

전술네트워크의 정보교환요구량 예측 방법에 관한 연구*

박복기*, 박상준**, 조성환**, 김준섭**, 김용철***

요약

육·해·공군은 다영역작전에서 활용할 수 있도록 4차 산업혁명 기술을 접목한 무기체계 개발을 위해 다양한 노력을 하고 있다. 새로운 기술이 적용된 무기체계를 통해 통합 전투력을 효과적으로 발휘하기 위해서는 각각의 무기체계가 정보를 원활하게 송·수신할 수 있는 네트워크 환경의 구축이 필요하다. 이를 위해선 각 무기체계의 정보교환요구량(IER, Information Exchange Requirement)에 대한 분석이 필수적이나, 현재까지 진행된 많은 정보교환능력 분석 연구는 실제 네트워크의 다양한 고려 요소를 충분히 반영하지 못하고 있다. 따라서 본 연구는 기존의 정보교환 요구능력분석 연구들의 연구 방법과 결과를 면밀하게 분석하여 IER 분석시에는 메시지 자체의 크기와 네트워크 프로토콜 헤더의 크기, 전술네트워크의 송수신 구조, 정보 유통 과정, 메시지의 발생 빈도 등을 고려해야 할 필요성을 제기한다. 이어서 향후 IER 예측시에 활용이 가능하도록 푸아송 분포와 확률생성함수를 이용하여 정보교환요구량을 확률 분포로 계산하는 기법을 제시한다. 메시지 목록과 네트워크 토폴로지의 샘플을 이용하여 확률 분포의 계산 결과와 Network Simulator 2를 활용한 시뮬레이션 결과를 상호 비교하여 이 기법의 타당성을 입증한다.

A Study on the Prediction Method of Information Exchange Requirement in the Tactical Network

Pokki Park*, Sangjun Park**, Sunghwan Cho**, Junseob Kim**, Yongchul Kim***

ABSTRACT

The Army, Navy, and Air Force are making various efforts to develop a weapon system that incorporates the 4th industrial revolution technology so that it can be used in multi-domain operations. In order to effectively demonstrate the integrated combat power through the weapon system to which the new technology is applied, it is necessary to establish a network environment in which each weapon system can transmit and receive information smoothly. For this, it is essential to analyze the Information Exchange Requirement(IER) of each weapon system, but many IER analysis studies did not sufficiently reflect the various considerations of the actual tactical network. Therefore, this study closely analyzes the research methods and results of the existing information exchange requirements analysis studies. In IER analysis, the size of the message itself, the size of the network protocol header, the transmission/reception structure of the tactical network, the information distribution process, and the message occurrence frequency. In order to be able to use it for future IER prediction, we present a technique for calculating the information exchange requirement as a probability distribution using the Poisson distribution and the probability generating function. In order to prove the validity of this technique, the results of the probability distribution calculation using the message list and network topology samples are compared with the simulation results using Network Simulator 2.

Key words : Information Exchange Requirement, Tactical Network, Probability Generating Function, Prediction

접수일(2022년 09월 29일), 수정일(2022년 10월 20일),
게재확정일(2022년 12월 19일)

★ 본 논문은 국방과학연구소의 지원에 의한 연구임.(No. UE211193AD)

★ 본 논문은 2022년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임.(No. 2022R1G1A10032611)

* 육군사관학교/전자공학과(주저자)

** 육군사관학교/전자공학과(공동저자)

*** 육군사관학교/전자공학과(교신저자)

1. 서론

4차 산업혁명 기술을 적용한 미래의 전쟁 양상은 다영역 및 하이브리드전이 수행될 것으로 예상된다. 무기체계 개발단계에서부터 빅데이터, 클라우드, 차세대 이동통신 기술, 최첨단 센서, 인공지능 등의 첨단 기술을 적용하고, 작전 수행 개념이 변화됨과 동시에 작전을 수행하는 행위의 주체도 무인화 및 자동화될 것이다. 육군은 ‘Army TIGER 4.0’에서 4차 산업혁명 최첨단 기술을 적용한 드론봇 전투체계, 워리어 플랫폼 등의 기반 전투체계와 다영역 동시통합작전, 유·무인이 복합되고 모듈화된 부대구조를 제시함으로써 구체적인 미래 육군의 모습을 그리고 있다[1][2]. 해군은 ‘해군 비전 2045’에서 ‘해양강국 대양해군’ 건설을 위한 핵심 요소로 ‘4차 산업혁명 첨단 기술 기반의 스마트 해군(SMART Navy)’을 선정하고, 스마트 전투함정, 스마트 작전 운용, 스마트 협력이라는 개념으로 세부 과제를 선정하여 추진 중이다[3]. 공군 또한 공군 비전 2050에서 ‘4차 산업혁명 기술 기반의 항공우주 작전 수행 능력 강화’를 관심 분야로 지정하여 무기체계의 개발부터 인력, 부대구조까지 최첨단 기술을 받아들이고자 청사진을 제시하였다[4].

이처럼 육·해·공군 모두 무기체계의 도입부터 첨단 기술을 적용한다는 공통점을 가지고 있으며, 이는 전쟁 수행 양상에 많은 변화를 가져올 것이다. 기존의 아날로그 방식으로 수집되고 전파된 각종 전장의 상황은 최첨단 센서와 인공지능 기술을 탑재한 무인 무기체계가 획득하고, 이 정보는 디지털화된 영상 및 신호 정보 등의 형태로 지휘소로 전송된다. 지휘관은 이러한 정보들을 토대로 지능형 지휘통제체계의 도움을 받아 전장 상황을 인식하고 효율적인 작전명령을 신속하게 하달할 수 있게 될 것이다[5][6].

전장환경의 변화에 대비하기 위해서는 모든 전투원과 전투체계가 효율적으로 연결될 수 있도록 전술네트워크를 구축하는 것이 중요하다. 다양한 무기체계에서 수집한 전장 정보들이 적시에 공유되기 위해서는 충분한 대역폭을 갖는 네트워크가 필요하며, 충분한 능력을 갖춘 전술네트워크를 구축하려면 무기체계가 발생시키는 정보유동량에 대한 예측이 필요하다. 이는 지휘통제체계의 정보교환요구량(IER, Information Ex-

change Requirement) 분석을 통해서 예측할 수 있다.

