

위성-지상기동망간 네트워크 연동 기술 및 발전방향

I. 서론

미래 전술통신 환경에서 무전기망, 무인로봇망 등을 포함하는 지상기동망은 기지국과 같은 특정 인프라 구조 없이 기동하는 통신노드간 분산 구조하 자율적인 MANET(Mobile Adhoc Network)네트워크 구성이 가능해야 한다. 일반적으로 중앙집중형의 고정된 인프라 구조 기반 이동통신망은 기지국의 안정된 망 서비스를 통해 신뢰성 있는 통신서비스의 구축이 가능하다. 그러나 분산구조의 지상기동망은 통신노드 자체의 하드웨어 제약이 존재하고, 모든 노드가 기동하는 가운데 자율적인 네트워크 구성이 가능해야 하므로 잦은 링크 단절 및 토폴로지의 변화로 인하여 안정적인 망 구성이 어렵다. 특히 한반도의 산악 지형환경과 같이 지형·지물에 의한 통신노드간 LoS(Line of Sight)의 확보가 어려운 경우에는 통신 생존성 보장에 상당부분 문제가 발생 할 수 있다.

이에 비해, 위성의 경우에는 기존 지상기동망의 지형·지물에 의한 물리적 제약 극복이 가능하고 상대적으로 안정적인 링크품질의 제공이 가능하다. 그러나, 위성은 RTT(Round Trip Time)에 의한 전송지연시간이 높은 고지연 특성의 망이고 다수의 가입자가 주파수자원을 공유하는 형태의 망이므로, 실제 각 가입자가 할당받을 수 있는 대역폭 및 전송속도가 상대적으로 제한될 수 있다.

그러므로 미래 전술통신 환경에서 전술 네트워크의 생존성 및 안정성 강화를 위해서는 위성과 지상기동망의 장점을 극대화하여 효과적인 네트워크 구성이 가능한 위성-지상기동망간 네트워크 연동 기술이 필요하다.

본고에서는 미래 전술통신 환경에서 위성-지상기동망간 네트워크 연동 관련 핵심기술 및 연구 사례들을 소개하고, 향후 발전방향에 대해서 기술한다.



노 봉 수
국방과학연구소



한 명 훈
국방과학연구소



II. 관련 연구 동향

1. 연구 방법

본장에서는 <그림 1>과 같이 위성-지상기동망간 네트워크 연동을 위해 필요한 핵심기술을 크게 세가지로 분류하고, 각 핵심기술별 관련 연구 동향을 소개한다.

2. 다중 위성 게이트웨이 선택 기술

다중 위성 게이트웨이 선택 기술은 위성-지상기동망간 연동을 위한 다수의 위성 게이트웨이가 존재하는 MANET망에서 최적의 위성 게이트웨이를 선택하기 위한 기술이다. 이는 세부적으로 위성 게이트웨이의 배치, 위성 게이트웨이의 탐색, 다중 위성 게이트웨이의 선택 기술로 분류할 수 있다.

첫 번째, 위성 게이트웨이의 배치는 위성에 접속 가능한 지상기동망 내에서 최적의 위성 게이트웨이를 설정하는 방법에 관한 것이다. 즉, 많은 수의 위성 게이트웨이 배치는 동적 환경에서 커버리지 및 성능적인 이점을 얻을 수 있지만 이를 유지하기 위한 오버헤드 문제가 발생하게 된다. 많은 연구들에서 이 문제는 클러스터링의 관점으로 다루어졌다^[1-4]. 주로 k-hop 클러스터링을 사용하였으며 각 위성 게이트웨이가 클러스터헤더로부터 k-hop 이내에 위치할 수 있도록 클러스터를 구성하였다. 이들과는 달리 KCMBC^[5]는 위성 게이트웨이의 연결성 및 이동성을 반영하여 클러스터링을 통해 위성 접속점의 안정성을 높이는 연구를 진행하였다.

