

P-3C 해상초계기용 전술컴퓨터의 효율적 운영을 위한 ARINC-429 연동 방법

The Proposal Method of ARINC-429 Linkage for Efficient Operation of Tactical Stations in P-3C Maritime Patrol Aircraft

김병국^{1*} · 차용훈²

¹인덕대학교 컴퓨터소프트웨어학과

²대한항공 항공기술연구원

Byoung-Kug Kim^{1*} · Yong-Hoon Cha²

^{1*}Department of Computer Software, Induk University, Seoul, 01878, Korea

²R&D Center, Koreanair, Daejeon, 34054, Korea

[요 약]

대한민국 해군이 운영하는 P-3C 해상초계기에는 전술데이터 수집을 위한 다양한 센서 장치(LRUs, line replace units)들이 탑재되어 있다. 센서 장치의 특성에 따라 IEEE 802.3, MIL-STD-1553A/B, ARINC-429 등 각기 다른 다양한 통신 프로토콜로 운영된다. 그리고 수집된 전술데이터는 임무조작사들을 위한 전술컴퓨터(tactical station)에서 처리가 되며, 이 전술컴퓨터는 기가비트 이더넷을 주축으로 한 클러스터링 네트워크를 구성하고 분산처리방식으로 운영이 된다. 센서 장치와의 원활한 통신을 위해 특정 전술컴퓨터는 센서 장치를 위한 주변 장치(예: ARINC-429 interface card)를 별도로 탑재한다. 문제는 이 특정 장치의 주변장치 제어와 통신 중계에 따른 전체 분산처리의 성능을 떨어트리는 단점이 발생하며, 심지어 해당 전술컴퓨터의 동작 정지는 관련 센서 장치와 통신을 두절시키는 문제를 갖는다. 본 논문에서는 이를 해결하기 위해 별도의 중계기를 탑재하는 방법을 제안하며, 이 중계기의 동작 결과를 통해 제안 적용의 타당성을 입증한다.

[Abstract]

The P-3C maritime patrol aircraft operated by the Republic of Korea Navy is equipped with various sensor devices (LRUs, line replace units) for tactical data collection. Depending on the characteristics of the sensor device, it operates with various communication protocols such as IEEE 802.3, MIL-STD-1553A/B, and ARINC-429. In addition, the collected tactical data is processed in the tactical station for mission operators, and this tactical station constitutes a clustering network on Gigabit Ethernet and operates in a distributed processing method. For communication with the sensor device, a specific tactical station mounts a peripheral device (eg. ARINC-429 interface card). The problem is that the performance of the entire distributed processing according to the peripheral device control and communication relay of this specific device is degraded, and even the operation stop of the tactical station has a problem of disconnecting the communication with the related sensor device. In this paper, we propose a method to mount a separate gateway to solve this problem, and the validity of the proposed application is demonstrated through the operation result of this gateway.

Key word : ARINC-429, Cluster Network, Maritime Patrol Aircraft, P-3C, Tactical Station.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2023.27.2.167>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 31 March 2023; Revised 5 April 2023
Accepted (Publication) 24 April 2023 (30 April 2023)

*Corresponding Author; Byoung-Kug Kim

Tel: +82-02-950-7627

E-mail: dearbk@gsuite.induk.ac.kr

I. 서론

항공전자시스템(avionics system)을 위한 다양한 기술이 존재한다. 항공전자 장비 간 항공데이터 공유 및 처리를 위한 통신 기술도 이 시스템 요소 중 하나이다. ARINC (aeronautical radio, incorporated) 429는 항공전자시스템을 구성을 위한 대표적인 통신기술 중 하나이다.

마찬가지로 TCP/IP는 데이터 통신에 있어 현대 네트워크에서 가장 보편적으로 사용되는 표준적인 프로토콜로, 호환성과 상호 운용성이 높으므로, 이기종 간 원활한 통신도 가능한 특징을 갖는다. 인터넷 환경의 많은 응용에서 사용되고 있으며 검증된 통신 프로토콜이기 때문에 현의 항공기들은 군용 민간용 할 것 없이 내부에 탑재된 다양한 LRU(line replace unit)들이 TCP/IP 기반의 네트워크를 활용해 협업하는 경우가 많이 있다. 다만, 항공기 내부에서 TCP/IP를 사용할 때는 안전성과 보안 문제로 인해 주로 외부 네트워크와 분리하여 운영한다. 다만, 지상 조건 대비 항공기의 열악한 운영환경(жат은 기압변화, 심한 진동 및 온도의 편차)이라는 특수성으로 인하여, 고신뢰성을 갖는 적절한 이더넷 케이블과 네트워크 이중화도 함께 고려된다. [1]