IER 분석은 주로 체계별로 작성된 연동통제문서(ICD, Interface Control Document)에서 확인할 수 있다. 그러나 연동통제문서는 이기종 체계 간 연동되는 메시지의 명칭, 종류 및 크기를 정의하고 있으며, 체계별로 사용하는 메시지가 같음에도 불구하고 그 명칭이 다른 경우가 있고 대부분 메시지 발생 주기를 수시로 명시하여 발생 빈도의 판단이 명확하지 않다[6]. 메시지의 크기도 단순히 데이터의 페이로드(payload)만 담고 있어 전송 과정 중 프로토콜 계층별 헤더의 크기도 추가로 고려해야만 한다. 뿐만 아니라 메시지의 특성상 첨부파일 등의 추가적인 정보가 추가될 때 단순히 메시지 포맷의 크기만 정의하고, 첨부하는 파일의 크기는 고려하지 않아 실제 유통되는 정보의 양과는 큰 차이가 존재하므로 전술네트워크를 사용하는 모든 체계의 IER을 정확히 산출하기는 어려운 실정이다. 따라서, 실제 네트워크에서 필요한 대역폭 예측을 위해선 보다 많은 고려사항이 IER 분석에 반영되어야 한다.

기존 IER 분석 연구에서는 IER 분석 결과를 검증하기 위해 Riverbed Modeler(舊, OPNET)이라는 컴퓨터 시뮬레이션으로 분석한 결과를 활용하였다. 하지만 규모가 큰 네트워크일 경우는 시뮬레이션에 긴 시간이 소요되며, 그 결과 또한 하나의 예를 제시할 뿐 실제 네트워크 대역폭 점유율에 대한 정확한 정보를 제공하는 데에 제한이 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 IER 예측의 불확실성을 최소화하기 위해서 관련된 기존 연구를 분석하여 개선 사항을 살펴보고, 향후 정보교환요구능력 분석 및 전술네트워크 설계 간에 반드시 고려해야 할 요소를 제시한다. 또한, 메시지 목록 정보를 통해서 실제 네트워크를 점유하는 IER에 대한 확률 분포의 계산을 위해 확률 생성 함수(Probability Generating Function)를 활용한 수학적 방법론을 제시한다. 그리고 이 수학적 분석 기법의 타당성은 NS2(Network Simulator 2)를 통해서 검증한다.

이 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 IER 관련 기존 연구를 조사하며, 3장은 IER 예측을 위한 고려 요소에 대해 분석하고, 메시지 목록을 바탕으로 정보교환요구량을 계산할 수 있는 수학적 분석 기법을

제공한다, 4장에서는 이 수학적 분석 기법을 통한 계산 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 검증하고, 5장에서 논문을 결론짓는다.

2. IER 관련 기존 연구

C4I 체계는 네트워크중심작전에서부터 다영역 동시 통합작전, 그리고 모자이크전에 이르기까지 각종 감시 체계에서 수집한 정보를 지휘관에게 제공하여 더욱 효과적인 타격체계 운용을 위해 지속적으로 발전하고 있다. 전송하는 데이터의 신뢰성을 보장하고, 안정적인 네트워크 환경 구축을 위하여 필수적인 IER을 예측하기 위한 연구도 끊임없이 진행되고 있다. 이번 장에서는 기존 연구에서 IER을 어떻게 산출하였는지 살펴보고, 앞으로 IER 분석 간 발전 사항에 대해 살펴본다.

아래의 <표 1>은 그동안 진행된 여러 가지 기반통신체계의 정보유통 능력에 관한 연구 중 본 연구와 관련된 9개의 연구과제를 선별하여 정리하였다. 표에서 제시한 연구를 보면 목적에 따라 체계를 운용하는 체대의 종류를 여단급 이하로 정하거나, 정보 유통을

위한 운용 수단을 위성, 공중, 전술망 등으로 분류하고 전술망에서는 백본망과 단말, 전투무선망 등으로 한정하고 있다.

가장 최근에 수행된 ‘기동형 통합통신체계 정보유통 능력 분석 연구’는 IER 분석을 통해 기존 군 전술통신체계의 제한사항을 분석하고 개선 요구사항을 도출하였다[6]. 또한, M&S(Modelling and Simulation)를 통해 작전 단계별 지상망, 공중망, 우주망별 정보유통량을 산출하고 진화된 기동형 통합통신체계의 발전방안을 제시하였다. ‘미래 전술망 통합 네트워크 구조 및 상호 연동 Gateway 기술연구’는 소형급 공중중계 및 운용체계의 전술망 통합 M&S를 위한 환경설정 기준을 제시하고, 다계층 네트워크 통합을 위한 M&S 모델의 기준을 제시하였다[7]. ‘Army TIGER 4.0 체계 네트워크 정보유통 능력 분석[8]’에서는 전투무선망을 기준으로 Army TIGER 4.0 체계의 전투 플랫폼 간의 정보유통을 위한 네트워크의 전송 능력을 검증하고자 하였다. 그 결과 기존 트래픽(B2CS 전문, 정지영상, WNW 음성)의 경우에는 유통할 수 있으나, 신규 무시체계인 드론의 영상(SD, HD, FHD 화질 등)을 함께 유통하는 것은 제한됨을 확인하였다. ‘미래 보병사단

