

# 차세대 군 모바일 위성 네트워크 QoS 성능 향상을 위한 저궤도 위성 빔폭 적응적 제어 기법<sup>☆</sup>

## Adaptive Beamwidth Control Technique for Low-orbit Satellites for QoS Performance improvement based on Next Generation Military Mobile Satellite Networks

장 대 희<sup>1</sup>                      황 윤 하<sup>1</sup>                      정 중 문<sup>1\*</sup>  
Dae-Hee Jang                      Yoon-Ha Hwang                      Jong-Moon Chung

### 요 약

저궤도 위성을 활용한 모바일 위성 네트워크는 낮은 출력의 소형화된 단말기를 통해 서비스를 제공할 수 있어 국가 공공재난망 및 국방분야 등 기반 통신망을 사용하기 어려운 상황에서 신뢰성 있는 통신수단으로 활용될 수 있다. 그러나 비상대비 상황에서의 High Traffic 환경은 위성 네트워크의 New call blocking 확률과 Handover Failure 확률을 높이며, 저궤도 위성 은 매우 빠른 속도로 궤도를 이동하므로 Handover Failure 확률 증가는 서비스 품질에 큰 영향을 미친다. 위성통신의 채널 할당방식 중 FCA 방식은 DCA에 비해 높은 트래픽에서 상대적으로 양호한 성능을 보여 비상대비 상황에 적절하나 트래픽 증가 시 QoS를 최적화하기 위해 New call blocking 확률과 Handover failure 확률을 최소화해야 한다. 본 논문에서는 FCA 방식 중 Handover Call에 우선권을 부여하는 FCA-QH 방식을 예시로 하여 저궤도 위성의 빔폭과 터미널들의 통화시간을 적응적으로 조절하여 QoS를 개선하는 LEO-DBC(LEO satellite Dynamic Beam width Control) 기법을 제안한다. LEO-DBC 기법을 통해 비상대비 상황의 High traffic 환경에서 모바일 위성통신 네트워크의 QoS를 최적으로 유지할 수 있을 것으로 기대한다.

☞ 주제어 : 비상대비, 미래전, 위성통신, 저궤도 위성, 큐잉, QoS, 빔폭

### ABSTRACT

Low-Orbit satellite mobile networks can provide services through miniaturized terminals with low transmission power, which can be used as reliable means of communication in the national public disaster network and defense sector. However, the high traffic environment in the emergency preparedness situation increases the new call blocking probability and the handover failure probability of the satellite network, and the increase of the handover failure probability affects the QoS because low orbit satellites move in orbit at a very high speed. Among the channel allocation methods of satellite communication, the FCA shows relatively better performance in a high traffic environment than DCA and is suitable for emergency preparedness situations, but in order to optimize QoS when traffic increases, the new call blocking and the handover failure must be minimized. In this paper, we propose LEO-DBC (LEO satellite dynamic beam width control) technique, which improves QoS by adaptive adjustment of beam width of low-orbit satellites and call time of terminals by improving FCA-QH method. Through the LEO-DBC technique, it is expected that the QoS of the mobile satellite communication network can be optimally maintained in high traffic environments in emergency preparedness situations.

☞ keyword : Emergency Preparation, Future Warfare, Satellite Communication, LEO Satellite, Queuing, QoS, Beam width

## 1. 서 론

현대전 및 미래전은 정보통신, 센서(Sensor), 화력의 발전으로 인해 분산되어 있는 전장의 제반 전투요소를 네트워킹하고 전장상황을 실시간으로 공유함으로써 먼저 보고, 먼저 결심하여, 먼저 타격하는 네트워크 중심전(NCW, Network Centric Warfare)으로 진행될 것이다. 따라서 광범위한 지역에 신뢰성 있고 생존성이 강한 네트워

<sup>1</sup> School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 03722, Korea.

\* Corresponding author (jmc@yonsei.ac.kr)

[Received 3 July 2020, Reviewed 10 July 2020(R2 3 September 2020), Accepted 21 September 2020]

☆ 이 논문은 행정안전부 재난안전취약핵심역량 도약기술개발사업(시뮬레이션 기반 조직단위 비상대비 훈련기술 개발)의 지원을 받아 수행된 연구임(2018-MOIS33-001)

크를 구축할 수 있는 위성통신의 역할은 더욱 중요해지고 있다.

국방 분야와 더불어 민간분야에서는 Iridium, Globalstar, Orbcomm 등의 대표적인 저궤도 위성 통신 시스템이 전 세계적으로 서비스를 제공하고 있으며 최근 SpaceX, OneWeb, Leosat 등 미국과 유럽을 중심으로 대규모 저궤도 위성 군 프로젝트에 경쟁적으로 대거 투자하는 등[1] 저궤도 위성의 활용 가능성이 증대되고 있다.

이에 따라 학술적으로 저궤도 위성관련 활발한 연구가 진행되고 있다. 특히, 게임이론을 적용한 저궤도 위성의 핸드오버(Handover) 전략[2], 가장 짧은 핸드오버 경로를 찾기 위한 프레임워크 적용방안[3], 인접한 위성 스폿 빔(Spot beam)의 서비스 시간을 고려한 핸드오버 서비스[4]와 같이 저궤도 위성에서의 핸드오버와 QoS(Quality of Service) 향상을 위한 다양한 기법들이 활발하게 연구되고 있다.

위성통신 시스템은 위성이 위치하는 궤도의 고도에 따라서 나눌 수 있으며 정지궤도(GEO, Geostationary Earth Orbit), 중간궤도(MEO, Medium Earth Orbit), 저궤도(LEO, Low Earth Orbit) 위성으로 구분할 수 있다. 정지궤도 위성은 고도 약 36,000 km 상공에 위치하여 지구의 자전속도와 같은 속도로 궤도를 회전하여 지상에서 인공위성을 볼 때 항상 정지한 것처럼 보이기 때문에 정지궤도 위성이라고 한다. 중간궤도 위성은 고도 약 10,000 km에 위치하는 인공위성이다. 저궤도 위성은 주로 500 km 이상, 1,500 km 이하의 궤도에서 회전하는 인공위성으로, 고도 700 km 상공에서 26,000 km의 속도로 회전할 정도로 이동속도가 매우 빠르다.

정지궤도 위성은 이론적으로 단지 세 개의 위성으로도 지구의 전 영역을 커버할 수 있지만 지상으로부터 인공 위성까지의 거리가 약 36,000 km로 거리가 멀기 때문에 전송 지연이 발생하고 고전력의 출력이 필요하여 휴대용 송수신기보다는 지상 기지국 중심으로 운용되고 있다. 군사적 측면에서 정지궤도 인공위성의 위치는 고정되어 있기 때문에 적 재머(Jammer)에 의한 재밍(Jamming)과 같은 전자전의 위협에 노출되는 단점이 있다.

