DBpia

논문 13-38C-11-01

한국통신학회논문지(J-KICS) '13-11 Vol.38C No.11
http://dx.doi.org/10.7840/kics.2013.38C.11.939

차기 군 위성통신 체계를 위한 자원 할당 및 IP 네트워킹

노 홍 준◆, 고 광 춘*, 이 규 환*, 김 재 현*, 임 재 성°, 송 예 진**

Resource Allocation and IP Networking for Next Generation Military Satellite Communications System

Hong-jun Noh◆, Kwang-chun Go*, Kyu-hwan Lee*, Jae-hyun Kim*, Jae-sung Lim°, Ye-jin Song**

요 약

한국군은 미래 군 위성통신의 요구 사항에 걸맞은 한국형 군 위성통신 체계 구축을 위하여 고속대용량, 생존성 보장, All IP 통신, 기동성 보장과 같은 발전 방향을 목표로 차기 군 위성통신 체계를 개발하고 있다. 본 논문은 차기 군 위성통신 체계의 최적 자원 할당과 IP 네트워킹 기술에 집중하여, MF-TDMA 자원 할당, 랜덤 액세스, 위성/지상 연동망 구조, 그리고 PEP의 세부 연구 분야에 대하여 연구 내용 조사 및 분석을 실시하였다. 각 연구 분야에 대한 기존 연구는 채널 효율 및 처리량의 증가를 위한 연구가 주를 이루고 있다. 이에 더하여 차기 군 위성통신 체계를 위한 연구는 이기종 단말, Full Mesh 환경, 분산망, 위성/지상 연동망, 항재밍 등의 특성 들을 고려해야 한다. 본 논문에서는 이러한 특수성을 고려하여 각 분야 별 핵심 연구 이슈들을 제시하고, 주요 이슈에 대하여는 모의실험을 통한 결과를 제시하였다.

Key Words : Military Satellite Communication, MF-TDMA, Random Access, IP Routing, PEP

ABSTRACT

Korean military is developing the next generation military satellite communications system in order to achieve the requirements of future military satellite communication such as high speed, high capacity, survivability, all IP networking, and on-the-move. In this paper, we survey and analyze the research interests about optimal resource allocation and IP networking such as MF-TDMA, random access, satellite IP routing, and PEP. Conventional researches have focused on the increase in channel throughput and efficiency. In addition to these measurements, we consider heterogeneous satellite terminals, full mesh topology, distributed network, anti-jamming, and the like which are the special characteristics of the next generation military satellite communications system. Based on this, we present key research issues and evaluation on the issues by simulation.

Ⅰ. 서 론

전 세계 각국은 정보전(Information Warfare), 네트워크중심전(Network Centric Warfare), 장거리 정밀전(Long-Range Precision Engagement), 로봇전(Robot Warfare) 등 자국의 상황에 맞는 새로운 형

※ 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소의 지원으로 수행되었음 (계약번호 : UD110032ED).
※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2013R1A2A1A01016423).
◆ First Author : 아주대학교 정보및컴퓨터공학과 이동통신연구실, nonoboy@ajou.ac.kr, 정회원
° Corresponding Author : 아주대학교 정보및컴퓨터공학과 이동통신연구실, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원
* 아주대학교 전자공학과 무선인터넷 연구실, light3754@ajou.ac.kr, lovejiyoon7@ajou.ac.kr, jkim@ajou.ac.kr
** 국방과학연구소 syj3565@add.re.kr
논문번호 : KICS2013-09-401, 접수일자 : 2013년 9월 13일, 최종논문접수일자 : 2013년 10월 31일

www.dbpia.co.kr

태의 전쟁 수행 개념을 발전시키고 있다. 이러한 국제정세에 능동적으로 대비하고 미래전 상황에서 전략적 우위를 점유하기 위한 네트워크중심전 기반의 실시간 정보 수집 및 대응 능력의 보유가 필수적이다. 이를 위해서는 독립적인 광대역 통신, 협대역 통신, 보호통신 인프라가 통합되어야하며, 이 중심에는 위성통신망이 핵심 역할을 수행하게 될 것이다[1]. 위성통신망은 위성의 광역성을 통해 지상 무선통신망이 커버하지 못하는 지역에서 서비스를 제공하며, 서비스 지역에 동일한 정보를 제공하는 동보성과 자연 재해에 매우 강한 장점을 가지고 있다. 이러한 장점으로 인해 125 ms의 긴 전송 지연에도 불구하고 군통신을 비롯한 휴대 위성통신 및 공공/안전/재난통신에서의 활용도가 크게 부각되고 있다.

네트워크중심전 관점에서 요구되는 미래 군 위성통신의 능력은 다음과 같다. 글로벌 전장/상황인지 능력, 위성통신망와 지상 무선통신망의 상호 연동 능력, 비디오 기반의 실시간 멀티미디어, 광대역/초고속 정보 통신, 상호 연동되며, 다양한 단말을 수용할 수 있는 강인한 군통신 체계 및 구조, 이동중 고속 대용량의 데이터를 전송하는 링크 제공, 군통신망에 대한 공격 회피 및 저항 능력 확보 등이다.

즉, 위성통신망을 통해 시간과 장소에 구애받지 않고 육상, 해상, 공중 어디서나 전투원이 필요로 하는 상세한 정보를 신속히 제공할 수 있어야 하며, 위성통신망을 통한 지상 통신 서비스 지원 및 위성/지상 겸용 단말기의 개발이 요구된다. 또한, 전장에서 획득한 대용량 ISR (Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance) 정보를 이동 중 실시간으로 전송, 처리, 전파 가능한 플랫폼 및 전송 기술 개발이 필요하며, IP (Internet Protocol) 기반의 통신 방송 융합망의 도입이 필요하다. 최근 실시간 정보 수집 및 신속한 대응능력의 중요성이 부각됨에 따라, 위성통신망 공격을 통한 대응 능력의 저하를 노린 공격이 중요 위험 요소가 되었다. 따라서 통신망 공격 기법에 대한 분석 및 대응방법에 대한 연구가 필요하다.

한국군은 미래 군 위성통신의 요구 사항에 걸맞은 한국형 군 위성통신 체계 구축을 위해 고속대용량, 생존성 보장, All IP 통신, 기동성 보장과 같은 발전 방향을 목표로 차기 군 위성통신 체계 (이하, 차기 위성)를 개발하고 있다. 차기 위성의 구성 요소는 위성 탑재체와 운용국, 분산망 Hub, 그리고 지상의 위성 단말 들로 구성된다. 차기 위성의 위성 탑재체로는 OBS (On-Board Switch)의 사용이 유력하며, OBS는 위성단말의 음성, 데이터 및 영상신호를 받아서 이를 증폭시킨 뒤 재전송하는 역할을 한다. 운용국과 분산망 Hub는 예하 부대의 자원 관리 및 제어를 실시하며, 지상 위성단말 들은 운용국 및 분산망 Hub의 관리 하에 위성통신망에 접속하게 된다. 네트워크 관점에서 차기 위성은 Star/Mesh 토폴로지를 동시에 지원하며, 다중 접속 기법으로는 MF-TDMA (Multi Frequency-Time Division Multiple Access)를 사용한다. 또한 차기 위성은 육·해·공군의 기반 통신 체계를 연동망으로 연결한, 전군 통합망 구현을 목표로 한다.

차기 위성의 개발 목표 달성을 위해서는, 증가된 미래 위성통신 소요에 대비하여 안정적으로 통신 용량을 제공하는 최적 자원 할당 기법의 개발과 NCOE (Network Centric Operational Environment)에 걸맞은 전군 통합망 구축을 위한 IP 네트워킹 능력의 구비가 필수적이다. 이를 위해 본 논문에서는 자원 할당 및 IP 네트워킹의 핵심 연구 분야에 대한 조사 및 분석을 실시하였으며, 이를 바탕으로 각 연구 분야의 핵심 연구 이슈들에 대해 제시하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장과 3장에서는 최적 자원 할당을 위한 MF-TDMA 자원 할당과 랜덤 액세스 기법을 각각 소개하고 연구 이슈를 분석하였다. 4장에서는 All IP 통신을 위해 고려되어야 할 위성 연동망 IP 라우팅 프로토콜의 연구 이슈들에 대해 살펴보았다. 5장에서는 위성 링크를 경유하는 종단 간 통신 연결에서 통신 성능 증가를 위한 PEP (Performance Enhancing Proxy) 기법을 소개하고 연구 이슈를 분석하였다. 마지막으로 6장에서는 각 연구 이슈들을 종합하고 결론을 맺는다.

