

선박 간 ad-hoc 통신 시스템에서 육상국용 적응 섹터 시스템의 성능 분석

이형범*, 김승근*, 김준호**, 김민상**, 고희림**, 임태호^o

Performance Analysis of an Adaptive Sector System for Terrestrial Station in Ad-hoc Communication System Between Vessels

Hyung-beom Lee*, Seung-geun Kim*, Jun-ho Kim**, Min-sang Kim**, Hak-lim Ko**, Tae-ho Im^o

요약

최근 선박 간 안전 및 물류 정보 전송에 이용되는 데이터양이 크게 증가함에 따라, 내해에 있는 선박은 육상국과 외해의 선박으로 부터의 전송되는 데이터로 인해 트래픽 부하량이 크게 증가하여 실시간 정보 전송에 어려움이 발생 한다. 따라서 본 논문에서는 육상국에서 외해의 선박이 밀집해 있는 분포에 따라 적응적으로 섹터의 세부 빔폭을 조절하여 통신을 수행함으로써 내해에 밀집해 있는 선박과 육상국 간의 실시간 통신지원이 가능하도록 하는 적응 섹터 시스템을 적용 후 시뮬레이션을 통해 산출한 전 방향 안테나, 고정 섹터 시스템, 적응 섹터 시스템의 각각의 호 차단율을 근거로 성능 검증을 실시하였다. 성능 검증 결과 선박의 밀집도 q 값이 증가 할수록 고정 섹터 시스템에 비해서 적응 섹터 시스템의 성능의 우수함을 알 수 있으며 동시에 섹터의 세부 빔의 빔폭이 작을 수록 적응 섹터 시스템의 성능의 우수함을 알 수 있었다.

Key Words : Maritime Communication, Ship Ad-hoc Network, ITU-R M.1842, Sectorization, Adaptive Sector

ABSTRACT

A rapid increase of data amount, used in ship-to-ship transmission of safety and logistics information, ships in the inland sea have trouble transmitting real-time information transmission due to an increase in traffic load caused by data transmitted by land station and offshore ships. In this study, therefore, communication is carried out by adaptively controlling the detailed beam width based on the distribution of offshore ships in land station durable in marine environment. Then after the adaptive sector system enabling real-time communication support between ships concentrated in an inland sea and land station is applied, the performance verification is conducted based on the respective Call Blocking Rates of an omnidirectional antenna, fixed sector system, and adaptive sector system. The performance verification result shows that adaptive sector system has better performance than the fixed sector system as the density of ship, q value, increases, and that the smaller the beam width is, the better performance of adaptive sector system will be.

※ 본 연구 결과는 국토해양부의 “U 기반 해운 물류 체계 구축을 위한 기반기술 연구” 과제에서 수행된 연구결과 중 일부분임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

* First Author : Department of Information and Communication Engineering, Hoseo University, chul7755@naver.com, 학생회원

^o Corresponding Author : Department of Oceanic IT Convergence Technology Research Center, Hoseo University, taehoim@hoseo.edu, 정회원

* Korea Research Institute of Ships and Ocean Eng.(KRISO), 종신회원

** Department of Information and Communication Engineering, Hoseo University, 정회원

논문번호 : KICS2015-11-358, Received November 6, 2015; Revised January 23, 2016; Accepted January 25, 2016