저궤도 위성은 위성의 고도가 낮기 때문에 전파 감쇠나 전파 지연 시간 등이 상대적으로 적으므로 작은 출력으로 서비스가 가능하여 단말기의 소형화로 이동 간에 사용할 수 있는 장점이 있다.[5]

가입자가 통화 중에 위성 또는 사용자의 이동에 따라 셀(Cell)을 변경하게 되면 인접한 셀로 채널을 전환함으로써 통화가 유지될 수 있도록 하는 과정을 핸드오버라고 한다. 저궤도 위성통신에서는 위성이 매우 빠른 속도

로 이동하므로 핸드오버가 빈번하게 발생하게 된다. 사용자 입장에서는 초기에 통화가 실패하는 호 차단(Call block) 현상보다 통화가 도중에 끊기게 되는 호 중단(Call drop) 현상이 더 치명적이기 때문에 핸드오버 실패 확률을 줄이는 것이 중요한 문제로 부각되고 있다.

핸드오버 실패 확률을 낮추기 위해 채널 리소스를 관리하는 방향으로 연구가 이루어지고 있다. 중요한 통화에 대해 다른 셀의 채널을 미리 예약하여 핸드오버 실패 확률을 크게 낮춘 GH(Guaranteed Handover) 전략[6]과 이로 인해 높아진 호 차단확률을 낮추기 위해 동적 도플러 기반으로 사용자 위치를 추정하여 적절한 시점에서 다른 셀의 채널을 예약하여 채널을 효율적으로 활용하는 DDBHP(Dynamic Doppler - based handover prioritisation scheme)[7] 등 다양한 방안들이 연구되고 있다.[7-8]

그러나 시스템에서 정해진 QoS 목표가 있을 때 LEO 위성이 감당할 수 있는 최대 트래픽 강도와 관련된 문제는 기존 연구에서 크게 다뤄지지 않았으며[9] 본 연구에서는 목표로 하는 QoS 수준이 설정되어 있을 때 FCA-QH(Fixed Cell Allocation Queuing Handover) 방식의 트래픽 증가에 따른 통화실패확률 증가를 극복하고자 채널로 유입되는 로드와 채널 상태를 관찰하여 빔폭의 증감과 통화시간의 조절을 통해 최적의 QoS를 유지하는 LEO-DBC (LEO satellite Dynamic Beam width Control) 기법을 제안한다. 2장에서는 저궤도 위성의 채널할당에 사용되는 FCA-QH를 설명하고, 3장과 4장에서는 FCA-QH 방식의 한계를 설명하고 극복하기 위한 시스템을 제안한다. 마지막으로 5장 모의실험을 통해 새로운 기법의 우수성을 증명한다.

## 2. 관련연구

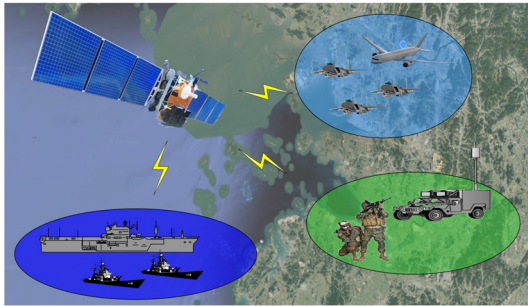
### 2.1 모바일 위성 네트워크

모바일 위성 네트워크(Mobile Satellite Network)는 차량이나 함정, 항공기에 탑재된 이동식 장비나 사람이 가지고 다닐 수 있는 휴대용 장비에 위성을 이용하여 네트워크를 구성하는 것을 말한다.

모바일 위성 네트워크는 지상국을 거치지 않고 위성 과 휴대용 장비가 직접 통신함으로써 기존의 지상 통신 네트워크를 통해 제공되는 서비스에 비해 고속의 통신 서비스를 제공할 수 있는 장점이 있다. 모바일 위성 서비스는 전화, 인터넷, TV 및 라디오 같은 방송망 서비스, 공공재난망 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

모바일 위성 네트워크는 5G, Beyond 5G 시대가 도래함에 따라 URLLC(Ultra-Reliable Low Latency Communication), mMTC(massive Machine Type Communication), eMBB (enhanced Mobile Broadband)를 충족하기 위해 그 중요성이 높아지고 있으며 Space X 프로젝트의 위성발사체 재사용 성공과 나노 위성, 군집 위성 등 위성이 소형화됨에 따라 개발 및 발사 비용을 크게 줄일 수 있어 그 중요성이 더욱 부각되고 있다.

국방 분야에서도 그림 1과 같이 원거리 전략통신망으로 활용할 수 있으며 기반 통신망이 구축되어 있지 않은 야전이나 산악지역, 그리고 해양 및 공중전력 임무 시 신뢰성 있는 통신망을 지원할 수 있다.



(그림 1) 모바일 위성 네트워크의 국방분야 활용  
(Figure 1) Utilization of Mobile Satellite Network for Defense

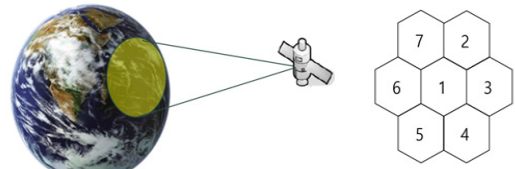
## 2.2 위성 네트워크 채널할당 기술

저궤도 위성통신 시스템에서 사용하는 채널할당 방식은 크게 고정채널 할당방식(FCA : Fixed Channel Allocation)과 동적채널 할당방식 (DCA : Dynamic Channel Allocation)으로 나눌 수 있다.

### 2.2.1 FCA (Fixed Channel Allocation) 방식

FCA 방식은 각 셀에 채널을 사전에 할당해 두고, 채널 할당 요청이 발생하면 현재 셀에 미리 할당된 채널들 가운데 미사용 채널을 할당하여 채널 간섭이 발생하지 않도록 하는 방법이다.

예를 들어 그림 2와 같이 7개의 셀에 순서대로 채널을 할당하는 경우, k번 셀에 할당되는 채널들의 집합 F(K)은 다음과 같이 설정된다[10].