두 번째, 위성 게이트웨이의 탐색은 지상기동망의 노드들이 접속가능한 위성 게이트웨이를 탐색하는 최적의 방

법에 관한 것이다. 위성 게이트웨이를 탐색하는 방법은 크게 Proactive 탐색, Reactive 탐색, Hybrid 탐색으로 분류할 수 있다^[6]. Proactive 탐색은 위성게이트웨이의 주기적인 광고메시지(GWADV) 플러딩에 기반한 방식이다. 이는 노드와 게이트웨이 노드 간의 안정적인 연결성을 확보하고, 사전 확보된 위성 게이트웨이 경로를 이용해 신속한 라우팅이 가능하다는 장점이 있다. 하지만 주기적인 위성 게이트웨이 광고 메시지 플러딩으로 인한 오버헤드가 크며, 노드의 밀도 증가시 더 큰 성능 열화가 발생하는 단점이 있다. 반면 Reactive 탐색은 데이터 전송이 요구되는 노드의 게이트웨이 요청메시지(GWSOL) 기반의 방식이다. 게이트웨이 요청메시지를 수신한 위성 게이트웨이는 게이트웨이 광고메시지를 요청 노드에게 송신하며, 게이트웨이 광고메시지를 수신한 노드가 최종적으로 위성 게이트웨이를 선택하게 된다. 이 방식은 게이트웨이 광고 메시지의 플러딩 없이 필요한 경우에만 제어 메시지가 생성되므로 오버헤드가 적은 장점이 있으나, 게이트웨이 인접 노드의 부하 증가, 메시지 전송까지의 지연시간 증가 등의 단점이 있다. Hybrid 탐색은 Proactive 탐색 및 Reactive 탐색을 결합한 방식으로 게이트웨이의 광고 영역 내 노드들은 Proactive 탐색 방식을, 광고 영역 밖의 노드들은 Reactive 탐색 방식을 적용한다.^[7-8]

세 번째, 위성 게이트웨이의 선택은 게이트웨이 탐색 절차에 의해 발견된 다수의 위성 게이트웨이 중 최적 게이트웨이를 선택하는 것으로, 요구 QoS(Quality of Service) 성능을 만족하기 위한 게이트웨이 노드 선택 메트릭(Metric)을 설정하는 이슈가 존재한다. 이는 위성-지상기동망 뿐만 아니라 이종망 통합 네트워크 환경에서 다루어지는 문제이다. 일반적으로 요구 QoS 성능을 만족하기 위한 메트릭으로 홉 수, 종단간 지연, 링크 연결성, 게이트웨이 노드 부하 용량 등이 고려되었다. 초기에는 단일 메트릭 적용 시 발생하는 메트릭간 트레이드오프 문제를 주로 다루었으나, 이후에는 다양한 네트워크 특성을 반영한 다중 메트릭 관련 연구들이 진행되었다^[9]. 그 외에도 보안을 주요 메트릭으로 설정하여 게이트웨이 및 경로상의 노드들의 신뢰도 및, 인증 상황^[10]을 고려하는 방법에 관한 연구들도 진행되었다.



<그림 1> 위성-지상기동망간 네트워크 연동 기술



3. 이종망간 MANET 라우팅 통합 기술

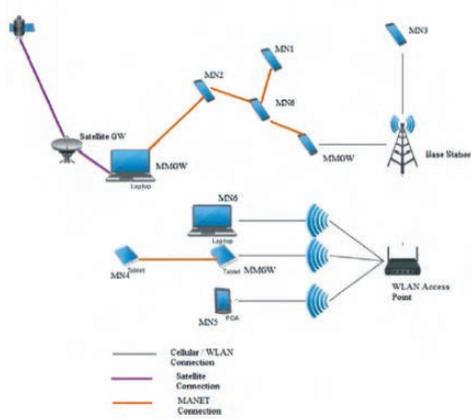
기존의 MANET 라우팅 기술은 다수의 에드혹 통신 노드간 단독으로 구성되는 망 구조를 기반으로 통신기의 특성이 동일한 환경을 가정한다. 그러나, 최근 IP 네트워크를 기반으로 MANET과 이중의 위성링크 혹은 유선백분망, 셀룰러 망, 무선랜 등이 게이트웨이를 통해 연동되는 다양한 시나리오의 연구가 진행되고 있다.^[11-12]

