

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2015.15.3.125>

JIBC 2015-3-18

네트워크 에뮬레이터기반 지휘통제시스템의 개발

Development of a Command and Control System Based on Network Emulator

김동현*

Donghyun Kim*

요약 본 논문에서는 네트워크에뮬레이터를 활용한 지휘통제시스템의 시험환경 구성, 결과 및 설계반영사항에 대해 다룬다. 정보통신기술의 발달에 의한 정보교환능력과 연산능력의 강화는 네트워크중심전이라는 개념을 가져오게 되었는데, 네트워크중심전에서 무기체계사용자가 빠른 상황판단을 내려 적합한 명령을 내릴 수 있게 지원하는 것이 지휘통제 체계이다. 본문에서는 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터중 하나인 dummynet을 활용한 시험환경 구축을 설명하고, 개발된 지휘통제시스템의 운용개념을 요약하였다. 더 나아가 시험 케이스 및 결과에 대해 설명하고, 목표 통신망에서의 제약사항을 극복할 운용개념을 제시하였다. 제안한 방식을 활용하면 항적메시지와 같이 여러 단말기가 같은 데이터를 빠른 주기로 공유할 때 유통 데이터를 크게 감소시킬 것으로 기대된다.

Abstract In this paper, a command and control (C2) system development using a network emulator is treated. Due to the development of information and communication technologies enabling reinforcement of information exchange and computational capability, an operational concept network centric warfare (NCW) was introduced. In here, it summarizes a developmental test environment build based on dummynet, one of the software based network emulator, and an operational concept of target command and control system. Moreover, I explain command and control system developmental test cases and results, and suggest an operational concept to overcome limitations of target communication system. I expect this concept will reduce data traffic of proposed C2 system especially plot messages which is distributed same data with short interval.

Key Words : command and control system, network emulator, dummynet, developmental test

1. 서론

정보통신기술의 발달은 네트워크중심전(NCW: Network Centric Warfare)이라는 군 작전개념을 가져왔다. 이는 빠른 정보교환 및 상황 판단을 통해 사용자로 하여금 적보다 더 빠르게 보고, 먼저 판단하고, 먼저 타격함에 따라 전력의 증강을 가져올 수 있다는 개념이다

[1],[2]

지휘통제(Commnad and Control)체계는 네트워크 중심전 상황에서 무기체계사용자가 더 빠른 상황판단을 내려 적합한 행동을 할 수 있도록 만들어주는 체계이다. 지휘통제시스템은 레이더와 같은 탐지체계와 미사일과 같은 타격체계 사이에 놓여 두뇌와 같은 역할을 수행하는 체계이며, 이를 위해 이들 사이에서 빠른 연산 및 정보교

*정회원, 국방과학연구소 제2기술연구본부
접수일자 2015년 5월 19일, 수정완료 2015년 6월 2일
게재확정일자 2015년 6월 12일

Received: 19 May, 2015 / Revised: 2 June, 2015 /

Accepted: 12 June, 2015

*Corresponding Author: dhkim.c2@gmail.com

The 2nd R&D institute, Agency for Defense Development, Korea

환이 가능하여야 한다.

지휘통제시스템을 개발할 때에 고려해야 할 부분은 운용개념, 시스템 구성, 메시지 설계 등 다양하지만, 본 논문에서는 군용 통신망 환경에서의 운용을 고려한 시스템 설계방법에 대해 다룬다. 광대역 통신기술의 발달 및 설치로 인해, 민간용 응용프로그램들은 전송용량에 대한 제한사항이 이전보다 완화된 상황이다. 하지만 군용 응용시스템들은 민간용과 다르게 제한된 대역폭을 가진 상황 하에서 운용되어야 하는 경우가 많다^{[3],[4]}. 이는 군용 통신시스템이 민간용과 다르게 별도로 할당된 주파수대역내에서 대전차전 등의 기능을 염두에 두어 개발된 경우가 많기 때문이다. 따라서 이러한 경우에는 주어진 통신용량을 고려한 시스템의 설계가 이뤄져야 한다.

통신 용량을 고려한 시스템의 설계를 위해서는 우선적으로 시뮬레이션을 통해 구현상의 제약을 확인하는 것이 필요할 것이다^[5]. 정보교환주기 및 전송량 등을 고려하여 시스템 전체의 전송 트래픽을 모델링 및 시뮬레이션을 통해 측정하는 틀로는 대표적으로 Riverbed사의 OPNET을 들 수 있다. OPNET은 통신 시스템의 개발 시의 성능 예측에 쓰이거나, 응용프로그램이 목표 환경에서 잘 돌아갈 수 있는지 확인하는 목적으로 다양한 분야에서 사용되고 있다^{[6],[7]}.