<표 1> 기반통신체계 정보유통 능력 분석 연구 현황

시기	연구 제목	운 용 제 대				운 용 수 단				
		전략 부대	육군		해군	공군	위성	공중	전술	
			군단 ~여단	여단 이하					백본	단말
'21년	기동형 통합통신체계 정보유통능력 분석 연구(6)		○	○			○	○	○	○
'20년	미래 전술망의 통합 네트워크 구조 및 상호연동 Gateway 기술연구(7)		○	○			○	○	○	○
'19년	Army TIGER 4.0 체계 네트워크의 정보유통능력 분석(8)			○			○	○	○	○
'17년	미래 보병사단의 전투무선망 정보유통능력 분석에 관한 연구(9)		△	○						○
'14년	All-IP 전술네트워크 기반하 무기체계 정보유통 보장방안 연구(10)		○	○			○		○	
'14년	지상군 실시간 C2&SA 정보유통 보장을 위한 정보유통 구조 연구(11)		○	○			○		○	
'13년	미래 군단의 TICN 네트워크 구축방안 연구(12)		○	○					○	○
'12년	NCW 대비 통신체계의 위성통신 운용구조 및 유통량 분석(13)	○	○	○	○	○				
'09년	TICN체계 기반 여단급 이하 정보유통 소요 분석(14)			○						○

의 전투무선망 정보유통 능력 분석에 관한 연구[9]는 대대급 이하에서 운용하게 될 데이터 통신 핵심 장비인 전술 다대역 다기능 무전기(Tactical Multiband Multirole Radio, TMMR) 개발 결과를 반영하여 전투무선망 운용개념을 재정립하였으며 IER 능력을 분석하였다. ‘All-IP 전술네트워크 기반 무기체계 정보유통 보장방안 연구[10]’에서는 제한된 전송용량을 공유하는 무기체계의 정보유통 품질을 보장하기 위해서 IER 모델에서 데이터 교환 중요도에 따른 전송 우선순위를 정의하였으며, QoS 설계시 반드시 고려해야 한다고 설명하였다. ‘지상군 실시간 C2&SA 정보유통 보장을 위한 정보유통 구조 연구[11]’의 경우 군위성통신체계-II(ANASIS-II, Army Navy and Airforce Satellite Information System-II)와 TICN이 통합 운용되는 환경에서 군이 선정한 29개의 IER을 수준 1에서 5개, 수준 2에서 15개, 수준 3에서 9개로 구분하여 분석하였다. 이 연구는 지상통신망인 TICN과 공중통신망인 ANASIS-II를 통합하여 운용할 때의 효과성을 검증하였으며, 차후 연구로 IER 선정과 통합망 운용방안에 대한 검토의 필요성을 제시하였다. ‘미래 군단의 TICN 네트워크 구축방안 연구[12]’는 TICN 네트워크의 효율적인 운용을 위해 지상근작전사령부와 군단은 총 17개 체계, 여단은 총 10개 체계를 대상으로 IER을 정량적으로 분석하였다. 그 결과, TICN 네트워

VoIP 영상통화, 첨부 사진 삭제 등 비정형 데이터 유통을 제한하였을 때만 원활한 정보유통이 가능할 것으로 판단하였다. ‘NCW 대비 통신체계의 위성통신 운용구조 및 유통량 분석[13]’간에는 연동통제문서를 확인하지 않고, 기존 연구나 설문 과정을 통해 연동항목을 설정하였다. ‘TICN 체계 기반 여단급 이하 정보유통 소요 분석[14]’은 2009년에 진행된 연구로써 2020년 시기의 정보유통량을 예측한 연구이다. 전투21 위게임 모델을 활용한 기계화 보병여단의 훈련 자료를 KVMF(Korea Variable Message Format)으로 변환하여 분석함에 따라 여단급 이하의 정보유통량을 예측하였다. 그러나 TICN 체계 중에서도 TMMR만 반영하여 TICN에서의 적정 유통량 분석은 다소 부족하다고 볼 수 있다.

지금까지 <표 1>에 있는 정보유통 능력과 관련된 연구에 대해 살펴보았다. 각 연구는 그 목적에 따라 운용 체대의 규모를 정하기도 하고, 운용 수단을 위성통신 혹은 전투무선망 등으로 한정하기도 하였다. 또한 IER 대상 목록을 <표 2>와 같이 연구목적에 따라 다르게 적용함으로써 일반화하기에는 어려움이 있다. 그러나 미래 우리 군의 효과적인 전술네트워크 구축을 위해서 IER 분석 연구의 대상을 육·해·공군이 운용하고 있는 모든 체계 및 현재 개발 중인 체계는 물론 미래에 운용할 체계까지 모두 포함해야 할 것이다.

<표 2> 정보유통량 분석 연구별 적용 IER 현황

참고문헌 번호	기반통신체계	대상체계	적용IER
6	위성통신체계, 공중중계 UAV, TICN 등	지휘통제체계 8종, 감시정찰체계 7종, 타격체계 19종, 지원체계 15종 등	ICD, 국방정보기술표준, 기존 연구 IER(13년, 19년)
7	TICN HCTR, 위성통신, 무인기/비행선 공중링크 등	군단 15개 운용체계	ICD, 기존 연구 IER(13년, 15년)
8	TMMR	ArmyTIGER 대대	B2CS 네트워크 트래픽 기준(안), KVMF 체계개발 장비, 방공C2A 정보, B2CS 정지영상, WNW음성, 드론영상
9	TMMR	미래보병 사·여단 편제 6개 체계	15년 미래보병사단 전투실협 IER 기준(안)
10	TICN, 위성통신	군단 편제 체계	국방 아키텍처 산출물, 소요기획문서, 상호운용성확보계획서
11	TICN, 위성통신	ATCIS 등 18개 체계	국방 아키텍처 산출물, 소요기획문서, 상호운용성확보계획서
12	TICN	KJCCS 등 22개 체계	개발업체/ADD 및 군에서 자료 획득
13	TICN, 군위성통신체계-II	KJCCS 등	육군 지역군단 IER 기반
14	TICN, 군위성통신체계-II	B2CS 등 8개 체계	전투21 위게임 모델 훈련 데이터

크의 수용 능력을 초과하며, MIMS, BEACON, UAV,

또한 운용 수단에 따라 위성을 활용할 체계와 지상망

을 활용할 체계를 구분하여 분석할 필요가 있으며, IER 대상 목록 또한 신뢰성 있는 표준 문서에 근거하여 실질적으로 유통할 모든 메시지를 반영할 필요가 있다. 더불어 기존에는 스트리밍의 형태로 반영한 VoIP 음성 및 화상통화와 실시간 동영상과 같은 비정형 데이터에 대한 반영 방법도 연구 목적에 맞게 적용할 필요가 있다. 이러한 내용을 바탕으로 다음 장에서는 IER을 더욱 정확하게 예측하기 위해서 고려해야 할 요소를 알아본다.