I. 서 론

해상에서의 선박 간 또는 선박과 육상국 간의 통신은 통신거리와 사용하는 주파수 대역에 따라 MF/HF/VHF 대역으로 구분한다. MF/HF 대역과 위성을 이용한 통신은 전송거리가 길으나 낮은 데이터 전송율과 고비용으로 인한 물류비의 증가로 이어지는 단점이 있다¹⁾. 현재 해상 통신을 위해서 ITU-R M.1842-1에서 VHF 대역의 해상 통신의 표준화가 되었다. ITU-R M.1842-1 표준에 따르면 해상 VHF 통신은 Annex 1과 2는 각각 43.2kbps와 21.2kbps의 중속 데이터율을 제공, 50kHz 대역의 Annex 3은 153.6kbps 데이터율로 100kHz 대역의 Annex 4는 307.2kbps 데이터율로 다중접속이 가능한 양방향 광대역 데이터교환 서비스를 제공한다. 또한 VHF 대역의 전송 거리가 수십 km 인 것을 감안하면 각 선박들에게 원활한 통신서비스의 제공이 가능하다^{2,3)}. 그러나 최근 선박 간 물류 정보 전송에 의한 데이터양의 증가로 인해 선박의 물류 정보를 선박 간 ad-hoc 통신을 이용하여 내해에 있는 선박으로 전송 및 내해 선박 자체의 물류정보 전송에 의한 내해 선박의 통신 부하량의 증가로 실시간 정보 전송에 어려움이 발생한다.

육상국에서 섹터 방식을 적용하여 통신을 수행하면, 각 섹터 별로 각각의 통신이 수행되기 때문에 섹터의 수만큼의 통신 용량이 증가한다. 하지만 선박이 어느 한 방향을 중심으로 밀집되어 있는 경우 선박이 밀집되어 있는 섹터는 통신 부하량이 증가하여 모든 선박에게 양질의 통신 서비스를 해줄 수 없는 반면, 선박이 많이 없는 섹터는 서비스가 가능한 통신 용량이 있음에도 불구하고 통신을 해줄 수 있는 선박이 없어 육상국 전체적으로 볼 때 전체 통신망의 처리량이 감소하게 되는데 육상국에 적응 섹터 시스템을 적용을 하여 선박이 밀집해 있는 분포에 따라 적응적으로 섹터의 빔폭을 조절하여 통신을 수행시 내해에 밀집해 있는 선박과 육상국 간의 실시간 통신이 가능하다.

기존 육상에서의 적응 섹터 시스템 연구는 CMDA 환경에서 동일 주파수를 공유로 인한 다중 접속 간섭(MAI)에 의한 시스템 성능과 용량이 제한되는 것을 적응 섹터화(Active sectorization)를 통해 섹터의 트래픽 부하를 균일 하게 유지하여 기지국 시스템의 전체 용량을 효율적으로 활용하기 위한 연구가 진행되었는데 육상에서의 적응 섹터 시스템은 각 사용자(User)에 따라서 각 세부 빔의 수신 전력이 서로 다르기 때문에 세부 빔의 수신 전력을 세부 빔에 속한 사용자의 수로 추정하여 각 세부빔을 섹터(Sector) 빔으

로 결합하는 구조로 각 사용자의 수를 추정하기 위해 각 사용자에게 전력제어를 통하여 기지국에 수신되는 전력이 모두 균일하다는 가정 하에 연구되었다⁴⁻⁹⁾.

그러나 현재의 선박 통신은 AIS(Automatic Identification System)를 이용한 TDMA 방식을 채택하고 때문에 각 선박에 대한 전력제어가 되지 않아 육상과 같은 각 사용자의 균일한 전력제어를 가정한 방식은 해양 환경에 적합하지 않는다.

하지만 GPS(Global Positioning System)를 사용시 육상의 경우 높은 건물들로 인해 반사시 이동 시간이 길어져 수신이 늦어지거나 전기적인 충돌로 오차와 위치편차가 발생하나 해상의 경우는 육상과 달리 반사로 인한 오차 요소가 적어 비교적 정확한 위치 추정이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 기존 육상 방식과 달리 GPS를 이용하여 각 세부 빔의 선박 수를 추정 가능하며 그 추정을 근거로 섹터에 가해지는 부하가 균일하게 분포되도록 섹터의 빔 형성이 가능하다. 또한 육상의 경우 통신 서비스를 받는 유저들의 움직임이 매우 불규칙하고 이동속도가 빠르나 해상의 경우 선박들의 이동은 어느 정도 예측이 가능하며, 육상에 비해서 상대적으로 낮은 이동속도를 가지고 지정된 항로를 따라 이동하기 때문에 세부빔 결합방식을 적용 빔 결합 방식과 달리 각 섹터의 세부빔의 가중치 값을 미리 정해주고 빔 결합을 한다면 적응 빔 결합 방식에 비해서 연산량이 감소하게 된다. 육상국에 섹터 시스템을 적용하여 신호를 선박 밀집도에 따라 보다 안정적인 빔 패턴을 가지는 빔으로 섹터 빔으로 결합 후 고정 섹터 시스템과 적응 섹터 시스템의 성능 비교 분석과 섹터의 세부 빔의 수를 점차 증가 하였을 때의 성능 분석을 위해 시뮬레이션을 통해 산출한 호 차단율(Traffic blocking rate)을 근거로 성능 검증은 실시하였다.

