

함정 전투 시스템의 분산 제어 통신망 기술

김동성*, 허성길**

*금오 공과 대학교 전자공학부, **삼성 탈레스 해양/시스템 연구소

목 차

- I. 서론
- II. 함정 전투 시스템의 구성
- III. 함정 제어망의 신뢰성 및 이중화 기술
- IV. 함정 제어망의 미들웨어 기술
- V. 결론

I. 서론

현대의 함정전투시스템은 전투 함정에 탑재된 수많은 다중 입/출력 센서 들로부터 다양한 유형의 실시간 데이터들을 수집하여 전장 환경을 감시하고 위협에 대처한다. 일반적으로 함정 전투시스템들은 대규모의 이종 분산 데이터들을 이용하여 주어진 단위 시간 이내에 효율적으로 전투를 수행할 수 있도록 하는 실시간 기반의 대규모 분산제어시스템으로 정의할 수 있다 [1][2].

최근 들어 해군 전투 함정 및 잠수함에서 수행되는 대부분의 전투 기능들이 고속의 제어 및 정보 통신망에 연동되어 자동화됨으로써 다기능 고성능 컴퓨터에 탑재된 전용 내장형 소프트웨어가 동시다발적으로 데이터를 생성하고 내부에 탑재된 이종 소프트웨어 모듈에서 생성된 실시간 정보들을 통제 시스템에서 공유하고 사용한다.

특히 함정 전투 시스템 이외의 분야인 항공기 설계 및 전투기 내부 제어 통신망을 스위치 기반의 고속 이더넷을 사용하는 연구들이 많이 발표 되고 있다 [3][4][5]. 본 기고에서도 이러한 경향들을 살펴보고 이와 유사한 함정 전투 시스템을 위한 분산 제어 통신망 기술을 비교 분석해 보고자 한다.

본 기고에서는 함정 전투 시스템의 기본 백본망은 스위치 기반의 고속 이더넷이 함정 전투 시스템 백본망으로 사용된다고 가정하고 기술한다.

그림 1을 바탕으로 함정전투체계에 적용되는 통신

망 구성을 살펴보면 다음과 같이 나누어 볼 수 있다. 첫 번째, 다중 입출력 센서, 무기 체계, 고성능 엔진 시스템 들과 연동하여 다양한 데이터를 수집하기 위한 연동단이 존재한다. 이 모듈은 소나 센서나 엔진 시스템의 서브 모듈 등에서 CAN, Mill-1533B [5] 등을 이용하여 입출력 및 제어 신호를 수신하고 스위치 이더넷 기반의 고속 백본망에 데이터를 전달하게 된다.

두 번째로는 수집된 데이터를 처리하는 정보처리장치가 있으며 DDS(Data Distribution Service) 기반의 실시간 미들웨어를 이용하여 구현되어지고 이를 통해 트래픽들을 최적화하여 관리하게 된다. 전술상황을 전 시하는 다기능콘솔, 지휘관의 결심에 의하여 교전을 수행하기 위하여 위한 무장통제의 기능을 수행하는 수많은 컴퓨터 노드들이 앞서 언급한 미들웨어와 다양한

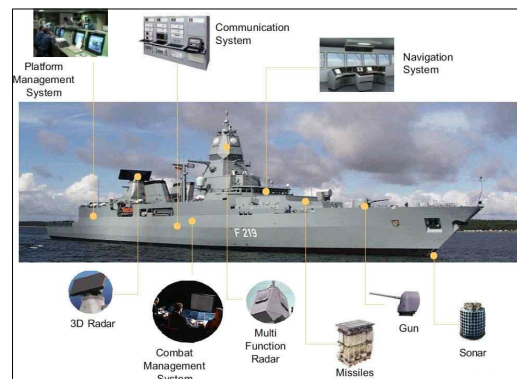


그림 1. 함정 전투체계의 모듈별 구성도[6]

장치들과 연동되어 광 케이블이 연결된 1 Gbps 에서 10 Gbps 급 스위치 기반 이더넷 장치를 경유하여 데이터 들이 교환된다. 본 기고에서는 이를 바탕으로 함정 분산 제어망의 위한 구성요소, 신뢰성 및 망 이중화 기법, 통신 미들웨어 기술 등을 살펴보고자 한다.