3. IER 예측 방법 제안

3.1 IER 예측을 위한 고려 요소

IER이란 사용자 또는 조직 간에 전달할 정보의 범주로만 정의하거나[15], 정보를 전송할 때 필요한 특성(수신자, 내용, 크기, 시간, 보안, 트리거 등)을 모두 포함하는 것으로 정의하기도 한다[16]. 체계 간의 통신 신뢰성을 보장하기 위해서는 사용자 간에 상호 유통하고자 하는 정보의 크기와 함께 이 정보를 원활히 송수신하기 위해 전송 프로토콜을 운용할 때 필요한 계층별 헤더의 크기 등을 포함한다. 즉, 네트워크에서 유통되는 데이터의 실시간 전송 통신량과는 다른 개념으로 체계 간의 정보가 정상적으로 유통되기 위해서 송·수신해야 하는 단위시간 동안의 모든 정보의 양을 의미한다.

따라서 IER을 더욱 정확하게 예측하기 위해서는 크게 다섯가지 요소를 고려해야 한다. 첫째, 체계에서 <표 3> 연동 통제 문서의 연동 메시지 설계 내역(예)

연동자료명								세트목록	
수신 체계명								송신 체계명	
연동자료설명									
전송 주기	전시	전송 시간	전시	평시	최초 전송일				
	평시								
순번	속성 한글명	속성 영문명	타입	크기	널허용	키여부	속성설명		
1									
2									

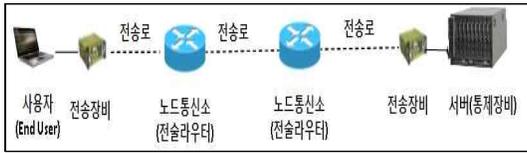
생산하여 유통하는 정보 그 자체의 크기, 둘째, 데이터 전송 시 발생하는 네트워크 프로토콜 헤더의 크기,

셋째, 이러한 정보가 유통되는 전술네트워크의 송수신 구조, 넷째, 사용자와 서버 또는 통제 장비 간의 정보를 유통하는 과정, 마지막으로 단위시간동안 메시지가 발생하는 빈도 등이다.

메시지의 크기는 주로 연동통제문서에서 찾을 수 있다. 연동통제문서는 각 체계가 다른 체계와 데이터를 상호 유통할 수 있도록 처리하는 방식을 설명한 문서로, 연동할 체계 간의 연동 항목을 정하고, 각 항목(메시지)의 설계 내역을 표 형태로 정리하여 제공한다. <표 3>은 연동통제문서에서 제공하는 연동 메시지 설계 내역의 예이다[17]. 이 표를 보면 송신체계와 수신체계 간에 연동되는 자료의 이름과 송신체계 및 수신체계의 종류, 자료를 전송하는 주기, 메시지의 속성과 크기를 알 수 있다. 문서에 제시된 메시지의 속성별 메시지의 크기를 모두 더하면 해당 메시지의 크기를 산출할 수 있다. 이렇게 문서상에 명시된 경우 그 메시지의 크기를 비교적 정확히 가늠할 수 있다.

그러나 드론봇이나 UAV처럼 실시간 전송하는 동영상, 전장 상황 등을 공유하는 데 필요한 사진 자료, 기타 첨부문서 등과 같은 크기가 정해지지 않은 메시지의 경우는 그 크기를 정확히 분석하기가 제한된다. 따라서 비정형 데이터를 고려하는 가장 타당한 방법으로는 연합연습, 전투지휘훈련 등에서 생산된 데이터를 이용하여 시뮬레이션을 하는 것이다. 모의 모델에 종합된 데이터 중 가변적인 크기의 영역만을 모아서 단위 시간당 발생한 평균 크기를 산출하고 이를 통해 미래 체계의 비정형 데이터의 크기를 예측할 수 있을 것이다.

다음으로는 네트워크 프로토콜의 헤더 크기를 고려해야 한다. 사용자가 작성한 메시지는 처음 단말기의 응용계층에서 생성되어 한 단계 하위계층으로 전달된다. 이때 최상위 계층인 응용계층에서 생성된 메시지에 차하위 계층으로 전달될 때마다 각 계층에 해당하는 헤더가 추가된다. 보안성 강화를 위해 메시지의 내용을 암호화할 때는 보안 패킷이 더해지게 된다. 예를 들어 전송계층의 경우 TCP는 20~60byte, UDP는 8byte의 헤더가 더해지며, 네트워크 계층은 IPv4를 사용하면 20byte, IPv6는 40byte의 헤더가 추가된다. 이외에도 각 계층에서 사용하는 프로토콜에 따라 헤더 크기가 달라지므로 그에 맞는 헤더 크기의 반영이 필요



(그림 1) 전송네트워크의 구조(예)[18]

하다[18].

정보 송·수신을 담당하게 될 네트워크의 구조 또한 중요하다. 송신자가 수신자와 직접 연결된 1hop 통신인 경우 중간에 통신량의 충돌이나 라우팅 정보 등을 고려할 필요가 없다. 네트워크 회선 전체를 송·수신자가 1:1로 접속하여 활용하고, 중간에 경유하는 노드가 없기 때문이다. 그러나 (그림 1)과 같이 송신자와 서버 사이에 노드통신소 등을 거쳐 통신해야 할 때는 수신자와 노드통신소 간, 노드통신소와 타 노드통신소 간, 노드통신소와 서버 간에 메시지가 전송될 때마다 같은 통신량이 추가로 발생한다. 즉, 하나의 노드를 지날 때마다 라우팅 정보 처리, 트래픽 제어 등의 부가적인 통신량이 발생할 수 있으므로 네트워크의 구조가 어떠한가에 대한 고려도 필요하다.