특히, 위성링크는 지형 및 이동성에 상관없이 안정된 링크의 구성이 가능하다는 점에서 MANET의 이동성에 의한 링크 단절 및 토폴로지 변화에 대한 문제점을 극복할 수 있는 대안으로 많은 연구가 되고 있다.^[13-14]

그러나, 위성링크와 MANET의 효과적인 운용을 위해서는 이종망간 라우팅 문제를 해결할 수 있는 방안이 필요하며, 본 고에서는 두가지 관점에서의 관련 연구동향을 살펴보기로 한다.

첫 번째, 위성링크를 백업링크 활용이 가능한 단순 접속망구조로 MANET 경로상의 위성링크와 혼재되어 운용되는 경우, 최적 라우팅 경로 계산 시 상이한 위성 링크 특성 및 이종망간 접점이 되는 게이트웨이를 고려한 라우팅 통합이 필요하다.

이와 관련한 연구로는 MANET의 대표적인 Reactive 기반 에드혹 라우팅 프로토콜인 AODV(Adhoc On-demand Distance Vector)를 기반으로 <그림 2>와 같이 MANET과 위성 및 셀룰러 등의 이종망 연동 시 다중 게이트웨이를 고려한 라우팅 통합 연구를 예로 들 수 있다.^[11]



<그림 2> MANET과 이종망간 연동구조 예

두 번째, 위성링크가 단순접속망이 아닌 위성단말 혹은 위성망 제어 센터(NCC, Network Control Center)와 연동되어 위성 지상단말의 라우터를 통해 데이터를 라우팅 하는 경우, 위성 지상단말의 라우터에서 운용하는 OSPF(Open Shortest Path First), RIP(Routing Information Protocol) 등의 유선기반 라우팅 프로토콜과 MANET의 라우팅 도메인간의 통합이 필요하다. 이 경우 MANET의 이동성에 의한 라우팅 토폴로지 변화를 위성 지상단말의 라우터에 알려 줄 수 있는 방안이 필요하고, 이는 MANET의 네트워크 환경을 고려하여 오버헤드를 최소화 할 수 있는 구조여야 한다.

이와 관련한 연구로는 기존 OSPF를 MANET을 고려하여 확장한 개념의 OSPF-MDR(MANET Designed Router)을 예로 들 수 있으며, 추가적으로 OSPF-MDR을 다수의 MANET 라우팅 도메인간 연동 구조를 제시한 BGP(Board Gateway Protocol)-MR(MANET Routing)^[13], AODV와 OSPF간 교차라우팅 도메인 구조^[15]를 제시한 연구가 있다.

4. 장애감내 고지연 버퍼 관리 기술

일반적인 장애감내 네트워킹 기술(DTN: Delay Tolerant Networks)은 종래의 네트워크 방식과는 달리 중간중간의 중계노드들이 메시지 손실, 경로 단절 등의 네트워크 장애를 고려하여 임의의 주기 동안 정보를 저장하고 필요 시 재전송을 수행하는 S&F(Store and Forward) 방식을 기반으로 동작 한다. 장애감내 네트워킹 기술은 저궤도 위성통신^[16], 센서 네트워크^[17] 등의 다양한 분야에 적용되는 기술이며, 특히 본고에서는 위성링크와 MANET간 게이트웨이에 필요한 기술인 장애감내 고지연 버퍼 관리 기술 관련 연구동향을 살펴보기로 한다.