II. 함정 전투체계의 구성

함정 전투체계는 함정에 탑재된 다양한 센서들로부터 정보를 수집하고 수집된 정보를 처리하여 적의 위협을 분석 평가하여 위협에 대응하는 가장 최적의 무장을 할당하여 교전을 수행할 수 있도록 지원하는 대규모 분산제어시스템이다.

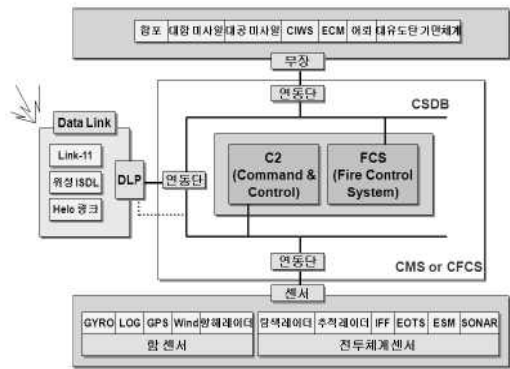


그림 2. 함정전투체계의 상세 구성도 [2]

일반적인 함정전투체계의 구성은 그림 2에 나타난 것처럼 복합센서체계, 지휘통제와 무장통제체계로 구성되는 전투관리체계(CMS)와 교전을 수행하는 다양한 무기체계로 구성되며 이들은 전투체계데이터버스로 통합된다[2].

수상함 전투체계는 최상위 탐지-통제-교전 프로세스에 의거하여 대공, 대함 및 대잠 표적에 대한 탐색 및 추적 기능을 제공하는 탐지체계, 자동화된 전술정보처리 및 통제기능을 제공하는 지휘무장통제체계, 성분작전별 교전 기능을 제공하는 무장체계들로 구성된다.

대공 탐지체계는 장거리 공역탐지, 중거리 정밀추적/유도탄 통제, 저고도 탐지/추적 센서들의 조합으로 구성되는 추세이며, 그림 3과 같은 수중 탐지체계는 예

인형 음탐기와 선체고정형 음탐기로 구성되고 이들 연동단들을 결합하는 통합 통신망으로 이루어진다.

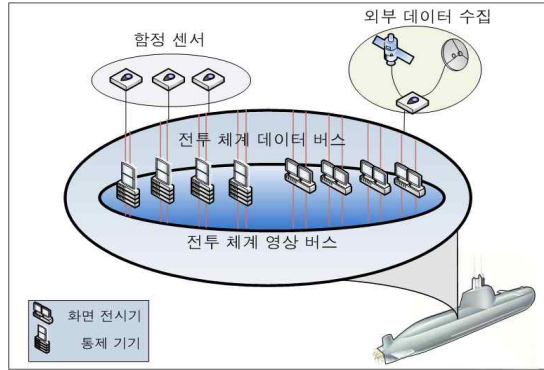


그림 3. 잠수함 전투체계데이터버스[7]

함정전투체계는 함정에 탑재되는 무장과 센서의 숫자, 함정의 임무 등에 따라 몇 개의 컴퓨터에서부터 수십 개의 컴퓨터로 분산시스템을 구성한다. 이와 같이 많은 수의 컴퓨터 노드들 사이에 정보를 교환하기 위한 함정전투체계의 데이터통신 특성은 전투체계를 구성하는 컴퓨터 노드들 사이에서 하나의 노드에서 데이터를 생성하여 전송하면 여러 노드에서 동시에 수신하여 사용되며 전송되는 다양한 실시간 데이터는 신뢰성이 보장되어야 한다. 이러한 요구사항들의 증대로 함정 전투 시스템에 장착된 장치간의 데이터 용량이 증가하면서 함정 내부에 사용되는 전투체계데이터버스의 대역폭도 크게 증가 되고 있다.