II. 육상국용 적응 섹터 시스템

해상에서 일반적으로 외해에는 선박의 밀집도가 낮으나 내해에는 선박들의 밀집도가 높아 선박들이 셀 내에 균일하게 분포되어 있더라도 육상국에 수신되는 신호의 도달 각 분포는 일정한 방향에서 더 높은 확률 값을 가지고 있을 수 있어 셀 내의 선박 분포는 균일 함수가 아니라 어느 일정 방향에 더 많이 집중되어 있다고 가정이 가능하다.

비 균일 분포 모델은 선박의 분포를 육상국과 선박 간 사이의 거리 r 과 육상국에서의 방향 ϕ 를 이용 $f(r, \phi)$ 의 극좌표로 정의한다. 따라서 한 셀에서의 선

박의 분포 모델은 아래와 같다⁴⁾.

$$f(r, \phi) = K \cdot \left(\cos \frac{\phi - \phi_0}{2} \right)^q \quad (1)$$

여기서 K 는 셀 당 전체 선박의 수이며 ϕ_0 는 선박들의 분포 방향을 나타내며 q 는 각 분산의 정도를 조절해주는 값으로 q 의 값이 클수록 사용자는 ϕ_0 부근에 밀집하게 된다. 아래 그림 1은 비 균일 분포 모델에서 q 값의 변화에 따른 선박의 분포 함수이다.

육상국에 적응 빔 방식의 구현을 위해서는 통신범위를 미리 여러 개의 빔 방향으로 나누어진 것을 각 섹터의 트래픽 부하량이 균일해지도록 세부 빔을 적응적으로 결합하여 섹터 빔을 형성 후 구성된 섹터 빔의 신호를 해당 선박의 모뎀으로 송수신함으로써, 선박의 일정 방향에 밀집되어도 섹터당의 부하량을 균일하게 유지하여 육상국 시스템의 처리량의 향상이 가능하다.

3개의 섹터를 가진 고정 섹터 시스템과 적응 섹터 시스템의 예가 아래 그림 3에서 보인다. 내해의 선박의 중앙 부근에 밀집할 경우 고정 섹터 시스템은 중앙 섹터에 선박이 밀집되어 통신 부하량을 증가함으로써 중앙 섹터의 선박의 트래픽 부하량이 증가하나 좌·우측 섹터에 속한 선박으로 부터의 트래픽 부하량이 낮아 전반적인 처리량이 낮아지는 반면 적응 섹터 시스템은 내해의 좌·우측의 빔폭을 증가시키고 중앙섹터의 빔폭을 감소시킴으로써 좌·우측 섹터에서 중앙에 위치한 선박의 트래픽을 일부 소화함으로써 전체 통신 시스템의 처리량의 증가가 가능하다⁵⁾.