통신 시뮬레이션 결과를 이용하여 설계된 시스템은 실제 시스템이 운용될 통신망 환경 하에서 운용시험을 수행하는 것이 시스템 설계검증 면에서는 가장 적절할 것이다. 하지만, 시간, 자원 또는 다른 제한사항에 따라 시스템 개발 중 항상 실 통신망 환경을 사용할 수 있는 경우가 적다. 이를 위하여 시스템 검증을 위해 네트워크 에뮬레이터를 이용하고자 하는 시도가 꾸준히 진행되어 오고 있다^{[8],[9],[10]}. 이렇게 네트워크 에뮬레이터를 통해 개발 간 충분한 검증을 수행하고 최적화 후 실 통신망 하에서 운용시험을 수행하는 것이 장비수량, 시간 등이 제한된 시험환경 하에서 효율적인 개발이 가능할 것이다. 따라서 본 논문에서는 네트워크 에뮬레이터 기반의 지휘통제체계 시험환경 구축 사례를 제시하고 시험결과에 대한 해결방안에 대해 다룬다.

다음 장부터 이어지는 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 다양한 네트워크 에뮬레이터를 소개하고, 그 특징 점에 대한 비교를 수행한다. 3장에서는 본 논문에서 다루게 될 특정 지휘통제시스템의 특징, 구조 및 메시지 설계 등에 대해 다룬다. 4장에서는 3장에서 소개된 시스

템을 네트워크 시뮬레이터에 어떻게 접목하여 시험하게 되는지 시험환경 구성에 대해 다루고, 이러한 구성에서의 시험 결과 및 설계변경사항을 다룬다. 마지막으로 5장에서 결론으로 맺을 한다.

II. 네트워크 에뮬레이터

1. 하드웨어 기반 네트워크 에뮬레이터

하드웨어 기반 네트워크 에뮬레이터는 네트워크 에뮬레이션을 위해 만들어진 별도 장비를 지칭한다. 하드웨어 기반 네트워크 에뮬레이터는 전용 장비로 설계되었으므로 소프트웨어 기반 에뮬레이터 대비 좋은 성능을 보인다. 특히 대역폭이 커질수록 하드웨어 기반 네트워크 에뮬레이터는 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터 대비 성능의 열화가 덜 발생하는 것을 확인할 수 있다^[11]. 하지만 하드웨어 기반 장비는 장비의 구성 등을 조정하는 것이 용이하지 않고, 자체 확장성을 보유하지 않는 장비가 많고, 환경 구축 시 비용이 많이 소요된다는 단점이 있다.

하드웨어 기반 네트워크 에뮬레이터들의 제작사로는 Apposite Technology, iTRINEGY, GIGANET Systems 등이 있고, 각 에뮬레이터들은 일반적인 네트워크 스위치와 유사한 형태로 제작되었다. 각 제조사들은 지원 프로토콜, 인터페이스, 총 처리 트래픽 양 등에 의해 다양한 라인업을 갖추고 있다. 그러므로 사용자가 높은 정확도를 가지는 네트워크 에뮬레이션을 수행할 필요가 있는 경우에는 요구사항을 명확히 정의하여야 과도한 비용을 지출하지 않으면서도 시험 간 생기는 문제를 최소화할 수 있을 것이다.

2. 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터

소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터는 응용 소프트웨어를 PC나 Workstation에 설치하여 에뮬레이션이 수행되는 방식이다. 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터는 앞에서 언급되었듯이 하드웨어 기반 대비 에뮬레이션의 정확도(대역폭, delay 등)가 낮아지는 단점이 있으나 구성이 자유롭고 상대적으로 적은 비용으로 환경을 구축할 수 있는 장점이 있다. 이러한 에뮬레이터의 대표적 사례로는 Dummynet을 들 수 있다^[12].

