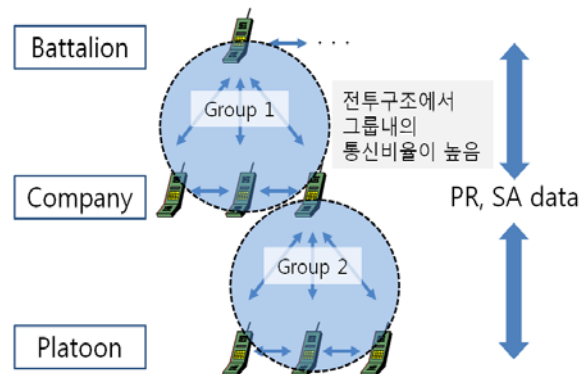


그림3. 전투 그룹의 데이터 흐름 특징^[1]
Fig 3. Characteristics of combat data flow^[1]

이는 전투 환경에서 지휘 특성으로 설명이 될 수 있다. 군 구조는 전투양상의 급격한 변화에 쉽게 대처하기 위해 지휘의 범위를 한정하여 통제하기 때문이다. 따라서 보고를 하는 절차도 소대장 → 중대장 → 대대장(예외적으로 명령에 의해 보고 단계를 지키지 않을 수 있음, 소대장→(중대장)→대대장)으로 순서를 갖게 된다. 직접적인 전투를 수행하는데 있어 필요한 데이터는 동일 제대 혹은 직속 상위 직책으로부터 대부분 얻게 된다. 따라서 통신을 하는 구간이 상대적으로 상용에서와 같이 상위 네트워크까지 접속할 필요 없이 group 네트워크만으로 처리가 가능하다. 예를 들어, 작전을 위한 데이터도 직책(계급)과 임무에 맞게 정보가 수정되어 각 group 단위로 전달된다. 즉, 일부 특정 지휘자에게는 전체 전투를 지휘할 수 있는 대용량의 데이터가 전달되며 하위의 전투원들에게는 그 지휘자로부터 할당되는, 임무 수행에 필요한 데이터만을 전달받아도 됨을 알려준다. 그러므로 하위 group의 전투원들이 macro BS까지 접속하여 데이터를 수집할 필요성이 낮다. 그러므로 전투 네트워크 환경에서 이런 특징을 반영할 필요가 있다.

게다가 각종 보고 수단의 발달이 외부 group간의 데이터 전송량을 더욱 감소시키고 있다. 위치보고(Position Reporting : PR)와 상황보고(Situation Awareness : SA)가 작전계획을 수립하고 명령하는 group에게 필요한 정보를 제공하여 하위 group의 전투원들과 통화 빈도가 낮게 된다. 따라서 group 외부의 통화는 전투 양상의 변화를 갖고 올 수 있는 데이터가 발생할 때에만 통화가 예외적으로 필요하게 된다.

III. 제안하는 방법

본 장에서는 2장에서 소개된 전투 네트워크의 특징을 이용하여 효과적인 네트워크 구성방법을 제안한다. 그림 4는 제안하고자 하는 네트워크의 세부적인 구조이다.

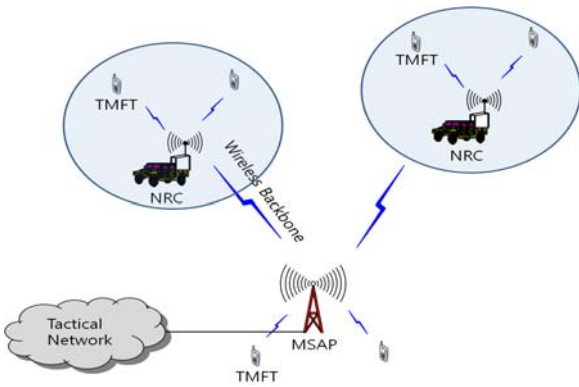


그림 4. 제안하는 시스템의 세부구조
Fig 4. Detailed structure of proposed system

II장에서 설명한 바와 같이 전투 지휘를 하는 특정 직책은 직접 전투를 하지 않더라도 전투 상황을 관찰하거나 부대 전투 활동을 직접 보고 확인하여 결정해야 한다. 따라서 이런 경우에는 일반 전투원보다 활동하는 영역이 넓게 되므로 이동수단(차량)이 주어진다. 해당 전투원의 차량 전원을 통해 통신 장비는 더 많은 출력 전원을 갖고 통신 장비의 기능을 추가할 수 있는 환경을 보장받는다. 이를 통해 휴대용 장비와 비교하여 충분한 전원 공급으로 송신출력과 수신능력을 향상할 수 있으며, 동시에 NAT(Network Address Translation), relay, 기지국의 자원관리 기능이 추가될 수 있다.