따라서 본 논문에서는 외해 선박의 물류정보를 선박 간 ad-hoc 통신을 이용하여 내해에 있는 선박으로 전송 및 내해 선박 자체의 물류정보 전송시 통신 시스

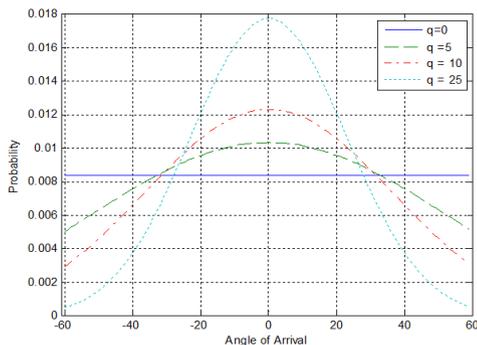
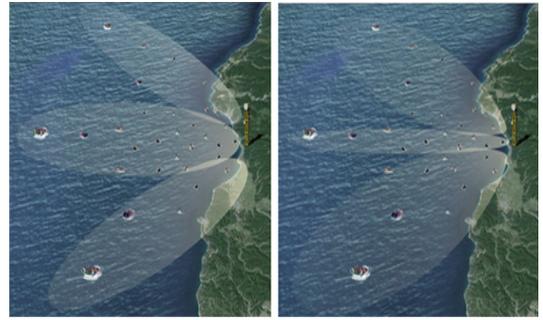


그림 1. q값에 따른 비균일 분포모델
Fig. 1. non uniform distribution Model for Q Value



(a) fixed sector (b) adaptive sector

그림 2. 섹터 시스템
Fig. 2. sector system

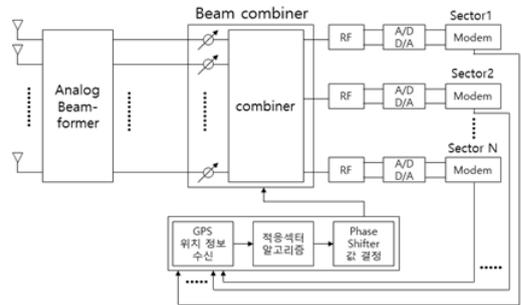


그림 3. 육상국용 적응 섹터 구조도
Fig. 3. Adaptive sector system structure for Terrestrial station

템 처리량의 향상을 위해 육상국으로의 통신 용량이 증대되는 환경에서의 내해 선박과 육상국과의 실시간 통신을 지원하기 위한 아래와 같은 적응 섹터 구조도 설계를 수행하였다.

본 연구에서 제안한 육상국용 적응 섹터 구조도에서는 그림 3에서 보이는 바와 같이, 육상국에서 복수개의 안테나와 아날로그 빔형성기를 이용하여 서로 다른 방향으로 작은 빔폭을 갖는 세부 빔을 복수개 형성하고, 해당 섹터의 선박으로부터 수신된 GPS 정보를 이용하여 각 빔 방향의 통신 트래픽 양을 추정하며, 섹터에 가해지는 트래픽 양이 균일해지도록 섹터의 크기와 위치를 조정 후 세부 빔을 결합하여 섹터 빔을 구성하고, 구성된 섹터 빔을 이용하여 각 섹터에서의 신호가 선택된 섹터의 모뎀으로 송수신되게 하는 구조로 섹터의 수가 증가되어도 제안된 구조도와 같은 방식으로 모뎀의 수를 늘려 그대로 적용 가능하다.

$$f_i(\phi) = \frac{\sin\left[\frac{2M+1}{2}(\phi - i2\pi/M)\right]}{\sin\left(\frac{\phi - i2\pi/M}{2}\right)}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, M-1 \quad (2)$$

서로 다른 방향에 대한 세부빔이 식(2)와 같을 때 아래 그림 4(a)에서 보이는 것과 같이 일반적으로 다른 빔 방향에 대해 작은 빔폭을 가지는 세부빔을 섹터 빔으로 만들어 주기 위해서 단순 결합시 아래 식(3)과 같이 정의된다.

$$E_k(\phi) = \sum_{i=k}^{k+p} f_i(\phi) \quad (3)$$

단순 결합하면 그림 4(b)에서 보이는 바와 같이 주빔과 주빔 사이에 null이 발생되어 선박의 방향에 따라 통신성능이 저하된다. 따라서 본 논문에서는 그림 4(b)에서 보이는 섹터 빔 결합의 문제를 해결하기 위하여 아래의 식(4)에서 보이는 바와 같이, 각 세부빔의 후단에 Phase Shifter를 설계하고, 설계된 Phase Shifter를 제어하여 섹터 빔을 형성한다.