대한민국 해군이 운영하는 P-3C(오리온, Orion) 항공기는 해상초계(maritime patrol), 정찰(surveillance), 대잠(antisubmarine) 전용으로 미국에서 개발한 해상초계기로서 우리나라도 이를 16대 도입하여 운용하고 있다. 이 항공기의 높은 성능과 안정성에 의해 다양한 나라에서 운영 중이며 일본의 경우 102기, 이란 6기, 뉴질랜드 6기, 호주 15기, 대만 12기, 노르웨이 4기, 캐나다 14기, 파키스탄 8기, 네덜란드 13기, 독일 8기, 태국 4기, 브라질 9기가 각각 운영 중이다.

다양한 무장과 센서들 포함한 다양한 항전 장비들을 탑재하고 있으며, 장비 간 MIL-STD-1553A/B, ARINC-429, IEEE 802.3 기술을 통신 및 네트워크용으로 사용한다.

센서를 통해 수집된 방대하고 다양한 정보는 다수의 전술 컴퓨터(tactical computer stations 또는 tactical stations)에서 처리가 되며, 처리 효율을 향상시키고 컴퓨팅 작업 부담을 최소화하기 위하여 전술컴퓨터들은 TCP/IP 기반의 클러스터링 네트워크(cluster network)를 형성하고 분산처리방식으로 운영된다. 또한 네트워크의 안정적인 운영을 위해 각 컴퓨터는 두 개의 이더넷을 탑재하여 이중화된 클러스터링 네트워크(dual clustered networks)로 운영된다.[2],[3]

ARINC-429는 운영모드에 따라 12.5kbps 또는 100kbps의 버스 속도를 지원하고 토폴로지 구조로 멀티드롭(multidrop-line) 또는 점대점(point-to-point) 방식으로 운영할 수 있다. 데이터 전송 시 메시지의 출처 및 식별을 위해 8비트로 이루어진 레이블(label)을 활용하는데, 이 값은 장비 또는 업체마다 자율적으로 정의하여 사용할 수 있다. 따라서 주로 다량의 장치가 하나의 버스를 공유하는 경우에는 주로 동일 장비들로 구성한다. 그러나, 개발사 및 장치 다양화로 인해 LRU 간 메시지 충돌

을 방지하기 위해 대부분 점대점 통신 구조를 채택하여 운영한다. 이 점대점 통신 구조는 전송데이터의 높은 안정성을 보장하지만, 결국 전체적으로 항공기의 경량화와 항공전자시스템의 고속 정보처리에 지장을 주는 단점이 있다.[4]

IEEE 802.3 기반의 TCP/IP는 현재 항공전자시스템에서 적극적으로 활용되고 있다. 기존의 ARINC-429를 지원하는 LRU와 TCP/IP를 지원하는 LRU 간 데이터 공유 및 협업을 위한 이기종 간 연동이 가능하면, 기존의 ARINC-429용 LRU를 재사용할 수 있으므로, 장비의 활용시간을 극대화할 수 있다. 본 논문에서는 이를 위한 효율적인 방법을 제안하고 이에 대한 이용 가능성을 성능 검증을 통해 보여준다.

본 논문의 구성은 2장에서 ARINC-429와 P-3C 해상초계기 내 전술데이터처리 시스템을 소개하고 이 시스템에서 ARINC-429 연동 구조 및 단점을 설명한다. 그리고 3장에서는 기존 전술데이터처리 시스템의 문제를 해결하기 위한 방법을 제안하고 이에 대한 시스템 구조와 동작 방식을 설명한다. 4장에서는 제안한 사항에 적용 후 실험 결과를 얻는다. 마지막으로 5장에서는 본 제안의 적용 타당성을 검증하고 결론을 맺는다.

II. 관련 기술

2-1 ARINC-429

ARINC(aeronautical radio, incorporated)는 항공 및 철도 산업을 위한 통신과 관련한 솔루션을 제공하는 1929년에 설립된 회사이다. ARINC에서 제공하는 대표적인 솔루션으로 비행 계획 및 항공 전자 시스템, 공항 솔루션, 지상-공중(ground-to-air & air-to-ground) 및 공중-공중(air-to-air) 통신 시스템 등이 있다.