통신기의 버퍼 공간은 유한한 자원이기 때문에 네트워크의 전송지연, 손실, 단절 등의 상황에 의한 데이터 누적 시 버퍼 오버플로우가 발생하는 경우를 대비한 버퍼 관리 정책이 필요하다. 즉, 기존의 Drop Tail 혹은 Drop Front 방식의 관리기법 이외에도 고지연 환경에서 버퍼에 누적되는 데이터로 인한 오버플로우를 예상하고 효용가치가 적은 정보를 선별하여 폐기할 수 있



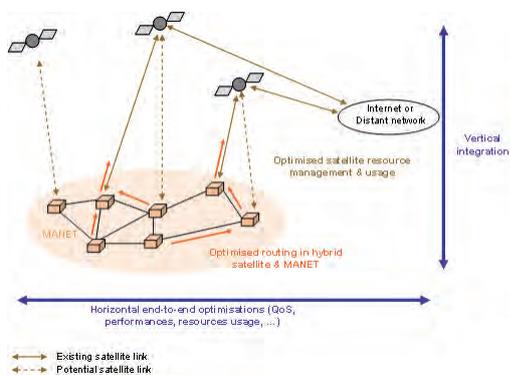
는 방안이 요구된다. 이와 관련된 연구 사례로는 장애감내 네트워크 환경에 적응적으로 대응할 수 있도록 버퍼 공간, 이동성, 폐기정책 등에 기반하여 패킷을 폐기할 수 있는 적응적 최적 버퍼 관리 기법에 대한 연구를 예로 들 수 있으며^[18-19], 적응적 최적 버퍼 관리 기법의 예로서 ABOMP(Adaptive Optimal Buffer Management Policies)는 장애감내 환경에서 전역적인 네트워크 상태 공유를 통한 버퍼 관리 기법을 통해 패킷의 수신율 및 지연시간 최소화 방안을 제시하였다.^[18]

III. 위성-지상기동망간 네트워크 연동 기술의 연구사례

1. MONET 프로젝트

MONET(Mechanism for Optimization of Hybrid Ad hoc Networks) 프로젝트^[20]는 <그림 3>과 같이 위성-지상기동망간 네트워크 연동의 최적화에 관한 내용으로 유럽 6개국의 공동연구로 수행되었으며 2010년부터 약 2년 6개월간 진행된 프로젝트이다. 이들의 연구는 위성 및 MANET간 상호영향을 고려한 종단간 무선자원 최적화를 위해, MANET의 위성 게이트웨이 재구성, 위성 게이트웨이 선택, 분리된 MANET간의 위성 중계링크 사용 방안, 위성 및 MANET의 네트워크 상태에 따른 라우팅 조정 및 자원관리 개선을 위한 계층 간 정보 교환 등의 이슈를 연구하였다.

MONET 프로젝트는 수직적으로는 위성과 지상기동망간 최적의 네트워크 통합을 달성하고, 수평적으로는



<그림 3> MONET 프로젝트 개념도

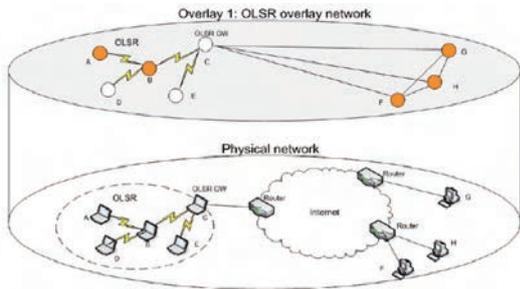
위성 중계를 활용한 MANET 종단간 QoS 요구성능 만족을 위한 망 구조를 제안하였다. 주요 연구 분야는 위성-MANET간 시스템 최적화, 위성망 최적화, MANET 최적화로 분류할 수 있다. 위성-MANET간 시스템 최적화에서는 전체 시스템 레벨에서 MONET 성능 향상을 위해 수행된 종단 간 장애 감내 라우팅, 부하 분산, QoS 보장, 실시간 서비스 최적화 등의 연구들이 진행되었으며, 위성망 최적화에서는 MONET 네트워크에서 위성 분야에서 최적화를 위해 수행된 위성 메쉬 구조, MANET에서의 위성링크 활용 방안, 위성망의 IPv6 적용, AMC(Adaptive Modulation Coding)를 이용한 자원 관리, 트래픽 및 교차최적화를 고려한 주파수 자원 관리 등의 연구가 진행되었다. MANET 최적화에서는 다중 인터페이스 및 다중 채널 에드혹 라우팅, 지리 기반 및 에너지 인식 라우팅, 장애감내 라우팅 등의 연구들이 진행되었다.