Ⅱ. MF-TDMA 자원 할당 연구

기존 한국군에서 사용되던 군 위성통신 체계인 ANASIS (Army Navy Airforce Satellite Information System)는 자원 할당 기법으로 주파수 자원을 선 할당하여 운영하는 PAMA (Permanently Assigned Multiple Access)를 사용하였다. 이러한 통신 방식은 한정된 위성 주파수 자원의 활용도를 저해하며 미래 위성통신 소요 증대에 따른 통신용량을 포용하지 못한다. 이에 따라 차기 위성은 요청된 자원을 바탕으로 유동적으로 자원을 운용하는 DAMA (Demand Assigned Multiple Access) 기반

www.dbpia.co.kr

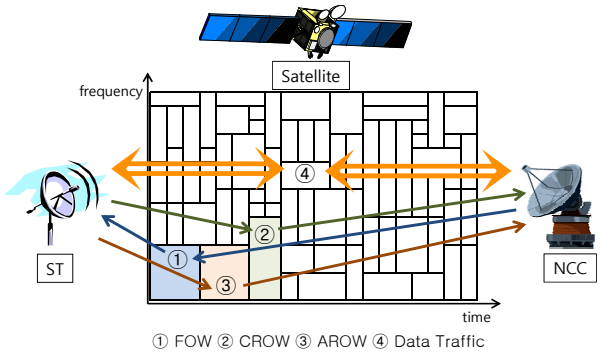


그림 1. MF-TDMA 프레임 구조
Fig. 1. MF-TDMA frame structure

의 MF-TDMA를 사용한다. DAMA는 필요시 마다 자원을 요청하고 할당받음으로써 PAMA에 비해 주파수 효율이 높고, 지원 단말의 수가 많은 장점이 있다. MF-TDMA 자원 할당 성능은 각 단말에게 타임 슬롯을 할당하는 패킹 (Pakcing) 기법에 의해 좌우된다. 패킹 기법의 성능 향상을 위해서는 요청 자원, 채널 상태, 전송 우선 순위 및 QoS (Quality of Service) 등을 고려한 패킹 기법의 연구가 필요하다. 본 장에서는 MF-TDMA 자원 할당의 기본 개념 및 연구 내용들을 살펴보고 이를 바탕으로 차기 위성 최적 자원 할당을 위한 연구 이슈를 제시한다.

2.1. MF-TDMA 프레임 구조 및 제어 채널

MF-TDMA를 사용하는 대표적인 위성 시스템은 상용 표준인 DVB-RCS (Digital Video Broadcast-Return Channel via Satellite)[2]와 미군 표준인 WIN-T NCW (Warfighter Information Network-Tactical Network Centric Waveform)[3]가 있다. 두 표준 모두 자원 할당을 위한 기본 단위로 타임 슬롯을 사용하고 있으며, 여러 개의 타임 슬롯으로 구성된 프레임의 개념을 사용한다. DVB-RCS에서는 프레임을 여러 개 묶은 슈퍼 프레임 구조를 활용하며, 각 서비스 제공자 또는 하위망 관리자에게 독립적인 자원 운용을 위해 슈퍼 프레임을 배분한다.

그림 1은 MF-TDMA의 프레임과 자원 할당 구성요소를 나타낸다. 연속된 주파수 채널과 시간 구간으로 구성된 프레임에 타임 슬롯이 할당된 모습을 통해서 MF-TDMA의 기본 개념을 살펴볼 수 있다. OBP (On Board Processor) 위성의 경우 IP 패킷을 확인하여 라우팅하는 기능을 포함하고 있지만 스위치 기능만이 있는 OBS (On Board Switching) 위성은 패킷 스위치 기능을 한다. OBS를 사용하는 위성통신망에서 자원 할당은 망제어국 (NCC: Network Control Center)과 위성단말 (ST: Satellie Terminal) 간에 제어 정보 교환을 통해 이루어진다. 망제어국은 네트워크 시간 동기를 제공하기 위한 소스 역할 및 네트워크 자원 관리를 하며, 전송 우선순위를 기반으로 DAMA 트래픽을 할당한다. 위성단말은 망제어국에 주기적으로 자원을 요청하며, 할당 자원을 통해 단말 간 통신을 수행한다.

WIN-T에서는 자원 할당과 관련하여 FOW (Forward Order Wire), AROW (Assigned Return Order Wire), CROW (Contention Return Order Wire)와 같은 제어 채널을 운용하고 있으며, 용어가 다를 뿐 DVB-RCS도 동일한 개념의 제어 채널을 운용하고 있다[4]. FOW는 망제어기에서 위성단말로 향하는 포워드 링크 제어 채널로서, 채널 할당 정보 및 세션 연결, 기타 제어 정보를 포함한다. AROW는 위성단말로부터 망제어기로 향하는 리턴 링크 제어 채널로서, 단말 당 별도의 채널을 할당받아 충돌 없이 제어 정보를 전송한다. CROW는 리턴 링크 제어 채널로서 랜덤 액세스 기법을 사용하며, AROW를 할당받기 전 망에 접속하기 위해 사용된다. FOW, AROW, CROW를 제외한 구간은 모두 데이터 전송에 사용되는 Data Traffic 채널이다. 위성통신연결 토폴로지는 망제어기와 위성단말 간 통신 연결인 Star와 위성단말 간 통신 연결인 Mesh로 구분되는데, 모든 제어 채널은 Star 토폴로지를 따르며, 데이터 전송은 Star와 Mesh가 혼용되어 운용된다.

2.2. ACM 및 패킹 알고리즘

패킹 알고리즘은 MF-TDMA 프레임에 타임 슬롯을 적절하게 배치하는 것을 뜻한다. DAMA 기반 위성통신망에서 패킹은 망제어국의 권한으로 그림 2는 망제어국의 자원 관리 모듈을 나타낸다. 효율적인 패킹을 위해서는 단말의 정보 (Tx/Rx 개수, 안테나 이득, 전송 출력, 가용 대역폭 등)와 채널 정보 (SNR, 강우 감쇄)가 필요하며, 망제어국은 위성단말로부터 획득된 정보를 Measurement Module에 저장하여 활용한다[5]. 해당 정보를 바탕으로 프레임 내의 반송파 개수, 변복조 기법, 타임 슬롯의 크기 등을 결정하는 프레이밍을 수행하며, 위성단말로부터 요청되는 호수락 및 자원 요청 정보를 바탕으로 CAC (Call Admission Control)을 수행한다. DAMA Controller는 선행 정보를 모두 활용하여

www.dbpia.co.kr

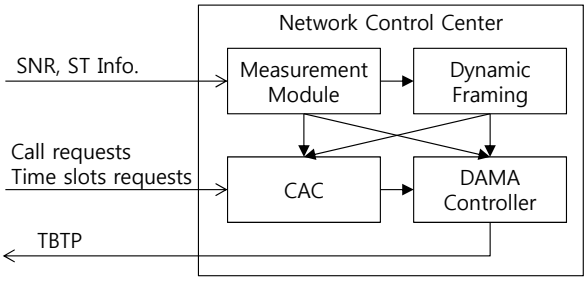


그림 2. 망제어국 자원 관리 모듈
Fig. 2. Resource management modules of NCC

각 위성단말에게 타임 슬롯을 할당하고 할당 정보를 포함한 TBTP (Time Burst Time Plan)를 생성하여 FOW를 통해 전파한다. 이 때, TBTP를 생성하는 최종 단계가 패킹 알고리즘이다.

위성 통신에서 패킹 알고리즘을 복잡하게 만드는 요소는 크게 ACM (Adaptive Coding and Modulation)과 위성단말의 하드웨어 특성이 있다. ACM은 위성 링크 채널 상태에 따라 변복조 기법 및 코딩 기법을 달리함으로써 주파수 효율을 높이는 기법이다[6]. ACM을 적절하게 활용하여 패킹을 할 경우, 채널 상태가 좋을 때는 더욱 높은 link capacity를 얻는 것이 가능하고, 채널 상태가 낮을 때는 link availability를 높여 통신 성공률을 높이는 것이 가능하다[7]. ACM을 하기 위해서는 위성단말이 주기적으로 수신 채널의 SNR 정보를 망제어국에 보고하는 것이 필요하며, 채널 상태에 따라 위성단말마다 상이한 MODCOD (Modulation and Coding)가 선택된다. 패킹 알고리즘에서 고려되어야 할 또 하나의 요소는 위성단말의 하드웨어 특성이다. 특히 군 위성통신망에서 각 위성단말은 고정용, 휴대용, 운반용 등 탑재 플랫폼에 따른 이기종의 단말들로 구성되며, 이에 따라 송신 출력, 안테나 이득, 가용 Tx/Rx 개수 등의 차이가 발생한다. 특히 차기 위성에서 목표로 하는 Full Mesh 통신을 위해서는 송신 단말의 하드웨어 특성 뿐 아니라 수신 단말의 하드웨어 특성을 함께 고려한 패킹이 이루어져야 한다.

ACM을 고려한 자원 할당 기법은 convex optimization과 integer programming, Knapsack problem 등을 활용하여 단말에게 최적의 MODCOD 및 할당량을 계산하는 기법이 소개되었다[8-10]. 하드웨어 특성을 고려한 자원 할당 기법은 이기종 단말 간 채널 간섭을 최소화하기 위해 전력 제어와 연계한 자원 할당 기법이 있으며[11], 하나의 Tx가 동시 여러 대역을 접근할 수 없다는 제약 조건을 활용한 RCP (Reserve Channel with Priority) fit 패킹 알고리즘이 있다[12]. RCP fit은 제약 조건 하에서 다른 패킹 알고리즘에 비해 우수한 성능을 제시하였으나, 모든 위성단말이 동일한 대역폭으로 통신하는 가정을 바탕으로 제안되었다. [13]에서는 가용 단말의 대역폭이 서로 상이한 특성을 고려하여 프레임 구조를 설계하고 이에 따른 패킹 알고리즘을 제안하였다. 그러나 패킹 효율을 극대화하기 위해 대역폭의 크기를 2의 제곱에 비례하는 특정 숫자로 고정함으로써 특정 상황에 제한적인 패킹 알고리즘을 제안하였다.