또한, 정보를 유통하는 과정, 즉 정보유통 프로세스도 고려해야 한다. 메시지의 특성에 따라 송신자가 즉시 생산하여 수신자에게 일방적으로 브로드캐스팅할 때는 실제 전송되는 메시지와 헤더의 크기만 고려하면 된다. 그러나 (그림 2)와 같이 특정 메시지의 경우, TCP 프로토콜의 Three-way Handshaking 과정과 비슷하게 송신자가 서버 측에 해당 메시지를 생성하는 기능을 호출하고, 이에 따른 서버의 응답이 전송된 후에 송신자가 메시지를 생성하고 전송하는 과정이 이루어진다 [18]. 이 경우에는 서버와 사용자 간에 송수신되는 제어 정보의 크기가 전달하고자 하는 메시지 자체의 크기보다 더 커질 수 있다. 앞서 살펴본 연동 통제문서에 정의된 메시지의 크기보다 더 큰 통신량이 발생하게 되는 것이다.

마지막으로, 메시지가 발생하는 빈도를 고려해야 한



(그림 2) 정보유통 프로세스[18]

다. 각종 체계에서 발생하는 메시지는 종류와 특성에 따라 분당, 시간당, 일일 단위 등 그 주기가 다양하다.

그리고 급변하는 전장 상황을 가시화하고자 수시로 발생하는 메시지도 존재한다. IER을 정확히 산출하기 위해서는 연동 메시지가 단위 시간당 평균적으로 얼마나 발생하는지 정확한 분석이 필요하다. 이러한 메시지 발생빈도는 <표 3>의 연동 메시지 설계 내역에서 전·평시 전송 주기를 토대로 산출할 수 있다. 전송 주기가 일일 단위일 경우에는 24시간에 1회, 시간 단위일 경우 1시간에 1회로 보고, 전체 메시지의 크기를 단위시간으로 나누면 평균적으로 초당 발생하는 메시지의 크기를 알 수 있다. 반면, 수시로 발생할 수 있는 메시지는 정확한 분석이 쉽지 않다. 전장 상황의 불확실성으로 인해 모든 메시지의 발생빈도를 정확히 명시하기가 어렵고, 연동 통제 문서에도 상당수의 메시지 설계 내역에 전송 주기를 '수시'로 명기하여 정확한 주기를 설명하고 있지 않다. 이러한 경우 기존의 연구를 참고하기도 하고, 전문가와의 면담을 통해 판단하기도 하며, 연합 연습이나 전투지휘훈련과 같이 시뮬레이터를 활용한 훈련시 발생하는 데이터를 활용하기도 한다. 하지만 이러한 접근 방식은 연구 목적과 연구 범위에 따라 같은 메시지라 할지라도 서로 다른 발생빈도를 적용한 연구 결과가 나올 수 있다는 제한점을 가지고 있다 [18].

3.2 IER 예측을 위한 수학적 분석 기법

이번 장에서는 3.1에서 언급한 IER 분석 고려 요소들을 반영하여 실제의 네트워크상에 점유하는 대역폭의 확률 분포를 계산할 수 있는 수학적 분석 기법을 제시한다.

3.2.1 단일 링크의 IER 확률 분포

3.1에서 설명하였듯이 연동통제문서는 각 메시지의 발생빈도를 제시한다. 발생빈도는 주로 일일, 1시간, 10분, 1분, 수시 등으로 기술된다. 이를 통하여 메시지 별로 전송 주기를 산출할 수 있다. 전송 주기의 역수는 단위시간에 발생하는 메시지의 평균 발생 횟수가 되며, 이를 활용하면 메시지가 단위시간에 발생하는 횟수에 대한 확률 분포를 다음과 같은 푸아송 분포(Poisson distribution)를 통해 구할 수 있다.

$$P(X_i = x) = \frac{\lambda_i^x}{x!} e^{-\lambda_i}$$

여기서 X_i 는 메시지 M_i 가 단위시간 동안에 바새하는 횟수에 대한 확률 변수이며, λ_i 는 메시지 M_i 의 단위 시간 동안 발생하는 평균 횟수, 즉 전송 주기의 역수를 의미한다. 따라서 메시지 M_i 로 인해서 단위시간 동안 발생하는 정보교환요구량에 대한 확률 변수 Y_i 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y_i = (S_i + HS_i + AS_i)X_i = K_i X_i$$

$K_i = S_i + HS_i + AS_i$
 S_i : 메시지 크기(Byte)
 HS_i : 헤더 크기(Byte) (2)
 AS_i : 정보유통 프로세스 트래픽(L, ...)

그리고 임의의 노드 또는 단말기 T^k 에서 발생 되는 메시지를 M_i , $i \in S_k$ 라고 하자. 여기서 참조 번호 k 는 노드 또는 단말기 번호를 의미하며, S_k 는 T^k 에서 발생하는 모든 메시지 번호의 집합을 의미한다. 그러면 T^k 가 발생시키는 단위 시간당 총 IER에 대한 확률 변수 Y^k 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$Y^k = \sum_{i \in S_k} Y_i = \sum_{i \in S_k} K_i X_i$$

여기서 X_i , $i \in S_k$ 는 확률 변수이며 K_i , $i \in S_k$ (3) : 상수이다. 따라서 확률 변수 Y 는 서로 다른 S_k 의 K_i 를 곱해준 확률 변수 X_i 의 합으로 해석할 수 있다. 확률 변수의 Y^k 에 대한 확률 분포는 확률 생성 함수를 이용하여 계산할 수 있다. 이를 계산하기 위해서 먼저 확률 변수 X_i 와 상수 K_i 의 곱인 $K_i X_i$ 에 대한 확률 생성 함수를 계산하면,

$$G_{K_i X_i}(s) = E[s^{K_i X_i}] = \sum_{x=0}^{\infty} s^{K_i x} P(X_i = x)$$

$$= \sum_{x=0}^{\infty} s^{K_i x} \frac{\lambda_i^x}{x!} e^{-\lambda_i}$$

$$= e^{-\lambda_i} \sum_{x=0}^{\infty} \frac{(\lambda_i s^{K_i})^x}{x!}$$

$$= e^{-\lambda_i} e^{(\lambda_i s^{K_i})} \quad (4)$$

와 같이 얻어진다. 또한, 각 메시지의 발생 횟수에 관한 확률 변수 X_i , $i \in S_k$ 은 서로 독립이기 때문에, Y^k 의 확률 생성 함수 $G_{Y^k}(s)$ 는 $G_{K_i X_i}(s)$ 를 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$G_{Y^k}(s) = E[s^{Y^k}] = E\left[s^{\sum_{i \in S_k} K_i X_i}\right]$$

$$= \prod_{i \in S_k} E[s^{K_i X_i}] = \prod_{i \in S_k} G_{K_i X_i}(s)$$

$$= \exp\left(\sum_{i \in S_k} \lambda_i s^{K_i} - \lambda_i\right) \quad (5)$$

마지막으로 확률 변수 Y 의 확률 분포는 $G_Y(s)$ 를 활용하여 다음과 같이 구해질 수 있다.