(그림 2) FCA 채널할당 기법  
(Figure 2) FCA scheme

$$m : \text{전체 채널갯수}, k : \text{셀 번호}, n : \text{채널 번호}$$

$$n = 1, 2, \dots, m$$

$$k = 1, 2, \dots, 7$$

$$F(k) = \{n | n \bmod 7 = k\} \quad (n \bmod 7 = 0 \text{인 경우 } k = 7 \text{에 할당})$$

ex)  $m = 49$  일 때

$$F(1) = \{1, 8, 15, 22, 29, 36, 43\}$$

$$F(2) = \{2, 9, 16, 23, 30, 37, 44\}$$

$$F(3) = \{3, 10, 17, 24, 31, 38, 45\}$$

$$\vdots$$

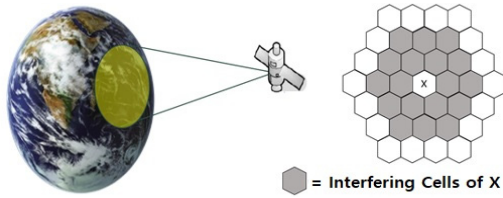
$$F(7) = \{7, 14, 21, 28, 35, 42, 49\}$$

FCA는 셀에서 사용하는 채널이 고정되어 시스템 구성이 단순하며 인접 셀 간의 정보교환이나 인접 위성 간의 정보교환이 없으며 High Traffic 환경에서 우수한 성능을 보여준다. DCA는 셀에서 사용하는 채널이 고정되어 있지 않아 유연하고 트래픽에 적응적이며 일반적인 환경에서는 채널을 효율적으로 사용할 수 있으나 시스템의 복잡도가 높아지다 보니 High Traffic 환경에서 FCA보다 효율성이 떨어진다.[11]

따라서 본 연구에서는 차세대 군 모바일 위성통신 네트워크 QoS 성능 향상 방안에 대해 검토하며, 이러한 비상대비 통신망에서는 High Traffic 환경에서 안정적으로 운영하는 것이 가장 중요한 요소이므로 FCA 기반 채널 할당을 사용한다.

### 2.2.2 DCA (Dynamic Channel Allocation) 방식

DCA 방식은 사용자가 위치한 임의의 셀로부터 인접 거리 내에서 사용되고 있지 않은 시스템 내의 모든 채널을 사용하는 방법이다. 일정 거리 내에서 사용되고 있는 채널을 재사용하게 되면 간섭현상이 발생하여 통화 품질이 떨어지며, 이러한 간섭현상 때문에 특정 셀에서 사용 가능한 채널들의 집합이 계속 변하게 된다,



(그림 3) DCA 채널할당 기법  
(Figure 3) DCA scheme

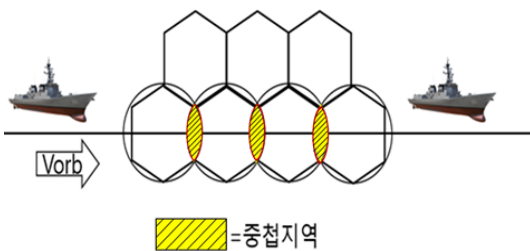
그림 3과 같이 셀  $X$ 에 간섭을 일으키는 주위 18개 셀들의 집합을 간섭벨트(Interference belt)  $I(X)$ 라 한다[12].

셀  $X$ 에 새로운 호가 발생했을 때 셀  $X$ 와 간섭벨트  $I(X)$ 에 사용 가능한 채널이 없다면 그 호는 차단된다. 마찬가지로 이러한 경우에 인접 셀에서 핸드오버 호가 넘어오면 그 호는 중단된다. 즉, 호의 차단과 중단은 그 호가 발생한 셀과 그 셀의 간섭벨트 내의 사용 가능한 채널의 유무로 결정된다.

### 2.2.3 QH(Queuing Handover) 기법

저궤도 위성통신 시스템을 포함한 이동통신 시스템에서 가입자에게는 새로운 호가 차단되는 것보다 핸드오버 실패로 인하여 통화중인 호가 중단되는 것이 더 치명적이다. 따라서 핸드오버 우선권 방법을 고려해야 하는데, 기술적 방법으로는 핸드오버 호를 위한 전용 채널을 사용하는 방법, 핸드오버를 처리하기 위해 큐를 사용하는 방법 등이 있다[13].

본 연구에서는 핸드오버 큐를 사용하여 핸드오버 우선권을 부여하는 방식인 QH 기술을 적용하였다.



(그림 4) 중첩 지역  
(Figure 4) Overlap area

그림 4와 같이 가입자가 인접한 두 셀 모두로부터 서비스 받을 수 있는 지역을 중첩지역(Overlap area)이라 한다. QH 기술을 적용하기 위해서는 이러한 중첩지

역이 반드시 존재해야만 한다. 인접한 두 셀의 중첩지역에서는 사용자가 두 셀의 채널을 동시에 사용할 수 있게 된다. 중첩지역의 길이는 가입자의 이동방향, 위성의 안테나 특성, 전파 상태 등에 따라 결정된다.

QH 기술에서 각각의 셀은 핸드오버 호를 처리하기 위해 핸드오버 큐를 갖게 되는데, 핸드오버 큐는 무한 큐(Infinite queue)이며, FIFO (First In First Out) 방식으로 서비스하게 된다. QH 기술을 사용하면 그림 4와 같이 가입자가 중첩지역에 들어가는 순간에 핸드오버 요청을 하게 된다. 그러므로 중첩지역의 길이가 길어질수록 핸드오버 실패율이 낮아지게 되므로 시스템 성능에 직접적으로 영향을 미치는 변수가 되며, 본 연구에서는 전통적인 방법에 따라 그 평균길이를  $R/5$ 로 계산한다[14].

인접 셀로부터 현재 셀에 핸드오버를 요청했을 때 현재 셀에 사용 가능한 채널이 없으면 진행 중인 통화는 현재 셀의 핸드오버 큐에 들어가서 대기하게 된다. 이때 핸드오버 큐에서는 최대 대기시간은 가입자가 중첩 지역을 통과하는 시간이 된다. 통화중인 호가 핸드오버 큐에 들어가서 최대 대기시간을 기다린 후에도 핸드오버가 처리되지 않으면 호 차단현상이 발생하며, 핸드오버 큐에서 제거된다.

## 3. 문제제기

LEO 위성 FCA-QH방식의 한계점 및 개선방안을 제시하기 앞서 연구에 사용되는 각종 기호를 표 1과 같이 정의한다.