그림 4에서 MSAP은 상용에서 IEEE 802.16 기술을 사용하는 기지국과 같다. 그리고 MSAP이 지원하는 TMFT는 IEEE 802.16을 기반하여 동작하는 전투원들이 사용할 데이터 통신이 가능한 무전기

역할을 한다. 그리고 여기서 제안된 NRC는 네트워크 구분, 신호 증폭, 독립적 네트워크 구성이 가능한 장비이다.

이와 같은 특정 직책의 차량용 장비에 기존의 구형 무전기처럼 신호증폭 장비만을 추가하는 것이 아닌 전투 그룹, 전투 장비, 전투 데이터 흐름 특성을 적용하는 NRC 기능을 추가할 것을 본 논문에서는 제안한다. 이를 통해 MSAP의 macro BS로서 서비스 영역을 효과적으로 관리할 수 있으며, 영역을 줄이지 않더라도 가입된 전투원은 선택적으로 MSAP이 지원하는 신호가 강한 macro BS영역이나 NRC의 신호를 수신하여 이용함으로써 성능을 향상할 수 있다.

3.1. NAT 동작

NAT의 동작은 와이브로가 적용되는 macro BS(MSAP) 시스템에서 All-IP 기반으로 동작된다는 것을 가정하여 설명한다. 2.3절에서 제시한 전투 데이터 흐름을 고려하면 전투원은 자신이 속한 전투 단위에서 대부분의 데이터 통신을 수행한다. NAT 동작을 통해 IP가 1차적으로 필터링되어 내부 통신망에 연결된다. 필터링 과정 중 해당 IP이외의 연결이 요청된 경우에는 NRC의 상대적으로 강한 신호를 이용하여 macro BS로 네트워크를 연결한다. 이는 기존의 macro BS를 통해 수행된 전체 네트워크 구성을 효과적으로 분리하여 관리할 수 있는 기회를 제공한다.

3.2. Relay station과 독립적인 자원관리

기존의 relay station은 그림 5와 같이 통상 신호만을 증폭하여 macro BS가 갖는 영역을 특정 위치/방향으로 거리를 확장시키는 것과 더 높은 신호를 제공하여 사용자에게 높은 데이터 속도를 제공하는 개념이다.

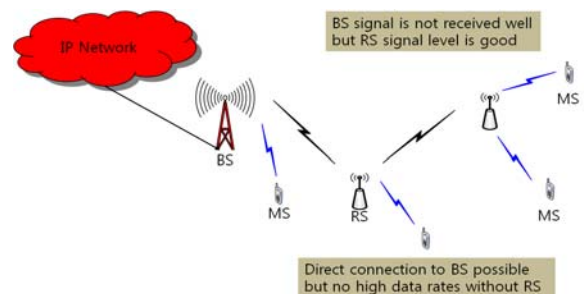


그림 5. Relay Station 기능
Fig 5. Functions of relay station

하지만 상용에서 relay station은 기본적으로

macro BS와 무선백홀을 통해 연결이 반드시 필요하다. 이유는 relay station과 연결된 단말의 통신 목표가 대부분 backbone과 연결된 다른 기지국과 연결되어 있기 때문이다. 반면 전투 환경에서는 2.3에서 설명된 바와 같이 전투 데이터 흐름 특성을 고려하기 때문에 네트워크가 macro BS와의 연결이 반드시 필요하지 않다. 그래서 제안하는 NRC는 이러한 고려사항을 통해 macro BS로부터 자원을 할당받고 이를 관리할 수 있는 기능을 갖는다.

즉, relay station으로서는 macro BS의 약해진 신호를 증폭하여 높은 수율을 지원한다. 그리고 서비스 영역의 연장을 갖고 온다. 또한 자원을 할당받고 이를 관리하는 기능을 통해 macro BS와의 무선백홀 두절시 독립적인 네트워크를 구성함으로써 최소한의 group 통신을 지원하여 전투 효율성을 증대한다.

3.3. MAC frame의 변경

위와 같은 기능을 위해서는 macro BS와 NRC간에 통신과 macro BS/NRC에 각각 속한 사용자에게 통신을 제공하기 위한 MAC frame 구조의 변경이 필요하다. 제안하는 방법이 전투 환경을 고려하고 있으므로 적과 인접하여 전투하는 전투원이 많은 NRC에 우선순위가 있다고 가정한다. 따라서 macro BS는 먼저 NRC가 서비스에 필요한 부분을 우선순위에 의해 유연하게 할당하고 이후 자신에게 속한 전투원에게 할당한다. 변경된 MAC frame은 그림 7과 같다.