함정의 임무는 군사지원, 군사초계, 군사통제 및 세력투사 등으로 이루어지며 세부 내용은 그림 4에서 보는 바와 같다[3]. 함정의 임무에 따라 함정의 크기와 무장과 센서의 종류 및 수가 할당되며 이들을 통제하는 전투체계의 복잡도가 결정된다. 특히, 최근의 전투체계는 미국 해군의 개방형 아키텍처 표준을 따라 개발되고 있으며 크게 접속형태 전송 기술, 표준 기반의 미들웨어, 응용 컴퓨터 프로그램의 3개 모듈로 구성된다[8][9].

함정에서 무장, 센서 및 전투체계 구성 요소들의 일반적인 위치는 그림 4 에서 확인할 수 있다. 일반적으로 전투체계 내의 데이터 처리 능력을 보유한 다기능 콘솔, 정보처리장치, 연동통제장치, 탄도계산기 등으로 이루어진다[1][2].



그림 4. 대응동작에 따른 함정용 전투체계 구성

해군 함정용 전투체계는 함정에 분산 배치된 다수의 무장과 센서를 통합하고 상황분석을 통하여 전장상황에 맞는 최적의 솔루션을 제공하는 실시간 분산 체계로 함정의 임무 및 실시간 요구사항을 충족하기 위하여 미들웨어를 적용하고 있으며 DDS가 표준으로 널리 사용되고 있다.

III. 함정 제어망의 신뢰성 및 이중화 기술

최근 무기체계 기술 발전의 영향으로 함정 제어 통신망 구성에도 많은 변화가 생겼다. 함대간의 전투뿐만 아니라 항공기, 잠수함과의 교전으로 인해 전장의 개념이 다각도로 변화되었다. 이런 전장에서 예측하지 못한 방향으로부터 접근하는 적을 상대해야 하는 함정 제어 통신망은 모든 상황에 관한 정보를 사용자에게 신뢰성을 바탕으로 제공해야 한다.

첨단 무기 시스템, 원자력 발전소, 항공기, 선박등과 같은 많은 영역에서 시스템의 무중단 운용을 위해 고장 감내(Fault-Tolerant) 이중화 설계를 통한 생존성 및 신뢰성을 확보하고 있다[4][5]. 특히, 군용 장비의 경우는 무기 시스템의 특성상 각종 센서 및 무장통제를 위한 시스템의 이중화와 더불어 엄격한 경성 실시간성(Hard real-time) 속성까지 요구된다. 또한 이러한 고장 감내를 위한 이중화 시스템을 적용하기 위해서는 성능분석을 통한 요구 성능검증이 중요한 분야로 부각되고 있다.

일반적으로 기존의 시스템들의 이중화 방법은 장비

성능의 한계와 이를 극복하기 위해 대부분 전용 하드웨어 및 소프트웨어를 이용하여 이중화를 구현하였다[5]. 이러한 이중화 방법들은 환경에 따라 최적의 결과를 얻을 수 있는 장점이 있지만 이를 개발하기 위한 비용 및 향후 유지보수 비용이 증가하는 단점이 있다. 최근에는 시스템 개발방법이 전용 하드웨어에서 표준 상용제품을 기반으로 하는 개방형 구조를 참조 모델로 하여 개발하는 방식으로 점차 전환되고 있다[5][6][7].

이에 따라 최근에 개발되는 많은 군용 시스템에서도 표준을 준수하는 상용제품을 기반으로 그림 5, 6와 같이 이중화 시스템을 구현하고 있다. 이중화를 위한 가장 대표적인 방법으로 랜 스위치 이중화 방법이 사용된다.

랜 스위치를 이중화는 복수의 네트워크 경로 구성을 통해 그림 5와 같은 주 경로 장애 발생 시 부 경로를 이용함으로써 서비스 중단 및 시스템 비가용 상태를 최소화하여 서비스의 손실을 줄일 수 있다. 이러한 랜 스위치 이중화에 따른 복수의 경로 관리 및 경로 변경은 네트워크 프로토콜에 의해 수행된다.