ARINC에서 제공되는 통신 시스템은 비행 조종, 항공 교통 관제 및 지상 직원 간 날씨/기상정보 업데이트, 비행 계획 및 항공기 상태 데이터와 같은 아주 중요한 정보의 교환에 주로 사용된다.

이 ARINC의 다양한 솔루션 제공으로 인해 항공 통신을 위한 표준 및 프로토콜 개발에 참여하여 ARINC-429 및 ARINC 653 표준을 비롯한 다양한 표준이 항공전자시스템에 적용이 되고 있다. 이 표준은 다른 항공 전자 장비 시스템 간의 호환성과 상호 운용성을 보장하기에 현재에도 많은 항공기에서 채택되어 운영되고 있다.

ARINC-429는 항공전자(avionics) 용 LRU에서 사용되는 디지털 데이터 통신을 위한 버스 중 하나이다. 대표적으로 Airbus 사의 A330 / 340 / 350 / 380, Boeing 사의 B737 / 747 / 757 / 767 / 777 / 787, Bombardier CRJ, Dash 8 및 Global 시리즈 외 다양한 민/군용 항공기 부분에서 적용되어 운영되고 있다.

ARINC-429는 운영모드에 따라 12.5kbps 또는 100kbps의 버스 속도를 지원하고 토폴로지 구조로 멀티드롭(multidrop-line)

2-3 문제점

전술데이터처리(tactical data process) 소프트웨어는 전술컴퓨터에서 응용프로그램 형태로 동작하는 CSCI (computer software configuration item)이다. 이 CSCI는 분산처리를 제공하며 탑승한 임무조작사(mission operator 또는 mission crew)들을 위한 다양한 기능들을 제공하기도 한다. 또한, TCP/IP 기반의 소켓 인터페이스 외에 ARINC-429를 위한 별도의 I/O 인터페이스 기능을 처리한다.

운영체제에서 기본으로 제공되는 TCP/IP용 소켓 인터페이스와는 ARINC-429의 경우 장치의 I/O를 직접 제어하여 통신 기능을 제어하는데, 데이터 수신 시의 경우 하드웨어적인 인터럽트 방식을 채택하고 있으며, 송신 시의 경우 타이머 인터럽트를 사용한다.

인터럽트 처리 방식은 외부 입력이나 이벤트 발생에 대하여 빠른 응답을 처리할 수 있는 장점이 있다. 그러나, 잦은 인터럽트 신호의 발생은 타 기능의 원활한 수행에 방해를 주어 CPU에 부하를 발생시키고 결국 다른 CSC의 원활한 동작에 지장을 준다. 특히 데이터 중심적인(data centric) 클러스터 네트워크 기반의 분산처리 시스템에서는 이로 인해 전체적 성능저하를 유발한다.

P-3C 해상초계기의 경우 다수의 ARINC-429 채널이 전술컴퓨터에서 사용 중이며, 임무 중 꾸준히 데이터 전송이 이루어진다. 이에 따른 빈번한 인터럽트가 발생하고 있으며, 전술데이터처리 소프트웨어의 전반적인 처리에 있어서 블로킹(blocking) 현상이 자주 발생하는 문제가 있다.

CPU 부하 증가로 인한 낮은 응답성은 결과적으로 전반적인 성능저하를 일으킨다. 또한, ARINC-429 통신 처리를 담당하는 CSC가 동작 중인 전술컴퓨터의 장기화된 블로킹 현상은 결국 CSCI의 불안정 요소가 되고 해당 전술컴퓨터의 기능이 중단될 수 있다. 이는 더 이상 ARINC-429 채널을 이용할 수 없고, 그에 따른 전술데이터처리 프로세스의 정상적인 처리가 불가능한 상태로 전환된다.

III. 제안 기술

본 논문에서 제안하는 사항은 기존 전술컴퓨터의 ARINC-429 통신데이터 처리용 프로세스와 전술데이터처리 프로세스를 분리하고, 장치(station) 또한 기존의 전술컴퓨터와 중계기의 두 시스템으로 이원화하는 것이다. 그리하여 전술컴퓨터는 ARINC-429 인터페이스 관련 처리는 배제하여 최종적으로 이에 따른 블로킹 현상이 발생하지 않도록 한다. 그리고 ARINC-429 인터페이스를 위한 프로세스는 별도의 처리용 장치를 구성하여 TCP/IP로 방식을 통해 데이터를 전달하거나 이를 통해 수신된 데이터를 ARINC-429 인터페이스에 전달하는 중계기(gateway)와 같은 방식으로 운영한다.