(표 1) 저궤도 위성의 FCA-QH 파라미터  
(Table 1) LEO Satellite FCA-QH parameter

기 호	정 의
$\alpha$	User mobility parameter
$t_{u,max}$	Maximum value of the waiting time
$P_{h1}$	Handover request from source cell
$P_{h2}$	Handover request from transit cell
$R$	Beam width of satellite
$R_I$	Initial value of beamwidth
$R_{adj}$	Adjustment value of beamwidth
$V_{orb}$	Relative speed of satellite

기 호	정 의
$T_m$	Average Call time
$T_{adj}$	Adjustment value of call time
$P_{b1}$	Blocking probability for new call attempts
$P_{b2}$	Handover failure probability
$P_{ns}$	Unsuccessful Handover probability
$Q_i$	Probability that call lasts so as to produce at least $i$ handovers( $i=1,2,\dots$ )
$V_i$	Probability that call attempt is served and has $i$ successful handovers
$B_i$	Probability that a served call is dropped
$n_h$	Mean value of the number of times a newly arriving call is successfully handed off
$P_{drop}$	Probability that call in progress be dropped
$P_{ns}$	Probability of a call dropped due to a new call blocked or a handover failure
$S$	The number of channels permanently allocated to each cell
$\lambda$	New call arrival rate (Poisson process)
$\lambda_h$	Handover arrival call rate
$\frac{1}{\mu}$	Channel holding time in a cell (Both for new arrivals and handovers)

### 3.1 FCA-QH 한계점

LEO 위성통신 시스템에서 핸드오버는 매우 빈번하게 일어난다. Source cell은 MS(Mobile Subscriber)가 통화를 시작한 셀이고 통화가 계속되어 MS가 이동하여 인접한 셀로 이동하면 그 셀을 Transit cell이라 한다[15].

MS의 이동속도는 위성의 상대속도에 비해 매우 작기에 MS 이동속도는 위성의 상대속도로 가정한다.

본 논문에서는 MS의 특성을  $\alpha$ 로 나타내고  $\alpha$ 는 수식 (1)과 같다.

$$\alpha = \frac{2R}{V_{orb} T_m} \quad (1)$$

MS가 인접 셀로 진입하면 핸드오버 요청을 보내게 되는데 이때 핸드오버 최대 대기시간  $t_w,max$ 는 다음과 같다.

$$t_w,max = \frac{\alpha T_m}{10} \quad (2)$$

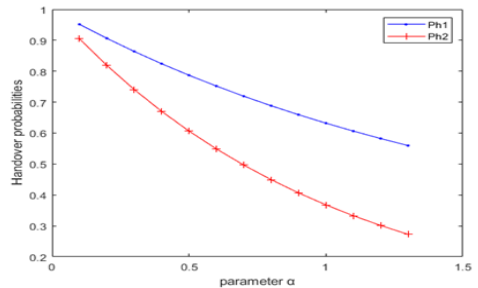
최대 대기시간  $t_w,max$ 는 핸드오버가 가능한 최대 대기시간이지만 실제로는 통화가 중첩지역을 지나기 전에 종료될 수도 있다.

$P_{h1}$ ,  $P_{h2}$ 는 핸드오버 요청이 Source cell과 transit cell 에서 일어날 확률로 수식 (3), (4)로 나타낼 수 있다.

$$P_{h1} = \frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha} \quad (3)$$

$$P_{h2} = e^{-\alpha} \quad (4)$$

$P_{h1}$ ,  $P_{h2}$ 는  $\alpha$ 값의 변화에 따라 그림 5와 같은 경향을 보인다.



(그림 5) 값에 따른 핸드오버 확률 (Figure 5) Handover probability according to

$Q_i$  는  $i$ 번의 핸드오버( $i=1,2,\dots$ ) 동안 통화가 지속될 확률이며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$Q_i = P_{h1} P_{h2}^{i-1} \quad (5)$$

$V_i$  는  $i$ 번의 핸드오버( $i=1,2,\dots$ ) 후에도 성공적으로 통화가 가능한 확률이며 새로운 통화가 차단될 확률인  $P_{b1}$ 과 핸드오버가 실패할 확률인  $P_{b2}$ 와의 관계를 수식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$V_i = (1 - P_{b2})^{i-1} (1 - P_{b1}) \quad (6)$$

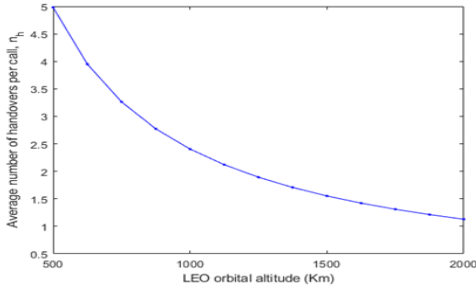
$B_i$  는  $i$  번째 핸드오버( $i=1,2,\dots$ )에서 통화가 실패할 확률이여 수식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$B_i = (1 - P_{b2})^{i-1} P_{b1} \quad (7)$$

따라서 수식 (5), (6)을 통해 새로운 통화가 시작되었을 때 통화시간 동안 성공해야 하는 핸드오버의 횟수  $n_h$ 를 수식 (8)과 같이 계산할 수 있다.

$$n_h = \sum_{i=1}^{\infty} \{Q_i V_i\} = \frac{(1 - P_{b1}) P_{h1}}{1 - (1 - P_{b2}) P_{h2}} \quad (8)$$

그림 6은  $P_{b1}$ 과  $P_{b2}$ 가 0일 때 통화시간 동안 성공해야 하는 핸드오버 횟수  $n_h$ 의 변화를 보여주는데 LEO 위성의 고도가 낮아질수록 핸드오버 횟수가 늘어남을 볼 수 있다.



(그림 6) 저궤도 위성 고도에 따른 평균 핸드오버 횟수 (Figure 6) Average number of handovers according to LEO satellite orbit

본 연구에서는 핸드오버 큐잉의 이점을 표현하기 위해 새로운 통화가 블록 되거나 핸드오버가 실패해서 통화가 끊어질 확률이  $P_{ns}$ 로 시스템 성능을 나타내며 수식 (9)로 표현할 수 있다.

$$P_{ns} = P_{b1} + (1 - P_{b1}) P_{drop} \quad (9)$$

$P_{drop}$ 은 핸드오버가 실패해서 통화가 끊어질 확률이 고 수식 (5)와 (7)을 통해서 구할 수 있다.

$$P_{drop} = \frac{P_{h1} P_{b2}}{1 - P_{h2} (1 - P_{b2})} \quad (10)$$

Source( $i=1$ )과 Transit cell( $i=2$ )에서 채널의 유지시간 (Holding time)은 수식 (11)로 표현할 수 있다.