제안된 MAC frame은 IEEE 802.16j에서 사용하는 non-transparent에서 distributed scheduling의 frame 구조와 유사하다. 하지만 여기서의 relay station은 macro BS로부터 할당 받은 구간을 통해 운용되어 종속된 관계를 유지한다. 즉 macro BS의 제어 없이는 통신 서비스가 제한되게 된다. 그러나 제한하는 NRC 구조에서는 macro BS로부터 할당 받은 자신의 NRC 자원을 이용하여 독립적인 네트워크를 구성하여 macro BS와의 링크 두절에도 독립적인 네트워크만도 유지할 수 있는 차이점을 갖는다.

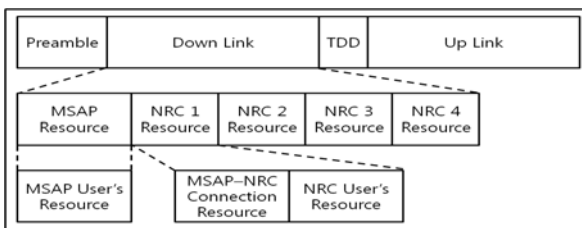


그림 6. 제안하는 MSAP-NRC frame 구조
Fig 6. The frame structure of proposed MSAP-NRC

여기서는 downlink 부분만을 이용하여 MAC frame의 각 부분을 설명한다. Preamble은 와이브로 프레임 구조에서와 같이 동기신호, MSAP D/L Map, NRC의 자원할당 정보를 포함한다. 여기서 MSAP은 작전에 맞는 전투 구조에 의해 NRC로 자원을 할당한다. (그림 6에서 NRC 1~4). 그리고 자신의 MSAP resource를 이용하여 MSAP 그룹의 전투원에게 자원을 할당한다.

NRC는 분배받은 자원을 독립적으로 관리한다. 그림 6과 같이 자원을 다시 NRC preamble, MSAP-NRC connection resource, NRC User resource로 구분한다. NRC preamble은 자신에게 할당된 자원에 대한 정보를 포함한다. 첫째, MSAP-NRC connection resource는 NRC를 운용하는 사용자가 MSAP 사용자와의 통신을 위한 자원으로 사용된다. 둘째, NRC 소속의 사용자가 외부 네트워크와 연결을 요청할 때 사용된다. 셋째, NRC 그룹내에서 발생하는 각종 전투 데이터를 종합하여 보고하는데 사용한다. NRC user resource는 그룹내 TMFT에게 할당하는 자원으로 사용된다.

여기서 MSAP은 MSAP-NRC connection resource로 보고되는 정보를 통해 전투 진행여부를 고려하며 전투를 수행하는 우선순위가 높은 NRC로 많은 자원을 할당하여 전투수행에 필요한 무선자원의 양(그림 6에서 NRC Resource부분)을 적응적으로 변경할 수 있다.

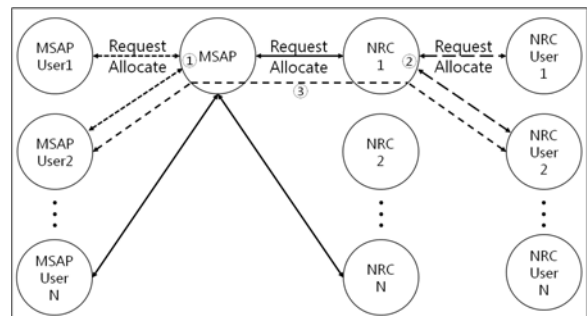


그림 7. 제안하는 시스템의 동작(예)
Fig 7. Operation of proposed system

3.4. NRC의 동작

기존에 개발된 시스템에서는 macro BS가 원거리의 전투원까지 통신 지원을 위한 자원할당을 해야 하며 다시 원거리 사용자에게 연결을 해주어야 하는 비효율적인 네트워크가 구성된다.(그림 7에서 ①) 이는 무선 자원의 낭비와 휴대용 단말기 측면에서는 많은 전력소모를 발생하게 된다. 무선 자원의 낭비는 macro BS를 이용함에 따른 넓은 셀 반경을