2. DUMBONET 프로젝트

DUMBONET(Digital Ubiquitous Mobile Broadband Optimized Link State Protocol Network)^[21]은 태국, 일본 등의 아시아 국가들을 주축으로 수행되었으며, 수해 등으로 인한 재난지역 또는 통신 기반시설이 열악한 지역을 위한 멀티미디어 응급통신 네트워크를 구축하기 위한 목적으로 약 2006년부터 2011년까지 3단계에 걸쳐 수행된 프로젝트이다. 이들의 연구는 주로 재난 발생 시 구조 활동을 위해 신속하고 합리적으로 배치될 수 있는 긴급 통신 도구들을 통해 사진, 비디오, 텍스트, 오디오 등의 멀티미디어 통신을 가능하게 하는 것을 목표로 하였다. DUMBONET은 이러한 목표를 달성하기 위하여 다음의 설계구조를 적용하였다.

- 저비용 상용 장치의 단말 사용
- 인프라 없는 환경을 고려한 디바이스간 직접 통신
- 위성-MANET간 이중 통신 기술간의 연동
- 장애 감내, P2P 기술을 적용
- 현실에 동작 가능한 실용적 시스템 구조

<그림 4>는 DUMBONET의 네트워크 개념도를 보인다.



〈그림 4〉 DUMBONET 프로젝트 개념도

DUMBONET의 1단계 연구에서는 VPN(Virtual Private Network)을 통해 이중망으로 구성된 실제 물리 네트워크를 숨기고 MANET 망과 위성 링크 모두가 OLSR 기반의 단일 오버레이 네트워크로 동작 가능한 구조를 제안하였다. 서버 노드 없이 P2P 통신을 통해 단말 간 비디오, 텍스트 등의 멀티미디어 데이터를 송수신하는 응용 기능이 제안되었다. 또한, 응급통신을 위해 표준 Wifi의 칩셋 및 전원 설정을 조정하여 통달거리를 늘렸으며, OLSR 라우팅 프로토콜의 MPR 설정에 있어서 물리적인 거리를 고려하여 노드를 선택할 수 있게 하였다. 2단계 연구에서 차량간 V2V 통신을 추가로 고려하였으며, 3단계 연구에서는 물리적인 GPS, WIFI 등의 신호가 열악한 환경에서도 멀티미디어 응급 통신을 위한 MANET 통신의 생존성 보장을 위한 DTN 적용 연구를 수행하였다.

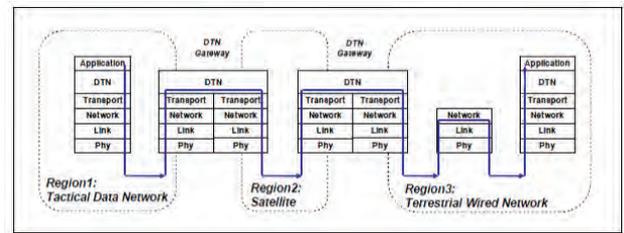
3. CONDOR 프로젝트

미 해병대 CONDOR(C2 On-the-move Network Digital Over the-horizon Relay) 프로젝트^[22](〈그림 5〉)는 신속하게 기동하여 무전기의 통달거리를 벗어나거나 지형지물로 인한 LoS 미확보 시에도 지휘통제를 위한 음성 및 데이터의 유통이 가능하도록 전술 무전기와 위성 단말을 연동하는 구조로 설계되었다.