2.3. 패킹 알고리즘 모의실험

본 논문에서는 앞선 연구 결과들에서 고려되지 않은 차기 위성의 Full Mesh 환경을 바탕으로 패킹 알고리즘의 성능을 분석하였다. Full Mesh는 모든 통신 연결이 위성단말 간에 이루어지는 상황으로, 송신 단말의 능력과 함께 수신 단말의 능력도 함께 고려되어야 한다. 이를 위해 네트워크 내 위성단말의 개수를 제한하고 송신 단말의 Tx와 수신 단말의 Rx의 개수를 함께 고려하여 모의실험을 진행하였다. 즉, 송신 단말과 수신 단말은 가용 Tx/Rx의 개수까지만 동시에 송수신하는 것이 가능하다. 본 논문에서는 패킹을 위해 필요한 단말의 하드웨어 특성 및 채널 상태는 주기적으로 전송되는 정보를 통하여 획득되고, ACM을 고려한 각 단말의 MODCOD 및 타임 슬롯 크기는 계산된 것으로 가정하였다. 또한 모든 데이터는 상/중/하의 우선순위를 가지며, 패킹 시 해당 우선순위에 따라 패킹을 실시하였다. 동일한 우선순위를 가진 요청에 대해서는 패킹 효율을 고려하여 대역폭의 크기와 요청 자원의 양이 큰 것에서 작은 것 순으로 패킹을 실시하였다[13]. 비교된 패킹 알고리즘은 First fit, Best fit, 그리고 RCP fit[12]이다. First fit은 패킹 시 기준 채널에서부터 자원을 검색하여 할당 가능한 채널을 찾게 되면 바로 그 채널에 할당을 하고 다음 데이터의 패킹으로

표 1. 자원 할당 모의실험 파라미터
Table 1. Simulation parameters for resource allocation

Parameters	Values
No. of channels in frame (f)	32
No. of time units in frame (t)	70
Number of satellite terminals (n)	30

www.dbpia.co.kr

Mean interarrival time of traffic (λ_1) <Poisson distribution>	Calculated by (3) (unit: frame)
Mean duration of traffic (λ_2) <Exponential distribution>	5 frames
Mean data size of traffic per frame (data_mean) <Uniform distribution>	15 BTUs
Timeout	10 frames

넘어간다. Best Fit은 모든 채널의 할당 정보를 검색하고, 할당 가능한 채널 중 가장 자원이 적게 남은 채널을 선택하여 할당한다.

모의실험을 위한 파라미터는 표 1과 같다. 프레임은 f 개의 채널과 t 개의 타임 유닛 (시간 단위)으로 구분된다. 패킹을 위한 기본 단위는 하나의 채널과 하나의 타임 슬롯으로 구성되는 BTU (Bandwidth Time Unit)[2]이다. 따라서 프레임 내의 전체 패킹 자원은 $f \times t$ 개의 BTU로 구성되며, 최소 타임 슬롯은 한 개의 BTU로 구성된다. 위성단말의 수 (n)은 30 개로 하였으며, 각 위성 단말은 offered load에 따라 복수개의 트래픽을 발생시킨다. 패킹은 각 위성단말의 트래픽에 연속된 BTU로 구성된 타임 슬롯을 할당하는 과정이다. 모의실험 결과를 수집하기 위해 프레임의 패킹 자원 효율(ρ)을 측정하였으며, 이는 전체 패킹 자원 대비 실제 할당된 패킹 자원의 양을 나타낸다. 따라서 ρ는 다음과 같이 계산된다.

$$\rho = \frac{\sum_{j=1}^{n} (BTU_j)}{f \times t} \quad (1)$$

이 때, BTU_j는 j 번째 위성 단말에 할당된 BTU의 개수이다.

모의실험 중 각 위성단말은 terminal load에 따라 동일한 양의 트래픽을 발생시킨다. Terminal load는 [12]의 수식 (6)에 제시되어 있으며, 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$G_j = data_mean \times \frac{\lambda_2}{\lambda_1} \quad (2)$$

이 때, G_j는 j 번째 위성 단말의 offered load를 의미한다. data_mean은 프레임 당 데이터 크기의 평균을 나타내며, 단위는 BTU이다. λ_1과 λ_2은 각각 트래픽 발생 주기와 발생된 트래픽의 존속 기간의 평균을 나타내며, 단위는 프레임이다. 본 논문에서는 네트워크 전체 트래픽의 양을 계산하기 위하여 normalized offered load (G)를 정의하였으며, 전체 위성단말의 terminal load의 합을 전체 패킹 자원의 양으로 normalization하여 계산하였다. 즉, G는 전체 패킹 자원의 양 대비 발생 트래픽의 양을 나타내며, 수식 (3)과 같이 계산된다.

$$G = G_j \times \frac{n}{f \times t} \quad (3)$$

수식 (2)와 (3)에서 λ_1을 제외한 모든 변수는 표 1과 같이 세팅되며, λ_1은 모의실험 시 세팅한 G 값과 수식 (2)와 (3)에 의해 다음과 같이 계산된다.

$$\lambda_1 = data_mean \times \frac{\lambda_2}{G} \times \frac{n}{f \times t} \quad (4)$$

따라서 G 값이 클 경우 λ_1이 작아져, 트래픽이 더 자주 발생하게 된다. 각 위성 단말은 λ_1, λ_2, data_mean 값과 표 1에 명시된 각각의 분포 (Poisson, Exponential, Uniform)를 따라 독립적으로 트래픽을 발생시킨다. 결과 그래프에서 Uniform 분포는 U(m, n)으로 표기되며, 이는 m부터 n 사이의 샘플 스페이스를 가지는 Uniform 분포를 나타낸다. 그리고 발생된 트래픽 중 타임아웃 기간 동안 패킹하지 못한 트래픽은 리스트에서 삭제하였다.

그림 3은 Tx의 개수는 1개로 고정하고, Rx의 개수는 제한을 두지 않은 상황의 패킹 성능을 나타낸다. 즉, 수신 단말은 전체 채널을 동시에 수신할 수 있으며, 이는 망제어국이 수신하는 Star 토폴로지의 상황을 나타낸다. 실험 결과를 통해 Tx 개수의 제약으로 인한 RCP fit의 성능이 우수함을 확인할 수 있으며, First fit과 Best fit은 유사한 성능을 나타냄을 확인할 수 있다. 또한 데이터 크기의 분포가 U(5, 25)인 경우보다 U(10, 20)인 경우 성능이 소폭 향상되는 것을 확인할 수 있다. 이는 데이터 크기의 편차가 작을수록 패킹 효율이 높아지는 것을 나타낸다.

그림 4는 Full Mesh 환경에서의 패킹 성능을 나타내며, 데이터 크기의 분포는 U(10, 20)을 사용하였다. Tx와 Rx 앞의 숫자는 각 위성단말이 보유한 Tx와 Rx의 개수를 뜻한다. 실험 결과, 1Tx/1Rx와 1Tx/2Rx의 경우 Star 토폴로지와 유사하게 RCP fit이 다른 패킹 알고리즘에 비해 성능이 높은 것을 확인할 수 있다. 이는 채널 예약을 통해 Tx가 한 채널에서 지속적으로 전송하도록 유지하기 때문이다

www.dbpia.co.kr

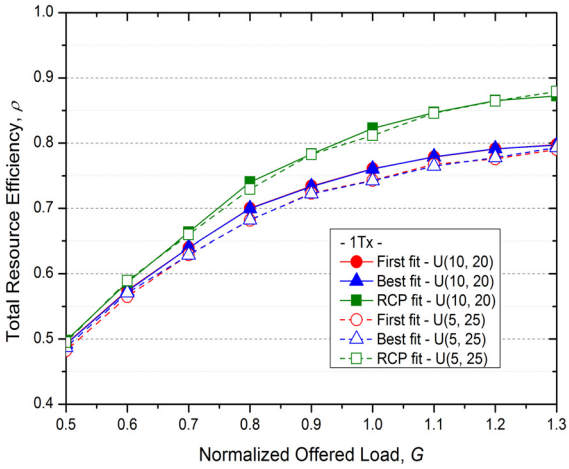


그림 3. Star 토폴로지 패킹 성능
Fig. 3. Packing performance of Star topology

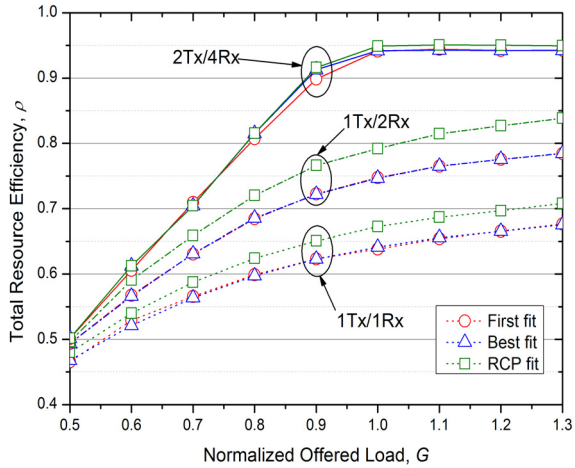


그림 4. Full Mesh 토폴로지 패킹 성능
Fig. 4. Packing performance of Full Mesh topology

[12]. 1Tx/1Rx의 경우 채널 효율이 0.7 (70 %) 이하로 매우 낮다. 이는 가용 Tx와 Rx가 각각 한 개로 제한됨으로써 프레임 내에 남는 자원이 있더라도 하드웨어 제약으로 인해 더 이상 송수신을 하지 못하기 때문이다. 채널 효율을 높이기 위해서는 추가적인 위성단말을 네트워크에 유입하거나 가용 Tx/Rx의 개수를 늘리는 것이 타당하다. 1Tx/2Rx의 경우 채널 효율이 최대 0.85 (85 %)로 Rx 채널을 하나 더 운용함으로써 1Tx/1Rx 대비 15 %의 채널 효율 증가를 나타낸다. 2Tx/4Rx는 최대 채널 효율이 0.95 (95 %)로 매우 높으며, G가 1보다 작은 상황에서 채널 효율이 G와 동일하게 나타남으로써 거의 모든 요청 자원이 할당되는 것을 확인할 수 있다. 이는 위성단말이 동시에 여러 채널로 송수신함으로써 Tx와 Rx에 따른 제약 사항이 약해졌기 때문이다.