사용함에 따른 인접부대에서의 주파수 재사용의 문제를 만든다. 이것은 전투 환경에서 최적의 macro BS 위치를 설정할 수 없는 제한사항 때문이기도 하다. 전력 소모는 대부분의 무선통신에서 채널의 신호감쇄특성으로 인한 전송 전력이 거리에 대해 많은 증가를 갖고 오게 되는 것에서 비롯된다. 식(1)은 이를 쉽게 설명하기 위해 단순화한 것이다.

$$P_t = k \times P_r \times d^\alpha \quad (1)$$

P_t , P_r 은 각각의 기지국과 수신기와의 전송전력이며 d 는 거리, α 는 신호감쇄지수로 2에서 6까지 변화한다. 즉, 기지국과 단말과의 거리가 연장될수록 상호 통신을 위한 전력소모는 제공이상의 비례로 높아지게 된다. 이는 장비의 전원 교체 없이 얼마나 오랜 시간을 효과적으로 통신할 수 있는지를 결정하는 중요한 요소로 대두될 수 있다.

그러나 제안하는 시스템에서는 NRC가 네트워크의 사이에 위치하여 전투 데이터 흐름을 고려하여 NAT로의 역할을 통해 ②의 통신 서비스를 주로 수행한다. 그러므로 통신 거리를 효과적으로 줄이게 된다. 이는 사용자 측면에서 좋은 신호를 수신하여 높은 전송속도 보장과 줄어든 전송거리에 따른 전력소비까지 감소시킨다. 그리고 그림 6의 frame 구조에서 설명된 바와 같이 외부 연결을 요청할 때는 할당된 자원을 이용하여 그림 7의 ③과 같이 동작하여 외부네트워크로도 강한 신호를 사용하여 연결할 수 있다.

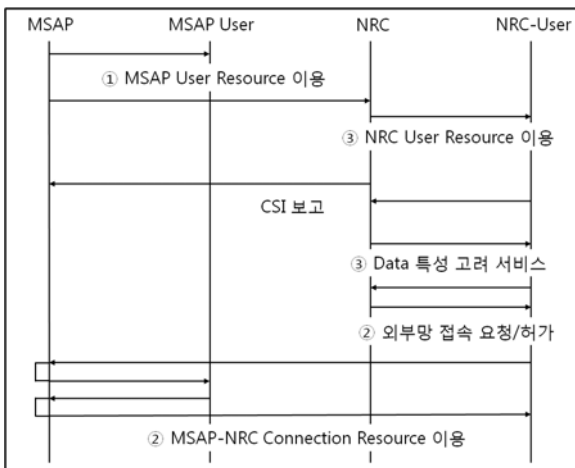


그림 8. 네트워크 접속 절차
Fig 8. An example of network access procedure

NRC를 포함한 네트워크 접속 절차를 그림 8를

통해 설명하면, MSAP은 작전 정보를 통해 NRC와 자신이 사용할 자원을 구분하여 할당한다. 이때 자원 할당은 작전의 우선순위에 의해 변화한다.^[2] 자원 할당이 끝나면 MSAP은 자신의 가입자에 대해 MSAP user resource로 서비스를 한다. (그림 8, ①)

NRC는 작전 정보에 의해 할당된 자원인 NRC resource의 내부에 있는 MSAP-NRC connection resource를 통해 MSAP과의 연결을 유지한다. 이는 MSAP과의 중속된 네트워크로 동작하기 위함이다. NRC 가입자에게 MSAP-NRC connection resource로 외부 네트워크로 접속할 수 있는 U/L 및 D/L을 둘 다 제공한다. (그림 8, ②)

그리고 NRC user's resource로 NRC 가입자를 위한 통신 서비스를 한다. 여기서 중요한 기능은 NAT이다. 따라서 NRC에 소속된 내부 사용자의 통신서비스는 IP 필터링을 통해 내부 네트워크 traffic과 외부 네트워크 traffic여부를 판단하여 서비스함으로써 MSAP으로 집중되는 부하를 감소시키면서 무선자원까지 절약할 수 있다. 외부로 연결을 요청할 때는 frame 내의 MSAP-NRC connection resource 부분을 이용하여 MSAP에 연결함으로써 효과적으로 자원을 활용하는 것이다. 그리고 일반적인 상황에서는 NRC 그룹의 상황보고, 위치보고 등의 데이터는 NRC가 자신 그룹의 것을 수집하여 MSAP에게 종합적인 데이터를 전달하여 자원의 효율성을 높인다. 이러한 방법을 통해서 MSAP이 낭비하는 주파수 자원 절약, NRC간의 상호간섭 방지, 불필요한 기지국 전력낭비, 전송 전력의 증가에 의한 overhearing을 막을 수 있다.