표 1. 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터 비교
 Table 1. A comparison of S/W based network emulators

	DummyNet	NISTNet	TC/Netem
동작 OS	FreeBSD 기본 탑재, Windows, Linux 포팅 완료	Linux환경 동작	Linux 기본탑재
시간 해상도	System clock (10kHz까지 지원)	Realtime clock	System clock (1kHz까지) 또는 고해상도 타이머
작용 지점	입력/출력부	입력부	출력부
Latency 조정	가능, 상수값	가능, 특정 분포를 따르는 변수값 가능	가능, 특정 분포를 따르는 변수값 가능
대역폭 조정	가능	가능	가능
패킷 drop	가능, correlation 고려 불가	가능, correlation 고려 가능	가능, correlation 고려 가능

DummyNet은 FreeBSD나 Mac OS X에 기본 탑재되어 있는 응용프로그램으로, 네트워크 방화벽(ipfw)의 기능을 이용하여 패킷의 전송속도, 전송지연, 손실 확률 등을 조절할 수 있다. DummyNet은 GUI기반은 간단한 설정으로 대역폭 및 전송지연 등을 설정할 수 있는 장점이 있다. 이 소프트웨어는 subnet 또는 각 IP 별로 PIPE라고 지칭되는 가상의 전송선로 개념을 사용하는데, 이를 통해 다양한 구성의 전송용량 조합을 구성할 수 있다. 또한 subnet별 다수의 PIPE의 조합도 가능하데, 이를 통해 packet reordering도 가능하게 한다. DummyNet 이외에도 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터로는 NISTNet이나 NETem, TC 등이 있고 이들 프로그램 간의 특징은 표 1과 같이 요약될 수 있다^[13].

III. 지휘통제시스템 구성

1. 시스템 구성 및 운용개념

본 논문에서 다루는 지휘통제시스템은 그림 1과 같이 구성된다. 시스템의 구성요소로는 통합노드, 지역노드 그리고 연동단말기가 있다. 통합, 지역노드는 각각 독립적으로 운용될 수 있도록 설계된 장비이며 여러 종류의 탐지체계와 연동된 연동단말기로부터 전송된 표적정보 등을 융합하여 융합항적을 생성하며 융합항적정보와 타격

체계의 상태정보 및 체계가 보호해야 하는 자산을 고려하여 교전명령을 각 타격체계에 내려주는 역할을 수행한다. 작전의 규모에 따라 통합노드와 지역노드가 구분된다. 레이더와 같은 탐지체계에 탑재된 연동단말기는 탐지레이더가 생성한 표적정보 등의 정보를, 타격체계에 탑재된 연동단말기는 상태정보, 교전정보, 교전결과등을 통합, 지역노드로 전송하는 기능을 수행한다.

2. 메시지 종류 및 교환주기

본 논문에서 고려하는 지휘통제시스템 내외부에서 주고받는 메시지는 표적정보, 상태정보, 단문메시지, 교전명령 등의 다양한 종류가 있으나, 여기에서는 대표적인 메시지로 표적정보 메시지와 상태정보 메시지를만 고려하고자 한다.

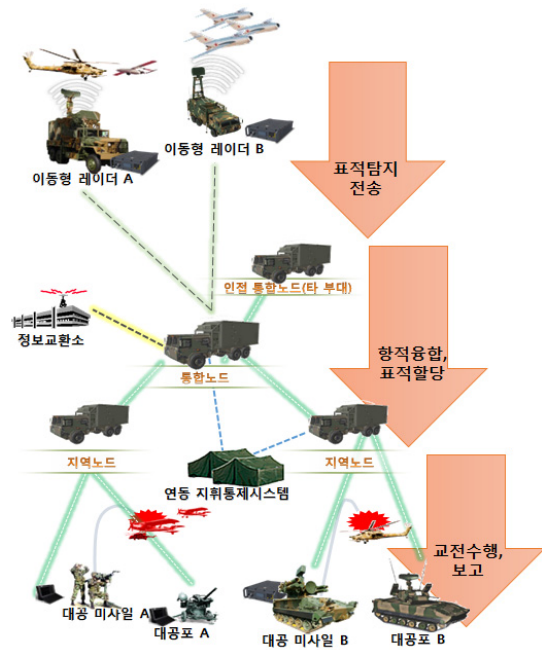


그림 1. 지휘통제시스템 운용개념

Fig. 1. Operational concept of proposed system

표적정보 메시지는 적군 뿐 아니라 아군의 위치정보 뿐만 아니라, 탐지체계에서 위치정보를 획득한 시간 등을 포함한 표적의 부가적인 정보를 포함하고 있다. 그리고 이 메시지는 통합노드로부터 지역노드, 각 연동단말기로 2초에 한번 씩 전송되도록 기본설계 되었다.