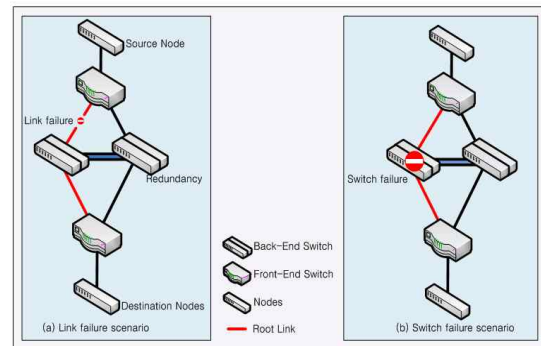


그림 5. 함정 제어망의 링크 에러 유형

L2 기반의 네트워크는 이중화 구성에 의해 발생할 수 있는 이더넷 프레임 루프를 방지하기 위한 스페닝 트리 프로토콜이, L3 기반의 네트워크는 OSPF(Open Shortest Path Frist)와 같은 라우팅 프로토콜 및 VRRP(Virtual Router Redundancy Protocol), HSRP(Hot Standby Router Protocol)와 같은 게이트웨이 이중화 프로토콜이 사용된다[3][5].

하지만 이러한 프로토콜은 네트워크 장애 탐지 및 복구를 위한 수렴 시간이 수초에서 수십 초까지의 걸

린다. 이러한 장애 탐지 방법 및 탐지 후 복구시간으로 인해 실제 스위치 네트워크상에 복수개의 경로가 존재한다고 하더라도 수초에서 수십 초의 네트워크의 다운 상태가 지속되게 되며 시간에 민감한 시스템의 경우 해당 시간동안 시스템 중단 및 시스템 오작동과 같은 문제가 발생하게 된다.

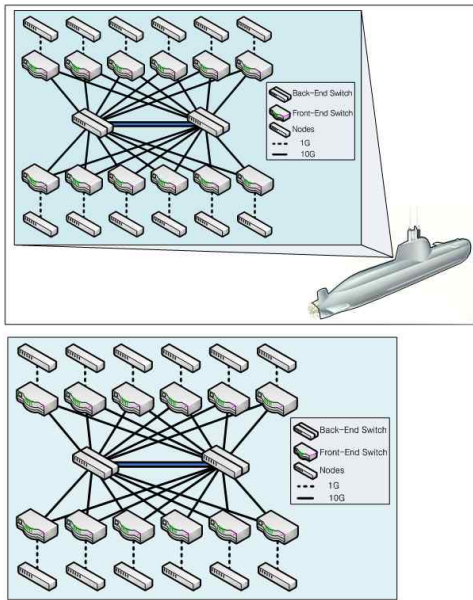


그림 6. 함정전투시스템의 내부제어망의 예

전송 데이터의 공유 및 배포를 위해 사용되는 멀티캐스트 및 브로드캐스트 트래픽은 L3 기반의 네트워크의 경우 라우팅 프로토콜을 이용한 효율적 전송이 가능하지만 1초 이상의 복구 시간이 소요된다. 표준 기술 및 스위치 개발/제작 업체 자체 기술을 통해 1초미만의 복구 시간을 가질 수 있는 L2 기반의 네트워크의 경우 멀티캐스트 및 브로드캐스트 패킷이 플러딩 방식으로 처리됨으로써 해당 데이터가 모든 노드로 전송되게 되어 네트워크에 연결된 각 단말은 물론 전체 네트워크 성능 저하의 원인이 된다.

또한, 고속의 이더넷 스위치 장착의 경우 일반적으로 대형 선박이나 함정은 업계 표준인 19인치 랙 장착형 제품의 사용이 가능하지만 장착 공간의 제약이 있을 경우(예. 잠수함, 소형함)에는 해당 설치공간에 적합한 제품의 선정 또는 추가 개발을 통한 적용이 필요

하다.

이를 해결하기 위해 고 가용성 네트워크 구성을 위한 이중화 랜 스위치 사용 시 빠른 장애복구(1초미만)를 위한 기술이 필수적으로 제공/적용 되어야 하며 추가적으로 네트워크의 효율적 사용을 위한 멀티캐스트/브로드캐스트 패킷의 효율적 전송/처리 기술도 제공되어야 한다.

IV. 함정 제어망의 미들웨어 기술

함정전투체계에 사용되는 통신 미들웨어는 여러 노드에 동시전송을 효율적으로 지원하면서 데이터 전송의 신뢰성을 보장할 수 있도록 설계되고 구현되어야 한다.