3.5. NRC의 장점

NRC의 장점은 다음과 같다. 첫째, macro BS와 전투원과의 향상된 연결성이다. 이는 NRC가 자신의 전투원에게 MSAP-NRC connection resource를 이용하여 통신 거리가 감소되게 했기 때문이다. 둘째, 차량이 갖고 있는 안정된 전원공급을 통한 신호 증폭을 이용한 강력한 증계기능이다. NRC를 통해 네트워크에 가입된 전투원들은 macro BS로부터 수신할 수 있는 신호세기보다 더 좋은 감도를 수신함으로써 상대적으로 네트워크 두절상황이 감소하게 된다. 셋째, 전투 데이터 흐름 특성에 의한 네트워크 traffic 경감 기능이다. 이는 불필요한 링크 구성을 차단하고 하위 그룹의 주기적인 데이터를 종합하여 macro BS로 전송함으로써 효과적으로 자원을

사용할 수 있게 한다. 넷째, 대역폭 증대이다. 이는 NRC가 네트워크 사이에 위치함에 따라 통신 거리를 감소하고 이로써 OFDMA에서 subcarrier간 간섭을 억제하기 위해 사용하는 guard interval을 작게 설정할 수 있어서 얻어진다. 다섯째, 생존성 향상이다. 이는 자체적으로 할당받은 자원을 통해 독립된 NRC 네트워크를 구성하여 하위 그룹의 통신환경을 보장하여 만약의 macro BS와의 링크 해제, macro BS의 파괴/고장시 전체가 통신이 두절되는 상황에서 NRC 네트워크 만큼은 생존성을 보장할 수 있다. 여섯째, 전투 환경에서의 주파수 자원 관리의 효율성 증가이다. macro BS가 자신에게 할당하는 부분과 NRC로 할당하는 부분을 FFR(Fractional Frequency Reuse)을 이용하여 관리하면 인접해 있는 macro BS와의 간섭을 줄일 수 있게 되고 타 macro BS에 속한 NRC 사이에서도 간섭이 줄어들어 기존의 femtocell이 갖고 있는 macro BS와의 상호 간섭문제까지도 해소할 수 있다.

IV. 모의실험

표 1. 모의실험 값
Table 1. Simulation parameters

Subcarrier 수	680개	사용자 할당 수	17개
Pathloss 계수	4.375	Shadowing 편차	±5dB
Trans. Pow.	40dBm	Macro BS 전송 최대거리	10Km
AMC	QPSK 1/2, 3/4 16QAM 1/2, 3/4 64QAM 1/2, 2/3, 3/4		

표 2. 모의실험을 위한 정보
Table 2. Simulation information

작전형태	사용자 우선순위	거리 (Km)	NRC 우선순위	거리 (Km)
주작전부대	1, 2	8, 10	1	6
보조작전부대	3, 4	7, 9	2	5
예비작전부대	5, 6	6, 8	3	4
작전본부	7, 8	1, 2	-	-
구성인원	주, 보조, 예비(각12명)/작전본부(9명)			

표 1은 모의실험에서 사용한 실험값이다. 우선 macro BS가 최대 10Km까지 신호를 전달할 수 있게 설정하였다. 모의실험을 위해 그림 9과 같이 전투 환경과 유사하게 배치하였으며 표 2는 그 세부 정보를 나타내고 있다. 각 부대별로 작전 정보를 이

용하여 우선순위를 구분하였으며 거리는 표 2와 그림 9을 참고하면 된다. NRC가 없는 경우에 어떠한 결과를 나타내는지 알기 위해 우선 NRC 없이 macro BS만을 배치한 상태에서 사용자 우선순위와 위치를 고려하여 실험하였다.

그림 10은 NRC 없이 사용자 집단을 동시에 거리를 이동시켜 실험한 결과이다. 그림의 결과와 같이 우선순위에 의해 자원을 분배하면 우선순위가 높은 사용자가 더 나은 채널들을 먼저 할당받으므로 수신 SNR이 향상되는 결과를 보였다. 전투 환경은 서비스의 형평성보다는 작전 임무가 중요하기 때문에 이러한 방법의 적용이 가능한 것이다.