$$P(Y^k = n) = P_{Y^k}(n) = \frac{1}{n!} G_{Y^k}^{(n)}(s) \quad (6)$$

여기서 $G_{Y^k}^{(n)}(s)$ 는 변수 s 에 대하여 함수 $G_Y(s)$ 를 n 번 미분한 결과를 의미한다. 즉, 우리는 $P_{Y^k}(n)$ 을 활용하여 하나의 노드 또는 단말기 T^k 에서 발생하는 단위 시간당 IER의 확률 분포를 계산할 수 있다.

3.2.2 두개 이상 전송로 접합점 IER 확률 분포

3.2.1장에서 하나의 노드 또는 단말기 T^k 가 발생시키는 IER에 관한 확률 분포 $P(Y^k)$ 에 대해서 분석하였다. 한편, 두 개의 노드 또는 단말 T^1 과 T^2 에서 발생한 IER이 하나의 노드 또는 단말 T^k 로 집계될 때 종합되는 IER은 다음과 같이 수신된 IER의 합으로 표현할 수 있다.

$$Y^k = Y^1 + Y^2 \quad (7)$$

여기서 Y^1 과 Y^2 모두 서로 독립인 확률 변수이므로 종합되는 IER Y^k 의 확률 분포는 다음과 같이 구할

수 있다.

$$\begin{aligned}
 P(Y^k = n) &= \sum_{k=-\infty}^{\infty} P(Y^1 = a) \cdot P(Y^2 = n - a) \\
 &= P_{Y^1}(n) * P_{Y^2}(n) \quad (8)
 \end{aligned}$$

즉, Y^1 과 Y^2 의 확률 분포들의 합성곱(Convolution) 연산으로 합쳐지는 단위 시간당 IER Y^k 의 확률 분포를 계산할 수 있다. 같은 방법으로 두 개 이상의 노드의 IER이 합쳐질 때도 각 노드별로 발생하는 합성곱을 구함으로써 종합되는 총 IER의 확률 분포 계산이 가능하다.

4. 수학적 분석 기법 검증 결과

이번 장에서는 3장에서 제안한 IER 예측을 위한 수학적 분석 기법을 검증하기 위하여 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용한 가상의 메시지 목록은 아래의 <표 4>와 같으며, 송신자별로 10여 개의 서로 다른 메시지를 발생시킨다고 가정하였다.

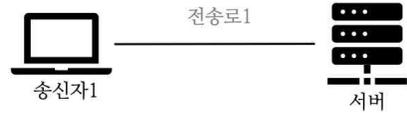
또한 모든 메시지는 40bytes의 헤더 크기 HS_i 를 가지며, 정보유통 프로세스 트래픽 AS_i 는 발생하지 않는다고 가정하였다. 또한, 노드 및 터미널의 개수 및 구조, 메시지 종류 등을 변경하여 (그림 3)과 같이 세 가지 시나리오로 서로 다른 네트워크 토폴로지에 대해서 시뮬레이션과 수치 계산을 시행하였다. 여기서 모든 송신자는 수신부대를 서버로 설정하여 데이터를 전송한다고 가정하였다. 시뮬레이션은 NS2를 활용하여 1,000시간 동안의 IER을 분석하였다.

단일 링크로 구성된 (그림 3-(a))의 정보유통량 확률 분포 결과는 (그림 4)와 같다. 송신자1은 10개의 서로 다른 메시지를 각 메시지의 시간당 평균 전송 주기를 기준으로 무작위로 발생시킨다. 이때 이 메시

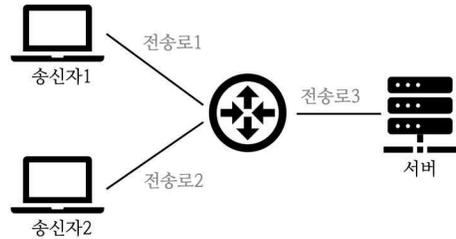
<표 4> IER 목록 예시

송신 부대	수신 부대	메시지 종류	메시지 크기 (Byte)	전송 주기	시간당 발생빈도
A중대	B중대	정보보고	200,000	10분	6
A중대	1대대	상황도 전송	600,000	30분	2
...					
B중대	1대대	상황보고	1,000,000	5시간	0.2