$$[t_{FH}] = T_m (1 - P_{hi}) \quad (11)$$

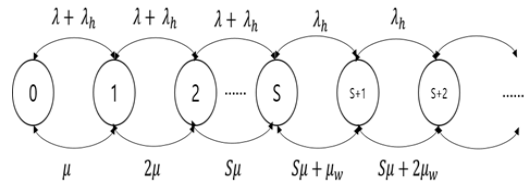
본 연구에서 핸드오버 도착률은 포아송 분포를 따르고 새로운 통화 도착률  $\lambda$ 와 핸드오버 통화 도착률  $\lambda_h$ 의 관계는 독립이며,  $\lambda$ 와  $\lambda_h$ 의 관계는 수식 (12)와 같다.

$$\frac{\lambda_h}{\lambda} = \frac{(1 - P_{b1}) P_{h1}}{1 - (1 - P_{b2}) P_{h2}} \quad (12)$$

한 셀에서 채널의 유지시간은 지수분포를 따르며 셀에서의 채널 유지시간  $\frac{1}{\mu}$ 는 수식 (13)과 같다.

$$\frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_h} E[t_{h1}] + \frac{\lambda_h}{\lambda + \lambda_h} E[t_{h2}] \quad (13)$$

본 연구에서 FCA-QH 모델은 그림 7과 같이 M/M/S 마르코프 체인을 따른다고 가정한다.



(그림 7) FCA-QH의 M/M/S 마르코프 체인 (Figure 7) FCA-QH M/M/S Markov chain

위의 시스템이  $S + i$  ( $i=1,2,\dots$ ) 일 때 새로운 Death rate  $i\mu_w$ 를 적용하고  $\mu_w = \frac{1}{t_w \max}$ 로 표현할 수 있으며 그림 7로부터 수식 (14)를 얻을 수 있다.

$$P_n = \begin{cases} \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} \right] P_0, & 1 \leq n \leq S - 1 \\ \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^S \lambda^{n-S}}{S! \mu^S \prod_{j=1}^{n-S} (S\mu + j\mu_w)} \right] P_0, & n \geq S \end{cases} \quad (14)$$

따라서 idle 상태에서의 확률  $P_0$ 는 수식 (15)과 같다.

$$P_0 = \left\{ \sum_{n=0}^{S-1} \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} \right] + \sum_{n=S}^{\infty} \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^S \lambda^{n-S}}{S! \mu^S \prod_{j=1}^{n-S} (S\mu + j\mu_w)} \right] \right\}^{-1} \quad (15)$$

새로운 통화를 위한 가용한 채널이 없을 경우(State  $n \geq S$ ) 신규 호는 수식 (16)으로 차단된다.

$$P_{b1} = \sum_{n=S}^{\infty} \left\{ \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^S \lambda^{n-S}}{S! \mu^S \prod_{j=1}^{n-S} (S\mu + j\mu_w)} \right] P_0 \right\} \quad (16)$$

State  $n$ 에서 핸드오버가 발생했을 때  $n < S$ 인 경우에는 즉시 핸드오버가 가능하지만  $n \geq S$ 인 경우에는 큐에서 대기하게 된다. 큐에서 대기하다가 시간이  $\frac{1}{\mu_w}$ 만큼 지나게 되면 핸드오버가 실패하게 된다.

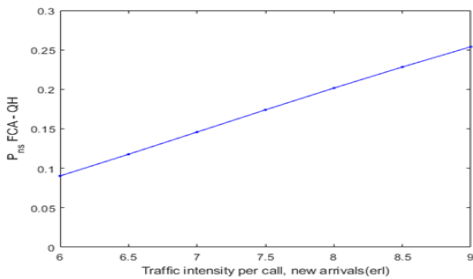
따라서 State  $n$ 에서 Handover failure 확률  $P_{b2|n}$ 은 수식 (17)과 같다.[16]

$$P_{b2|n} = 1 - \prod_{j=0}^{\infty} \left[ 1 - \frac{\mu_w}{(S\mu + \mu_w) 2^j} \right] \quad (17)$$

$P_{b2}$ 는 수식 (18)으로 표현할 수 있다.

$$P_{b2} = \sum_{n=S}^{\infty} 1 - \prod_{j=0}^{\infty} \left[ 1 - \frac{\mu_w}{(S\mu + \mu_w) \cdot 2^j} \right] \left( \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^S \lambda^{n-S}}{S! \mu^S \prod_{j=1}^{n-S} (S\mu + j\mu_w)} \right] P_0 \right) \quad (18)$$

$\lambda$ 와  $\lambda_h$ 의 관계가  $P_{b1}$ ,  $P_{b2}$ 과 관련되어 있으므로 Recursive approach를 통해서  $P_{b1}$ ,  $P_{b2}$ 를 계산할 수 있다.



(그림 8) 트래픽 강도에 따른  $P_{ns}$  변화

(Figure 8) The relationship between traffic intensity and  $P_{ns}$

그림 8을 통해 트래픽 강도가 높아짐에 따라 핸드오버 실패 확률이 증가함을 확인할 수 있다. 따라서 일정 수준의 QoS를 만족하기 위해서는 시스템의 트래픽을 낮춰 운용할 필요가 있다.

이에 따라 위성의 빔폭을 조절하여 최적의 QoS를 구현할 수 있는 LEO-DBC(LEO satellite with Dynamic Beam width Control) 기법을 제안한다.

#### 4. 시스템 제안

LEO-DBC(LEO satellite with Dynamic Beam width Control)은 다음과 같은 절차로 작동되며 Flow Chart는 그림 8과 같다.

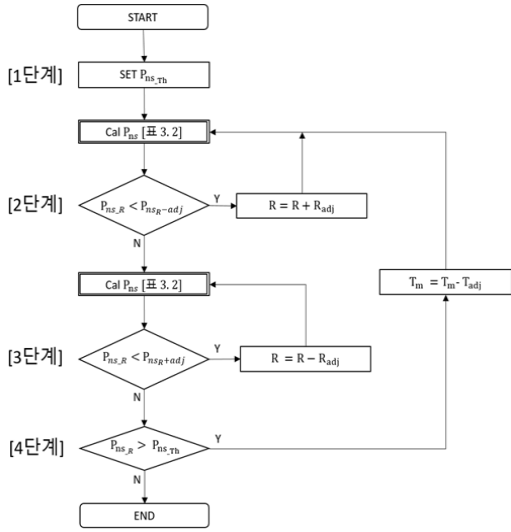
**[1단계]** 위성시스템에서 요구되는 QoS 값을 설정한다.