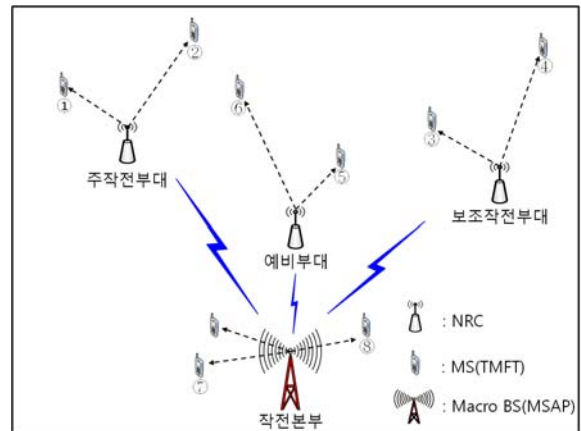


그림 9. 모의실험을 위한 배치
Fig 9. Arrangements for the simulation

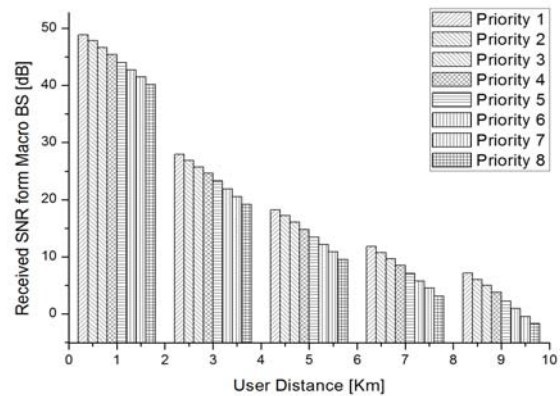


그림 10. 거리 변화에 따른 우선순위 자원할당 SNR 결과 (NRC 미적용)
Fig 10. SNR results (based on priority resource allocation, changing distance, without NRC)

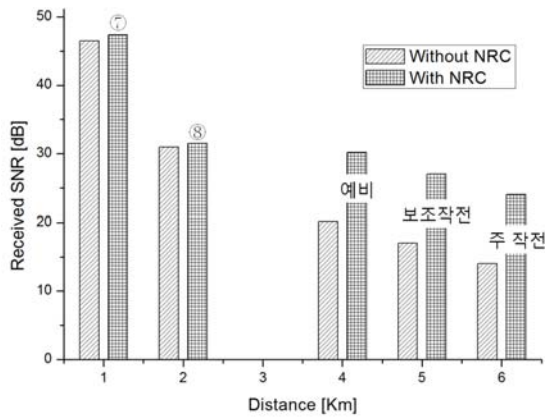


그림 11. NRC를 적용한 결과 비교
Fig 11. Comparison results of applied NRC

그림 11은 NRC를 작전 환경과 유사한 배치로 4, 5, 6Km에 위치하여 기존의 시스템과 비교한 결과이다. 3Km이내의 사용자는 macro BS로부터 직접 자원을 할당받아 사용한 결과이다. 그러나 ⑦, ⑧의 결과를 보면 동일한 macro BS로부터 수신하였어도 NRC를 적용할 때 사용자가 더 좋은 수신신호를 받게 되었다. 이는 NRC로 그만큼 우선순위가 분배된 결과에서 남은 사용자의 우선순위가 상대적으로 높아져 발생한 결과이다. 그리고 각각의 NRC는 전투 환경의 장비 특성이 반영되어 안정된 전원을 통한 신호증폭의 결과를 반영한 것이다.

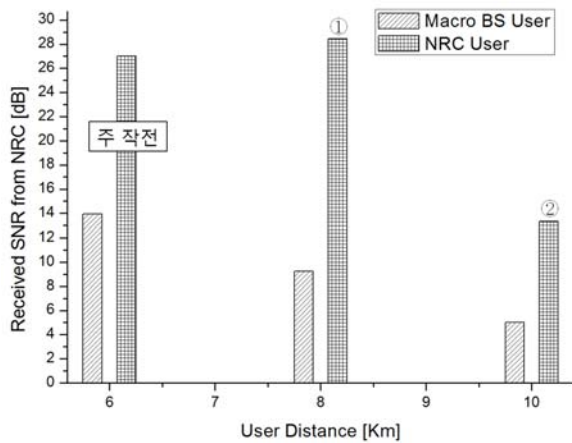


그림 12. 전투원이 NRC로부터 수신하는 SNR
Fig 12. Received combatant's SNR from NRC

그림 12의 결과에서 보듯이 NRC의 적용은 전투원에게 증폭된 신호를 전송해준다. 8, 10Km에 위치한 ①, ②의 전투원에게 강한 신호를 전송하여 생존성 있는 통신을 할 수 있게 지원한다.