위의 결과들을 통해 송신 단말과 수신 단말의 가용 Tx/Rx 개수가 Full Mesh 통신 성능에 상당한 영향을 미치는 것을 살펴볼 수 있다. 가용 Tx/Rx 개수 이외에도 전송 출력, 송수신 안테나 이득, 가용 대역폭 등이 실제 패킹 성능에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 최적의 패킹 알고리즘과 함께 이러한 하드웨어 특성을 함께 고려한 연구가 필요하다.

2.4. 자원 할당 연구 이슈

앞서 MF-TDMA 자원 할당과 관련된 연구 내용들을 살펴보았다. 이들은 프레임 내의 자원 효율을 최대화하기 위하여 채널 상태 및 위성단말 특성 (Tx/Rx 개수, 가변 대역폭 등)을 고려하였다. 이에 더하여 차기 위성 자원 할당에서 고려할 부분으로는 음성 통신 및 스트리밍 서비스와 같은 실시간 데이터 통신과 신뢰성 및 생존성 보장을 위한 항재밍 기법이 있다. 실시간 트래픽의 경우 자원 할당량과 별개로 delay jitter가 QoS에 큰 영향을 미치므로, 이를 고려한 패킹 기법의 연구가 필요하다[14]. 또한 MF-TDMA 자원 할당은 모두 FOW 채널에 의존적으로 수행된다. 따라서 위성통신재밍 패턴을 분석하고 제어 채널 및 주요 트래픽을 연속적인 재밍에서 보호하는 항재밍 패킹 알고리즘의 연구가 필요하다.

차기 위성은 군 제대의 특성에 맞춰 계층적인 분산망 구조를 구성한다. 이에 따라 각 분산망의 독립적인 자원 할당과 함께, 통합작전 수행을 위한 분산망 간 정보 교환 및 핸드오버에 대한 연구가 필요하다. 분산망의 개념을 적극적으로 활용하면, 작전 및 전장 상황에 따라 동적으로 구성되는 작전 제대에게 독립된 자원을 할당하여 운용하는 위성 데이터링크를 구성하는 것이 가능하다. 특히 해상 작전 또는 적지 종심 작전과 같이 통신 인프라의 지원이 어려운 작전에서 위성 데이터링크를 유용하게 활용할 수 있다[15]. 이를 위해서는 특정 작전 그룹에 임의의 자원을 할당하고 동적으로 유지/관리하는 연구가 필요하다. 또한 Star 토폴로지로만 운용되는 제어 채널을 Mesh 토폴로지를 활용하여 운용함으로써 그룹 내에 위성단말 들이 독립적으로 자원을 공유하고 활용하는 형태에 대한 연구가 진행되어야 한다[16,17].

Ⅲ. 랜덤 액세스 기술 연구

차세대 위성통신 서비스는 M2M (Machine-to-

www.dbpia.co.kr

Machine), ATC (Air Traffic Control), 공공/재난 통신 등 많은 사용자들로부터 단발성 (burstiness)이 큰 트래픽을 발생 시키는 경향으로 변화하고 있다[18]. 군의 경우에도 급작스런 전술 상황 발생 시, 해당 지역의 센서, 슈터, 지휘 통제 체계로부터 센싱 정보, 전술 메시지, 상황 보고와 같은 단문 메시지 들이 빈번하게 발생할 것으로 예상된다. 차세대 서비스의 트래픽 유형은 DAMA 방식보다는 랜덤 액세스를 통해 처리하는 것이 더욱 효과적이다[19]. 그 이유는 위성통신의 긴 전송 지연 및 DAMA에서의 타임 슬롯 할당 절차로 인해 최대 수백 ms의 대기 시간과 제어 메시지 교환이 요구됨으로써, 실시간 단문 메시지의 전송 대비 오버헤드가 상당히 크기 때문이다. 반면 랜덤 액세스는 데이터 전송이 필요할 경우 랜덤 액세스 채널에 즉시 접근하여 데이터를 전송함으로써 실시간 단문 메시지 전송에 적합하다. 그러나 이러한 장점에도 불구하고 위성 랜덤 액세스 채널에서 주로 사용되는 SA (Slotted ALOHA)는 최대 처리량이 36 %로 매우 낮은 단점을 가지고 있어, 리턴 링크 제어 채널로만 주로 사용되고 있다. 이에 따라 기존 랜덤 액세스의 장점을 유지하면서 채널 용량 및 안정성을 증대시키는 기술 연구가 다수 진행 중이다.

3.1. 랜덤 액세스 연구

CRDSA (Contention Resolution Diversity ALOHA)[20]는 SA의 단점인 최대 처리량을 55 %로 향상 시킨 랜덤 액세스 기법으로 그 성능을 인정받아 DVB-RCS2 표준에 적용되었다[2]. CRDSA의 핵심 기술은 복제 패킷의 전송과 SIC (Successive Interference Cancellation)이다. CRDSA를 사용하는 각 위성단말은 프레임 내에서 동일한 패킷을 서로 다른 슬롯에 2번 전송한다. 복제 패킷 중 하나가 성공적으로 수신될 경우, SIC를 통해 나머지 복제 패킷을 해당 슬롯에서 제거함으로써 다른 패킷의 수신 확률을 높인다. 그림 5는 위성단말이 4개일 경우 CRDSA의 동작 예시를 나타낸다. 가장 먼저 ST #1과 ST #4의 패킷이 성공적으로 수신되며, ST #2와 ST #3의 패킷은 충돌로 인해 수신에 실패한다. 그러나 ST #1과 ST #4의 복제 패킷을 SIC를 통해 충돌 슬롯에서 제거함으로써 ST #2와 ST #3의 패킷도 결국엔 성공적으로 수신하는 것이 가능하다.

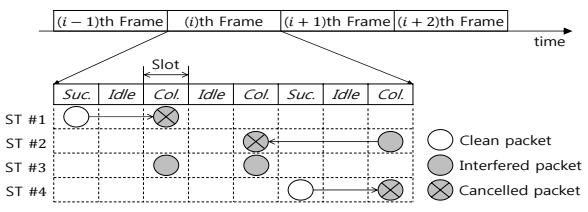


그림 5. CRDSA 동작 예시
Fig. 5. Example of CRDSA

CRDSA의 개발 이후, 더욱 높은 처리량 획득을 위해 IRSA (Irregular Repetition Slotted ALOHA)[21]와 CSA (Coded Slotted ALOHA)[22]가 개발되었다. IRSA는 복제 패킷의 개수를 조절하여 최대 처리량을 80%까지 향상시킨 기법이며, CSA는 패킷 복제 대신 irregular code를 사용한 코딩 기법을 사용하여 IRSA에 비해 전송 횟수를 줄임으로써 전송 효율을 향상시킨 기법이다.

3.2. 랜덤 액세스 모의실험

SIC를 활용한 이들 기법은 최대 처리량을 증가시킨 반면 복제 패킷으로 인해 특정 offered load 이상에서는 오히려 SA보다 처리량이 급격하게 감소하는 단점이 있다. 이러한 단점은 감소하는 비율의 낮을 뿐 SA에서도 동일하게 발생하며, 이를 해결하기 위해 ATL (Adaptive Traffic Load) 기법이 소개되었다[23,24]. ATL은 SA 채널의 offered load를 추정하고 추정값을 바탕으로 access probability를 조절하는 기법이다. 본 논문에서는 offered load를 알고 있다는 가정 하에 CRDSA와 IRSA에 ATL을 접목하고 이에 따른 성능을 모의실험을 통해 확인하였다.

그림 6은 SA, CRDSA, IRSA의 성능을 비교한 것으로 프레임 내 타임 슬롯의 개수는 100개, 그리고 IRSA의 복제 패킷 비율은 $\Lambda(x) = 0.5x^2 + 0.28x^3 + 0.22x^8$ [20]을 사용하였다. 그래프를 통해 IRSA, CRDSA, SA 순으로 최대 처리량이 높은 것을 확인할 수 있다. 그러나 최대 처리량에 해당하는 offered load을 넘어서면 IRSA와 CRDSA의 처리량은 급격하게 감소하여 SA보다 낮아진다. 이는 offered load가 증가할수록 복제 패킷으로 인한 이득보다 회복할 수 없는 패킷 충돌의 양이 증가하기 때문이다. 반면 ATL을 접목할 경우 최대 처리량을 유지하며 채널이 안정적인 것을 확인할 수 있다. 즉, 채널의 offered load를 정확히 추정하고, 최대 처리량에 해당하는 offered load를 미리 알고 있다면, access probability를 조절하여 최대 처리량과 안정성을 보장하는 것이 가능

www.dbpia.co.kr

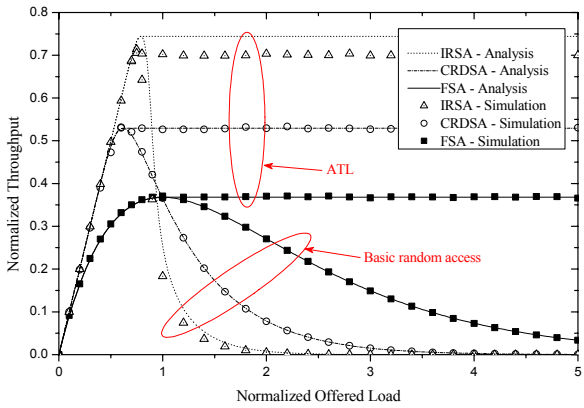


그림 6. 랜덤 액세스 처리량 비교
Fig. 6. Throughput comparison of random access protocol

하다.