**[2단계]** 위성의 빔폭  $R$ 과 조정값인  $R_{adj}$  만큼 줄인  $R - R_{adj}$ 에서의  $P_{ns}$ 를 계산한다.  $R$ 과  $R - R_{adj}$ 에서의  $P_{ns}$  값을 비교해서  $R$ 에서의  $P_{ns}$ 가  $R - R_{adj}$ 에서의  $P_{ns}$  보다 작을 경우  $R$ 값을 증가시켜야 할 것으로 예상되어  $R$ 값을  $R_{adj}$  만큼 증가시킨다.

**[3단계]** 위성의 빔폭  $R$ 과  $R + R_{adj}$  값에서의  $P_{ns}$ 를 계산한다.  $R$ 과  $R + R_{adj}$ 에서의  $P_{ns}$  값을 비교해서  $R$ 에서의  $P_{ns}$ 가  $R + R_{adj}$ 에서의  $P_{ns}$  보다 작을 경우  $R$ 값을 감소시켜야 할 것으로 예상되어  $R$ 값을  $R_{adj}$  만큼 감소시킨다.

**[4단계]** 2단계와 3단계 과정을 통해 결정된 위성의 빔폭에서의  $P_{ns}$  값을 시스템 요구 수준과 비교하고, 1단계에서 설정된 QoS 임계치를 넘을 경우 통화 지속시간  $T_m$ 을 조정값인  $T_{adj}$  단위시간만큼 줄이면서 1~4단계를 반복하여 QoS를 만족할 때 까지 최적의 통화시간과 빔폭을 계산한다.





(그림 9) LEO-DBC 플로우 차트  
(Figure 9) LEO-DBC Flow Chart

$P_{ns}$  계산을 위한 세부 절차는 표 2와 같다.

(표 2)  $P_{ns}$  계산 절차

(Table 2)  $P_{ns}$  Calculate procedure

구분	내용 (수식)
① 초기값 입력	$\alpha = \frac{2R}{V_{orb} T_m}$ (1)
② 큐잉 파라미터 계산	$P_{h1} = \frac{1 - e^{-\alpha}}{\alpha}$ (3), $P_{h2} = e^{-\alpha}$ (4)
	$n_h = \sum_{i=1}^{\infty} \{Q_i V_i\} = \frac{(1 - P_{h1}) P_{h1}}{1 - (1 - P_{h2}) P_{h2}}$ (8)
	$\frac{1}{\mu} = \frac{\lambda}{\lambda + \lambda_h} E[t_{h1}] + \frac{\lambda_h}{\lambda + \lambda_h} E[t_{h2}]$ (13)
③ 큐잉 계산	$P_0 = \left[ \sum_{n=0}^{s-1} \frac{(\lambda + \lambda_h)^n}{n! \mu^n} + \sum_{n=s}^{\infty} \frac{(\lambda + \lambda_h)^s X^{n-s}}{s! \mu^s \prod_{j=1}^{n-s} (s\mu + j\mu_w)} \right]^{-1}$ (15)
	$P_{b1} = \sum_{n=s}^{\infty} \left\{ \frac{(\lambda + \lambda_h)^s X^{n-s}}{s! \mu^s \prod_{j=1}^{n-s} (s\mu + j\mu_w)} \right\} P_0$ (16)
	$P_{b2} = \sum_{n=s}^{\infty} 1 - \prod_{j=0}^{\infty} \left[ 1 - \frac{\mu_w}{(s\mu + \mu_w)^2} \left[ \frac{(\lambda + \lambda_h)^s X^{n-s}}{s! \mu^s \prod_{j=1}^{n-s} (s\mu + j\mu_w)} \right] P_0 \right]$ (18)
④ $P_{ns}$ 계산	$P_{ns} = P_{b1} + (1 - P_{b1}) P_{drop}$ (9)

## 5. 성능평가

### 5.1 시스템 모델

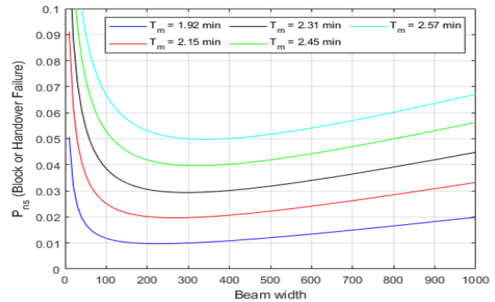
본 연구에서는 위성의 빔폭과 사용자 통화시간을 적응적으로 조정하여 핸드오버 실패확률을 최소화하고 최적의 채널 환경을 유지하는 방법을 제시한다. 실시한 모든 모의실험은 표 3의 값으로 수행하였으며 앞에서 제시된 LEO-DBC에 의해 위성의 빔폭과 평균 통화시간만 변화 가능하다고 가정하였다. 이번 연구에서는 위성의 빔폭과 평균 통화시간 변화에 대해 중점적으로 확인하며 LEO 위성의 FCA-QH 채널의 QoS에 영향을 줄 수 있는 다른 파라미터에 대해서는 추가 연구를 진행할 것이다.

(표 3) 시스템 매개변수

(Table 3) System model parameter

파라미터	기호	값(범위)
빔폭 초기 값	$R_l$	420
빔폭 조정 값	$R_{adj}$	10
위성속도	$V_{orb}$	26600
평균 통화시간	$T_m$	0 ~ 4
통화시간 조정 값	$T_{adj}$	0.1
QoS 임계치	$P_{ns,th}$	0.1
사용자 수	$\lambda$	120
QH 채널 수	$S$	10

### 5.2 평균 통화시간에 따른 통화실패확률



(그림 10) 평균 통화시간과 위성 빔폭에 따른 통화 실패확률  
(Figure 10) Probability of call failure according to satellite beamwidth and average call duration



그림 10을 보면 평균 통화시간( $T_m$ ) 증가에 따라  $P_{ns}$ 가 증가하고 일정한 평균 통화시간에서도 빔폭 (Beam width)에 따라서  $P_{ns}$ 가 변화하는 모습을 보인다.

### 5.3 시뮬레이션

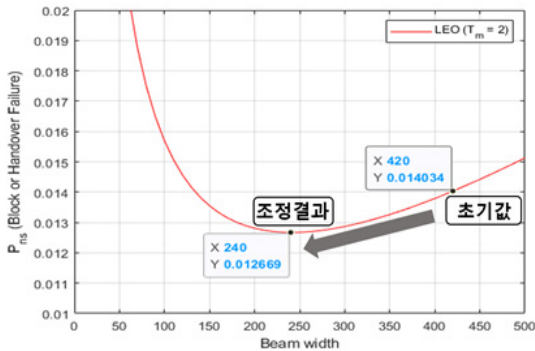
본 연구의 성능평가 모의실험을 위해 MATLAB을 사용하였으며, 기존 FCA-QH와 LEO-DBC를 비교하기 위하여 3가지의 서로 다른 트래픽 시나리오를 설정하여 트래픽 변화에 따른 성능차이를 확인하였다. 각 트래픽 시나리오의 시뮬레이션 매개변수는 표 4와 같다.