상태정보 메시지는 연동 무기체계와 연동된 연동단말기가 통합노드 또는 지역노드로 전송하는 메시지로, 연

동 무기체계의 현재위치, 보유 탄 수, 무기체계의 상태 등의 정보를 포함하고 있는 메시지로 최초 1분에 한번 씩 전송되도록 설계되었다.

3. 네트워크 연결모델

본 논문에서 고려되는 네트워크는 무선으로 지선망과 간선망으로 구성되며, 지선망과 간선망 사이에는 연동장비가 있는데, 이 장비에서 병목현상이 발생할 것으로 예상된다. 지선망 장비는 일반적인 무전기로, 전송속도가 낮고, 반이중(half-duplex) 통신방식이며, 인접 지역에서는 여러 단말기가 한 채널을 공유한다. 반면 간선망 장비는 상용 Trunk radio와 유사한 장비로 상대적으로 고속 통신능력을 가지고 전이중 통신을 수행하며, 주파수 간섭이 생기지 않도록 배치된다. 본 논문에서는 그림 2와 같은 네트워크 연결 상황을 고려한다. 각 무기체계들이 3개의 지선망 subnet으로 묶여있으며, 지선망과 간선망은 연동단말로 연결되고 이를 통해 통합, 지역노드로 연결되어 있다.

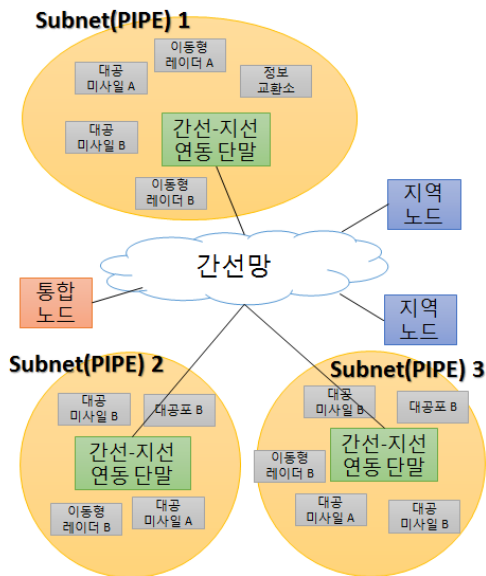


그림 2. 네트워크 연결도
Fig. 2. Network connections

IV. 실험환경 구성 및 결과

여기서는 2장에서 소개된 소프트웨어 기반 네트워크

에뮬레이터 중 하나인 dummynet을 이용한 지휘통제시스템 검증용 실험환경 구성에 대하여 기술한다.

1. 실험환경 구성

본 논문에서 고려된 표적정보메시지와 상태정보메시지는 통합노드, 지역노드와 연동단말기 간의 메시지 교환이 주요 운용개념이므로, 이러한 점에 착안하여 dummynet 기반 네트워크 에뮬레이터를 이들 사이의 gateway로 활용하고자 한다. 더 나아가 병목지점으로 예상되는 지선망과 간선망 사이의 연동장비 부분의 에뮬레이션을 위해 dummynet의 한 PIPE에 지역의 여러 단말기가 subnet별로 묶일 수 있도록 설정한다. 이러한 사항들을 고려하였을 때의 할당 IP 대역을 포함한 실험환경은 그림 3과 같이 정리될 수 있고, 환경 설정시 화면은 그림 4와 같다.

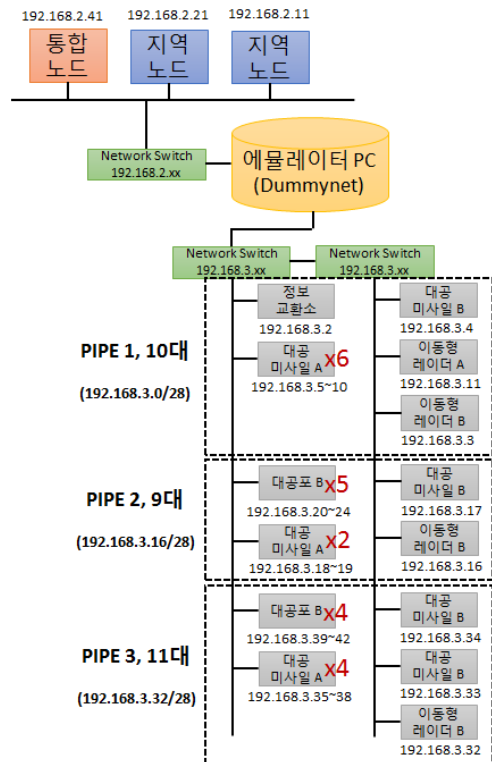


그림 3. 실험환경 구성
Fig. 3. Test environment configurations

Dummynet이 설치된 PC는 intel core i5 CPU 기반에 pci-e type 2 port Gigabit ethernet NIC를 보유하고있으며,