3.3. 랜덤 액세스 연구 이슈

SIC를 활용한 랜덤 액세스 기법은 최대 처리량의 획기적인 증가를 통해 데이터 통신을 위한 새로운 가능성을 제시하였다. 그러나 CRDSA 계열의 기법들은 복제 패킷 전송으로 인해 전력 소모가 크고 높은 offered load에서 처리량이 낮다. 이를 해결하기 위해 채널 예약을 통해 복제 패킷의 개수를 제어하는 연구가 진행되었다[25]. 또한, SIC의 수행을 위해 프레임과 타임 슬롯의 크기가 정해져 있어 이를 위한 동기 확보 및 전력 제어가 필요하다. 이에 따라 SIC를 프레임이 없는 (Frameless) 환경에 접목하는 연구가 진행되고 있다[26,27]. 해당 기법들은 확산 코드와 SIC를 활용하여 패킷 충돌 상황에서도 패킷을 복구하는 것이 가능하다. 이처럼 최신 랜덤 액세스 기법들은 이론적인 환경에서 성능을 검증하던 단계에서 실제 위성통신 환경에서 성능을 보장하기 위한 연구로 진화하고 있다. 이에 발맞춰 실제 위성에서 SIC에 영향을 미치는 채널 특성, 위성 중계기 증폭기의 비선형성, 프레임 동기 등을 고려한 연구가 필요하며, 채널 코딩 및 ANC (Analog Network Coding)과 결합하여 추가 이득을 얻는 방향에 대한 연구가 필요하다.

Ⅳ. 차기 위성/타체계 연동망 라우팅 프로토콜 적용 연구

차기 위성은 지상에 구축된 육·해·공군 기반 체계와의 연동 운용을 통해 지상 무선통신망의 생존성 및 데이터 전송 신뢰성을 높이는 것을 목표로 한다.

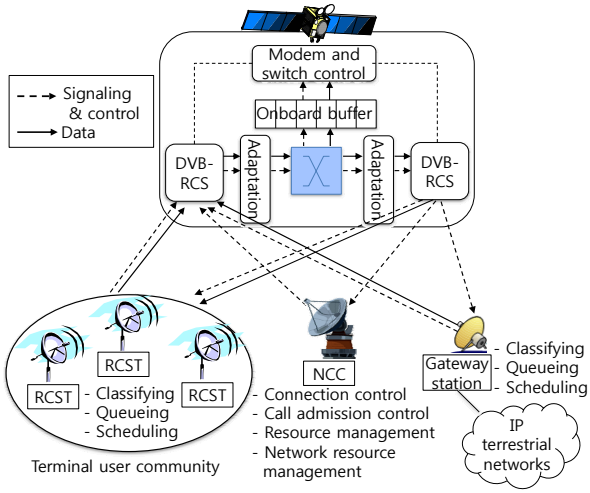


그림 7. DVB-RCS 망 구조
Fig. 7. Network architecture of DVB-RCS

현재 OBP를 활용한 위성통신망 라우팅이나, 위성간 라우팅 기법의 연구가 진행되었으나[28,29], 차기 위성에 적합한 위성/타체계 연동망 즉, 위성통신망와 지상 무선통신망의 통합망에서의 라우팅 프로토콜 적용 및 성능 검증을 위한 연구는 부족한 실정이다.

그림 7은 상용 위성통신 표준인 DVB-RCS 시스템의 망 구조와 망 구성 요소의 기능을 나타낸 것이다[30]. DVB-RCS는 사용자의 데이터 전송 경로 설정을 위해 Static 라우팅을 기본으로 고려하며, Dynamic 라우팅은 선택적으로 구성할 수 있다[2,31]. DVB-RCS 시스템은 사용자의 데이터 전송 경로 결정를 위해 필요한 라우팅 정보 관리, 단말에 할당되는 자원 관리, QoS 관리 등 대부분을 망제어국에서 수행한다. 위성단말은 망제어국으로부터 Static 라우팅 정보를 받아 RIB (Resource Information Base)를 구성하며, RIB를 통해 패킷의 경로 설정을 한 후, 서비스 요구사항을 만족하며 처리 가능한 active connection이 있는지 확인하고 데이터를 전송한다. 이는 DVB-RCS 시스템이 가입자의 이동이 발생하지 않는 고정된 망구조를 가지며, 초기 망 구성 이후 망관리 및 제어를 위한 트래픽 발생이 적기 때문에 가능하다.

그러나 군의 차기 위성/타체계 연동망과 DVB-RCS 시스템은 상이한 특성을 갖는다. 특히 전술 통신망의 대부분의 단말은 이동성을 가지며, 유사 시 파괴 및 동작 불능 상태에 빠질 수 있다. 때문에 DVB-RCS 시스템과 달리 Static 라우팅이 적합하지 않으며, 실시간 경로 정보 업데이트를 통

www.dbpia.co.kr

해 변경된 망구조 정보를 라우팅 정보에 반영해야 한다. 따라서 차기 위성/타체계 연동망에는 Dynamic 라우팅 프로토콜의 적용이 적합하며, 이를 위한 망구조, 라우팅 프로토콜 적용 방안, 단말 이동성 관리를 위한 단말 주소 관리 체계, 자원 할당 등 여러 분야에 관한 복합적인 연구가 필요하다.

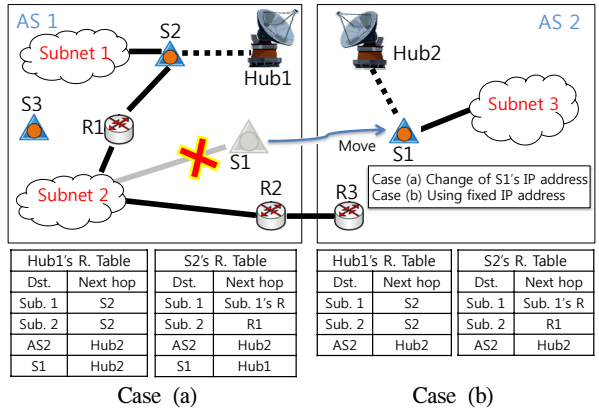
본 장에서는 차기 위성/타체계 연동망 라우팅에 대하여 다음과 같은 세부 연구 이슈들을 제시한다. 또한 DVB-RCS 라우팅 프로토콜과 차기 위성 환경을 바탕으로 각 연구 이슈들의 주요 쟁점에 대해 분석하였다.

4.1. 차기 위성/타체계 연동망 구조

차기 위성/타체계 연동망 라우팅 프로토콜의 효율성은 망구조와 각 구성 요소의 라우팅 기능이 큰 영향을 미친다. 라우팅 경로 설정에 영향을 줄 수 있는 망구조 설계 기준 요소로는 망 제어국과 분산망 Hub의 BGP (Border Gateway Protocol) 라우터 기능, AS (Autonomous System) 구분, 위성 링크의 구조, 위성단말의 IP 계층 기능, 소스 단말과 목적지 단말의 위치, 그리고 단말의 종류 등이 사용될 수 있다. [32]에서는 이러한 망구조 설계 기준을 조합하여 망구조를 설계하고, 각 설계된 망구조에서의 라우팅 경로의 효율성을 검증하였다. 이를 통해, 군단 단위의 라우팅 도메인, 망제어국의 BGP 라우터 기능, 그리고 위성단말의 라우터 기능이 추가될 때, 효율적인 라우팅 경로 설정이 가능한 것을 확인할 수 있다[32]. 이 외에도, 연동망을 구성하는 각 요소의 구조적 특징과 함께 군의 작전 환경 및 요구 사항을 반영한 망구조 설계가 필요하다.

4.2. 라우팅 정보 관리 및 IP 주소 설정

차기 위성에서 분산망 간 정보 교환은 분산망 Hub를 통해 이루어질 것으로 예상된다. 전송 데이터의 최적 경로 설정을 위해서는 분산망 Hub에서 전체 네트워크의 라우팅 경로 정보를 유지해야 한다. 그러나 차기 위성의 분산망은 한국군 제대 편성에 맞춰 구성될 것이 예상되므로, 모든 분산망의 라우팅 정보를 공유하고 유지하는 것은 매우 큰 오버헤드가 예상된다. 분산망 간 경로 정보를 손쉽게 유지하기 위해 망제어국에서 모든 라우팅 정보를 관리하는 방안을 생각할 수 있으나, 이는 한국군 전체 라우팅 정보가 한 곳에 집중됨으로써 보안 측면에서 매우 취약하다. 또는 분산망의 편제를 사전 계획하고 고정된 라우팅 테이블을 생성하여 Static 라우팅을 수행하는 방안을 생각할 수 있다. 그러나 이 방법은 전시 발생 가능한 망구조의 변화를 수용하지 못한다. 따라서 차기 위성 분산망의 계층적 구조 및 작전에 따른 정보 교환 시나리오를 설계하고, 이에 따른 경로 정보 관리 방안의 연구가 필요하다.