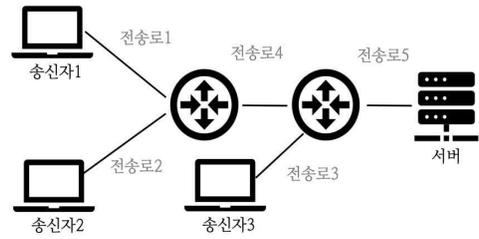
지들이 전송로1을 통해서 서버에 전송된다. 이렇게 전



(a) 단일 링크로 구성된 네트워크



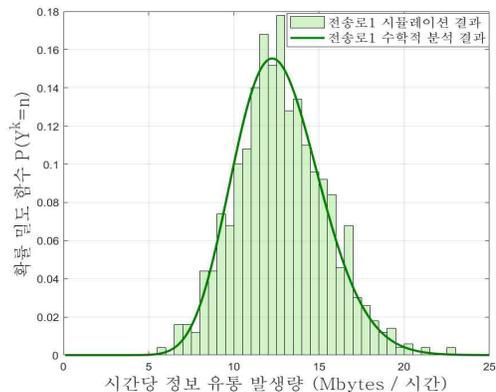
(b) 두 개 링크의 접합점이 존재하는 네트워크



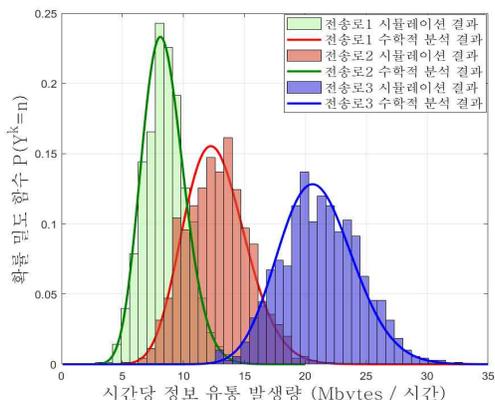
(c) 세 개 링크의 접합점이 존재하는 네트워크

(그림 3) 송신자와 서버(수신자)로 구성된 네트워크 토폴로지

송로1을 통해 전송된 시간당 데이터 전송량을 확률 분포로 도시하였다. 한편, 수치분석 결과는 식 (6)을 활용하여 계산한 확률 분포를 도시하였다.



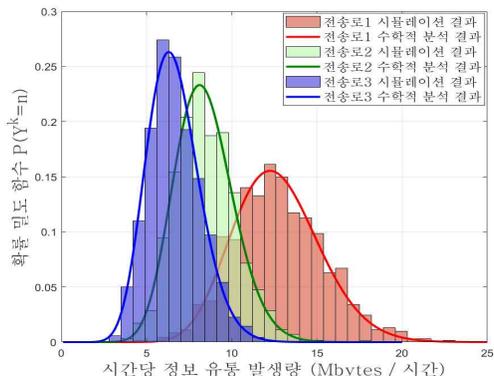
(그림 4) (그림 3-(a))의 네트워크 전송로의 시간당 IER 확률 분포



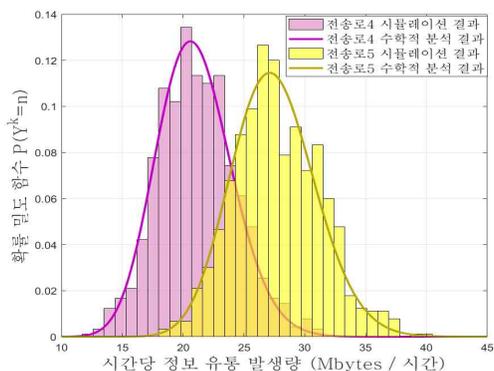
(그림 5) (그림 3-(b))의 네트워크의 전송로별 시간당 IER 확률 분포

(그림 4)에서 볼 수 있듯이 시뮬레이션 결과와 수학적 기법 분석 결과가 정확하게 일치함을 확인할 수 있다. 이는 4장에서 제시한 IER 수학적 분석 기법이 타당함을 입증한다. 이 시간당 IER 확률 분포를 활용하여 송신자1이 서버에 데이터를 지연없이 보내기 위해 전송로1에 필요한 용량을 유추할 수 있다. 예를 들어, 전송로1의 용량을 시간당 15Mbytes를 보내도록 설정한다면, $P(Y^k > 15) = 17.8\%$ 즉, 17.8%의 확률로 링크가 포화한다는 것을 유추할 수 있다. 따라서 1% 미만으로 링크가 포화하도록 대역폭을 할당하기 위해서는 $P(Y^k > n) \leq 1\%$ 을 만족하는 값으로 대역폭을 설정해야 한다. 즉, 전송로1은 최소한 19.2 Mbytes 이상 전송이 가능토록 구성되어야 하는 것이다.

(그림 5)는 (그림 3-(b))의 네트워크에 송신자가 두 개 존재하여 각 송신자가 보낸 메시지가 라우터를 통해 서버로 전송되는 네트워크 토폴로지의 시뮬레이션 및 수치 분석 결과이다. 전송로1과 전송로2는 각각 송신자1과 송신자2의 데이터 발생량을 시뮬레이션 및 수학적 분석 기법을 활용하여 분석한 결과이며, 전송로3은 전송로1과 전송로2를 식 (8)의 합성곱을 활용한 수치 분석 결과를 시뮬레이션 결과와 함께 도시하였다. 앞의 결과와 같이 4장에서 제시한 IER 수학적 분석 기법과 시뮬레이션 결과가 정확하게 일치함을 확인할 수 있다. 전송로3은 두 개의 링크가 합쳐져 서버(목적지)로 향하는 통로이기 때문에 전송로의 트래픽 부하를 방지하기 위해서는 더 높은 대역폭을 할당받아야 함을 확인할 수 있다.



(a) 단일 송신자가 연결된 링크의 IER 확률 분포



(b) 두 개 이상의 전송로가 연결된 집합링크의 IER 확률 분포

(그림 6) (그림3-(c))의 전송로별 시간당 IER 확률 분포

(그림 6)은 (그림 3-(c))와 같이 세 개의 노드 또는 단말기가 하나의 서버와 정보를 유통할 때에 발생하는 정보유통량에 대한 확률 분포를 도시하였다. (그림 6-(a))는 단일 송신자인 송신자1, 송신자2, 송신자3에 각각 연결된 전송로1, 전송로2, 전송로3의 IER 확률 분포이며, (그림 6-(b))는 송신자1과 송신자2가 송신한 정보가 함께 전송되는 전송로4와, 세 개의 송신자 모두의 정보가 함께 전송되는 전송로5의 IER 확률 분포를 도시하였다. 그림에서 볼 수 있듯이 모든 경우에서 시뮬레이션 결과와 수학적 분석 기법 결과가 모두 일치함을 확인할 수 있으며, 이를 통해 복잡한 네트워크 토폴로지도 3장에서 제안한 IER의 수학적 분석 기법을 통해 효과적으로 분석할 수 있다는 것을 입증할 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 IER 예측의 불확실성을 최소화하기 위해서 기존의 연구를 통하여 IER 분석시 필요한 고려사항을 제시하고, 실제의 네트워크 상에 점유하게 될 대역폭을 확률분포를 활용한 예측기법을 제시하고 검증하였다.