FreeBSD 9.3 OS가 설치되었다. 다른 소프트웨어에 의한 영향을 최소화하기 위해 추가적인 소프트웨어는 설치되지 않았으며 OS상의 routing기능을 활성화 하고 dummynet 기능을 활성화 하였다.

```
root@:~ # ipfw pipe 1 config bw 64kbps delay 1sec
root@:~ # ipfw pipe 2 config bw 64kbps delay 1sec
root@:~ # ipfw pipe 3 config bw 64kbps delay 1sec
```

그림 4. 실험환경 설정
 Fig. 4. Test environment settings

2. 실험결과

본 논문에서 고려된 시험 case들은 표 2와 같이 요약될 수 있다. 주로 변경된 parameter는 PIPE 별 bandwidth 및 delay이다. 표적정보는 상태정보 대비 메시지 용량이 상대적으로 크기 때문에 bandwidth에 의한 메시지 소통의 영향을 확인할 필요가 크나, 상태정보의 경우에는 상대적으로 적기 때문에 주기적 전송에 의한 영향을 살펴보는데 집중하였다. 그리고 각 메시지별로 기준 속도인 1Gbps의 bandwidth에서 원활히 동작할 수 있는지 확인하였다.

실험 결과에 따르면 지선망과 간선망 사이의 연동장비가 예상대로 병목 현상을 보이는 것을 확인할 수 있었다. Dummynet의 파라미터를 조정하여 buffer사이즈를 최대화 하였음에도 불구하고, 기 설계된 메시지의 주기적인 전송은 특정시간 후 각 network interface에서 packet drop을 유발시키는 것을 확인할 수 있었다. 표적 메시지의 경우 동일한 메시지를 여러 연동단말기에 전송하므로 unicast 기반의 메시지를 broadcast나 multicast 기반으로 변경하면 병목현상이 해소 될 것으로 예상되었으나, indirect broadcast 의 경우는 네트워크 DDoS(Distributed Denial of Service)공격의 주된 수단으로 악용될 수 있으므로 대부분의 network switch에서 disable되어 있고, multicast의 경우에는 전체 네트워크에서의 class D IP의 사용이 정책적으로 결정되어야 하므로 적용하기 쉽지 않은 부분이 많다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 5와 같은 broadcasting agent기반 메시지 전송구조를 제시한다. 이 방법은 각 subnet별 연동단말기 중 하나를 broadcasting agent로 활용하는 방법으로, 통합노드에서 전송되는 메시지의 flag 표시에 따라 연동단말기가 그 메시지를 지선망 subnet에 broadcasting을 수행하는 방식이다. 연동 단말기 전부 수신하면서도 대용량이고, 또한 전송 주기가

짧은 표적 메시지는 이 방식을 통해 전송하는 방식으로 병목현상을 완화시킬 것으로 예상된다. 브로드캐스팅 에이전트 기반 메시지전송방식의 적용가능성 확인을 위해 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과는 그림 6과 같았다. 그림을 통해 확인할 수 있듯, 브로드캐스팅에이전트 방식은 간선-지선 연동단말기의 버퍼 사용률을 줄일 것으로 예상된다.

표 2. 테스트 케이스
 Table 2. Test cases

	Band-width	Delay (초)	Message-type	packet drop rate
1	1Gbps	0,1,2	표적정보	0%
2	000kbps	0,1,2	표적정보	0%
3	00kbps	0,1,2	표적정보	0%
4	1Gbps	0,1,2	상태정보, 표적정보	0%
5	00kbps	0,1,2	상태정보, 표적정보	0%, 송신 시작후 3분 이내

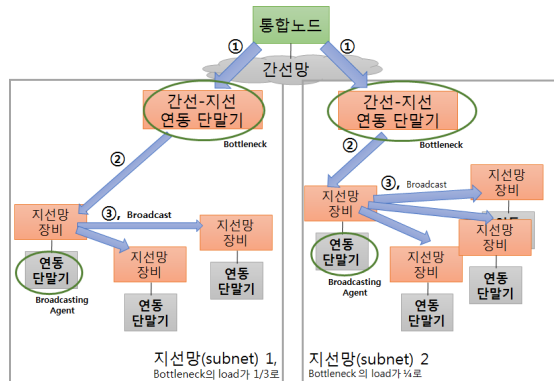


그림 5. 브로드캐스팅 에이전트 기반 메시지 전송구조
 Fig. 5. Broadcasting agent based message transmission concept