Hub1's R. Table

Dst.	Next hop
Sub. 1	S2
Sub. 2	S2
AS2	Hub2
S1	Hub2

S2's R. Table

Dst.	Next hop
Sub. 1	Sub. 1's R
Sub. 2	R1
AS2	Hub2
S1	Hub1

Case (a)

Hub1's R. Table

Dst.	Next hop
Sub. 1	S2
Sub. 2	S2
AS2	Hub2

S2's R. Table

Dst.	Next hop
Sub. 1	Sub. 1's R
Sub. 2	R1
AS2	Hub2

Case (b)

그림 8. 단말 이동성에 따른 단말의 IP 주소 설정 방안
Fig. 8. IP address based on the mobility of a satellite terminal

차기 위성은 위성단말의 OTM (On the Move) 상황에서 통신 연결을 보장하며, OTM 단말은 라우팅 경로를 실시간으로 변화시키는 요인이 된다. 그림 8은 OTM 상황에서 IP 주소의 변경 유무에 따라 라우팅 테이블에서 관리되는 경로 정보의 변화를 나타낸 것이다. Case (a)는 위성단말이 지상망의 AS를 벗어날 경우 해당 AS의 IP 주소로 갱신하는 경우이며, Case (b)는 고정된 IP 주소를 사용하는 경우이다. Hub1과 S2 단말의 라우팅 테이블에서 확인할 수 있듯이, Case (b)의 경우 이동한 S1 단말에 대해 Host-specific 라우팅을 수행하기 때문에 라우팅 테이블 크기가 증가하지만, Case (a)의 경우 Network-specific 라우팅을 통해 이동한 S1 단말의 라우팅 경로를 관리하여 라우팅 테이블 사이즈를 줄일 수 있다. 그러나 군의 작전 특성 상, 해당 단말의 IP 주소가 바뀔 경우 단말의 인증 문제가 발생할 수 있으며, 연동망 전체에서 변경된 IP 주소를 전파해야 하는 오버헤드가 발생한다. 이처럼 라우팅의 효율성과 함께 작전 요구 사항을 함께 고려한 라우팅 프로토콜의 연구가 필요하다.

www.dbpia.co.kr

표 2. 라우팅 제어 메시지 전송을 위한 자원 할당 방안
Table 2. Resource allocation method for routing message

Resource allocation method		Advantage	Disadvantage
DAMA	Traffic channel	Good channel utilization	Overhead for resource allocation
	AROW channel	No additional times for resource allocation	Decrease channel utilization
Random access	CROW channel	No overhead for resource allocation	Low transmission reliability

4.3. 위성 링크 라우팅 제어 메시지 교환 방안

앞서 작전 수행 간 발생 가능한 망구조의 변경 및 그에 따른 라우팅 제어 메시지의 발생에 대해 언급하였다. 이러한 제어 메시지를 교환하기 위해서는 위성링크 자원 할당이 함께 고려되어야 한다. 표 2는 자원 할당 방안 별 라우팅 메시지 교환 시 특징과 장단점을 나타낸 것이다. 트래픽 채널을 할당하는 방안은 채널 이용률을 높일 수 있으나, 자원 할당을 위해 수행하는 절차에 따른 오버헤드가 발생할 수 있다. AROW 채널을 할당하여 사용하는 방안은 고정된 채널 자원을 항상 확보하기 때문에 신속하게 라우팅 제어 정보를 전송할 수 있다. 그러나 이를 위해서는 간헐적으로 발생하는 라우팅 정보를 위하여 AROW 채널의 용량을 증가시켜야 하므로 전체 채널 이용률을 감소시킬 수 있다. 반면 랜덤 액세스 방식은 자원 할당 과정이 없어 원하는 시간에 전송이 가능하나, 전송 신뢰성이 낮아 재전송을 야기한다. 이처럼 위성을 통한 라우팅 제어 메시지의 전송은 위성 자원 효율과 자원 할당 알고리즘을 함께 고려하여 설계되어야 한다. 특히 라우팅 제어 메시지는 망구조 및 상황에 따라 발생 주기 및 크기도 상이하며, 요구하는 전송 신뢰도도 다르므로 이에 대한 고려가 필요하다.

현재 차기 위성에서 고려중인 OSPF (Open Shortest Path First)는 유선환경에 적합한 라우팅 프로토콜이다[33]. 따라서 차기 위성/타체계 연동망에 적용하기 위해서는 위성통신망의 특성이 반영되도록 라우팅 프로토콜의 수정이 필요하다. 예를 들어, 차기 위성통신망의 군단 내 200 대의 라우터가 존재하는 경우 10 초 동안 발생하는 Hello 패킷의 양은 약 35 MB이다. 이는 트래픽 교환을 위해 필요한 위성링크 자원의 양을 감소시킬 수 있다. 또한 라우터 간 연결의 신뢰성을 확인하기 위한 Hello 패킷의 경우 인접 라우터 간 일정 시간마다 교환이 필요하다. 그러나 위성링크 긴 전송 지연과 재전송으로 인해 정상적인 라우팅 경로가 삭제될 수 있다. 이처럼 주기적으로 교환하는 라우팅 제어 메시지는 많은 위성링크의 자원을 사용하게 되며, 위성링크의 긴 지연시간은 라우팅 프로토콜의 비정상적인 동작을 초래할 수 있다. 따라서 이러한 문제들을 해결하기 위해 라우팅 프로토콜에 위성 링크 특성을 반영하는 연구가 필요하다.

V. 군 위성통신 PEP 기술

차기 위성 연동망을 비롯한 위성 링크를 경유하는 종단 간 통신 연결에서, 위성 링크의 긴 전송 지연과 패킷 손실에 의한 성능 저하의 완화와 효율적인 위성 자원 이용을 위하여 PEP (Performance Enhancing Proxy)가 네트워크 에이전트로 사용된다. 일반적으로 PEP는 기지국이나 위성 모뎀에 적용되어 사용되며, 관련 표준으로는 RFC 3135[34]와 3449[35]가 있다. 위성통신PEP 기술에 대한 연구 이슈는 긴 전송지연 및 패킷 손실을 극복하기 위한 TCP (Transmission Control Protocol) 최적화 기술과 위성 자원을 효율적으로 이용하기 위한 데이터 압축 기술 (패킷 헤더, 비디오, 이미지, HTTP (Hypertext Transfer Protocol) 데이터), 데이터 캐싱, 그리고 단말의 OTM 상황에서 발생하는 연결 단절 극복 기술 등이 있다.

5.1. 군 위성통신 PEP 관련 연구

위성 PEP 관련 표준에는 SCPS-TP (Space Communications Protocol Specification-Transport Protocol)와 DVB-RCS2의 PEP 협상 프로토콜이 있다[31,36]. SCPS-TP에서는 네트워크의 혼잡 제어, Selective ACK (Acknowledgement), 헤더 압축, 그리고 TCP 윈도우의 스케일링 등을 제공한다. PEP 협상 프로토콜은 위성단말 간 수행되며 위성단말 간 통신 시 어떤 PEP 기술들을 사용할지 협상하는

www.dbpia.co.kr

절차를 명시하였다.

PEP에 적용될 수 있는 대표적인 TCP 가속 기술에는 유선망 부분과 위성통신망 부분을 분할하여 서로 다른 TCP 세션을 사용하는 splitting connection 방식과 위성단말에서 TCP-aware 링크 단을 사용하여 TCP의 중복 ACK 감지 및 링크 단에서의 재전송을 수행하는 snooping 방식이 대표적이다[37,38]. Splitting connection 방식은 TCP를 위성 링크에 최적화할 수 있다는 장점이 있고, snooping 방식은 TCP 종단 간 패킷 전달 신뢰성 보장 의미론 (end-to-end semantics)을 유지 할 수 있다는 장점이 있다.

헤더 압축은 기본적으로 연속되는 패킷 헤더의 중복성을 이용하며 대표적인 프로토콜로는 Van Jacobson의 알고리즘, Perkins 알고리즘, CRTP 알고리즘, ROHC (Robust Header Compression) 알고리즘 등이 있다[39]. 특히, ROHC와 같은 경우 실제 시스템에서 많이 적용되었으며, VoIP (Voice over IP)에 헤더 압축을 적용할 경우 음성 패킷 당 40/60 bytes의 패킷 헤더를 4~6 bytes로 압축할 수 있다.

기존 연구에서 제안하는 PEP 적용 모델에서는 기본적으로 유선 링크와 위성 링크의 TCP 세션을 분리하는 splitting connection 방식을 사용하고, 분리된 TCP 세션을 생성하기 위해 TCP SYN 패킷을 가로채서 splitting connection을 생성한다. 위성 링크에서 TCP 성능을 향상하기 위하여 TCP Hybla, SACK 방식이 적용되며, PEP에 캐시를 두어서 자주 이용되는 contents를 미리 저장해 두는 방식을 사용한다[40,41].

5.2. 군 위성통신 PEP 모의실험

본 논문에서는 위성 링크에 최적화되어 TCP 성능을 최대화 할 수 있는 splitting connection 방식이 군위성 PEP에 적용되었을 경우와 TCP의 종단 간 패킷 전달 신뢰성 보장 의미론을 유지하여 신뢰성을 제공할 수 있는 snooping 방식이 군위성 PEP에 적용되었을 경우에 대한 성능을 분석하였다. 그림 9는 splitting connection이 적용됐을 경우 TCP 성능을 나타낸다. 위성 링크의 TCP로는 기존 TCP의 파라미터를 수정한 LICW (Large Initial Contention Window), LMCW (Large Maximum Contention Window)와 SACK (Selective ACK), TCP-Veno, TCP-Hybla가 적용되었다[42,43]. 그림 9에서 보는 것과 같이 splitting connection 방식은

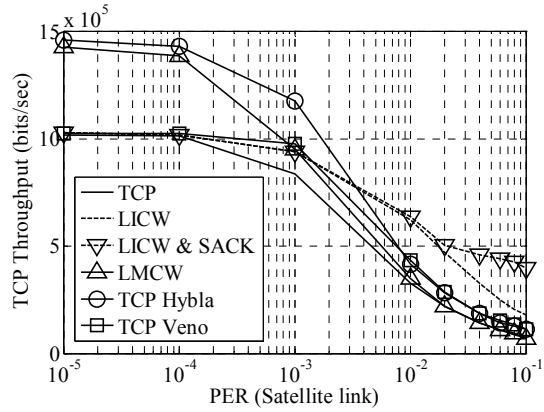


그림 9. 위성 통신에 Splitting connection이 적용된 경우 TCP throughput
Fig. 9. TCP throughput in the satellite communication with the splitting connection