(표 4) 시뮬레이션 매개변수  
(Table 4) Simulation parameter

Traffic load	$T_m$	$V_{orb}$	$R_f$	$P_{ns_0}$	$S$
Low	2	26600	420	0.1	10
Normal	2.5				
High	4				

#### 5.3.1 Low Traffic

Low Traffic 환경에서 사용자들의 평균 통화시간은 2분으로 설정하였으며 나머지 파라미터는 표 4의 조건과 같으며 성능평가 결과는 그림 11과 같다.



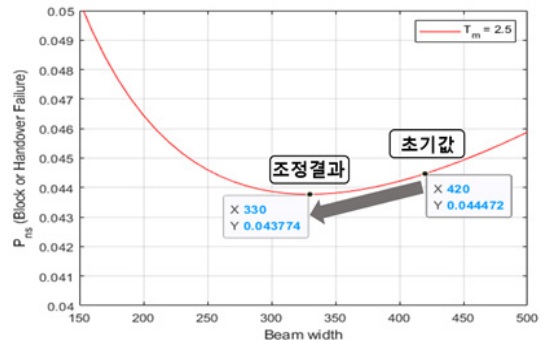
(그림 11) 낮은 트래픽 조건에서의 성능평가  
(Figure 11) Low traffic Simulation

첫 번째 실험으로 Low Traffic에서 LEO-DBC 기법을 적용하였을 때 최소  $P_{ns}$ 를 얻을 수 있도록 빔폭을 420에서 시작하여 10 단위로 조정하며 최종적으로 240으

로 조정한다면 통화 성공확률은 기존 98.5%에서 98.7%로 증가됨을 확인하였다.

#### 5.3.2 Normal Traffic

Normal Traffic 조건에서 사용자들의 평균 통화시간은 2.5분으로 설정하였으며 나머지 파라미터는 표 4의 조건과 같다. 성능평가 결과는 그림 12와 같다.



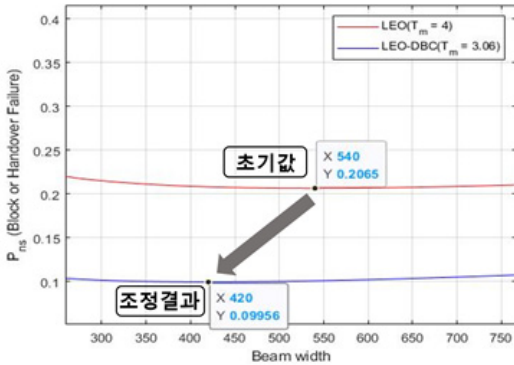
(그림 12) 중간 트래픽 조건에서의 성능평가  
(Figure 12) Normal traffic Simulation

두 번째 실험으로 Normal Traffic에서 LEO-DBC 기법을 적용하였을 때 최소  $P_{ns}$ 를 얻을 수 있도록 빔폭을 420에서 시작하여 10 단위로 조정하며 최종적으로 330으로 조정한다면 통화 성공확률은 기존 95.5%에서 95.6%로 증가됨을 확인하였다.

#### 5.3.3 High Traffic

High Traffic 조건에서 사용자들의 초기 평균 통화시간( $T_m$ )은 4분이며  $P_{ns}$ 를 낮추기 위해 LEO-DBC 기법으로 사용자들의 평균 통화시간은 3.06분으로 제한되었다. 나머지 파라미터는 표 4의 조건과 같으며 성능평가 결과는 그림 13과 같다.

기존 시스템에서는 평균 통화시간을 4분으로 유지하는 경우 빔폭 270에서 통화 성공확률 79%로 사용하게 된다. 하지만 LEO-DBC 기법을 사용할 경우 사용자들의 평균 통화시간을 3.06분으로 조정함으로써 빔폭 420에서 통화 성공확률을 90% 수준으로 성능을 유지할 수 있다. 이를 통해 위성통신 채널의 High traffic 상황에서 사전에 설정된 QoS 목표치를 달성하고 채널의 안정성을 유지할 수 있다.



(그림 13) 높은 트래픽 조건에서의 성능평가  
(Figure 13) High traffic Simulation

## 6. 결 론

본 연구에서는 LEO 위성 통신시스템은 핸드오버가 빈번함에 일어나며 트래픽의 증가에 따라 핸드오버 실패확률이 증가함을 확인하였다. 이러한 LEO 위성 통신 시스템의 특성에 따라 트래픽이 변화하는 상황에서도 높은 QoS를 보장할 수 있도록 빔폭과 사용자들의 평균 통화시간을 조정하여 최적의 채널 환경을 유지하는 LEO-DBC(LEO satellite Dynamic Beam width Control) 기법을 제시하였다.

기존의 LEO 위성 시스템은 위성의 빔폭을 고정적으로 운용하며 특히 High Traffic 이 발생하는 경우 전반적인 위성통신 채널의 안정성이 저하되었다. LEO-DBC를 통해 위성의 빔폭과 사용자들의 통화시간을 적응적으로 조정하여 최적의 QoS를 보장할 수 있으며, 특히 군용 위성이나 비상대비 상황에 사용되는 국가 공공재난망처럼 비상 상황에서 High traffic 발생이 예측되고, 사용자들의 통화시간을 통제하는 것이 가능하며, 통화시간 제한보다 안정적인 위성 통신시스템 운영이 가장 중요하게 고려되는 경우 유용하게 활용될 수 있음을 4장의 실험을 통해 확인하였다.

4차 산업혁명의 도래와 함께 더욱 중요해지는 네트워크 중심전에서 신뢰성 있고 생존성이 강한 네트워크를 구축할 수 있는 위성통신의 역할은 더욱 중요해지고 있다.

향후 정보통신 기술에 발맞춰 우리 군에도 저비용 고효율의 저궤도 위성통신망이 도입된다면 미래전에서 완벽한 임무수행과 승리를 보장할 것으로 기대한다.