IER 분석시에는 유통하는 메시지 자체의 크기뿐만 아니라 데이터 전송간 발생하는 네트워크 프로토콜 헤더의 크기, 전송네트워크의 송수신 구조, 사용자와 서버 또는 통계 장비 간의 정보 유통 과정, 단위시간 동안 메시지의 발생 빈도를 고려해야 현실적인 예측이 가능하다. 향후에는 체계별 연동통계문서(ICD)의 유기적인 작성 방법과 메시지의 발생빈도와 관련된 추가적인 연구가 필요하다. 또한, 체계 간에 유통되어야 할 비정형 데이터에 대한 정보량의 변동성을 고려할 방법의 연구도 필요하다.

푸아송 분포를 활용한 확률생성함수로 실제 네트워크를 점유할 IER의 확률 분포를 계산하였다. 단일링크의 경우 $P(Y^k=n) = \frac{1}{n!} G_{Y^k}^{(n)}$ 로, 전송로가 두 개 이상인 경우는 각 단일링크 확률분포의 합성곱으로 IER을 예측할 수 있다. 이를 검증하기 위해 메시지와 네트워크 토폴로지 샘플로 NS2를 활용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 수학적 분석 기법으로 계산한 확률 분포 값과 시뮬레이션 결과를 비교한 결과 값이 모두 일치하였다. 따라서 본 연구에서 제시한 수학적 분석 기법을 향후 정보교환요구량을 분석에 적용하는 것이 타당함을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 김준섭, 박상준, 차진호, 김용철, “미래 전술통신체계의 발전방안,” 융합정보논문지, 제11권, 제6호, pp. 14-23. 2021.
- [2] 김준섭, 박상준, 차진호, 김용철, “Army TIGER 정보유통능력 분석을 통한 미래 전술통신체계 발전 방안,” 융합보안논문지, 제21권, 제4호, pp. 23-30. 2021.
- [3] 박동선, “4차 산업혁명 첨단기술 기반의 ‘SMART Navy’ 대항해 계획,” 대한조선학회지, 제57권, 제1호, pp.7-10. 2020.
- [4] 대한민국 공군, 공군비전 2050. 2020.
- [5] 우대회, 서중하, 이창훈, Changhoon Lee, “콘텐츠 중심 네트워크를 적용한 전술제대 네트워크 연구,” 한국통신학회, 제46권, 제3호, pp. 499-507. 2021.
- [6] 육군사관학교 산학협력단, “기동형 통합통신체계 정보유통능력 분석 연구,” 2021.
- [7] 육군사관학교 산학협력단, “전술망 통합 M&S를 위한 작전시나리오 및 공중중계 운용 개념 연구,” 2019.
- [8] 솔빛시스템, “ArmyTIGER 4.0 체계 네트워크 정보유통능력 분석,” 2019.
- [9] 솔빛시스템, “미래 보병사단의 전투무선망 정보유통능력 분석에 관한 연구,” 2017.
- [10] 아주대학교, “All-IP 전송네트워크 기반 무기체계 정보유통 보장방안 연구,” 2014.
- [11] 아주대학교 장위국방연구소, “지상군 실시간 C2&SA 정보유통 보장을 위한 정보유통 구조 연구’ 최종보고서,” 2014.
- [12] 국방기술품질원, “미래 군단의 TICN 네트워크 구축방안 연구,” 2013.
- [13] 국방기술품질원 지휘통제전력팀, “NCW 대비 통신체계의 위성통신 운용구조 및 유통량 분석,” 2012.
- [14] 한국국방연구원, “TICN체계 기반 여단급 이하 정보유통 소요 분석,” 2009.
- [15] Stanley G. Beckner, “Information Feasibility : Using the concept for Planning the information Needs of Deploying Forces,” MITREE TECHNICAL REPORT, MTR 00B0000031, June 2000.
- [16] Robert Suzić and Choong-ho Yi, “Information Exchange Requirements (IER) and Information Exchange Models (IEM),” Proceedings of MDISIS '08, vol. 340, pp.31-45, June 2008.
- [17] 방위사업청 합동지휘통제체계사업팀, “합동지휘

통제체계(KJCCS) 성능개량 연동통계문서,” Ver 2.9, 2015.

- [18] 박상준, 박복기, 김용철, “미래 전술네트워크의 정보교환요구량 예측 방법에 관한 연구,” 2022년도 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집, pp.727-728, 2022.



김 준 섭 (Junseob Kim)
 2016년 2월 육군사관학교 학사
 2020년 7월 Texas A&M University
 전자공학과 공학석사
 2020년 8월 ~ 현재
 육군사관학교 전자공학과 조교수
 email : junseobkim@kma.ac.kr

— [저 자 소 개] —



박 복 기 (Pokki Park)
 2006년 2월 육군사관학교 학사
 2012년 5월 NYU 컴퓨터과학 석사
 2021년 9월 ~ 현재
 육군사관학교 전자공학과 강사
 email : masca27@kma.ac.kr



김 용 철 (Yongchul Kim)
 1998년 2월 육군사관학교 학사
 2001년 11월 University of Surrey
 전자공학과 공학석사
 2012년 1월
 North Carolina State University
 전자공학과 공학박사
 2012년 6월 ~ 현재
 육군사관학교 전자공학과 교수
 email : kyc6454@kma.ac.kr



박 상 준 (Sangjun Park)
 2000년 2월 육군사관학교 학사
 2010년 2월
 한국과학기술원 정보통신공학 석사
 2019년 12월 ~ 현재
 육군사관학교 전자공학과 조교수
 email : sigpsj13438@naver.com



조 성 환 (Sunghwan Cho)
 2007년 2월 육군사관학교 학사
 2011년 12월 Georgia Tech
 전자공학과 공학석사
 2021년 6월 University of Oxford
 전자공학과 공학박사
 2012년 6월 ~ 현재
 육군사관학교 전자공학과 부교수
 email : scho@kma.ac.kr