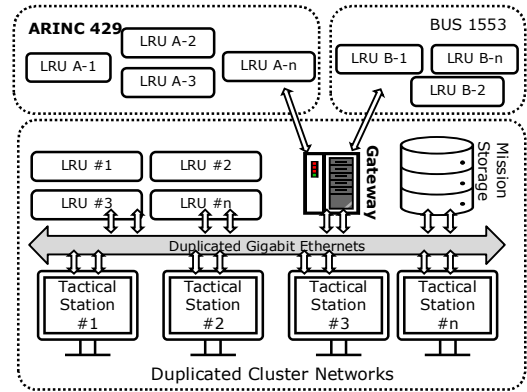


그림 3. 제안한 전술컴퓨터의 네트워크 구조
Fig. 3. Proposal Network Structure for Tactical Stations

그림3은 ARINC-429 통신과 이더넷 기반의 TCP/IP 간 인터페이싱을 위한 별도의 중계기가 적용됐을 때 종합적인 클러스터 네트워크 구성을 보여준다.

이렇게 처리 시스템을 분리함으로써 ARINC-429 통신 및 관련 처리에 따른 블로킹 현상은 전술데이터처리 소프트웨어 동작에 영향을 주지 않고, 결과적으로 전술컴퓨터의 안정성이 향상된다.

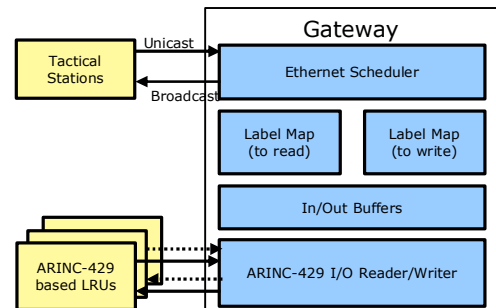


그림 4. 제안한 중계기의 소프트웨어 모듈 구성
Fig. 4. Software Modules of Proposed Gateway

그림4는 중계기의 소프트웨어 구성을 보여준다. ARINC-429를 통해 수집된 데이터는 수신 버퍼(In Buffer)에 축적되고 이더넷 스케줄러(ethernet scheduler)에 의해 모니터링되어 레이블(label)에 따른 적절한 TCP/IP 기반의 메시지를 생성한다. 그리고 그림5에서 보여주는 바와 같이 멀티캐스트 방식으로 클러스터 네트워크를 통해 모든 전술컴퓨터로 송출된다.

전술컴퓨터에서 동작하는 전술데이터처리 소프트웨어에는 ARINC-429 LRU용 데이터를 처리하기 위한 CSC들이 분산되어 있다. 따라서, 이와 관련된 CSC가 해당 데이터를 수신하는 경우, 이를 즉각 처리할 수 있다.

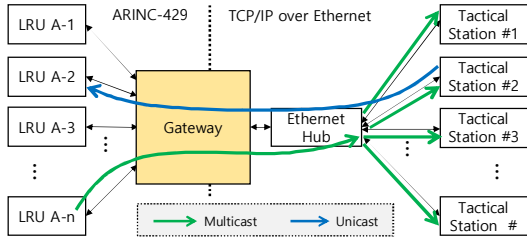


그림 5. ARINC-429와 이더넷 기반의 네트워크간의 데이터 흐름
 Fig. 5. Data Flows within ARINC-429 and Ethernet based Network

반면, 전술컴퓨터에서 생성된 ARINC-429용 데이터는 클러스터네 전술컴퓨터에 전달될 필요가 없다. 따라서 유니캐스트 방식으로 중계기에 전달되고, 그림4의 레이블 맵(Label Map)을 통해 해당되는 ARINC-429 LRU에 프레임으로 변환 후 전달된다. 송/수신 데이터에 대한 레이블 변환 및 ARINC-429 통신 채널에 대한 선택을 그림6에서 보여주는 방식으로 처리가 된다.