$$E_k(\phi) = \sum_{i=k}^{k+p} u_i f_i(\phi) \quad (4)$$

식 (4)의 방식을 이용하여 생성된 섹터 빔의 패턴이 그림 4(c)에 보인다. 그림 4(c)에서 보이는 바와 같이 식 (4)의 방식을 이용하여 섹터 빔을 형성하면 세부빔의 주빔과 주빔 사이에 발생하였던 null이 제거되어, 선박의 방향에 관계없이 원활한 통신이 가능 해진다.

III. 시뮬레이션

적용 섹터 시스템의 성능 비교분석을 위해 사용할 호 차단율은 식(5)와 같이 선박에서 육상국으로의 상향 방향 링크에서 서비스를 원하는 전체 선박수에 대

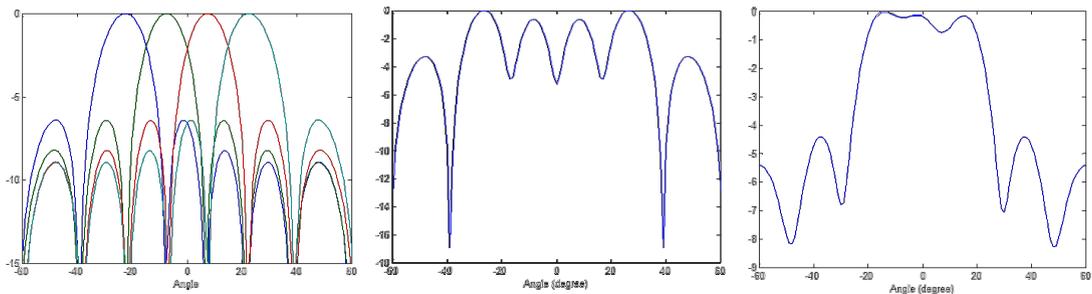
한 통화 서비스를 제공 받지 못하는 선박의 비율로 표현한다⁴⁾.

$$P_b = \frac{\sum_{i=1}^S (K_i - C_s)}{T} \quad (5)$$

여기에서 S 는 섹터의 수이고, K_i 는 i 번째 섹터에서 통화를 원하는 선박의 수이며, T 는 전체 선박의 수이다. C_s 는 한 섹터에서 통신 서비스를 제공할 수 있는 선박의 수이다. 본 논문에서는 한 내해 선박당 요구되는 AIS 프레임의 슬롯 수가 90~100개라고 가정하였으며 전체 AIS 프레임의 슬롯 수가 2250개이므로 C_s 값은 대략 24~25 이다.

본 논문에서는 선박의 밀집도에 따른 고정 섹터 시스템과 한 적용 섹터 시스템의 성능을 호 차단율을 사용하여 분석하였다. 호 차단율은 각 섹터에서의 통신 가능한 타임 슬롯의 수를 정하고 총 타임 슬롯의 수가 섹터에서 통신 가능한 타임 슬롯의 수보다 크면 통신 블로킹이 발생한다고 가정하였으며 또한 두 개의 섹터를 사용한다고 가정 하였다.

그림 1의 공간분포 확률 밀도 함수에서 q 값은 선박의 공간분포에 대한 밀집도를 나타내고 있는데 q 값이 커질수록 수신되는 선박의 밀집도는 증가한다. 그림5, 6 에서 보이는 것처럼 전 방향 안테나를 사용하는 경우에 비해 섹터 시스템을 사용 시 호 차단율이 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 고정 섹터 시스템에 비해서 적용 섹터 시스템을 사용 시 호 차단율이 더 감소하는 것과 선박의 밀집도 즉, q 값이 증가할수록 고정섹터 시스템에 비해서 적용 섹터 시스템의 성능 우수함을 알 수 있었으며 동시에 q 값이 커지면서 섹터의 세부 빔 폭이 작을수록 적용 섹터 시스템의