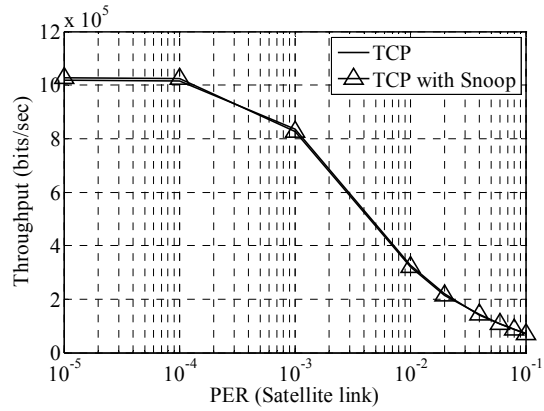


그림 10. 위성 통신에 Snooping이 적용된 경우 TCP throughput
Fig. 10. TCP throughput in the satellite communication with the snooping

위성 링크에 TCP 파라미터를 최적화하기 때문에 기존 TCP보다 성능이 향상되는 것을 살펴 볼 수 있다. 그림 10은 snooping 방식을 적용했을 경우 TCP 성능을 나타낸다. Snooping 방식을 적용했을 경우 TCP throughput이 기존 TCP에 비해 크게 향상되지 않는 것을 살펴 볼 수 있다. Snooping 방식은 일반적으로 다수의 라우터가 존재하는 광역 통신망의 끝단에 무선 링크로 연결되는 환경에서 사용된다. 이러한 환경에서 무선 링크의 전송 지연은 광역 통신망의 라우팅 지연 시간보다 상대적으로 짧으며, snooping 방식은 무선에서 발생한 패킷 손실을 timeout이 발생하기 전에 빠르게 재전송하여 TCP의 성능을 향상시킨다. 그러나 지상 무선 링크보다 긴 전송지연이 있는 위성 링크에서는 snooping 방식의 빠른 재전송의 효과가 미미하다.

www.dbpia.co.kr

5.3. 군 위성통신 PEP 연구 이슈

위성 링크에서의 긴 전송 지연 및 패킷 손실에 의한 네트워크 성능 저하를 극복하기 위한 많은 연구들이 수행되어왔다. 본 논문의 실험 결과와 같이 위성 링크에 맞게 TCP 파라미터를 수정하거나 헤더 압축, 데이터 캐싱 등을 적용하면 위성 링크의 특성에 의한 네트워크 성능 저하 현상을 완화할 수 있다. 이에 더하여 향후 군 위성 통신의 성능 향상을 위해서는 OTM 단말을 위한 연구가 필요하다. OTM 단말은 시속 100 ㎞ 이상에서도 위성을 통해 양방향으로 음성, 영상 및 광대역 데이터 전송 등 멀티미디어 서비스를 제공하며 전장에서 실시간 지휘통제 및 전장 상황 공유를 위한 야전 전투 지휘용 위성단말이다. 하지만 위성과 통신을 하기 위해서는 OTM 단말과 위성 사이에 LOS (Line Of Sight)를 유지해야 되는데 터널, 숲이 우거진 길, 높은 빌딩이 밀집된 지역 등을 통과하거나, 안테나 위치 보정 에러 등으로 링크 단절이 발생 할 수 있다[44,45]. OTM 단말의 지속적인 위성 링크 단절 단절은 TCP나 RTCP (Real-time Transport Control Protocol) 등의 세션 종료로 이어질 수 있다[46]. 또한 3.2절과 같이 OTM 단말의 이동 시 라우팅 경로와 주소 등의 변경으로 라우팅 경로 단절이 발생하고 새로운 라우팅 경로를 찾는 동안 일시적으로 세션 연결이 단절 될 수 있다. 그러므로 OTM 단말을 위해서는 세션 유지를 위한 기존 프로토콜 수정 및 새로운 기술 적용이 필요하다. 링크 단절에 의한 성능 저하를 완화하는 기술에는 DTN (Delay/Disruption Tolerance Network)이나 AL-FEC (Application Layer Forward Error Correction) 기술 등이 있으므로 OTM 단말을 위한 연구가 향후에 진행되어야 할 것이다[46,47].

V. 결 론

차기 군 위성통신 체계는 전군 통합 광역망을 구성하며, 기동성을 보장하는 고속 대용량 체계 구축을 목표로 하고 있다. 이러한 개발 목표 달성을 위해 한국군 NCOE 구축을 위한 요구사항 설계, 표준화 및 시제품 개발, 첨단 연구 이슈 도출 및 기술 개발 등 군·산·학 협력 체계의 구축 및 상호 유기적인 연구 개발이 진행되고 있다. 본 논문에서는 차기 군 위성통신 체계의 연구 주제 중 최적 자원 할당과 IP 네트워킹 기술에 집중하여, MF-TDMA 자원 할당, 랜덤 액세스, 위성/지상 연동망 구조, 그리고 PEP를 세부 연구 분야로 설정하고, 각 분야에 대한 연구 내용 조사 및 분석을 실시하였다. 차기 군 위성통신 체계는 이기종 단말, 분산망 구조, 위성/타체계 연동망 등으로 인해 기존 공개된 상용 IP 위성통신 체계와는 차별성을 갖는다. 본 논문에서는 차기 군 위성통신 체계의 망구조 및 특수성을 고려하여 분석 내용을 바탕으로 각 분야 별 핵심 연구 이슈들을 제시하였다.

References

[1] S. W. Han and J. W. Seo, "Future extension of the next generation military satellite," *Inform. Commun. Mag.*, vol. 26, no. 3, pp. 24-31, Feb. 2009.

[2] ETSI, *Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2); Part 2: Lower Layers Satellite Specification*, ETSI EN 301 545-2, Jan. 2012.

[3] J. Wiss and R. Gupta, "The WIN-T MF-TDMA mesh network centric waveform," in *Proc. IEEE Military Commun. Conf. (MILCOM 2007)*, pp. 1-6, Orlando, U.S.A., Oct. 2007.

[4] ETSI, *Satellite Earth Stations and Systems (SES); Broadband Satellite Multimedia (BSM); Connection Control Protocol (C2P) for DVB-RCS; Background information*, ETSI TR 102 603 V1.1.1, Jan. 2009.

[5] G. Giambene (Ed.), *Resource Management in Satellite Networks: Optimization and Cross-Layer Design*, Springer, 2010.

[6] ETSI, *Digital Video Broadcasting (DVB); User Guidelines for the second generation system for Broadcasting, Interactive Services, News Gathering and other broadband satellite applications (DVB-S2)*, ETSI TR 102 376 V1.1.1, Feb. 2005.

[7] A. Pietrabissa and A. Fiaschetti, "Dynamic uplink frame optimization with adaptive coding and modulation in DVB-RCS2 satellite networks," *Int. J. Satellite Commun. Network*, vol. 31, no. 2, pp. 123-239, May/June 2013.

[8] A. Morell, G. Seco-Granados, and M. A.

www.dbpia.co.kr

Vazquez-Castro, "Cross-layer design of dynamic bandwidth allocation in DVB-RCS," *IEEE Syst. J.*, vol. 2, no. 1, pp. 62-73, Mar. 2008.

[9] K. D. Lee and K. N. Chang, "A real-time algorithm for timeslot assignment in multirate return channels of interactive satellite multimedia networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun. (JSAC)*, vol 22, no. 3, pp. 518-528, Apr. 2004.

[10] D. K. Petraki, M. P. Anastasopoulos, A. D. Panagopoulos, and P. G. Cottis, "Dynamic resource calculation algorithm in MF-TDMA satellite networks," in *Proc. Mobile and Wireless Commun. Summit 2007*, pp. 1-5, Budapest, Hungary, July 2007.

[11] W. Soon, H. W. Park, H. S. Lee, Y. S. Yoo, and B. G. Jung, "A power control-based MF-TDMA resource allocation scheme for next generation military satellite," *J. Korea Inst. Commun. Inform. Sci. (KICS)*, vol. 37c, no. 11, pp. 1138-1149, Dec. 2012.

[12] J. M. Park, E. K. P. Chong, H. J. Siegel, and S. D. Jones, "Allocation of QoS connections in MF-TDMA satellite systems: a two-phase approach," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 1, pp. 177-190, Jan. 2005.

[13] N. Yazdani, "Multi-frequency time-division multiple-access (MF-TDMA) resource packing," in *Proc. IEEE Military Commun. Conf. (MILCOM 2008)*, pp. 1-8, San Diego, U.S.A., Nov. 2008.

[14] H. Yao, T. Royster IV, J. McLamb, M. Mustafa, and N. Yazdani, "Jitter-aware time-frequency resource allocation and packing algorithm," in *Proc. IEEE Military Commun. Conf. (MILCOM 2009)*, pp. 1-6, Boston, U.S.A., Oct. 2009.

[15] K. K. Kim, H. J. Noh, and J. S. Lim, "A satellite data link waveform based on Link-16," *Telecommun. Review*, vol. 20, no. 2, pp. 218-228, Apr. 2010.

[16] N. Celandroni, E. Ferro, and F. Potorti, "DRIFS-TDMA: a proposal for a satellite access distributed control algorithm for multimedia traffic in a faded environment," *Int. J. Satellite Commun.*, vol. 15, no. 5, pp. 227-235, Sep./Oct. 1997.