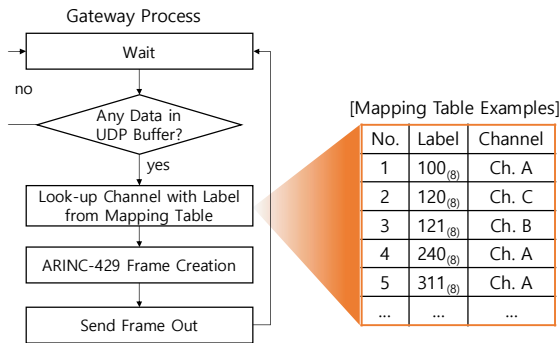


그림 6. ARINC-429 LRU에 프레임 송신을 위한 중계기 동작
 Fig. 6. Gateway Operation to send a frame out to ARINC-429 LRUs

IV. 실험 및 결과

4-1 실험 환경

제안한 기술에 대한 적용 타당성 검증을 위해 표1과 같은 성능의 9개의 전술컴퓨터를 클러스터링 네트워크에 구성하고 전술데이터처리 소프트웨어를 구동하였다. 그리고 ARINC-429 통신을 위한 본 논문에서 제안한 중계기(Gateway Station)를 동일 네트워크에 구성하였다.

또한, 제안한 중계기는 그림3에서 보여주는 바와 같이 ARINC-429 통신 외, MIL-STD-1553A/B에 대한 데이터 중계기의 기능도 함께 포함한다. MIL-STD-1553A/B 데이터 또한 TCP/IP 기반의 멀티캐스트 방식으로 클러스터 네트워크에 구성된 모든 전술컴퓨터에 해당 데이터프레임을 중계한다.

표 1. 장치 사양

Table 1. Stations' Specifications

Item	Tactical Stations	Gateway Station
CPU	Intel i5-7600	Intel i7-8850H
RAM	8 GB	8 GB
Ethernet	Gigabit Ethernet x 2	Gigabit Ethernet x 2
OS	Windows 10 (x64)	Windows 10 (x64)

ARINC-429 통신용 장비의 경우 그림7과 같은 ARINC-429 프레임을 재생하는 시뮬레이터를 이용하여 총 6종의 항공기용 LRU(DF-430, EFIS1&2, ADDU, FMS1&2) 기능이 활성화되도록 하였으며, 총 8개의 채널(RX: 6개, TX: 2개)을 이용하여 중계기와 점-대-점 방식으로 구성하였다.

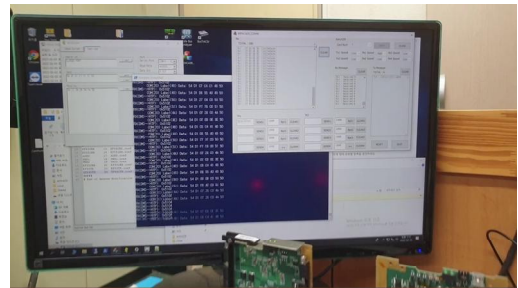


그림 7. 시뮬레이터를 통한 ARINC-429 프레임 생성기
 Fig. 7. ARINC-429 Frames Generator in a simulator

4-2 결과

전술컴퓨터에서 동작하는 전술데이터처리 소프트웨어는 SOA(service oriented architecture) 방식으로 각 모듈이 CSC로 개발되어있다. 클러스터 네트워크에서 Service ID와 그에 적절한 데이터의 구조를 갖는 메시지의 전달을 통해 분산된 전술컴퓨터는 이를 인식하고 처리한다. 메시지는 빠른 전달을 위해 UDP로 전달되고 전송회수를 최소화 하기 위해 멀티캐스트 방식을 사용한다.

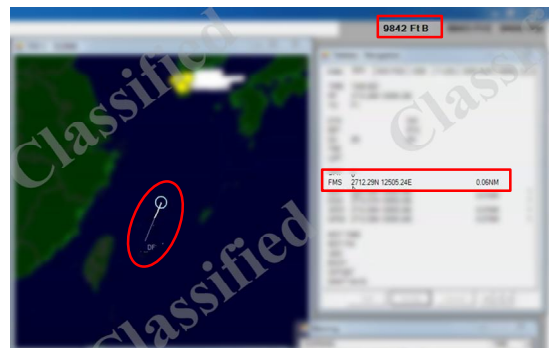


그림 8. 전술컴퓨터내 전술데이터처리 소프트웨어의 동작 화면 예
 Fig. 8. The display example of Tactical Data Process Software in a tactical station.

그림8은 본 제안을 통해 구현된 ARINC-429 중계기를 통해 클러스터 네트워크에 있는 전술컴퓨터들의 전술데이터처리 소프트웨어에 의해 처리되어 특정 화면에서 성공적으로 표출되고 있는 것을 보여준다.