(a) Detailed beam of different path (b) Beam pattern of simple combining (c) Beam pattern using Phase Shifter sector

그림 4. 다른 방향의 세부 빔을 섹터 빔으로 결합
Fig. 4. Combining Sector beam at Combining detailed beam of Different Path

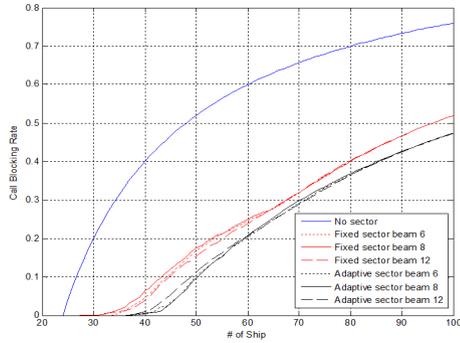


그림 5. 선박의 밀집도가 크지 않은 경우 ($q=5$)
Fig. 5. not greater case for density of ship ($q=5$)

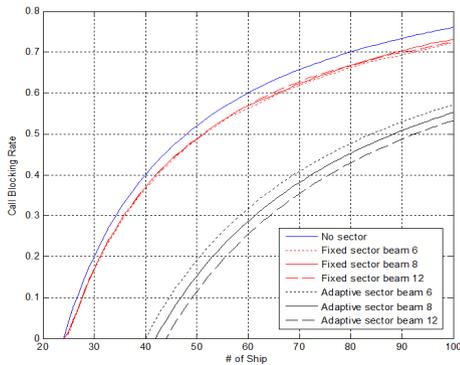


그림 6. 선박의 밀집도가 큰 경우 ($q=30$)
Fig. 6. Great case for density of ship ($q=30$)

성능의 우수함을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 선박 간의 물류 정보 전송에 의한 데이터양의 증가로 인해 선박의 물류 정보를 선박 간 ad-hoc 통신을 이용하여 내해에 있는 선박으로 전송 및 내해 선박 자체의 물류정보 전송에 의한 내해 선박의 통신 부하량의 증가로 실시간 정보 전송에 어려움이 발생하는 것을 육상국이 선박으로부터의 신호를 실시간으로 처리하기 위해 육상국에 섹터 시스템을 적용하여 고정 섹터 시스템과 적응 섹터 시스템의 호 차단율(Traffic blocking rate)을 근거로 성능 분석을 수행하였다.

성능 분석 결과 섹터 방식을 사용하지 않는 경우에 비해 섹터 방식을 이용하면 호 차단율이 감소하고, 고정 섹터에 비해서 적응 섹터를 사용한 경우의 호 차단율이 더 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 선박의 밀집도가 높을수록 적응섹터 방식의 성능이 더 우수함을

알 수 있었으며 동시에 세부 빔의 빔폭이 작을수록 적응 섹터 시스템의 성능의 우수함을 알 수 있었다. 따라서 본 논문에서 제안한 적응 섹터 시스템을 육상국에 적용하여 섹터 시스템을 구현한다면 육상국의 처리량을 증가시킬 수 있을 것이다.