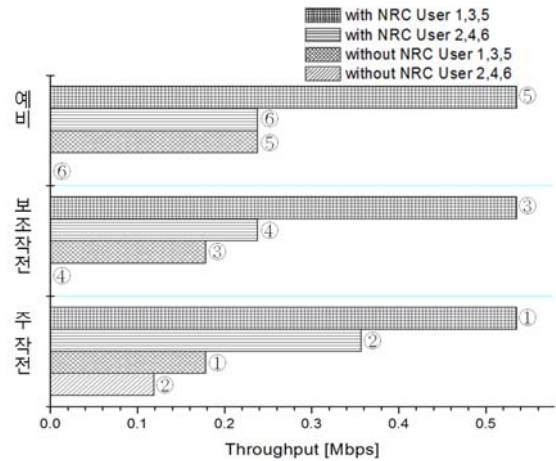


그림 13. NRC를 적용 전, 후 수율 변화비교
Fig 13. Comparisons of change in throughput

그림 13은 각 NRC 그룹내에서 기존 시스템과 비교했을 때 증가된 수율을 보여준다. NRC와 동일 거리에 있으면서도 ②, ④, ⑥ 전투원이 각기 다른 수율을 보이는 이유는 자원이 NRC의 우선순위에 의해 분배되었기 때문이다. 하지만, 이는 macro BS로부터 직접 전송받았을 때의 수율과는 큰 차이를 보인다.

또한 NRC의 적용은 macro BS가 지원해야할 셀 영역을 줄임으로써 OFDM(A)를 구성하는 subcarrier의 GI(Guard Interval)를 감소시킬 수 있어 전송속도를 증가시킬 수 있다. 즉 셀 영역의 증가는 시스템의 전체 사용자의 동기를 위한 변수 조절로 인하여 성능이 낮아지게 된다. 예를 들어 대역폭이 10MHz인 시스템에서 GI가 차지할 부분을 얼마만큼으로 설정하느냐에 따라 시스템이 사용자에게 제공하는 수율은 변화하게 된다.

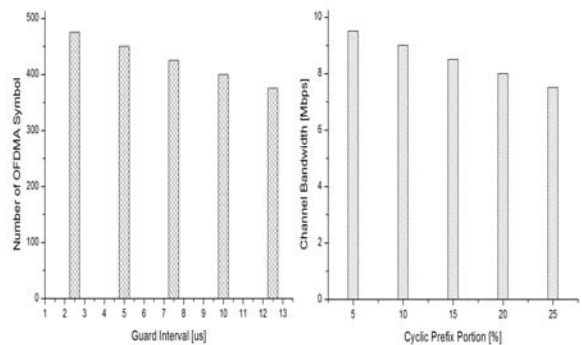


그림 14. 셀 반경 증가에 따른 guard interval과 cyclic prefix 변화
Fig 14. Changes of guard interval and cyclic prefix (increase in cell radius)

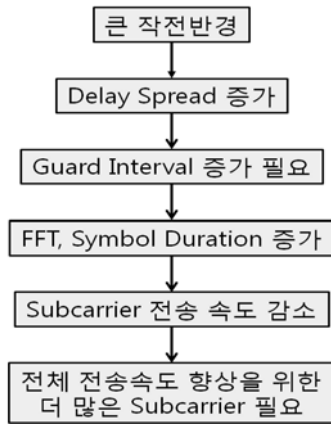


그림 15. 작전반경 확대에 따른 OFDM(A) 고려요소
Fig 15. OFDM(A) consideration factors of expanded operational area

GI는 통상 셀 반경 내에서의 모의실험 또는 실측을 통해서 RMS(Root Mean Square) delay spread 값을 산출하여 해당 값의 4배 정도로 정해진다. 즉, 셀 반경이 증가될수록 GI는 심볼 구간에서 많은 부분을 차지하게 된다. 따라서 제안된 시스템은 이러한 문제를 NRC를 통해 개선하게 된다. 그림 14와 같이 macro BS가 전송해야 하는 구간이 길어질수록 설정되는 GI의 시간이 길어지게 되어 데이터를 전송할 수 있는 유효 심볼 수가 감소하고 이에 따라 조절된 cyclic prefix가 심볼내 차지하는 부분이 증가하여 수율까지 감소하게 된다. 그림 15는 작전 반경이 늘어남에 따라 고려되어야 할 요소들 단순화하여 설명하고 있다.

V. 결론 및 향후 연구

이 논문에서는 전투 네트워크의 특징을 설명하고 기존의 구조와 NRC를 적용한 구조와 비교함으로써 얻을 수 있는 효과를 모의실험으로 증명하였다. 이를 이해하기 위해서는 전투 네트워크에 대한 기본적인 이해가 필요하다. 또한 전투 장비의 성능 개선을 위한 개발 단계에서 이러한 점들이 더 많이 고려되어야 한다.