V. 결 론

본 논문에서는 ARINC-429와 이를 기반한 항공전자장비(LRUs. line replace units)들을 소개하고, 이를 위한 통신용 프레임 구조를 분석하였다. 그리고 대한민국 해군에서 운용 중인 P-3C 해상초계기의 임무처리를 위한 전술데이터처리 시스템에 대한 세부적인 사항으로 전술컴퓨터, 네트워크 구조, LRU-전술컴퓨터 간 인터페이스(IEEE 802.3, ARINC-429, MIL-STD-1553A/B, RS-422), 이중화 클러스터 네트워크 등에 대해서도 함께 소개하였다.

관련 기술에 대한 소개를 통해 이원화된 통신 인터페이스에 따른 기존 시스템에서의 처리 방식에 대한 문제를 지적하였다. 지적된 사항으로 블록킹(blocking), 처리 부하 그리고 ARINC-429 인터페이싱 전술컴퓨터의 동작 불안정성을 설명하고 이를 극복하기 위한 방법을 본 논문을 통해 제안하였다.

본 논문의 제안은 ARINC-429 인터페이싱을 담당하는 전술 컴퓨터에 대하여 전술데이터처리 소프트웨어가 구동되는 분산처리용 컴퓨터가 아닌 ARINC-429 통신을 위한 중계기의 역할만을 수행하는 전용 단말(중계기)의 추가 및 운영하는 방식이다.

이 단말은 전술컴퓨터와 연동이 될 수 있도록 SOA의 메시지를 생성하고 TCP/IP의 멀티캐스트 방식을 통한 데이터 전송으로 기존의 기능을 제공하면서 전반적인 시스템의 안정성을 높일 수 있다. 마지막으로 본 제안과 실험 결과를 통해 본 P-3C

해상초계기에 적용 가능성을 입증하였다.

References

- [1] T.Y. Gong, S.G. Oh, K.S. Kim, "A Study of Gigabit Ethernet Switch Application for the Avionics of Next Generation Military Fighter," in *Proceeding of the 2016 Spring Conference on The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, pp. 792-795, April. 2016.
- [2] B. K. Kim, and J. H. Kim, "Enhanced Tactical Situation Display for Tactical Stations of P-3C Maritime Patrol Aircraft," *The Journal of Advanced Navigation Technology*, Vol. 24, No. 6, pp. 451-457, Jun. 2020.
- [3] B. K. Kim, "The method for Tactical Information Display Improvement of P-3C Maritime Patrol Aircraft," in *Proceeding of Korea Institute of information and Communication Engineering*, Vol. 24, No. 1, pp. 87-89, July. 2020.
- [4] M. G. Chung, S. C Park, S. J. Yoon, T. W. Ha, and S. H. Ahn, "A Study on the Improvement of Flickering for Electronic Flight Instrument System," in *Proceeding of The Conference on The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, pp. 600-601, April. 2018.
- [5] S. H. Lee and M. S. Kim, "A Case Study on the Troubleshooting for DF-430 Direction Finder System in terms of Avionics System," in *Proceeding of the 2019 Fall Conference on The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences*, pp. 1322-1323, Nov. 2019.

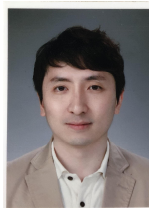
김 병 국 (Byoung-Kug Kim)



2004년 : 고려대학교 통신시스템기술협동 (공학석사)
2011년 : 고려대학교 전자컴퓨터공학과 (공학박사)
2011년 ~ 2013년 : 동양미래대학 소프트웨어정보과 조교수
2013년 ~ 2021년 : 대한항공 항공기술연구원 시스템개발팀 과장
2021년 ~ 현재 : 인덕대학교 컴퓨터소프트웨어학과 조교수

※관심분야 : AIoT, 항공전자, 네트워크 미들웨어, 클라우드컴퓨팅

차 용 훈 (Yong-Hoon Cha)



2005년 : 광운대학교 컴퓨터공학부 소프트웨어전공(공학사)
2007년 ~ 2010년 : 해군 6전단 전술지원소 체계관리 과장
2010년 ~ 2012년 : 한국항공우주산업 훈련체계팀
2013년 ~ 현재 : 대한항공 항공기술연구원 미래기술개발팀 과장

※관심분야 : AI, 항공전자, 운영체제, 임베디드시스템