[17] N. Celandroni, E. Ferro, and F. Potorti, "Feeders-TDMA: a distributed-control algorithm for satellite channel capacity assignment in a mixed traffic and faded environment," *Int. J. Satellite Commun.*, vol. 15, no. 4, pp. 185-195, July/Aug. 1997.

[18] O. del R. Herrero and R. De Gaudenzi, "Design guidelines for advanced random access protocol," in *Proc. 30th AIAA Int. Commun. Satellite Syst. Conf. (ICSSC)*, pp. 1-15, Ottawa, Canada, Sep. 2012.

[19] S. H. Nam, H. W. Kim, K. S. Kang, and B. J. Ku, "Broadcasting and communications convergence technology trends via satellite," *Electron. Telecommun. Trends*, vol. 25, no. 2, pp. 31-41, Apr. 2010.

[20] E. Casini, R. De Gaudenzi, and O. del R. Herrero, "Contention resolution diversity slotted ALOHA (CRDSA): an enhanced random access scheme for satellite access packet networks," *IEEE Trans. Wireless Commun.*, vol. 6, no. 4, pp. 1408-1419, Apr. 2007.

[21] G. Liva, "Graph-based analysis and optimization of contention resolution diversity slotted ALOHA," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 59, no. 2, pp. 477-487, Feb. 2011.

[22] E. Paolini, G. Liva, and M. Chiani, "High throughput random access via codes on graphs: coded slotted ALOHA," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2011)*, pp. 1-6, Kyoto, Japan, June 2011.

[23] M. E. Rivero-Angeles, D. Lara-Rodriquez, and F. A. Cruz-Perez, "Random-access control mechanisms using adaptive traffic load in ALOHA and CSMA strategies for EDGE," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 54, no. 3, pp. 1160-1186, May 2005.

[24] Z. Naor and H. Levy, "A centralized dynamic access probability protocol for next generation wireless network," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun. (INFOCOM 2001)*, pp.

www.dbpia.co.kr

767-775, Anchorage, U.S.A., Apr. 2001.

[25] M. W. Lee, J. K. Lee, J. J. Lee, and J. S. Lim, "R-CRDSA: reservation-contention resolution diversity slotted ALOHA for satellite networks," *IEEE Commun. Lett.*, vol. 16, no. 10, pp. 1576-1579, Oct. 2012.

[26] O. del R. Herrero and R. De Gaudenzi, "A high efficiency scheme for quasi-real-time satellite mobile messaging systems," in *Proc. 10th Int. Workshop Signal Process. Space Commun. (SPSC 2008)*, pp. 1-9, Rhodes Island, Greece, Oct. 2008.

[27] C. Kissling, "Performance enhancements for asynchronous random access protocols over satellite," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun. (ICC 2011)*, pp. 1-6, Kyoto, Japan, June 2011.

[28] Z. Gao, Q. Guo, and Z. Na, "Novel optimized routing algorithm for LEO satellite IP networks," *J. Syst. Eng. Electron.*, vol. 22, no 6, pp. 917-925, Dec. 2011.

[29] Y. Lu, Y. Zhao, F. Sun, and H. Li, "Dynamic fault-tolerant routing based on FSA for LEO satellite networks," *IEEE Trans. Comput.*, vol. 62, no. 10, pp. 1945-1958, Oct. 2013.

[30] N. Courville, H. Bischl, and J. Zeng, "Critical issues of onboard switching in DVB-S/RCS broadband satellite networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 12, no. 5, pp. 28-36, Oct. 2005.

[31] ETSI, *Digital Video Broadcasting (DVB); Second Generation DVB Interactive Satellite System (DVB-RCS2);Part 3: Higher Layers Satellite Specification*, ETSI TS 101 545-3, May 2012.

[32] K. C. Go and J. H. Kim, "Design of routing scenarios for terrestrial network interworking with satellite network," in *Proc. Int. Conf. Space, Aero. and Navi. Electron. (ICSANE 2012)*, pp. 207-210, Incheon, Korea, Oct. 2012.

[33] J. Moy, *OSPF Version 2*, RFC 2328, Apr. 1998.

[34] J. Border, M. Kojo, J. Griner, G. Montenegro, and Z. Shelby, *Performance Enhancing Proxies Intended to Mitigate Link-Related Degradations*, RFC 3135, June 2001.

[35] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, G. Fairhurst, and M. Sooriyabandara, *TCP Performance Implications of Network Path Asymmetry*, RFC 3449, Dec. 2002.

[36] Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS), *Space Communications Protocol Specification - Transport Protocol (SCPS-TP)*, CCSDS 714.0-B-2, Oct. 2006.

[37] K. Y. Wang and S. K. Tripathi, "Mobile-end transport protocol: an alternative to TCP/IP over wireless links," in *Proc. IEEE Int. Conf. Comput. Commun. (INFOCOM 1998)*, pp. 1048-1055, San Francisco, U.S.A., Mar. 1998.

[38] F. Sun, V. O. K. Li, and S. C. Liew, "Design of SNACK mechanism for wireless TCP with new snoop," in *Proc. IEEE Wireless Commun. Networking Conf. 2004 (WCNC 2004)*, pp. 1051-1056, Atlanta, U.S.A., Mar. 2004.

[39] G. Pelletier and K. Sandlund, *Robust Header Compression Version 2 (ROHCv2): Profiles for RTP, UDP, IP, ESP and UDP-Lite*, RFC 5225, Apr. 2008.

[40] C. Caini, R. Firrincieli, and D. Lacamera, "PEPsal: a performance enhancing proxy for TCP satellite connections," in *Proc. IEEE Veh. Technol. Conf. (VTC 2006-Spring)*, pp. 2607-2611, Melbourne, Australia, May 2006.

[41] P. Davern, N. Nashid, and C. J. Sreenan, "HTTPEP: a HTTP performance enhancing proxy for satellite systems," *Int. J. Next-Generation Comput.*, vol. 2, no. 3, pp. 242-256, Nov. 2011.

[42] C. P. Fu and S.C. Liew, "TCP Veno: TCP enhancement for transmission over wireless access networks," *IEEE J. Sel. Areas Commun. (JSAC)*, vol. 21, no. 2, pp. 216-228, Feb. 2003.

[43] C. Caini and R. Firrincieli, "TCP Hybla: a TCP enhancement for heterogeneous networks," *Int. J. Satellite Commun. Network. (IJSCN)*, vol. 22, no. 5, pp. 547-566, Sep./Oct. 2004.

[44] T. F. Sewell, R. Gopal, "Implementing SATCOM-on-the-move in the land

www.dbpia.co.kr

environment - Relating technical solutions to operational reality," in *Proc. 2011 Military Commun. Inform. Syst. Conf. (MilCIS 2011)*, pp. 1-6, Canberra, Australia, Nov. 2011.

[45] V. Weerackody and E. G. Cuevas, "Technical challenges and performance of satellite communications on-the-move systems," *Johns Hopkins Applied Phy. Lab. (APL) Techol. Dig.*, vol. 30, no. 2, pp. 113-121, Aug. 2011.

[46] C. Caini, R. Firrincieli, and M. Livini, "DTN bundle layer over TCP: retransmission algorithms in the presence of channel disruptions," *J. Commun.*, vol. 5, no. 2, pp. 106-116, Feb. 2010.

[47] K. H. Lee, S. H. Kang, C. H. Lee, and J. H. Kim, "AL-FEC mechanism for satellite on-the-move networks," in *Proc. IEEK Summer Conf.*, pp. 554-555, Jeju Island, Korea, July 2013.

노 홍 준 (Hong-jun Noh)

2008년 2월 아주대학교 정보및컴퓨터공학과 졸업
2008년~현재 아주대학교 컴퓨터공학과 석/박사 통합과정
<관심분야> 위성 통신망, MF-TDMA, 랜덤 액세스, 전술 데이터링크 등

고 광 춘 (Kwang-chun Go)

2008년 2월 아주대학교 전자공학부 졸업
2010년 2월 아주대학교 전자공학과 석사 졸업
2010년~현재 아주대학교 전자공학과 박사과정
<관심분야> 국방 전술네트워크, 위성 통신망, 무선망 QoS, Relay network, Wibro 등

이 규 환 (Kyu-hwan Lee)

2007년 2월 아주대학교 전자공학부 졸업
2007년~현재 아주대학교 전자공학과 석/박사 통합과정
<관심분야> 위성 통신망, 네트워크 코딩, WLAN, 무선망 QoS, Ad-hoc, Mesh network 등

김 재 현 (Jae-hyun Kim)

1987년~1996년 한양대학교 전산과 학사 및 석/박사 졸업
1997년~1998년 미국UCLA 전기전자과 박사 후 연수
1998년~2003년 Bell Labs, Performance Modeling and QoS Management Group, 연구원
2003년~현재 아주대학교 전자공학부 정교수
<관심분야> 무선인터넷 QoS, MAC 프로토콜, IEEE 802.11/15/16/20, 3GPP, 국방 전술네트워크 등

임 재 성 (Jae-sung Lim)

1983년 2월 아주대학교 전자공학과 학사
1985년 2월 KAIST 영상통신 석사
1994년 8월 KAIST 디지털통신 박사
1998년 3월~현재 아주대학교 정보및컴퓨터공학과 정교수
2006년 8월~현재 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장
<관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신

www.dbpia.co.kr

송 예 진 (Ye-jin Song)

2006년 2월 충남대학교 전기전자정보통신공학부 학사

2008년 2월 충남대학교 컴퓨터공학 석사

2007년 12월~2011년 10월 삼성탈레스

2011년 11월~현재 국방과학연구소

<관심분야> 위성통신, 네트워크, 통신망관리

www.dbpia.co.kr