References

- [1] M.-S. Lim, K.-S. Kim, Y. Lee, and S. R. Lee, "Dynamic spectrum allocation algorithm for maritime communications using spectrum sharing and priority," *J. KICS*, vol. 35, no. 7, pp. 1001-1008, Jul. 2010.
- [2] Recommendation ITU-R M.1842-1, *Characteristics of VHF radio systems and equipment for the exchange of data and electronic mail in the maritime mobile service RR Appendix 18 channels*, 2009
- [3] K. H. Jeon, H. Bing, K. H. Chang, S. G. Kim, S. M. Kim, and Y. K. Lim, "Performance analysis of channel compensation and channel coding techniques based on measured maritime wireless channel in VHF-band ship Ad-hoc network," *J. KICS*, vol. 36, no. 5, pp. 517-529, May 2011.
- [4] M. Mahmoudi, E. S. Sousa, and H. Alavi, "Adaptive sector size control in a CDMA system using butler matrix," *IEEE Conf. Veh. Technol. Conf.*, vol. 2, pp. 1355-1359, May 1999.
- [5] J. H. Lee, Y. C. Kim, C. H. Oh, and C. S. Joon, "Enhancement in BER performance by adaptive sector antennas in CDMA wireless multi-media communications," *J. KICS*, vol. 27, no. 10A, pp. 980-989, Oct. 2002.
- [6] C. Oh and A. Yener, "Adaptive CDMA cell sectorization with linear multiuser detection," *IEEE Conf. Veh. Technol. Conf.*, vol. 2, pp. 962-966, Oct. 2003.
- [7] A. S. Anpalagan and E. S. Sousa, "Adaptive cell sectoring using fixed overlapping sectors in CDMA networks," *IEEE Conf. Commun.*, vol. 6, pp. 1760-1764, Jun. 2001
- [8] C. U. Saraydar and A. Yener, "Capacity enhancement for CDMA systems through

adaptive cell sectorization," *IEEE Wireless Commun. Netw. Conf.*, vol. 3, pp. 1139-1143, New Orleans, LA, Sept. 1999.

- [9] C. Oh and A. Yener, "Further results on adaptive CDMA cell sectorization with linear multiuser detection," *IEEE Conf. Signals, Syst. Comput.*, vol. 1, pp. 37-41, Nov. 2003.

이 형 범 (Hyung-beom Lee)



2014년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2014년 3월~현재 : 호서대학교 정보통신공학과 석사 과정
 <관심분야> 해양통신, 수중통신, smart antenna

김 승 근 (Seung-geun Kim)



1995년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
 1997년 2월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 석사
 2002년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사
 2002년 10월~현재 : 한국해양과학기술원 부설 선박해양플랜트연구소 책임연구원

2004년 3월~2015년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 해양정보통신공학과 겸임교원(부교수)

2015년 3월~현재 : 과학기술연합대학원대학교 해양시스템공학과 겸임교원(교수)

<관심분야> 수중음향통신 시스템 개발, 해상 VHF 디지털 통신 시스템 개발, 선박 항해통신 장치 및 서비스

김 준 호 (Jun-ho Kim)



2014년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2014년 3월~현재 : 호서대학교 정보통신공학과 석사 과정
 <관심분야> 배열 신호처리, 빔포밍, 레이더, 안테나

김 민 상 (Min-sang Kim)



2008년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 졸업
 2010년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 석사
 2012년 2월 : 호서대학교 정보통신공학과 박사
 2016년 1월 : 호서대학교 박사후 연구원

2016년 2년~현재 : 호서대학교 해양IT융합기술연구소 조교수

<관심분야> smart antenna, MIMO, 수중통신

고 학 립 (Hak-lim Ko)



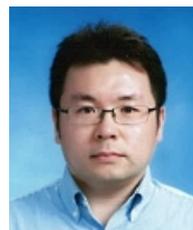
1983년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업
 1986년 8월 : Fairleigh Dickinson Univ. 전기 및 컴퓨터공학과 석사
 1995년 8월 : North Carolina state Univ. 전기 및 컴퓨터

공학과 박사

1996년~현재 : 호서대학교 정보통신공학과 교수

<관심분야> 스마트 안테나 시스템, 이동통신, 수중통신, 해양통신

임 태 호 (Tae-ho Im)



2006년 2월 : 중앙대학교 전기공학부 졸업
 2008년 2월 : 중앙대학교 전기공학부 석사
 2012년 8월 : 중앙대학교 전기공학부 박사
 2012년 7월~2015년 2월 : 삼성

전자 DMC 연구소 책임연구원

2015년~현재 : 호서대학교 해양IT융합기술연구소 조교수

<관심분야> 이동통신, 수중통신, 해양통신