미군의 EPLRS 무전기와 INMARSAT, MILSATCOM 등의 위성단말을 연동하는 CONDOR 게이트웨이는 DTN 기술을 적용하여 전술 네트워크 환경에서의 적의 재밍 및 간섭, 고지연에 의한 데이터 손실을 방지하기 위한 목적으로 적용되었다. 실례로서 CONDOR 게이트웨이는 DTN의 S&F 특성을 적용하여 〈그림 6〉과 같이 DTN 오



〈그림 5〉 CONDOR 프로토타입 형상



〈그림 6〉 CONDOR DTN 게이트웨이 네트워크

버레이 네트워크를 구성하였으며, CONDOR 게이트웨이는 EPLRS 무전기의 통신이 단절 시 위성 링크 절체 과정에서 아직 위성경로의 비활성화 상태에서도 실시간성의 중요한 임무 정보의 버퍼에 의한 패킷손실이 발생되지 않도록 하였다.

IV. 발전방향 및 결론

향후 MANET으로 운용되는 지상기동망은 지리적 장애 극복 및 광역 서비스가 가능한 위성링크를 활용한 통합 운용 네트워크 구조로 발전될 것으로 판단된다.

임무를 위한 지역적인 기본 데이터 통신은 지상기동망의 MANET 네트워크를 중심으로 수행하되, 기동성 및 지형지물에 의한 MANET의 망 단절이 발생하는 환경에서는 위성링크를 활용하여 지상기동망의 생존성 및 운용성을 극대화시킬 수 있을 것으로 예상된다. 이를 위해서는 MANET과 위성링크를 연동하는 위성-지상기동망간 네트워크 연동 기술의 역할이 중요해 질 것으로 판단된다.

위성-지상기동망간 네트워크 연동의 효과적인 설계를 위해서는 앞에서 논의된 다음의 세가지 핵심기술에 대한 연구가 필요하다고 판단된다. 첫 번째, 지상기동망을 중



심으로 존재하는 다수의 위성 게이트웨이간 로드밸런싱, 링크 품질 등의 다양한 망 환경적 요소를 고려하여 효과적인 네트워크 운용이 가능할 수 있어야 한다. 두 번째, 이질적인 링크가 혼재되어 있는 환경에서 MANET 라우팅이 위성링크 혹은 위성망과 연동되어 상호 네트워크 환경을 고려한 효율적인 통합 네트워크를 구성할 수 있어야 한다. 세 번째, 위성-지상기동망간 게이트웨이에 집중될 수 있는 지상기동망의 트래픽 및 위성링크의 지연 특성을 고려한 장애감내 고지연 버퍼 관리 기술에 대한 연구가 필요하다.