NRC를 적용함으로써 macro BS로만 네트워크를 구성하는 시스템에서 기지국 파괴시 해당 단말들은 전투 환경에서 다른 단말과의 통신이 제한됨을 고려할 때 생존성 측면에서 보다 전투환경에 적합한 동작을 할 수 있다. NRC가 macro BS로부터 할당 받은 자원으로 통신 서비스를 하여 내부 네트워크를 관리함으로써 최소한의 통신망을 유지할 수 있기 때문이다. 물론 상용에서 독립된 네트워크 구성

은 의미가 크지 않다. 따라서 전투 환경에 적합한 변수를 어떻게 산출하고 이를 어떻게 적용하느냐에 따라 상용과 다른 전투 환경에서는 그 효과를 증대시킬 수 있게 된다.

향후에는 본 논문에서 평가하지 못한 NRC에 의한 무선 자원의 관리의 효과성과 네트워크 분리에 따른 속도 향상 부분, 데이터 트래픽 감소로 인한 자원 절약효과와 독립적인 NRC 네트워크 구성에 따른 망 관리, 자원분배 스케줄링, 프레임 구조 변경으로 인한 복잡도 증가에 대한 추가연구가 필요하다.

참고 문헌

- [1] Michael J. Ryan, Michael R. Frater, "Tactical Communications for the Digitized Battlefield", Artech House, March. 2002.
- [2] 최기운, 나준승, 최영준, "전술환경을 고려한 우선순위 기반의 OFDMA Subcarrier 할당 연구", JCCI 2011, 5F-3, pp. 171-173, 5월, 2011.
- [3] Alessandro Biagioni, Romano Fantacci, Dania Marabissi, Daniele Tarchi, "Adaptive Subcarrier Allocation Scheme for Wireless OFDMA Systems in WiMAX Network", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 27, NO. 2, pp. 217-225, February, 2009.
- [4] Takamasa Haegawa, Rui Zhou, Iwao Sasase, Takashi Shono, "OFDMA Subcarrier Allocation Subcarrier by Considering Traffic Based User's Priority", Communications and Electronics, 2006.
- [5] Cheong Yui Wong, Roger S Cheng, Khaled Ben Letaief, Ross D. Mirch, "Multiuser OFDM with Adaptive Subcarrier, Bit, and Power Allocation", IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATIONS, VOL. 17, NO. 10, October, 1999.
- [6] "IEEE Standards 802.16 : Part 16 Air Interface for Fixed Broadband Wireless Access Systems", IEEE Computer Society and the Microwave Theory and Techniques Society, October, 2004.
- [7] TTA homepage : <http://www.tta.or.kr>
- [8] IEEE 802.16 homepage :

<http://wirelessman.org>

- [9] WiMAX Forum homepage :
<http://www.wimaxforum.org>
- [10] Anna Auguste Anghuwo, Xin Liu, Xuezhi Tan, Youao Liu, "The Spectrum Detection and Allocation of Cognitive Radio Based on OFDM" *IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing*, September. 2009.
- [11] David Lopex-Perez, Alvaro Valcarce, Akos Ladanyi, Guillaume de la Roche, and Jie Zhang, "Intracell Handover for Interference and Handover Mitigation in OFDMA Two-Tier Macrocell-Femtocell Networks", *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, Volume 2010.
- [12] Steven W. Peters and Robert W. Heath, Jr., University of Texas at Austin, "The Future of WiMAX : Multihop Relaying with IEEE 802.16j", pp 104-111 *IEEE Communications Magazine*, January. 2009.

최 기 운 (Ki-Woon Choi)

정회원



2000년 2월 호서대학교 정보통신공학부 학사
 2012년 2월 아주대학교 NCW학과 석사
 <관심분야> Cognitive Radio, 무선자원관리, 전술 및 전투 네트워크, DTN, VLC

최 영 준 (Young-June Choi)

중신회원



2000년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 학사
 2006년 2월 서울대학교 전기컴퓨터공학부 박사
 2006년 9월~2007년 7월 University of Michigan, Research Fellow

2007년 8월~2009년 7월 NEC Laboratories America, Research Staff Member

2009년 9월~현재 아주대학교 정보컴퓨터공학부 조교수

<관심분야> 전술네트워크, 4세대 이동통신망, 무선자원관리, 인지무선