한 노드에서 메시지를 송신하고 다른 여러 노드에서 메시지를 동시에 수신하여 처리를 수행하는 함정전투체계의 네트워크 통신 구조에서 수신하는 노드의 수가 증가하더라도 전송 신뢰성이 보장되는 메시지의 동시전송이 가능한 통신 미들웨어가 필요하다.

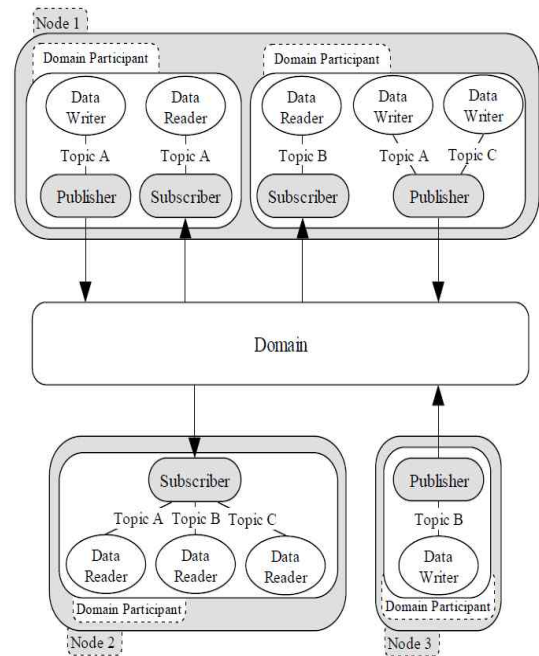


그림 7. DDS의 구성 요소 [9]

전투체계를 구성하는 일부 컴퓨터에 고장이 발생하더라도 중단 없이 임무를 수행하기 위하여 중요한 데이터를 처리하는 노드는 이중으로 구성된다. 여러 노드의 이중화 구성뿐만 아니라 특정 노드에서 발생한 데이터를 네트워크로 전송하면 같은 데이터를 여러 노드에서 수신하여 각자 노드에서 필요한 데이터 처리를 수행하는 전투체계의 특성으로 인하여 1:N의 신뢰성 있는 데이터 전송을 지원하는 미들웨어가 필요하다 [10][11].

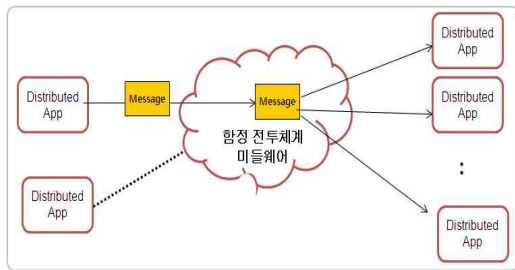


그림 8. 합정 미들웨어의 데이터 전송 흐름

합정전투체계 미들웨어는 그림 7, 8과 같이 1:1통신, 1:N통신, N:N통신을 효율적으로 지원하고 하나의 노드에서 생성된 데이터를 여러 노드에 전송해야하는 1:N 통신에서 수신하는 노드의 수인 N의 크기에 전송 지연, 처리량 등의 변화가 적어야 한다 [12][13].

또한 합정전투체계는 어느 부분에 고장이 발생하더라도 그 영향을 최소화하는 경결합 시스템(Loosely Coupled System)이 되도록 설계되어야 하면 이러한 구조를 쉽게 구현할 수 있도록 전투체계 미들웨어가 지원하여야 한다 [14].

국내에서는 고속정에서 구축함까지 다양한 급의 국내의 함정에 탑재되어 운용되고 있는 전투체계는 2000년대 초까지는 DDS와 같은 국제 표준 미들웨어가 사용된 것이 아니라 원제작사에서 자체 개발하여 특정 플랫폼에서만 탑재운용 가능한 미들웨어를 사용하고 있었으나 유도탄 고속함 전투체계가 국내개발이 되면서 DDS 표준의 미들웨어가 적용되기 시작하였으며 최근 호위함 전투체계에도 사용이 되었다.

국내 개발 전투체계의 미들웨어로 RTI사의 NDDS가 채택되었고 세계 최초로 유도탄 고속함 전투체계에 적용되는 과정에서 전투체계 성능을 만족시키기 위한 많은 노력이 있었다.