앞으로의 MANET으로 운용되는 지상기동망에 대한 연구는 단독망으로 운용되는 형태가 아닌 위성을 포함한 셀룰라, 무선랜 등과 같이 다양한 형태의 이질적인 망간 연동을 기반으로 최적의 자율적인 이종망간 네트워크 구성이 가능한 지능화된 인지 네트워크(Cognitive Network) 구조로 발전될 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] A. D. Amis 외, Max-min d-cluster formation in wireless ad hoc networks, 19th Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies(INFOCOM), 2000.
- [2] V. S. Anitha 외, Scenario-based diameter-bounded algorithm for cluster creation and management in mobile ad hoc networks, 13th IEEE/ACM International Symposium on Distributed Simulation and Real Time Applications, 2009.
- [3] F. G. Nocetti 외, Connectivity Based k-Hop Clustering in Wireless Networks, Telecommunication Systems, Vol. 22, pp. 205-220, 2003.
- [4] T. C. Huang 외, A double-manager k-hop clustering algorithm in mobile ad hoc networks, 4th International Conference on Computer and Information Technology, 2004
- [5] S. Leng 외, A novel k-hop compound metric based clustering scheme for ad hoc wireless networks, IEEE Transactions on Wireless Communications, 8(1), 2009.
- [6] A. Hamidian 외, Performance of Internet Access Solutions in Mobile Ad hoc Networks, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3427, pp. 189-201, 2004
- [7] P. M. Ruiz 외, Maximal Source Coverage Adaptive Gateway Discovery for Hybrid Ad Hoc Networks, Lecture Notes in Computer Science, Vol. 3158, pp. 28-41, 2004
- [8] S. Bin 외, Adaptive Gateway Discovery Scheme for Connecting Mobile Ad Hoc Networks to the Internet, Proceedings of International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2005.
- [9] S. H. Bouk 외, Gateway Discovery algorithm based on multiple QoS path parameters between mbile node and gateway node, Journal of Communications and Networks, 14(4), pp. 434-442, 2012.
- [10] A. K. Gupta 외, An efficient secure gateway selection and authentication scheme in MANET, International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering, 4(2), pp. 11-18, 2014.
- [11] G. Jisha 외, Integrated MANET Routing Scheme for Heterogeneous Networks, Middle-East Journal of Scientific Research 24(6), 2016.
- [12] Carlos Giraldo Rodriguez 외, Improving MANET routing with satellite out-of-band signaling, International Journal of Satellite Communications and Networking, Wiley, 2013, vol. 31 (n 6), pp. 303-315.
- [13] C.K. Chau 외, InterMR: Inter-MANET Routing in Heterogeneous MANETs, in Proceedings - IEEE MASS, 2010.
- [14] I. Okundaye 외, Inter-domain Routing for Tactical Mobile Ad-hoc Networks, IEEE MILCOM, 2014.
- [15] S. ul-Arfeen 외, Cross Domain Contour of AODV over OSPFv3 in Heterogeneous Ubiquitous Networks using Internet Gateway, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, pp4509-4521, 2010.
- [16] L. Wood 외, Saratoga: a delay-tolerant networking convergence layer with efficient link utilization, Third International Workshop on Sattellite and Space Communication, 2007.
- [17] R. C. Shah 외, Data mules: modeling a three-tier architecture for sparse sensor networks, in Sensor Network Protocols and



Applications, 2003

- [18] Yong Li 외, Adaptive Optimal Buffer Management Policies for Realistic DTN, IEEE GLOBECOM, 2009
- [19] A. Krifa, C. Barakat, and T. Spyropoulos, "Optimal buffer management policies for delay tolerant networks," in SECON'08., 2008, pp. 260–268.
- [20] MONET Project, –<http://monet.tekever.com/>
- [21] K. Kanchanasut 외, DUMBONET: a multimedia communication system for collaborative emergency response operations in disaster-affected areas, International Journal of Emergency Management, 4(4), 2007.
- [22] S. Parikh 외, Disruption tolerant networking for marine corps CONDOR, in MILCOM 2005, IEEE, vol. 1, pp. 325–330, Oct. 2005,



노봉수

- 2004년 2월 한양대학교 전자전기공학부 (학사)
- 2006년 2월 포항공과대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2006년 4월~현재 국방과학연구소 제2기술연구본부

〈관심분야〉

에드혹 네트워크, 인지형 무전기, 분산 무선자원제어



한명훈

- 2007년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 (학사)
- 2009년 8월 중앙대학교 컴퓨터공학과 (석사)
- 2013년 2월 중앙대학교 컴퓨터공학과 (박사수료)
- 2014년 10월~현재 국방과학연구소 제2기술연구본부

〈관심분야〉

에드혹 네트워크, 생태모방 네트워크, 분산 무선자원제어