## 참고문헌(Reference)

- [1] Liu, Jijia, et al. "Space-Air-Ground Integrated Network : A Survey", IEEE Communication surveys & Tutorials, Vol.20, No.4, pp.2714-2741, 2018.  
<https://doi.org/10.1109/COMST.2018.2841996>
- [2] Wu, Y., Hu, G., Jin, F., Zu, J., "A Satellite Handover Strategy Based on the Potential Game in LEO Satellite Networks", IEEE Access, Vol.7, 2019.  
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2019.2941217>
- [3] Musumpuka, Remmy, Tom M. Walingo, and J. MacGregor Smith., "Performance Analysis of Correlated Handover Service in LEO Mobile Satellite Systems", IEEE Communications Letters, Vol. 20, No. 11, 2016.  
<https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2604311>
- [4] Wu, Z., Jin, F., Luo, J., Fu, Y., Shan, J., Hu, G., "A Graph-Based Satellite Handover Framework for LEO Satellite Communication Networks", IEEE Communications Letters, Vol.20, No.8, 2016.  
<https://doi.org/10.1109/LCOMM.2016.2569099>
- [5] Kodheli, O., Lagunas, E., Maturo, N., Sharma, S. K., Shankar, B., Montoya, J. F., "Satellite Communications in the New Space Era : A Survey and Future Challenges", IEEE Comm. Surveys & Tutorials (draft)  
<https://arxiv.org/abs/2002.08811>
- [6] Maral, G., Restrepo, J., Del Re, E., Fantacci, R., Giambene, G., "Performance analysis for a guaranteed handover service in an LEO constellation with a 'satellite-fixed cell' system", IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.47, No.4, pp.1200-1214, 1998.  
<https://doi.org/10.1109/25.728509>
- [7] Papapetrou, E., Pavlidou, F.N., "Analytic study of Doppler-based handover management in LEO satellite systems", IEEE transactions on aerospace and electronic systems, Vol.41, No.3, pp.830-839, 2005.  
<https://doi.org/10.1109/TAES.2005.1541433>
- [8] Xu, Y., Ding, Q., Ko, C., "An Elastic handover scheme for LEO satellite mobile communication systems", Globecom '00-IEEE. Global Telecommunications Conference Record(Cat. No.

- 00CH37137), Vol.2, pp.1161-1165, 2000.  
<https://doi.org/10.1109/GLOCOM.2000.891319>
- [9] Liao, M., Liu, Y. A., Hu, H., & Yuan, D., "Analysis of maximum traffic intensity under pre-set quality of service requirements in lowearth orbit mobile satellite system for fix channel reservation with queueing handover scheme" *IET Communications*, Vol.9, is.13, pp.1575-1582, 2015.  
<https://digital-library.theiet.org/content/journals/10.1049/iet-com.2014.0721>
- [10] de Almeida, C., Palazzo, R., "On the Frequency Allocation for Mobile Radio Telephone Systems," 6th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications. *IEEE*, Vol.1, pp.96-99, 1995.  
<https://doi.org/10.1109/NRC.1989.47641>
- [11] I. Katzela, M. Naghshineh, "Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunication Systems:A Comprehensive Survey" *IEEE personal communications*, Vol.3, No.3, pp.10-31, 1996.  
<https://doi.org/10.1109/98.511762>
- [12] Hector Salgado, Marvin Sirbu, Jon Peha, "Spectrum Sharing through DCA for Open Access to Personal Communication Services", *IEEE International Conference on Communications ICC'95*, Vol. 1, pp. 417-422, 1995.  
<https://doi.org/10.1109/ICC.1995.525204>
- [13] S. Tekinay, B. Jabbari, "Handover and channel assignment in mobile cellular networks," *IEEE Communications magazine*, Vol.29, No.11, pp.42-46, 1991.  
<https://doi.org/10.1109/35.109664>
- [14] Tekinay Sirin, Bijan Jabbari. "A measurement - based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks", *IEEE Journal on selected Areas in Communications*, Vol.10, No.8, pp.1343-1350, 1992.  
<https://doi.org/10.1109/49.166761>
- [15] D. Hong, S. S. Rappaport, "Traffic model and performance analysis for cellular mobile radio telephone systems with prioritized and non-prioritized handoff procedures", *IEEE transactions on Vehicular Technology*, Vol. 35, No.3, pp.77-92, 1986.  
<https://doi.org/10.1109/T-VT.1986.24076>
- [16] Enrico del Re, "Efficient Dynamic Channel Allocation Techniques with Handover Queuing For Mobile Satellite Networks" *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, Vol 13, is.2, 1995.  
<https://doi.org/10.1109/49.345884>

## ◎ 저 자 소개 ◎



### 장 대 희(Dae-Hee Jang)

2008년 해군사관학교 경영과학과(이학사)  
2008년~현재 대한민국 해군 소령  
2018년~2020년 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정  
2020년~현재 해군 전력지원체계사업단 전술훈련체계담당  
관심분야 : 위성통신, 인공지능, 빅데이터, 정보보안, 블록체인  
E-mail : bravecpt@yonsei.ac.kr



### 황 윤 하(Yoon-Ha Hwang)

2012년 공군사관학교 전자공학과(공학사)  
2012년~현재 대한민국 공군 대위  
2020년~현재 연세대학교 대학원 전기전자공학과 석사과정  
관심분야 : 위성통신, 컴퓨터, 정보통신, 인공지능, 빅데이터  
E-mail : hyoonha@yonsei.ac.kr



### 정 종 문(Jong-Moon Chung)

1992년 연세대학교 전자공학과(공학사)  
1994년 연세대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
1999년 Pennsylvania State University 대학원 Electrical Engineering(공학박사)  
1997년~1999년 Pennsylvania State University, Electrical Engineering, Faculty Instructor 및 조교수  
2000년~2005년 Oklahoma State University, Electrical and Computer Engineering 부교수(정년보장)  
2005년~현재 연세대학교 전기전자공학과 교수(정년보장)  
2011년~현재 Editor, IEEE Trans. on Vehicular Technology  
2013년~현재 KSII Trans. on Internet and Information Systems (TIIS) Co-EIC  
2015년~현재 연세대학교 국방융합협동과정 주임교수  
2017년~현재 Section Editor, Wiley ETRI Journal  
2018년~현재 연세대학교 공과대학 부학장  
2019년~현재 한국인터넷정보학회(KSII) 학술부회장  
2019년~현재 연세대학교 의과대학 응급의학교실 (겸직)교수  
2019년~현재 IEEE Consumer Electronics Society 부회장  
2019년~현재 Assoc. Editor, IEEE Trans. on Consumer Electronics  
관심분야 : 무선통신, 이동통신망, 의료분석예측시스템, Ad Hoc망, 정보이론, 통신보안  
E-mail : jmc@yonsei.ac.kr