V. 결론

국내 합정 전투체계에 적용되는 네트워크는 외부 네트워크와 연결되지 않은 폐쇄형 네트워크로 센서에서 수집된 전송 데이터 전송과 같은 네트워크 서비스의 안전성, 지속성 및 신뢰성을 보장하는 고 가용성 네트워크의 구축을 위해 논리적/ 물리적 이중화 설계가 고려되며 장애 발생 시 전투체계의 고 가용성 및 무 중단 운용을 위해 주어진 시간 제약 조건 미만의 장애 복구가 요구된다.

실시간으로 분산된 다양한 체계 간의 대용량 데이터의 안정적인 공유 및 배포를 위해 멀티캐스트 통신을 통해 데이터를 전송한다. 또한 앞선 요구사항을 만족하며 추가적으로 설치성을 만족하는 네트워크 장비의 국산화가 시급하다.

이를 위해 합정 전투 시스템은 네트워크 이중화가 적용된 국방 전투체계의 네트워크 장애 발생 시 복구 수렴 시간 최소화 및 멀티캐스트/브로드캐스트 트래픽의 효율적 처리/전송 기술 개발 및 국방 전투체계에 탑재할 수 있는 국산 통신망 장비의 개발이 필요한 시점이다.

또한 해양 전투 함정의 대형 체계 시스템의 각 컴포넌트는 여러 다른 개발자에 의하여 개발된다. 메시지 기반 미들웨어를 이용하여 통신하는 대형 체계 시스템의 개발 과정에서 컴포넌트 간의 메시지 관리의 효율성은 전체 개발 효율에 큰 영향을 미친다. 특히, 개발 초기 과정에서는 컴포넌트가 새롭게 정의되거나 변경되는 경우가 많고 컴포넌트의 새로운 정의나 변경은 컴포넌트 간의 메시지의 생성이나 변경을 할 수 있는 통합 설계 툴의 개발도 필요하다.

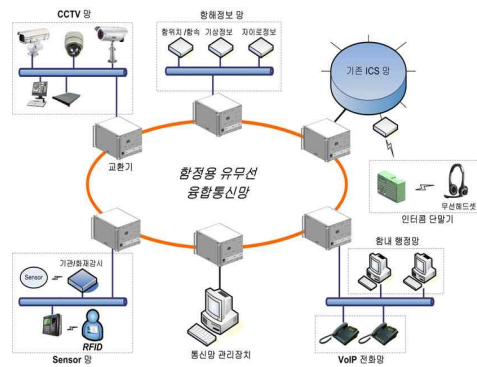


그림 9. 합정 전투시스템의 유무선 통합망 [15]

이와 더불어 미래형 함정 전투 시스템의 개발 방향은 그림 9와 같이 기존 지능형 선박 시스템에서 고려되고 있는 다양한 유무선 기술이 융합된 형태로 점차적으로 진화 되리라 생각된다. 이로 인한 데이터 대역폭 증대로 인한 트래픽 최적화, 신뢰성 및 내결함성을 고려한 백본 통합망의 설계 및 국산화, 전투 시스템을 위한 무선 제어망 기술 등의 다양한 분야들이 국내에서 연구되어 질 것으로 생각된다.

특히 국내의 국방 기술을 고려할 때 함정 내부 제어 통신망 장치의 국외 기술 의존도를 줄이고 국내업체를 통한 장치를 개발하는 것이 가장 시급한 문제라고 볼 수 있다. 이미 일반적으로 사용되는 고가의 L3-L7 장치의 경우 파이오 링크[16]와 같은 국산 네트워크 장비 전문 업체 들이 시스코의 통신 장비들보다 상대적으로 우수한 장비들을 개발해 국내 시장을 점유하고 있는 실정이다. 이런 국내 업체들과의 협업을 통해 국내 함정 체계 및 육해공군 통제 시스템에 부합되는 제어 통신망 및 백본 통신망 장치를 개발하게 된다면 국방 국산화의 목표에 한발 더 나아갈 수 있는 기회가 될 것이다.