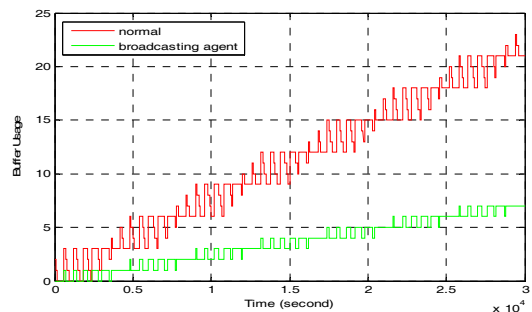


그림 6. 시뮬레이션 결과
 Fig. 6. Simulation Result

V. 결론

본 논문에서는 네트워크 에뮬레이터를 이용한 지휘통제체계의 개발환경 구축 및 개발 그리고 향후 발전방향에 대해 다루었다. 소프트웨어기반 네트워크 에뮬레이터는 하드웨어 기반 대비 정확도에서 다소 부족한 부분이 있으나, 적은 비용으로 유연한 구성이 가능하고, 이를 통해 지휘통제체계의 개발을 효율적으로 수행할 수 있었다. 소프트웨어 기반 네트워크 에뮬레이터의 지속적인 활용을 통해 적은 비용으로 실 통신망 사용을 최소화하면서 효율적인 개발이 가능한 것으로 예상된다.

References

- [1] Cebrowski, A.K. and Garstka, J.H. 1998. "Network Centric Warfare - Its Origin and Future." In U.S. Naval Institute Proceedings (Jan.), pp.28-35.
- [2] J. A.G. Langley, "Network-Centric Warfare: An Exchange Officer's Perspective," Military Review, November-December, pp.47-52.
- [3] D. Rhee, B. Ko, K. Kim, "Anti-jamming Based Tactical Communication Technology," Information and Communication Magazine, Vol.24, No.10, pp.24-33.
- [4] B. Bennett and P. Hemmings, "Operational Considerations of Deploying WIMAX Technology as a Last-mile Tactical Communication System," In Proc. of MILCOM 2006.
- [5] Y. Song, I. Kim, S. Y. Shin, H. Ahn and G. Jeong, "Capacity Analysis of Bluetooth Access Point for Location Based Service with Mobile Phones and Bluetooth," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol.10, No.5. pp.187-192.
- [6] J. Lee, D. Lee, J. S. Choi and K. Chung, "Performance Comparison and Analysis of Routing Protocols for Tactical Ad-hoc Networks," In Proc. of KICS Winter Conference 2011.
- [7] S. Lee, J. Kim, K. Moon, K. Lee and J. Park, "Performance Analysis on Integrated Ship Area

Network," The Journal of Korean Institute of Communication and Information Sciences, Vol.38C, No.03, pp.247-253.

- [8] J. Kim, W. Choi and H. Lim, "Development of a Network Emulator based Test-bed for Networked Control System," In Proc. of KICS Winter Conference 2012.
- [9] Y. Kim, Q. Zhang, N. Sung and J. Kim, "A Mobile Network Emulation Environment for Repeatable Smartphone Performance Evaluations," In Proc. of Korea Computer Congress 2013.
- [10] J. Sung and H. Suh, "Implementation of 3GPP RLC Testbed for Protocol Verification and Evaluation," The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(JIIBC), Vol.13, No.3., pp.111-117.
- [11] S. Min, I. Jang, J. Lee, B. Kim, M. Park, M. Shin and D. Oh, "Implementation of a NetFPGA-based Satellite Emulator and Testbed," In Proc. of KICS Fall Conference 2010.
- [12] M. Carbone and L. Rizzo "Dummynet Revisited," SIGCOMM Computer Communication Review, Vol.40, No.2, pp.12-20.
- [13] L. Nussbaum and O. Richard, "A Comparative Study of Network Link Emulators," In Proc. of the 12th Communications and Networking Simulation Symposium (CNS '09), March 2009.

저자 소개

김 동 현(정회원)



- 2009년 : 연세대학교 전기전자공학부 (학사)
- 2011년 : 연세대학교 전기전자공학부 (공학석사)
- 2011년 ~ 현재 : 국방과학연구소 연구원