후 기

본 연구는 교육과학기술부와 연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임. (과제번호: 2012-03-A-015-12-010100)

참고문헌

[1] 고순주, 박도현 “함정전투체계의 해외 기술동향 및 국내 발전추세에 대한 고찰” 한국방위산업학회지, Vol. 16, No. 2, pp. 237-258, Dec, 2009.

[2] 고순주 “네트워크 중심전을 대비한 전투체계 개발 및 발전방향” 전자공학회지, vol. 37, no. 11, pp. 1123-1134, Nov, 2010.

[3] 송경섭, 임영규, 김동성 “함정 전투시스템 정보망을 위한 최적 전송 및 분석 기법” 대한전자공학회 하계학술대회, pp. 1668-1671, June, 2012.

[4] 윤진식, 김운섭, 김동성, “원전용 실시간 제어망을 위한 실시간 이더넷 기술의 마스터 이중화 기법” 전자공학회 논문지, pp. 71-79, 2011.

[5] Mifdaoui, A.; Frances, F.; Fraboul, C. “Performance Analysis of a Master/Slave Switched Ethernet for Military Embedded Applications”, IEEE Trans. on Industrial Informatics, Vol. 6 , No. 4, pp. 534-547, 2010.

[6] Nato Naval Group 6 Speecialist Team Small Ship Design, "NATO/PPF WORKING PAPER ON SMALL SHIP DESIGN", May 2004

[7] 송경섭, 김동성, 최윤석, 허성길, "함정 제어 통신망을 위한 실시간 트래픽 기반 전송 기법" 대한전자공학회 제 14회 전자정보통신 학술대회, Dec, 2012.

[8] Olivier Bussiere, "Advanced NATO-Compatible Solutions for Surface Vessels", International Journal on Information & Security. Vol. 13, pp. 77-86, 2004.

[9] Eryigit, C.; Uyar, S. “Integrating agents into data-centric naval combat management systems”, 23rd International Symposium on Computer and Information Sciences, pp. 1 - 4, 2008.

[10] Piet Griffioen, "TACTICOS Combat Management System Exploiting the Full DDS Potential", DDS Information Day, 2008.

[11] Thomas J. Strei, "Open Architecture in Naval Combat System Computing of the 21st Century", April 2003.

[12] Bert Farabaugh Gerardo Pardo-Casellote and Rick Warren. "An Introduction to DDS and Data Centric Communications", 2005.

[13] Pardo-Castellote, G. "OMG Data-Distribution Service: architectural overview". IEEE Military Communications Conference, 2003. MILCOM 2003. pp. 242 - 247 Vol.1 2010.

[14] Dr. Douglas C. Schmidt, Dr. Angelo Corsaro, and Hans van't Hag. "Addressing the Challenges of Tactical Information Management in Net-Centric Systems With DDS". CrossTalk the Journal of Defense Software Engineering, March 2008.

[15] 이채동, 신우섭, 김석찬, “함정용 통합통신체계의 적용현황 및 발전방향”, 한국마린엔지니어링학회지 제34권 제1호, pp. 116~124, 2010.

[16] 파이오 링크, <http://www.piolink.com/>, 2013

저자소개



김동성 (Dong-Seong Kim)

1992년 2월 한양대학교 전자공학과
졸업

2003년 2월 서울대학교 전기 및 컴
퓨터 공학부 박사 졸업

1994년 8월 ~ 2003년 2월 서울 대학교 제어계측신기
술 연구센터/ASRI 전임 연구원

2003년 2월 ~ 2005년 3월 Cornell University,
박사후연구원/객원교수

2007년 12월 ~ 2009년 2월 U. C. Davis, 객원교수

2004년 3월 ~ 현재 금오공대 전자 공학부 부교수, IT
융복합 대학원 주임 교수

※관심분야 : 산업용/군사용 제어 통신망, 실시간 시
스템, 유무선 필드버스



허성길(Huh-Sung Kil)

1991년 2월 경북대학교 전자공학과
졸업

1991년 3월 ~ 현재 삼성 탈레스 해양/시스템 연구소,
수석 연구원, 기반 체계 그룹장

※관심분야 : 함정전투시스템, 군사용 제어 통신망, 실
시간 시스템 및 미들웨어 기술